



Licence Sciences et Techniques (LST)

# GENIE CHIMIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

Utilisation d'un procédé électrochimique  
pour éliminer la matière organique naturelle  
dans la potabilisation des eaux de surface

### Présenté par :

- BOUTOUIL MOHAMMED

### Encadré par :

- Pr. MOUGHAMIR Khadija

### Soutenu le 07/ juillet /2021 devant le jury composé de :

- Pr. MOUGHAMIR Khadija
- Pr. SABIR Safia
- Pr. KANDRI RODI Adiba

**Année Universitaire 2020/2021**



# *Remerciement*

---

Le projet de fin d'étude est un grand puzzle. Au départ, on pose des pièces, on essaye de faire le cadre, mais ce n'est pas toujours évident... Puis, à un moment donné, avec l'aide d'une personne extérieure, des oreilles bien attentives, tout finit par prendre place.

C'est enfin l'heure, le puzzle est terminé ! Il ne reste plus qu'à le présenter, à le dévoiler.

Un tel projet ne peut se réaliser seul. De nombreuses personnes y jouent un rôle par leur aide, leur présence, leur soutien, que ce soit sur une petite période, quelques jours.

Je remercie :

La personne présente du début à la fin, m'aiguillant sur ce travail, toujours pour faire un point, riche de conseils et de sa vision globale. Merci **Pr.Moughamir Khadija**.

Merci également à l'ensemble des membres du **Jury (Pr. Sabir Safia) et (Pr. Kandri Rodi Adiba)** pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

La famille proche : **Ma Mère, Mon frère !** J'ai toujours trouvé une oreille pour m'écouter, des épaules pour me soutenir et une porte toujours ouverte pour m'accueillir lors des périodes difficiles.

# *Résumé*

---

La coloration intense et la formation de composés organohalogénés (toxiques) sont des problèmes qui dégradent la qualité des eaux potables. L'origine de ces problèmes est essentiellement liée à la présence de la matière organique naturelle laquelle découle d'origine diverses dans les eaux de surface pour y constituer un milieu hétérogène. Dans les filières classiques de traitement d'eaux potables, L'application de la coagulation permet d'atteindre un taux d'abattement de ces substances organiques appréciable **(1)**.

La fusion entre l'électrochimie et la coagulation donne naissance à une nouvelle notion : **L'électrocoagulation.**

L'électrocoagulation permet de générer in-situ des coagulants ( $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  ou  $\text{Al}^{3+}$ ) lors de l'application d'un courant électrique.

Ce projet a pour objectif de donner une vue sur la matière organique dans les eaux du surface et sa réactivité avec les agents de coagulation, et retirer le rideau à l'électrocoagulation.

## LISTE DES FIGURES

- Figure 01 :** Apports de carbone organique
- Figure 02 :** Granulométrie des différents constituants de la matière organique contenue dans les eaux de surface
- Figure 03 :** Distribution de carbone organique dissous COD
- Figure 04 :** Voie de formation des substances humiques d'après Stevenson (1994)
- Figure 05 :** Représentation schématique des substances humiques
- Figure 06 :** Structure d'un acide aminé de type  $\alpha$ .
- Figure 07 :** Schéma classique d'une station de potabilisation des eaux de surface.
- Figure 08 :** Schéma du prétraitement
- Figure 09 :** Fonctionnement des lampes UV
- Figure 10 :** Le différent sous-produit (THMs) formée par la réaction du chlore avec la MON.
- Figure 11 :** Les étapes de l'adsorption.
- Figure 12 :** Mécanismes de coagulation de la MON.
- Figure 13 :** Diagramme de coagulation au sulfate d'aluminium d'après Amirtharjah (1988).
- Figure 14 :** Les principaux processus formant le procédé d'électrocoagulation.
- Figure 15 :** Schéma du principe d'EC.

## **LISTE DES TABLEAUX**

- Tableau 1 :** Composition élémentaire des acides humiques et fulviques.
- Tableau 2 :** Comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique.
- Tableau 3 :** Les différents types de charbon actif.
- Tableau 4 :** Potentiel standard des demi-réactions impliquées dans le processus d'EC.
- Tableau 5 :** Rendements à doses optimale en sulfate d'aluminium au cours des essais de coagulation des SH sans ajustement du pH.

## **LISTE DES SYMBOLES**

- MON :** Matière organique naturelle
- MOD :** Matière organique dissoute
- MOP :** Matière organique particulaire
- MO :** Matière organique
- COD :** Carbone organique dissous
- COP :** Carbone organique particulaire
- COT :** Carbone organique totale
- THMs :** Tri-halo-méthane
- SH :** Substance humique
- AH :** Acide humique
- AF :** Acide fulviques
- EC :** Electrocoagulation
- SPD :** Sous-produits de désinfection

# *Sommaire*

---

Résumé.....	IV
Introduction générale.....	01
<b>Chapitre 1 : ORIGINES ET FORMES ET CATEGORIES DE LA MON</b>	
Introduction.....	03
I. Origines des matières organique naturelle des eaux de surface.....	03
1. La matière organique endogène.....	04
2. La matière organique exogène.....	04
II. Formes de la matière organique des eaux de surface.....	05
1. Soluble et colloïdales.....	05
2. Particulaire.....	05
III. Catégories de la matière organique naturelle.....	07
1. Substances humiques.....	08
2. Substances non humiques.....	11
Conclusion.....	13
<b>Chapitre 2 : POTABILISATION DES EAUX DE SURFACE</b>	
Introduction.....	14
I. Description générale d'une chaîne classique de traitement d'eaux de surface.....	14
1. Pré-Traitement.....	15
2. Pré-Oxydation.....	16
3. Traitement de clarification.....	16
3.1 Coagulation Flocculation.....	16
3.2 Décantation.....	17
3.3 Filtration.....	17
4. Traitement de désinfection.....	17
5. Affinage.....	19

5.1 Adsorption.....	19
5.2 Charbon Actif.....	21
II. Coagulation de la matière organique naturelle.....	22
1. Coagulation des colloïdes organique (> 0.45µm).....	23
2. Coagulation des composés organiques dissous (< 0.45µm) .....	24
Conclusion.....	25

### **Chapitre 3 : L'ELECTROCOAGULATION**

Introduction.....	26
1. Principe de l'électrocoagulation.....	26
2. Types des électrodes.....	27
3. Réactions électrochimiques aux électrodes.....	27
4. Principale loi réagissant l'électrocoagulation.....	29
5. Facteurs influençant le procédé d'électrocoagulation.....	30
5.1 Intensité du courant imposée.....	30
5.2 pH de l'eau brute.....	31
5.3 effet de la distance inter-électrodes.....	31
Conclusion.....	32
Conclusion générale.....	33
Références bibliographiques.....	35



# ***INTRODUCTION GENERALE***

---

Les eaux de surface sont souvent disponibles en plus grande quantité que les eaux souterraines, mais elles sont aussi plus attaquables aux sources de pollution naturelles (matière organique naturelle par exemple) et anthropiques.

La matière organique naturelle (MON) pose un problème aux stations de traitement des eaux potables. En effet, les principaux problèmes liés sont globalement la détérioration de la qualité organoleptique, un développement bactérien dans les conduites du réseau de distribution, et aussi une consommation importante du chlore lors de la désinfection **(2)**.

La matière organique naturelle se divise en deux catégories : la matière organique particulaire (MOP) et la matière organique dissoute (MOD). Cette fraction dissoute représente la part la plus importante de la matière organique naturelle (MON) et elle est composée d'éléments simples à l'état de traces tels que les acides aminés, les sucres et les hydrocarbures, mais surtout de substances humiques (SH).

De nombreux procédés de traitement peuvent être utilisés pour l'enlèvement de la MO. Les stations de production de l'eau destinée à la consommation présentent la coagulation l'une des techniques efficaces pour l'élimination de la MON par l'ajout des produits chimiques sont à base d'aluminium et fer (coagulants). Mais, cette technique utilise des concentrations importantes des réactifs entraînant ainsi une augmentation de la salinité d'eaux traitées et du volume de solides générés (boues).

Afin de pallier de ces inconvénients, une nouvelle catégories de traitements physico-chimique a vu le jour et ce dès le 19<sup>ème</sup> siècle, le développement de l'électricité comme nouvelle source d'énergie, l'aspect non polluant et les facilités d'automatisation qu'elle apporte ont permis ces dernières années, un développement important des techniques électrochimiques dans le domaine du traitement des eaux. L'électrocoagulation est une technique électrolytique dérivée de la coagulation chimique classique. Elle crée au sein de l'eau que l'on souhaite à traiter, des hydroxydes métalliques par électro-dissolution d'anodes solubles (le fer et l'aluminium sont les matériaux d'anode les plus utilisés).

Dans ce contexte, et afin de répondre à cet objectif, ce projet se décomposera en trois chapitres. Le premier chapitre présente une fiche descriptive qui concerne la matière organique naturelle (MON) qui se trouve dans les eaux de surface, leurs origines, leur formes et catégories.

Le deuxième chapitre présente de manière résumée sur les procédés de potabilisation des eaux de surface, et les mécanismes d'abattement de la matière organique (MO) par coagulation.

Le troisième chapitre fait le point des connaissances à l'utilisation d'un traitement électrolytique : L'électrocoagulation.

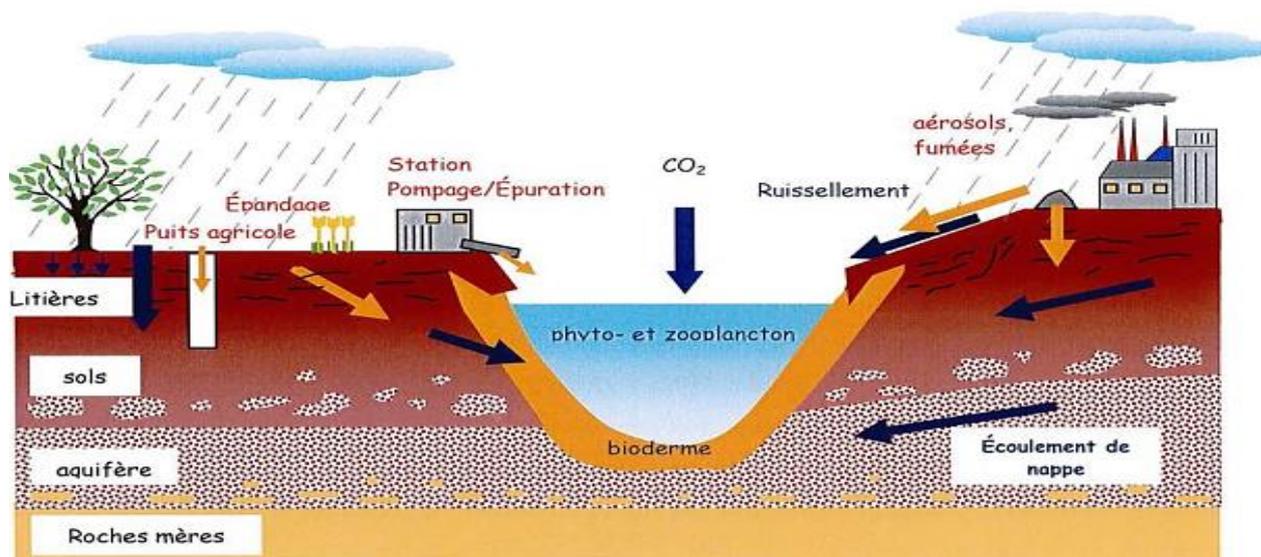
# INTRODUCTION

Une eau de surface est un milieu complexe, contenant des matières minérales et organiques. Les matières organiques (MO) sont souvent séparées en matières organiques dissoutes (MOD) et matières organiques particulaires (MOP). La partie soluble de la MON, se compose des substances humiques (SH) (acides humiques (AH) et acides fulviques (AF) ), et substances non humiques (Les acides aminés, des glucides, des protéines).

Leur origine, leur forme et leurs catégories constituent 3 questions fondamentales dont les réponses permettent une meilleure compréhension du fonctionnement de la MON.

## *I. ORIGINES DE LA MATIERE ORGANIQUE NATURELLE DES EAUX DE SURFACE*

L'état dynamique de la MON rend son étude difficile du fait qu'elle subit sans cesse des cycles de synthèse biologique, métabolisation et décomposition. Dans l'environnement aquatique, la MON est majoritairement synthétisée par le phytoplancton puis utilisée comme nutriments par d'autres espèces qui peuvent la métaboliser puis l'excréter sous une autre forme. Dans les eaux profondes ou plus généralement dans les zones aphotiques, la production par les bactéries devient majoritaire. Une troisième zone de production de la matière organique dans les eaux naturelles est l'interface eau-sédiment où elle subit des transformations biologiques ou chimiques lentes. La MO est également émise par dégradation des organismes animaux ou végétaux, que ce soit dans les milieux aquatiques ou terrestres. La MO fraîchement produite par la matière vivante (phytoplancton, bactéries, micro-organismes...) est généralement appelée matière organique récente en opposition à la matière organique plus humifiée (ancienne) issue de multiples étapes de dégradation de cette MO (3).



**Figure 01 : Apports de carbone organique (4)**

On peut regrouper les sources de MO en grands ensembles suivants qu'elles soient d'origine diffuse ou ponctuelle ou qu'elles soient d'origines endogène ou exogène au milieu aquatique.

### ***1. LA MATIERE ORGANIQUE ENDOGENE***

La partie importante de la MO de l'eau générée dans le milieu aquatique est dite endogène par contre à celle qui vient des versants qui est dite exogène. Participent à la matière organique endogène les cellules et organismes vivants (les algues, autres microorganismes aquatiques) ainsi que les molécules issues directement de leurs métabolismes, mais aussi la matière organique « morte » provenant de la dégradation des végétaux par les organismes aquatiques vivants. Les quantités de matière organique endogène produites dans les retenues d'eau autotrophes peuvent être plus importantes (5).

### ***2. LA MATIERE ORGANIQUE EXOGENE***

La MO exogène provient des bassins versants, de manière diffuse ou ponctuelle. Les sources diffuses sont associées aux sols. Ceux-ci stockant une quantité très importante de matière organique, les formes de MO présentes dans les sols peuvent se retrouver dans les eaux. On distingue particulièrement quatre groupes:

- ✓ La matière organique vivante, végétale et animale, qui englobe la totalité de la biomasse en activité.

- ✓ Les débris d'origine végétale (résidus végétaux, exsudats) et d'origine animale qui sont regroupés sous le terme de matière organique fraîche. La nature de cette matière organique fraîche est directement liée aux activités de surface et en premier lieu au couvert végétal (forêt, prairie, cultures). Elle est donc en majorité composée de MO végétale (cellulose, lignines, pectines, algines, etc.).
- ✓ Des composés organiques intermédiaires, encore appelés produits transitoires ou matière organique transitoire, qui sont les matières organiques en cours d'évolution entre la MO fraîche et les composés finaux : les matières humiques.
- ✓ Une autre source de MO des versants peut potentiellement avoir une origine anthropique correspond à la matière organique apportée sur les sols sous la forme d'amendements organique de type fumier et lisier. Une partie de cette MO est incorporée dans les sols et se décompose suivant ce qui est présenté ci-dessus. Une autre partie peut potentiellement être transportée, par ruissellement de surface et après percolation dans les sols, et rejoindre de façon diffuse le milieu aquatique.

## ***II. FORMES DES MATIERES ORGANIQUES DANS LES EAUX DE SURFACE***

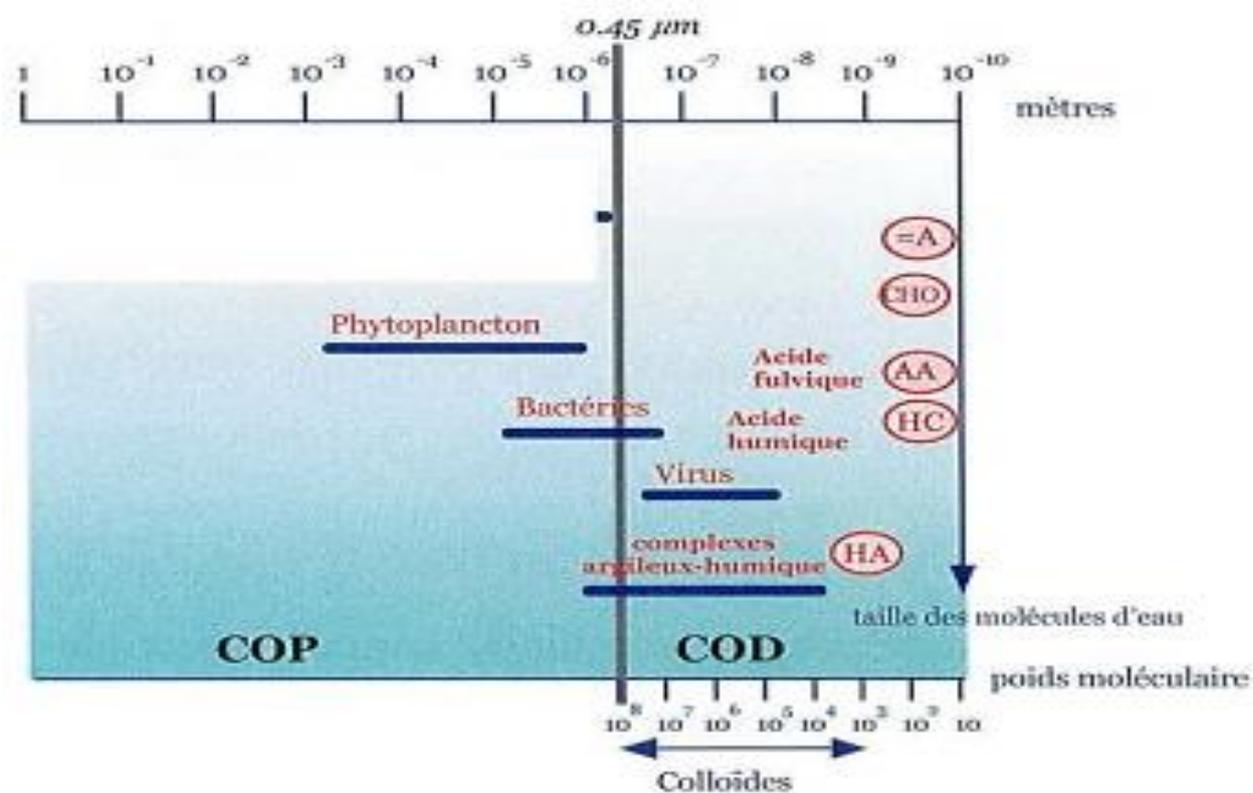
A la multiplicité des sources, correspond une multiplicité des formes que prend la MO. Pour des raisons analytiques, on distingue les formes dissoutes et particulaires (5).

### ***1. SOLUBLES ET COLLOIDALES (Carbone Organique Dissous COD)***

- ✓ Les acides humiques et fulviques.
- ✓ Les hydrocarbures.
- ✓ La cellulose.
- ✓ Les acides aminés, lipides et sucres (hydrate de carbone).

### ***2. PARTICULAIRE (Carbone organique Particulaire COP)***

- ✓ Les micro-organismes tels que les algues (phytoplancton), zooplancton, les champignons et les bactéries.
- ✓ Les SH fixées aux argiles (complexe argilo-humique).
- ✓ Les débris divers issus de la fragmentation (feuilles mortes à l'automne).



**FIGURE 02 :** Granulométrie des différents constituants de la MO contenue dans les eaux de surface (6).

La classification des espèces organiques présentes dans le milieu aqueux est la distribution granulométrique, séparant **carbone organique dissous (COD)** et **carbone organique particulaire (COP)**.

La séparation granulométrique à **0,45 µm** entre les MOD et les MOP ne correspond à aucune rupture dans les propriétés chimiques des composés en question. La partie dissoute inclut généralement la matière colloïdale. En pratique, la séparation entre matière organique dissoute et matière organique particulaire est difficilement réalisable parce que les distributions de tailles des composants aquatiques sont continuées de quelques angströms à quelques microns. Il est plus judicieux de différencier la matière organique selon les groupements chimiques présents, la solubilité, le caractère hydrophile ou lipophile, la réactivité acido-basique ou oxyda-réductrice, plus brièvement en fonction de ses propriétés physico-chimiques en solution. La nature, et par conséquent les propriétés, des espèces organiques vont dépendre de leur origine et de leur temps de résidence dans le milieu aqueux, ou plus précisément de leur stade de dégradation.

### III. CATEGORIES DE LA MATIERE ORGANIQUE NATURELLE

La majorité de la MON est sous forme dissoute ou colloïdale. La moitié du (COD) est représentée par les SH. La MOP est constituée du phytoplancton, des microorganismes, des virus, de fibrilles (bactériennes).

Les **sucres**, les **poly sucres** ou **polysaccharides**, les **lipides** et **acides gras**, les **protéines** et **acides aminés**, les **acides nucléiques** (matériel génétique de la biomasse) sont universellement répandus et constituent une source énergétique pour la biomasse autochtone du milieu aqueux. En fonction de leur temps de résidence, de leur origine et de leur mode de transfert vers la rivière, ces composés seront plus ou moins hydrolysés, dégradés en composés intermédiaires, en molécules de plus petites tailles.

Les **acides hydrophiles** sont des acides organiques dissous. Ils sont encore mal définis et contiennent des acides sacchariques comme les acides poly uroniques.

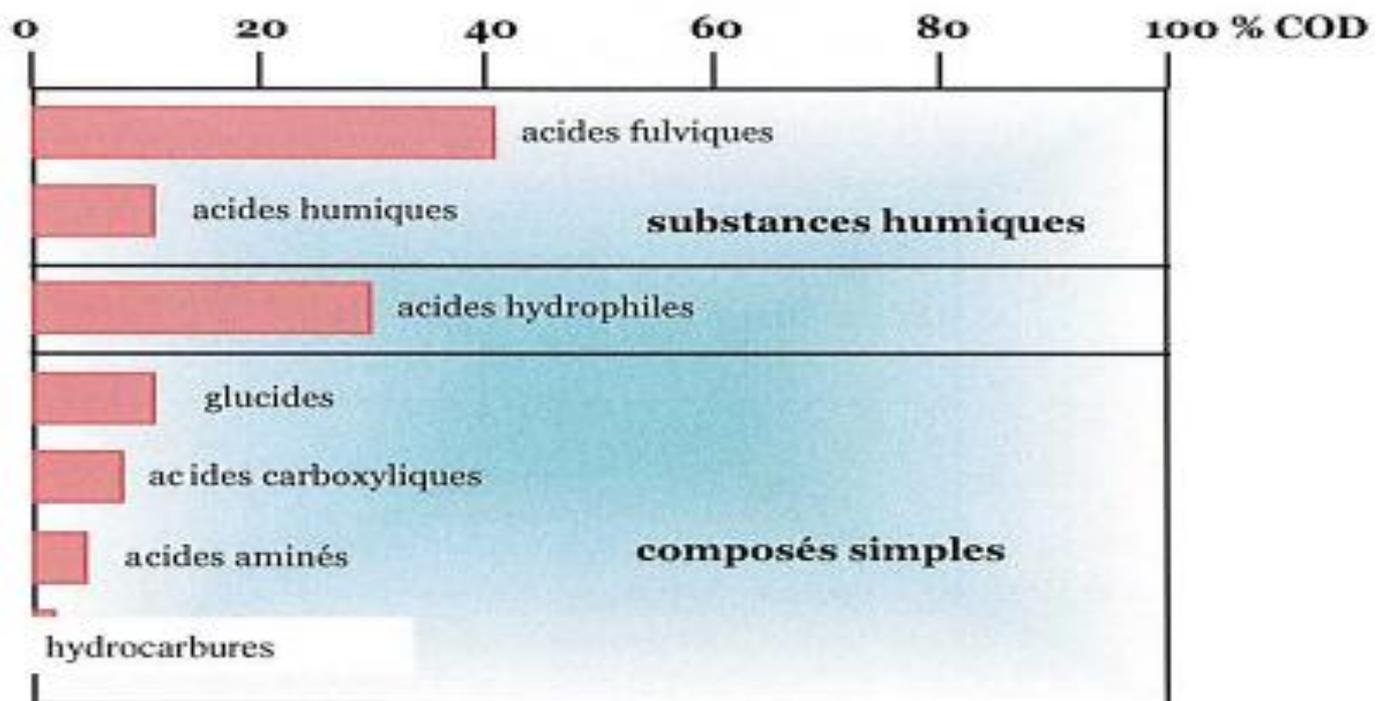


Figure 03 : Distribution de carbone organique dissous COD (6) .

L'ensemble complexe des molécules organiques aux propriétés et nature variables, peut être groupé, en deux classes :

## 1. SUBSTANCES HUMIQUES

### ✓ Généralités :

Les SH sont des composés organiques naturels de type macromoléculaire. Elles représentent la fraction la plus importante des eaux naturelles, soit 40 à 60% de (COD) et parfois 90% dans certaines eaux très colorées. Elles sont issues d'un processus appelé humification correspondant à un ensemble de réactions de dégradation et de polymérisation. Elles jouent un rôle non négligeable dans les filières de production d'eau potable (7) à cause de :

- Leur participation à la coloration des eaux (jaune brun) et à l'acidification des eaux faiblement minéralisées.
- Leur propriété d'accumulation et de transport des micropolluants organiques (pesticides, hydrocarbures etc...) et minéraux (métaux lourds).
- Leur consommation en réactifs chimiques au cours des étapes de la potabilisation des eaux (clarification, oxydation, désinfection).

### ✓ Origine :

La formation de SH dans la nature est l'un des aspects les moins compris de la chimie. Il existe trois théories principales pour l'expliquer: la théorie de la lignine (voie 1) de Waksman (1932), la théorie des polyphénols (voie 2) et la théorie de la condensation sucre-amine (voie 3) de Maillard (1911) (8).

**Voie 1 :** la lignine est un bio-polymère difficilement biodégradable. Une fois modifiée par les micro-organismes, elle s'associe à des protéines synthétisées pour former des SH.

**Voie 2 :** les polyphénols, provenant de la dégradation de la lignine et de synthèses dues à des micro-organismes, sont oxydés en quinones par des polyphénol-oxydases. Par la suite, leur polymérisation ou association à des acides aminés ou des peptides conduisent à la formation des SH.

**Voie 3 :** l'addition d'un groupement aminé à un groupement aldéhyde d'un sucre réducteur forme une glycosylamine-N substituée. Selon cette théorie, les sucres et les acides aminés issus du métabolisme microbien et de la dégradation des matières organiques se polymérisent par condensation pour former les SH.

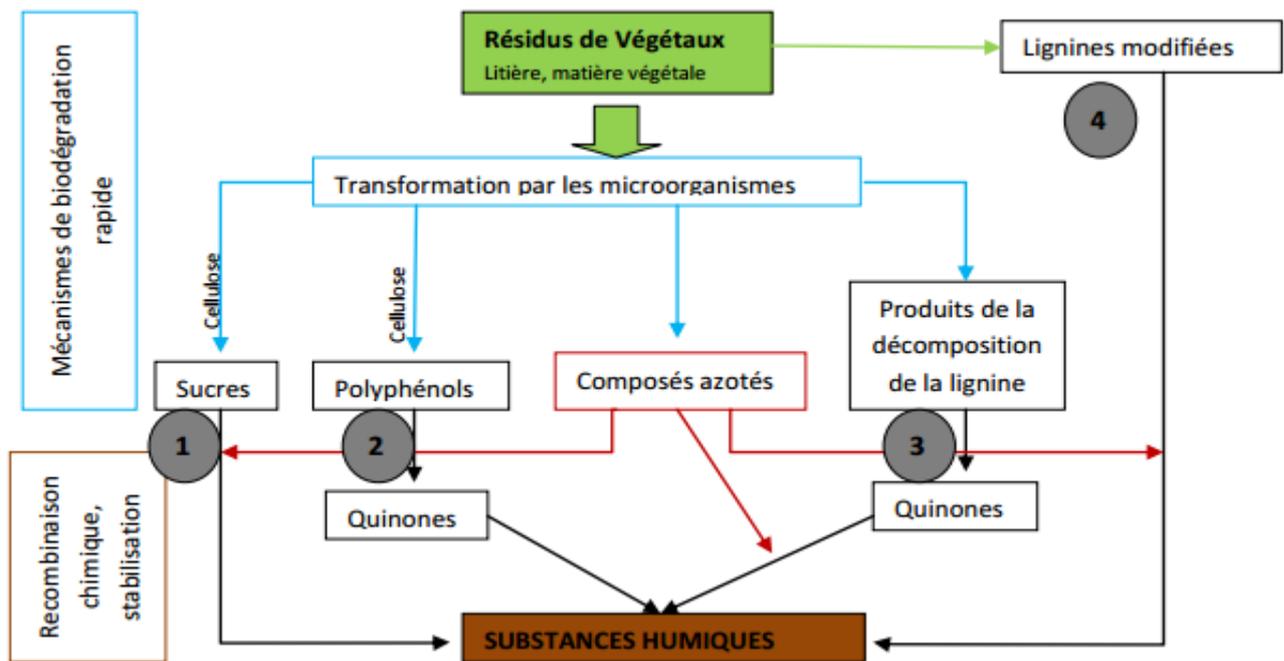


Figure 04 : Voies de formation des SH d'après Stevenson (1994)

### ✓ **Propriétés et caractéristiques chimique**

La composition élémentaire moyenne des SH est la suivante (9) :

**C**= 40 à 60%   **O**= 30 à 50%   **H**=4 à 6%   **N**= 0,50 à 2%   **S**<1%   **P**<1%   **Résidu**=0 à 10%.

Cette composition élémentaire dépend du milieu aquatique.

Les masses moléculaires des diverses SH sont très variables à cause de l'évolution permanente de ces substances que ce soit dans le sol ou dans l'eau, de la diversité des techniques employées (ultrafiltration, etc...) et de nombreux paramètres (pH, force ionique, présence des groupements fonctionnels des SH).

Les SH peuvent être classées en deux principales fractions, basée notamment sur leur solubilité :

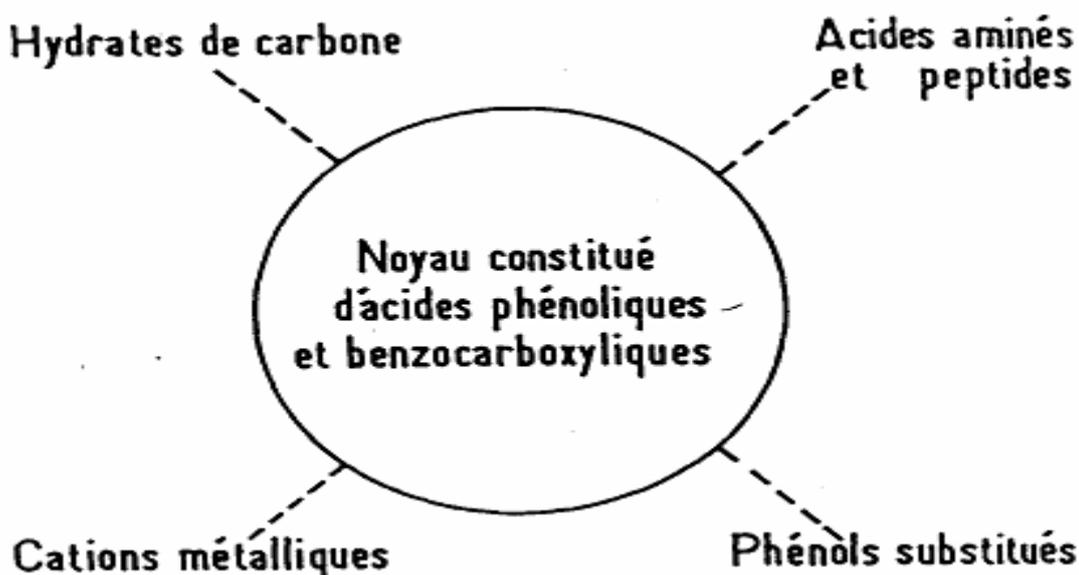
- ✓ **Les Acides Humiques** : constituent l'une des fractions les plus importantes des SH. Les AH sont essentiellement solubles en milieu basique et précipitent en milieu acide ( $\text{pH} \leq 2$ ). Les AH sont des composés de haut poids moléculaire (10000-100000 Da), chargés négativement, de couleur noire à brun foncé.
- ✓ **Les Acides Fulviques** : ils sont solubles dans l'eau à tout pH, possèdent une faible masse moléculaire (1000-10000 Da), et sont plus polaires que les AH. Les AF sont des électrolytes organiques naturels.

Les SH sont des composés qui absorbent à la fois dans le visible et l'ultraviolet.

Les propriétés chimiques des matières humiques sont directement associées à leur forte teneur en groupements fonctionnels carboxyles (4 à 6,8 méq/g SH) et hydroxyles phénoliques (0,7 à 3,8 méq/g SH).

✓ **Structure :**

La structure des SH est encore mal définie, l'analyse spectrale (RMNC13) a permis de conclure que celles-ci sont constituées par des parties aliphatiques et aromatiques, les sites aromatiques représentent en moyenne 20 à 40% du carbone organique (9).



**Figure 05 :** Représentation schématique des SH

Une variété de groupements fonctionnels, incluant les COOH, les OH phénoliques, les éthers et les OH alcools, ont été répertoriés dans les SH. Les deux éléments majeurs des AH et AF sont le carbone et l'oxygène. Leurs teneurs ainsi que celle de l'azote, l'hydrogène et le soufre sont reprises dans le tableau 01 :

**Tableau 01 :** Composition élémentaire des acides humiques et fulviques.

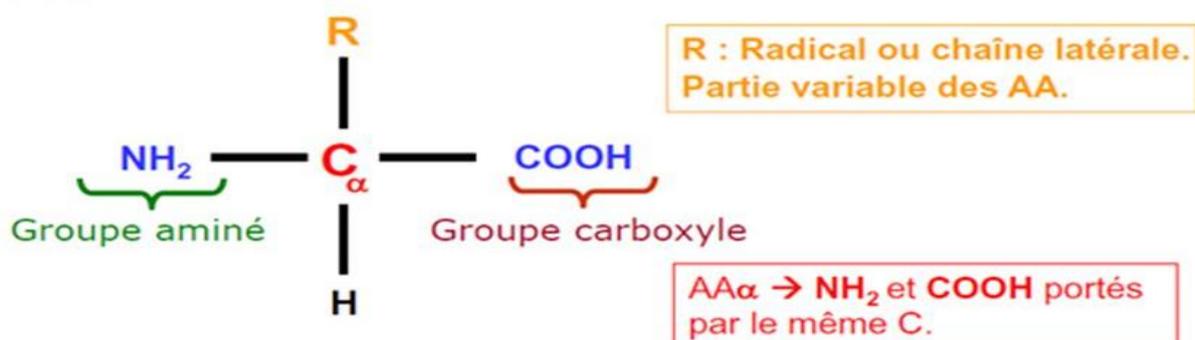
Éléments	C	O	H	N	S
<b>Acides Fulviques</b>	40-50	44-50	4-6	<1-3	0-2
<b>Acides Humiques</b>	50-60	30-35	4-6	2-6	0-2

## 2. SUBSTANCES NON-HUMIQUES

Cette catégorie représente une fraction faible de COD des eaux naturelles, environ 20%. Elle inclue les tanins, les glucides, les composés azotés (acides aminés, protéines,), les lipides, et quelques autres composés organiques simples à l'état de traces.

### ✓ Les acides aminés :

Ce sont des molécules relativement simples et où le plus souvent l'acide aminé  $\alpha$ . Ils participent à la formation des peptides, des protéines ou sont associés aux substances humiques des eaux de surface. Les acides aminés proviennent de la dégradation des plantes, d'algues ainsi que des rejets des stations d'épuration d'eaux usées urbaines ou industrielles. L'ordre de grandeur des teneurs des acides aminés dans les eaux de surface se situe entre 10 et 100  $\mu\text{g/l}$  (10)



**Figure 06 :** Structure d'un acide aminé de type  $\alpha$ .

### ✓ Les glucides :

Les oses, monosaccharides ou « sucres simples » sont très présents dans les végétaux. Les polysaccharides constituent la forme principale des glucides dans la matière organique en décomposition. Ce sont des homopolymères, résultant de la condensation d'un grand nombre de monosaccharides. Les polysaccharides d'origine végétale les plus abondants sont la cellulose et les hémicelluloses.

### ✓ Les tanins :

Les tanins ont des structures poly-phénoliques et regroupent des composés de structure et de masse molaire variables. Deux groupes de tanins peuvent être distingués: les tanins hydrolysables et les tanins non-hydrolysables ou condensés.

### ✓ Les protéines

Les protéines peuvent avoir des rôles très divers (structure, transporteur, hormone, enzyme...) qui les a rendu ubiquistes dans le monde vivant et c'est pourquoi celles-ci sont retrouvées dans les bio-déchets et par suite dans les eaux de surface.

### ✓ Les lipides

Comme les protéines, les lipides ont un rôle très important dans la nature et se retrouvent ainsi dans les bio-déchets et notamment dans les boues de station d'épuration.

## CONCLUSION

La MO contenue dans les eaux de surface regroupe un nombre important de composés appartenant à des familles chimiques très variées. Les SH représentent la fraction organique la plus importante. Ces substances sont définies comme un mélange complexe de MON qui incluent dans leurs structures des chaînes aliphatiques et aromatiques portant des substituants (COOH, OH). La présence des MO d'origine naturelle est la caractéristique essentielle des eaux de surface.

## INTRODUCTION

La qualité et la stabilité d'une eau potable sont en grande partie liées à sa teneur en MO. Une teneur élevée en matières organiques en sortie de filière de traitement peut, d'une part causer, après désinfection la formation de sous-produits de désinfection comme les tri-halo-méthanés (THMs) et l'apparition de goûts et d'odeurs, et d'autre part contribuer, par apport de nutriments, à une reviviscence bactérienne dans certaines portions de réseau. Pour atteindre les objectifs de potabilisation et d'élimination des MO, les traitements conventionnels, mis en œuvre sur les usines de production d'eau potable à partir d'eaux de surface, des modifications physico-chimiques ou biologiques.

Les principaux procédés de traitement interviennent au cours du prétraitement, traitement de clarification, traitement de désinfection et affinage. Au cours de ce chapitre, nous décrivons donc les principales étapes du traitement des eaux de surface. Nous insisterons sur l'étape de clarification par coagulation de la MON.

### ***I. DESCRIPTION GENERALE D'UNE CHAÎNE CLASSIQUE DE TRAITEMENT D'EAUX DE SURFACE.***

Le principal objectif d'une station de production d'eau potable est de fournir un produit qui satisfait à un ensemble de normes de qualité pour le consommateur. Le schéma classique d'une station de potabilisation d'une eau de surface est généralement constitué des phases suivantes **(11)** :

- ✓ **Prétraitement.**
- ✓ **Pré-oxydation**
- ✓ **Traitement de clarification**
- ✓ **Traitement de désinfection.**
- ✓ **Affinage.**

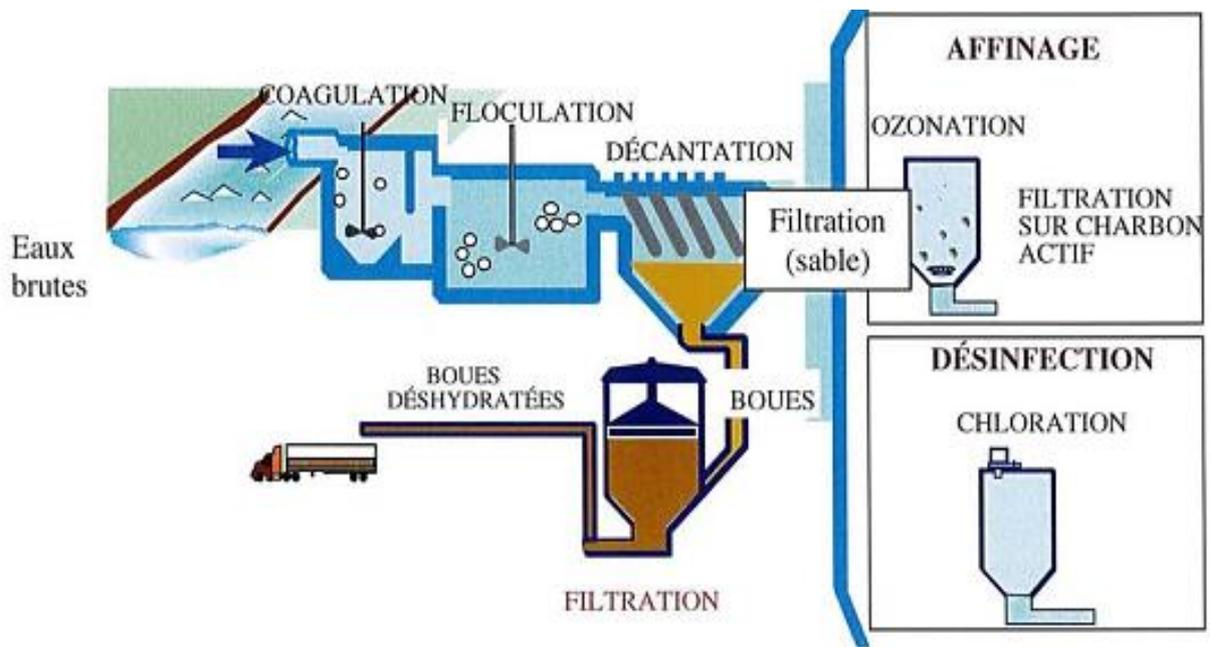


Figure 07 : Schéma classique d'une station de potabilisation des eaux de surface

## 1. PRE-TRAITEMENT

Les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement comportant un certain nombre d'opérations physiques ou mécaniques. Il est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité possible d'éléments, dont la nature ou la dimension constituerait un gêne pour les traitements ultérieurs. Les opérations de prétraitement peuvent comporter :

- **Un dégrillage :** Il consiste à éliminer les déchets plus ou moins volumineux tels que les chiffons, les textiles, les papiers, les plastiques.
- **Un dessablage :** débarrasse les eaux de surface des sables et des graviers par sédimentation. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe.

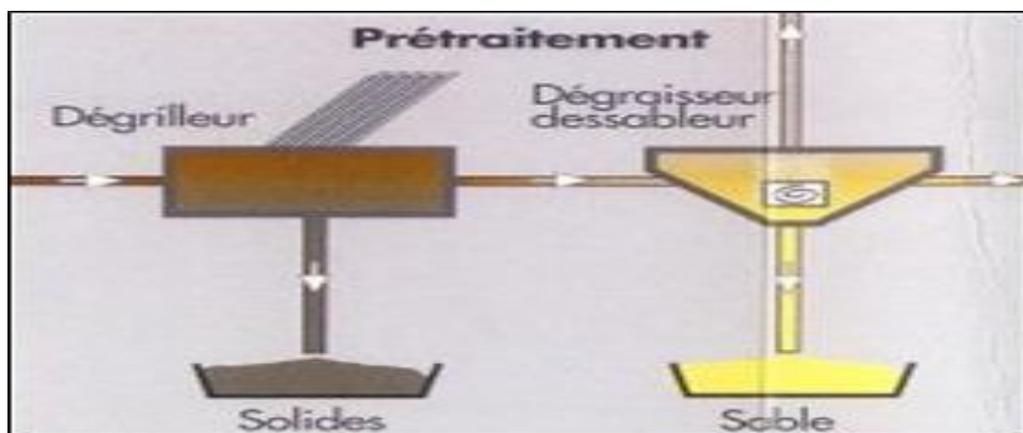


Figure 08 : Schéma du prétraitement

## 2. PRE-OXYDATION

Celle-ci peut être faite de deux façons différentes :

- ✓ Ajout du chlore gazeux  $\text{Cl}_2$  dioxyde de chlore  $\text{ClO}_2$  : Préchloration.
- ✓ Ajout d'ozone  $\text{O}_3$  : Pré-ozonation.

La pré-chloration est effectuée avant le procédé de clarification. La pré-chloration consiste à ajouter du chlore à l'entrée dès l'arrivée des eaux brutes dans l'usine de potabilisation. Lors de cette étape, le chlore est généralement ajouté directement à l'eau non traitée. Cela a pour effet, de contrôler les odeurs, le goût et permet également de limiter la croissance biologique au cours du traitement. Le chlore oxydera aussi le fer, le manganèse ainsi que le sulfure d'hydrogène.

Enfin, depuis quinze à vingt ans, l'ozone utilisé comme oxydant, qui non seulement a l'avantage de détruire les MO en cassant les chaînes moléculaires existantes, mais également à une propriété virulicide très intéressante, propriété que n'a pas le chlore. Généralement utilisé en désinfection finale, cette technique peut être mise en œuvre en oxydation. Elle peut aussi être employée pour l'amélioration de la clarification. L'un des avantages d'une pré-ozonation est l'oxydation des matières organiques, et une élimination plus importante de la couleur. Un autre avantage est la diminution du taux de traitement (taux de coagulant) dans les procédés de clarification. On évite ainsi les problèmes liés aux sous-produits de la chloration. Néanmoins ce procédé ne résout pas tous les problèmes car certaines algues résistent à l'ozone. De plus, son coût reste beaucoup plus élevé que celui du chlore.

## 3. TRAITEMENT DE CLARIFICATION

Clarifier une eau, c'est la débarrasser de toutes les particules colloïdales et en suspension qui ont échappé au prétraitement et qui communiquent à l'eau une turbidité et une couleur indésirable. Elle s'effectue par : Coagulation-floculation, décantation et filtration.

### 3.1 Coagulation-Floculation

#### ✓ Généralité

La coagulation consiste à ajouter à l'eau un électrolyte (sels métallique d'Aluminium ou de Fer) permettant de transformer la suspension colloïdale en des particules plus importantes et aptes à sédimenter. La floculation aura pour but d'accroître le volume, le poids et la cohésion du floc.

Cette transformation est le résultat de deux actions distinctes :

- **La déstabilisation des particules par neutralisation de leurs charges électriques, connue sous le nom de « coagulation ».**
- **La formation de flocons, dépendante du transport et de la mise en contact des particules déstabilisées constitue « la floculation ».**

### 3.2 Décantation

La décantation est la méthode de séparation la plus fréquente de MES et des colloïdes (rassemblé sous forme de floc après une étape de coagulation floculation). Il est bien connu que les particules en suspension sédimentent en fonction de leur taille, donc pour obtenir une bonne décantation, il est nécessaire d'augmenter le diamètre des particules d'où l'utilité impérieuse du phénomène de coagulation-floculation

### 3.3 Filtration

La filtration est un procédé de séparation solide/liquide qui utilise le passage à travers un milieu poreux (filtre ; la plus courante est le sable) qui retient les particules en suspension dans l'eau brute ou l'eau prétraité (floculée et décantée). A mesure que les particules solides atteignent la couche filtrante.

## 4. TRAITEMENT DE DESINFECTION

La désinfection de l'eau destinée à la consommation humaine est l'étape finale indispensable dans toute filière de traitement de potabilisation de l'eau avant sa distribution. Celle-ci correspond à la destruction ou l'inactivation des microorganismes pathogènes pour l'homme, élimination du fer et du manganèse, Contrôle des odeurs et des goûts. Différents types de désinfections peuvent être mis en œuvre :

- **La désinfection physique :**
  - Stérilisation par les rayonnements ultraviolets (lampes) : Ils ont un effet bactéricide à 250 nm et sont obtenus au moyen de lampes à basse pression de vapeur de mercure. Ils ne produisent pas de sous-produit indésirable, mais exigent une très bonne qualité d'eau vis-à-vis des matières en suspension et de la turbidité. Leur absence d'effet rémanent limite généralement leur utilisation aux réseaux de distribution courts.

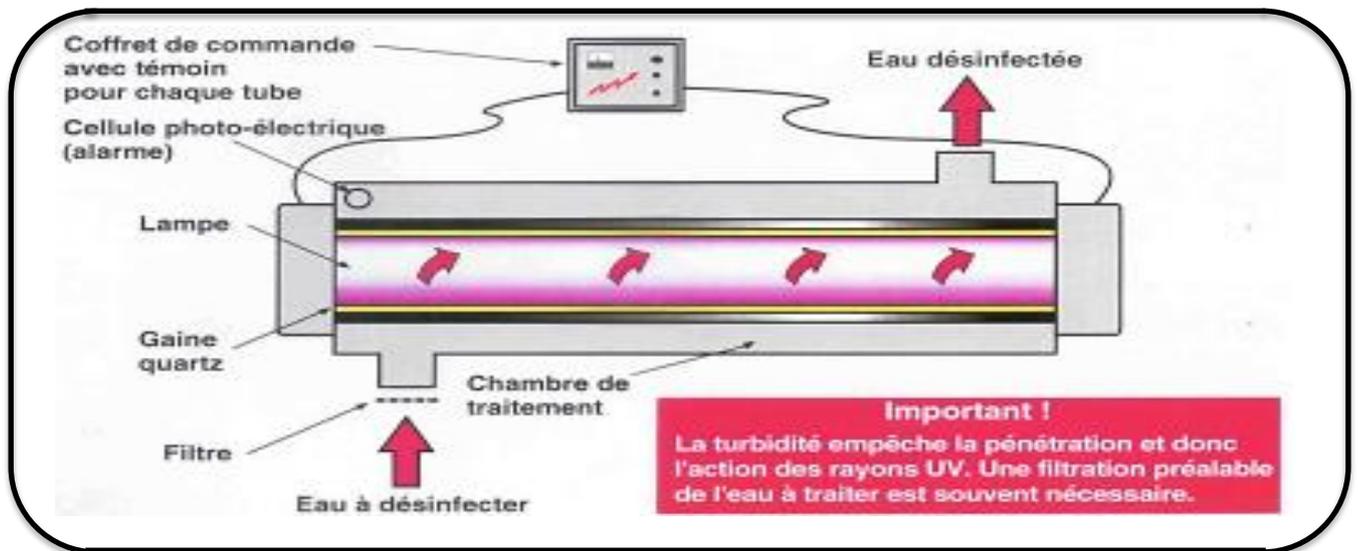


FIGURE 09 : Fonctionnement des lampes UV

- **La désinfection physico-chimique consiste à ajouter des réactifs chimiques :**

- L'ozone  $O_3$
- Des composés chlorés comme le chlore gazeux  $Cl_2$ , le dioxyde de chlore  $ClO_2$  ou l'eau de Javel  $NaClO$ .

Le chlore gazeux est le plus fréquemment utilisé comme désinfectant final. Le  $Cl_2$  se dissout dans l'eau il est rapidement hydrolysé et il produit l'acide hypochloreux et l'acide chlorhydrique.

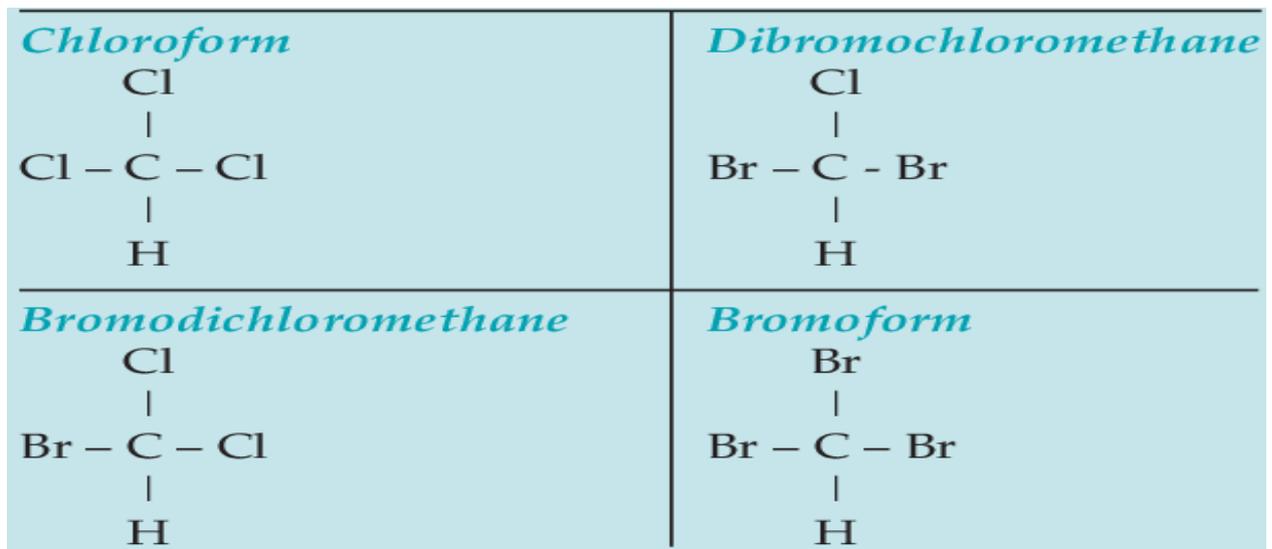


L'acide hypochloreux qui est vraiment le désinfectant, il se dissocie avec l'équilibre suivant :



L'acide hypochloreux est un désinfectant beaucoup plus effectif que l'ion hypochlorite, et ce fait pourrait être en rapport avec l'absence de charge dans la molécule d'acide hypochloreux.

Un des désavantages de l'utilisation du chlore et ses dérivés est qu'il réagit avec beaucoup de matière organique et il produit des tri-halo-méthanés (THM), dont beaucoup d'entre eux ont démontré être toxiques ou même cancérigène.



**FIGURE 10 :** Les différents sous-produits (THMs) formée par la réaction du chlore avec la MON.

## 5. AFFINAGE

On procède à l'affinage visant à éliminer les micropolluants qui existent déjà dans l'eau à l'état de traces (Pesticides) ou qui se sont formé au cours du traitement. Cet affinage est réalisé par le phénomène **d'adsorption**, généralement sur **charbon actif**.

### 5.1 Adsorption

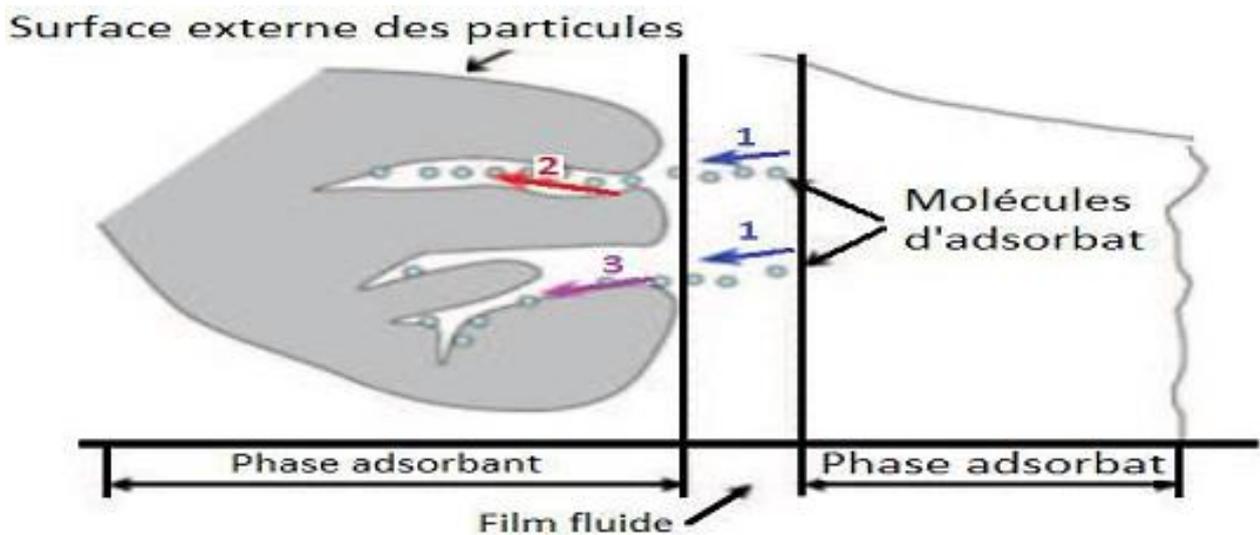
Le terme adsorption désigne un phénomène de transfert de masse de la phase liquide vers la phase solide à laquelle l'adsorbant à tendance à se lier avec une certaine énergie. La fixation d'un élément dissous dans l'eau sur la surface d'une particule solide met en jeu des mécanismes et des énergies bien différentes. Une distinction entre deux types de forces attractives permet de différencier deux types d'adsorption qui sont la chimisorption et la physisorption **(12)**.

**Tableau 02 :** Comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique

Propriété	Adsorption physique	Adsorption chimique
Types de liaison	Liaison de Van Der Waals	Liaison chimique
T° du processus	Relativement basse	Plus élevée
Désorption	facile	Difficile
Cinétique	Rapide, indépendante de la température.	Très lente.
Chaleur d'adsorption	Inférieur à 10 Kcal/mole.	Supérieur à 10 Kcal/mole
Energie mise en jeu	Faible.	Elevée.
Types de formation	Formation en multicouche en monocouche.	Formation en monocouche.

Le phénomène d'adsorption se déroule en trois étapes :

- 1. Diffusion externe :** cette étape correspond au transfert des molécules à travers le film liquide de l'adsorbat vers la surface externe de l'adsorbant.
- 2. Diffusion interne :** les molécules se propagent de la surface des particules vers les sites actifs en remplissant les pores.
- 3. Diffusion de surface :** Réaction d'adsorption se produit au contact des sites actifs, une fois adsorbées, la molécule est considérée comme immobile



**Figure 11 :** Les étapes de l'adsorption.

En traitement des eaux, on utilise presque exclusivement le charbon actif comme adsorbant. C'est un matériau économique qui permet d'éliminer une grande quantité de polluants.

## 5.2 Charbon actif

Le Charbon Actif également appelé charbon activé est un matériau peut être fabriqué à partir de tout matériau contenant un fort pourcentage de carbone et un faible pourcentage en matière inorganique. Ces matières premières peuvent être le bois, le charbon de bois, la noix de coco, le lignite. Le charbon actif peut être obtenu soit sous plusieurs formes (13) .

**Tableau 03** : Les différents types de charbon actif

<b>Charbon actif en poudre (CAP)</b>	<b>Charbon actif granulé (CAG)</b>	<b>Le charbon actif extrudé</b>
<p>-des particules avec une taille de moins de 0,18 mm. - est principalement employé dans des applications en phase liquide et pour le traitement des flux gazeux. -est 2 à 3 fois moins cher que le (CAG).</p> 	<p>-des particules de forme irrégulière de taille allant de 0,2 mm à 5 mm. -utiliser pour des applications en phases liquide (le traitement des eaux) et gazeuse.Ce composé de faible poids moléculaire favorise une durée de vie prolongée, avec une grande capacité d'adsorption.</p> 	<p>-De forme cylindrique avec des diamètres allant de 0,8 mm à 5 mm. -est principalement utilisé pour des applications en phase gazeuse à cause de sa faible perte de charge, et de sa faible teneur en poussière.</p> 

## II. LA COAGULATION DE LA MATIERE ORGANIQUE NATURELLE

Dans tous les cas, la coagulation est réalisée par ajout d'un coagulant dans l'eau qui est généralement un sel d'aluminium ou un sel de fer. Après ajout d'un coagulant métallique, l'aluminium ou le fer s'hydrolyse et forme différents espèces solubles (métal hydrolysé de plus ou moins grande masse molaire) ou solide (hydroxyde métallique) qui vont interagir avec la MON pour les faire coaguler puis flocculer. Les différents mécanismes de coagulation de la MON sont schématisés à la **Figure 12**. Ces mécanismes sont la neutralisation de charge ou la formation des complexes avec des espèces hydrolysées solubles, ou l'adsorption ou l'emprisonnement avec des particules d'hydroxydes métalliques (**14**).

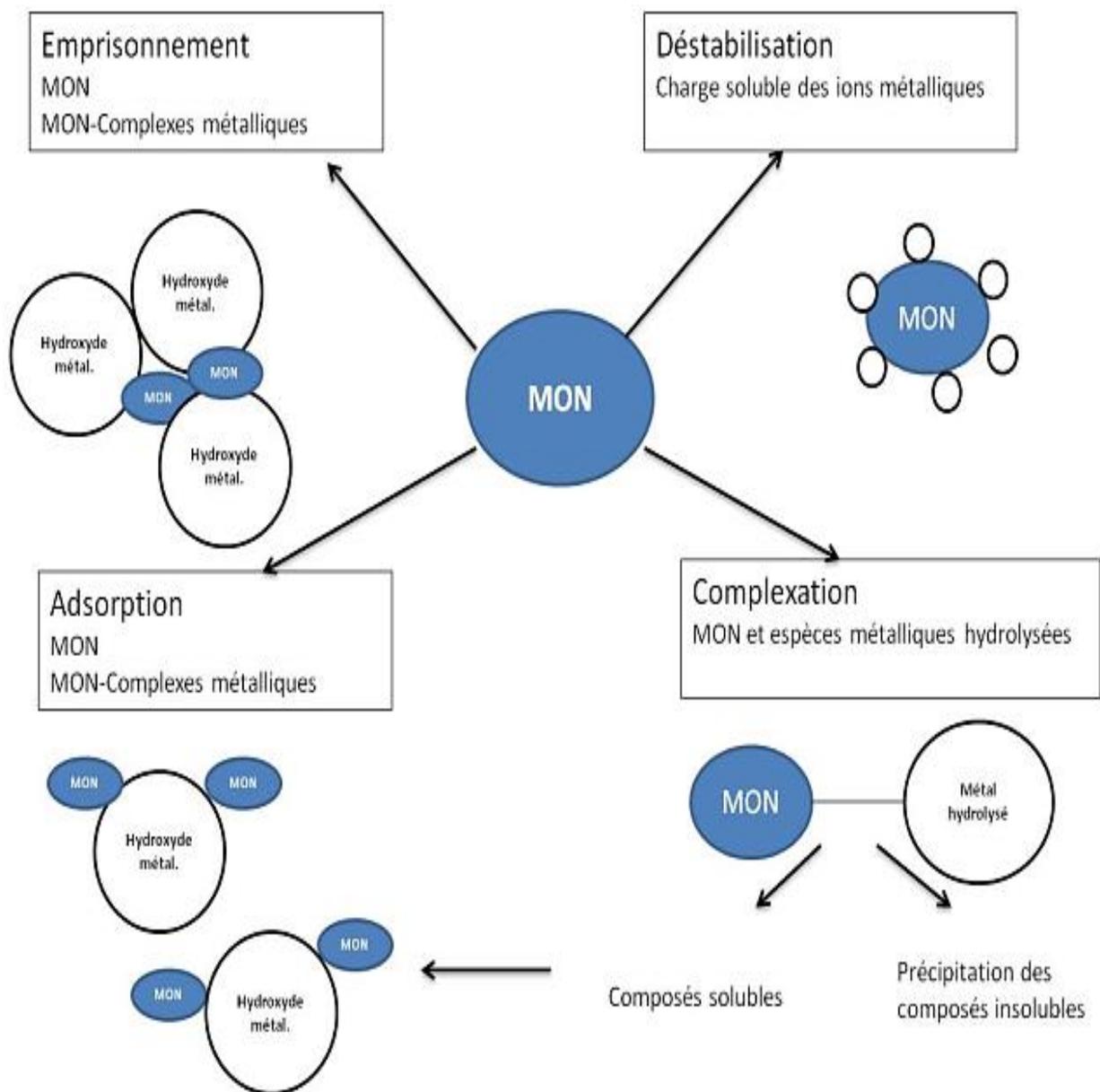


Figure 12 : Mécanismes de coagulation de la MON

## 1. COAGULATION DES COLLOÏDES ORGANIQUE (> 0,45 µm)

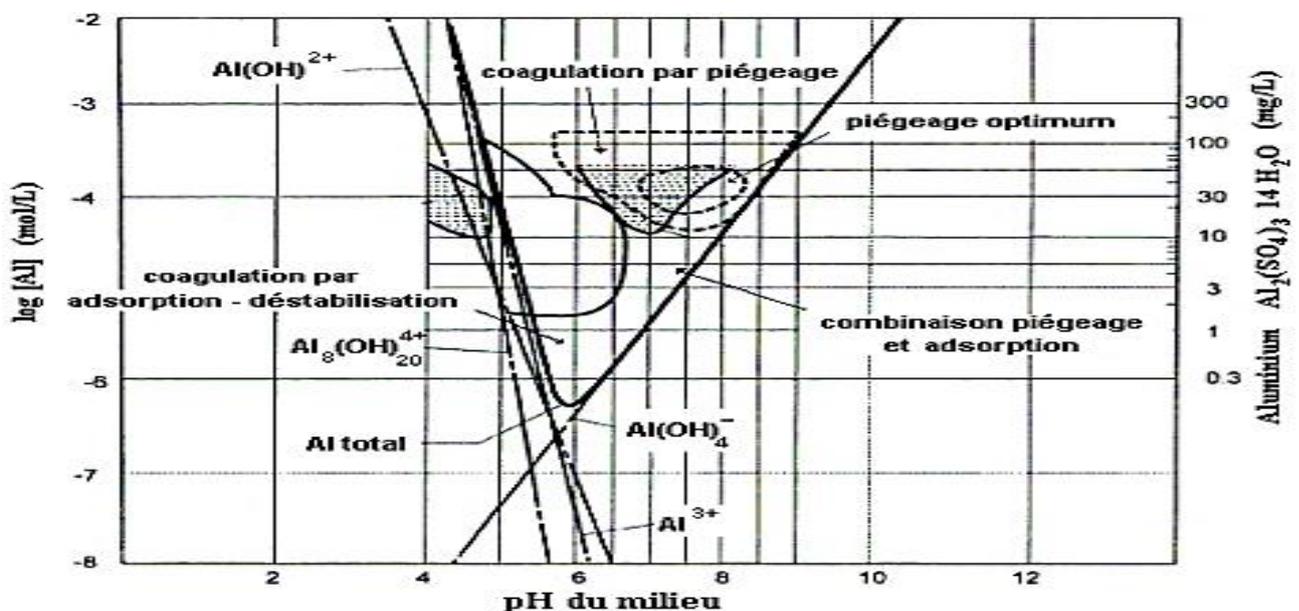
En raison des phénomènes de répulsion, les colloïdes forment généralement des suspensions très stables. Les phénomènes de coagulation agissent alors de manière à neutraliser leurs charges afin de favoriser leur agglomération et permettre leur décantation.

**Les mécanismes conduisant à cette déstabilisation des colloïdes ont été largement étudiés et peuvent être récapitulés comme suit :**

- Diminution de la charge des colloïdes par l'ajout du coagulant qui permet de comprimer leur double couche.
- Neutralisation de la charge restante par les monomères d'aluminium de manière à réduire la répulsion électrostatique inter-particules et favoriser les forces d'attraction.
- Adsorption des colloïdes neutralisés sur les hydroxydes d'aluminium ( $\text{Al}(\text{OH})_3(s)$ ) qui conduit à la formation de « floes ».

Une étape de floculation correspondant à l'agrégation des floes, est généralement intégrée à la fin de la coagulation afin de former des floes plus importants, d'une meilleure décantation et susceptibles de piéger les colloïdes restants.

**Amirtharajah** (1988) propose un diagramme de coagulation des colloïdes avec du sulfate d'aluminium représentant différentes zones en fonction du pH ou de la concentration en aluminium et correspondant à différents types de coagulation-floculation (15).



**FIGURE 13 :** Diagramme de coagulation au sulfate d'aluminium (15).

- **Zone de coagulation-floculation par neutralisation des charges (adsorption déstabilisation) :** Cette zone définit le domaine d'application de la théorie originale de la coagulation où les colloïdes sont déstabilisés par annulation des charges, abaissement des énergies de répulsion et compression de la double couche sous l'effet des espèces polycationiques de l'aluminium.
- **Zone de coagulation-floculation par piégeage :** Dans cette zone les colloïdes sont piégés par recouvrement avec  $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$  et précipitent.
- **Zone mixte :** Cette zone indique le domaine où peuvent coexister les deux mécanismes.

Toutes les zones situées en dehors du diagramme sont des zones de stabilité colloïdale qui correspondent soit à la formation d'espèces ne permettant pas la coagulation comme  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  soit à une concentration en aluminium trop faible.

## **2. COAGULATION DES COMPOSES ORGANIQUE DISSOUS (< 0,45 $\mu\text{m}$ )**

Comme les SH et une grande variété de composants simples (sucres, acides aminés, acides organiques) constituent l'essentiel de la MON. Les SH présentent une charge négative par l'ionisation de leurs groupements carboxyliques et phénoliques. Elles peuvent être considérées comme des poly-électrolytes anioniques de structure indéterminée, mais globalement de hauts poids moléculaires, définissables comme des colloïdes dissous. Leur élimination par des coagulants métalliques est connue depuis fort longtemps. La coagulation s'adresse préférentiellement aux AH en raison de leur plus haut poids moléculaires et de leur plus faible densité de charge. En fait il existe surtout deux mécanismes supposés pour l'élimination des SH par des coagulants **(16)** :

- ✓ La liaison d'espèces métalliques aux sites anioniques de la MON pour neutraliser les charges et diminuer sa solubilité. Pour des macromolécules, ceci peut conduire à la précipitation du complexe métal-MO, en formant des particules pouvant être éliminées par décantation ou filtration.
- ✓ L'adsorption des SH sur les précipités d'hydroxydes métalliques. A des pH de 5-6, les SH sont négativement chargées et les hydroxydes d'Aluminium sont positivement chargés, permettant une forte adsorption et quelques neutralisations de charge.

## CONCLUSION

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté un bref résumé sur les étapes conventionnelles de potabilisation d'une eau de surface dans une station de traitement. Parmi les procédés de traitement exposés, la coagulation paraît comme une étape de clarification très importante, elle vise essentiellement à éliminer les matières en suspension mais aussi divers SH par ajout d'un réactif coagulant souvent accompagné par des adjuvants chimiques. Mais comme il a été dit précédemment, la coagulation utilise des concentrations importantes des réactifs entraînant une augmentation de la salinité d'eaux et du volume de boues.

## INTRODUCTION

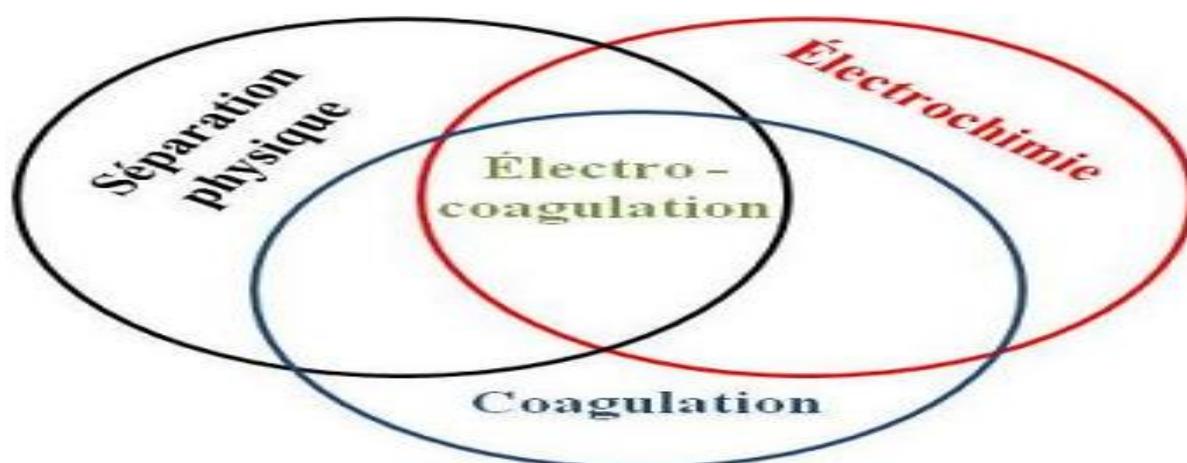
Les traitements électrochimiques comme l'électrocoagulation prennent de plus en plus leur place dans le traitement des eaux souterraines et de surface chargées en MO, le traitement des eaux usées municipales, la production d'eau ultra-pure, la décoloration des effluents textiles, puisqu'ils sont considérés comme ayant un bon potentiel d'assainissement et l'aspect moins polluant de l'électricité est encore plus intéressant. De plus, la facilité d'automatisation et la possibilité de coupler ce type de technologie avec d'autres méthodes de traitement (membranes) encouragent sa percée.

L'électrocoagulation a été découverte au XIX<sup>ème</sup> (19<sup>ème</sup>) siècle. C'est une technique offre la simplicité, l'efficacité, la compatibilité environnementale, la sécurité, la sélectivité, pour un faible coût. Elle est une technologie qui résulte de l'interaction de trois technologies qui sont : L'électrochimie, La coagulation et la flottation.

Dans les lignes qui suivent, nous avons donné une synthèse bibliographique qui rassemble des données essentielles sur l'électrocoagulation.

### *1. PRINCIPE DE L'ELECTROCOAGULATION*

L'EC est une technique électrochimique dérivée de la coagulation chimique classique. Dans le cas de l'EC, aucun ajout de produit chimique n'est effectué puisque les ions métalliques actifs proviennent directement de la dissolution des anodes. Cette situation permet donc de diminuer le coût d'utilisation de produits chimiques et diminue par le fait même la production finale de boues dont il faut disposer. De plus, les hydroxydes métalliques qui sont formés lors de l'EC ont une très grande habilité pour éliminer les polluants (17).



**Figure 14** : Les principaux processus formant le procédé d'électrocoagulation.

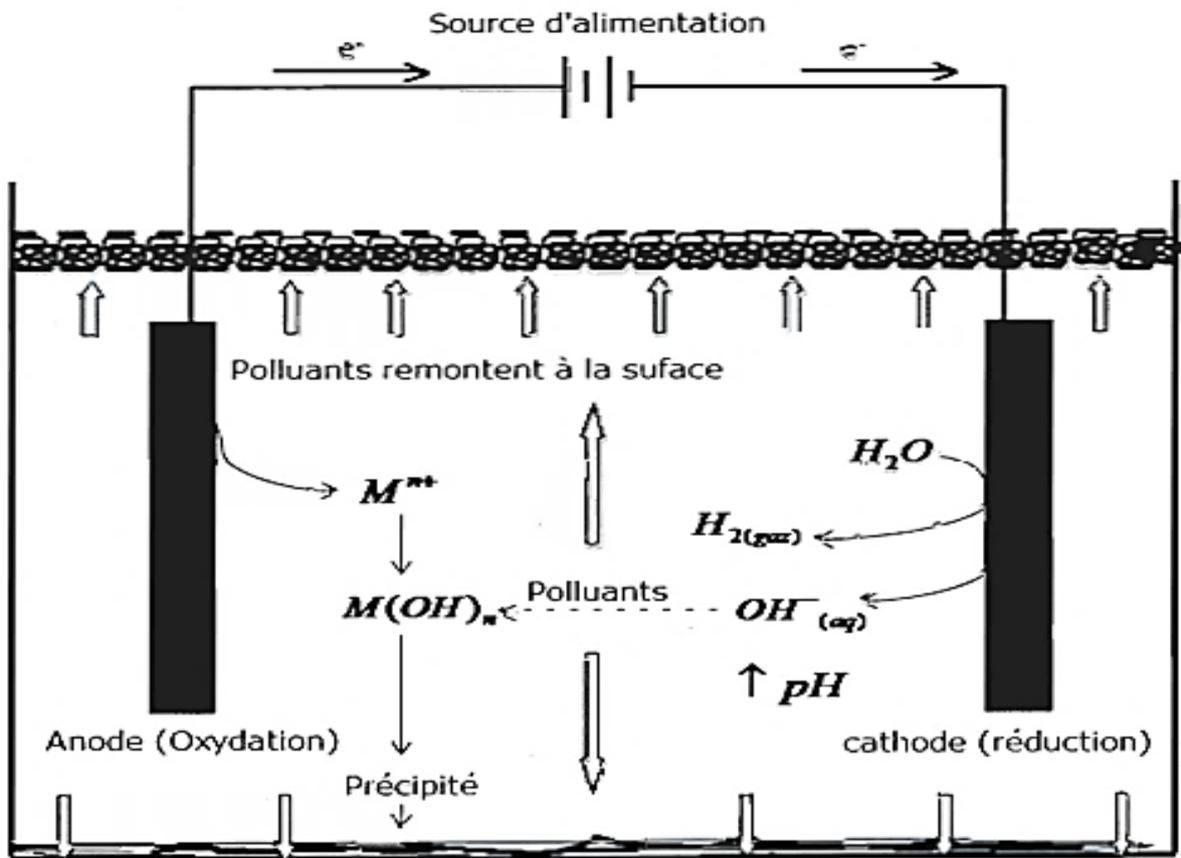


Figure 15 : Schéma du principe d'EC

## 2. TYPES DES ELECTRODES

Deux types d'électrodes peuvent être utilisés dans le traitement des eaux par EC :

Des électrodes de fer (acier doux) et des électrodes d'aluminium. Dans les deux cas, les matériaux utilisés peuvent être de qualité secondaire, ce qui diminue les coûts d'achat d'équipement. Ces matériaux sont choisis parce qu'ils permettent la production importante d'hydroxydes lors de l'imposition du courant, ce qui favorise la coagulation. L'anode soluble est donc composée d'un métal qui se dissout facilement sous le passage du courant, comme c'est le cas du fer ou de l'aluminium. De son côté, la cathode peut être également constituée de fer ou d'aluminium ou encore d'un autre métal. Lors de l'électrolyse, il n'y a pas de décomposition de la cathode induite par le courant électrique puisque le potentiel appliqué n'est pas excessif (18).

## 3. REACTIONS ELECTROCHIMIQUES AUX ELECTRODES

Les Principales réactions mises en jeu pour des électrodes en Aluminium (plus utilisé dans la production d'eau potable) soumises à un courant électrique sont les suivantes (19) :

### ✓ *Demi-réactions d'oxydation*

La principale réaction qui se produit à l'anode est celle de la production in-situ de cations métalliques multivalents dans le milieu aqueux. Il est alors question d'électro-dissolution de l'anode. Cette demi-réaction d'oxydation entraîne la solubilisation de l'aluminium solide sous la forme suivant :



Lors du processus d'oxydation, il peut aussi y avoir une autre réaction, secondaire, qui entraîne la formation d'oxygène par l'oxydation de l'eau. Cette demi-réaction se module en fonction du pH (acide ou basique) du milieu aqueux :



### ✓ *Demi-réactions de réduction*

Lors du processus de réduction, il y a formation de microbulles d'hydrogène par hydrolyse de l'eau à la cathode. Cette demi-réaction est, elle aussi, fonction du pH du milieu.

Sous conditions acides, la réduction de l'eau est la suivante:



Sous conditions basiques, elle prend la forme suivante:



La production du gaz se fait généralement au fond de la cellule et c'est donc lors du passage des bulles vers la surface que les particules de polluants s'accrochent à elles. Il y a ainsi formation à la surface d'une couche de mousse chargée en polluants qui est facilement récupérable par simple raclage. Cette technique s'appelle **L'électro-flottation**.

**Tableau 04** : Potentiel standard des demi-réactions impliquées dans le processus d'EC

Réactions d'oxydoréductions	$E^0$ (Volt)
$Al_{(s)} \rightarrow Al_{(s)} + 3e^-$	<b>-1,66</b>
$4OH^-_{(aq)} \rightarrow O_2\uparrow + 2H_2O_{(l)} + 4e^-$	<b>-0,40</b>
$2H_2O_{(l)} \rightarrow 4H^+_{(aq)} + O_2\uparrow + 4e^-$	<b>+1,23</b>
$2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)} + 2OH^-_{(aq)}$	<b>-0,83</b>
$2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)}$	<b>0</b>

✓ **Réaction au sein de la solution**

Les cations métalliques forment des complexes avec les ions hydroxydes. L'espèce majoritaire dépend du pH du milieu. Dans le cas de l'aluminium, on trouve une multitude de complexes anioniques et cationiques.

- **Les mono-complexes** :  $Al(OH)^{2+}$ ,  $Al(OH)_2^+$ ,  $Al(OH)_4^-$
- **Les poly-complexes** :  $Al_2(OH)_2^{4+}$ ,  $Al_2(OH)_5^+$ ,  $Al_6(OH)_{15}^{3+}$ ,  $Al_{13}(OH)_{34}^{5+}$
- Les espèces **amorphes** et **très peu solubles** (efficace) telles que :  $Al(OH)_3$ ,  $Al_2O_3$



#### 4. PRINCIPALE LOI REAGISSANT L'ELECTROCOAGULATION

Une des principales lois explicitant les réactions d'électrocoagulation est la seconde loi de Faraday. Cette loi montre que la quantité d'ions métalliques dissous par oxydation anodique est directement proportionnelle à l'intensité imposée et à la durée d'électrolyse mais inversement proportionnelle à la valence de l'ion émis **(20)**.

La seconde loi de Faraday relative à une électrode, comme :

$$m \text{ (théorique)} = \frac{M \cdot I \cdot t}{v \cdot F}$$

Avec :

**m** (théorique) : masse théoriquement dissoute en g.

**M** : masse molaire de l'ion considéré en  $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

**v** : nombre d'électrons mis en jeu dans la réaction considérée

**I** : intensité imposée aux bornes des électrodes.

**t** : durée d'électrolyse en s.

**F** : constante de Faraday =  $96485,3 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$

A partir de cette loi, il est possible d'estimer la masse d'électrode théoriquement consommée par électrolyse et en déduire un rendement anodique.

$$\mathbf{R}_{\text{(anode)}} = \frac{\text{masse expérimentalement dissoute (g)}}{\text{masse théorique donnée par la loi de Faraday (g)}}$$

Toutefois, lorsqu'il s'agit d'utiliser des électrodes d'aluminium, la quantité d'aluminium mise en solution par électro-dissolution semble supérieure à celle estimée à l'aide de la loi de Faraday. L'utilisation des cathodes en aluminium permis d'établir que la production des ions hydroxydes  $\text{OH}^-$  sur la face cathodique provoque également une dissolution de l'aluminium par augmentation locale du pH, ce qui contribue, de surcroît à la mise en solution d'aluminium dans le milieu aqueux **(21)**. Cette dissolution chimique prend la forme suivante:



## **5. FACTEURS INFLUENÇANT LE PROCÉDE D'EC**

### **5.1 Intensité du courant imposée**

L'intensité de courant imposée au système est un paramètre important puisqu'il permet, d'une part, de contrôler la cinétique électrochimique de la dissolution des électrodes anodiques et d'autre part, de contrôler le dégagement de bulles d'hydrogène sur les électrodes cathodique. En effet, si le courant est trop faible, une faible quantité d'hydroxydes sera produite, une faible quantité d'hydrogène sera dégagée à la cathode et le temps du processus devra être plus long afin d'obtenir une bonne qualité de l'eau traitée. Dans le cas contraire, un courant plus élevé

provoquera une augmentation de la vitesse de la réaction, mais dans ce cas, les électrodes seront attaquées plus rapidement, entraînant une consommation plus rapide des électrodes. De plus, la coalescence des bulles de gaz, ce qui réduit l'efficacité de l'EC, en diminuant le pouvoir de la flottation.

## 5.2 pH de l'eau brute

Le pH initial est également un paramètre clé à considérer lors du traitement par l'EC. Le pH initial de l'eau brute a un effet sur la conductivité de la solution, la dissolution des électrodes, et les espèces d'aluminium formées. De plus, il peut avoir un impact sur les bulles d'hydrogène formés à la cathode. Les espèces coagulantes les plus efficaces se forment dans les pH acides, neutres et légèrement alcalins car dans des conditions fortement basiques, les ions formés sont  $\text{Al(OH)}_4^-$  et ils présentent de faibles performances de coagulation. Il est recommandé d'appliquer le procédé d'EC à des pH proches de la neutralité car l'élimination des polluants est plus efficace dans ces conditions (22).

## 5.3 Effet de la distance inter-électrodes

La distance entre les électrodes influence directement la chute ohmique. En effet, pour une intensité de courant (**I**) constante, la diminution de la distance entre les deux électrodes favorise une diminution de la résistance (**R**) et par conséquent une diminution de la tension (**U**) et de la consommation énergétique.

Cependant, il faut garder une distance appropriée entre les électrodes afin d'éviter les courts circuits entre l'anode et la cathode.

## CONCLUSION

L'électrocoagulation est une technique de traitements qui a le même comportement que la coagulation classique. Elle présente des avantages tels que la quantité produite des boues et il n'y a pas d'ajout de produits chimiques. En plus lorsque le champ électrique crée entre les électrodes est très intense, entraîne la formation des pores dans la membrane des micro-organismes (bactéries, virus ...) qui provoquent la migration vers l'extérieur du contenu cellulaire et ainsi la mort **(23)**. Mais elle présente aussi des inconvénients en raison de la nature du processus, les électrodes sont sacrificielles et se corroderont avec le temps, nécessitant un remplacement. La nature du processus nécessite également de l'énergie électrique. Même si cela peut ne pas nécessiter beaucoup à la fois, dans certains endroits du monde, l'électricité peut être plus chère, ce qui peut augmenter les coûts de fonctionnement **(24)**.

## ***CONCLUSION GENERALE***

---

Les indicateurs de la présence de la MON les plus utilisés sont le carbone organique total (COT) ou le carbone organique dissous (COD) et l'absorbance ultraviolet à une longueur spécifique, soit 254nm (UV-254). Ces deux paramètres (COT et UV-254) sont complémentaires l'un de l'autre: le COT fournit des indications sur la quantité de la MON présente et disponible pour la réaction et le UV-254 indique plutôt sa réactivité, soit sa tendance à former des sous-produits de désinfection (SPD), puisque que c'est un indicateur des liens aromatiques contenus dans les substances humiques. Dans les deux cas, une augmentation de la valeur de ces paramètres tend à favoriser la formation des (SPD). D'autre part, il est prouvé que pour certains types d'eau, ces deux paramètres peuvent être fortement corrélés. Le COT des eaux superficielles comprend en moyenne 90 à 95% de carbone organique dissous (COD) et 5 à 10% de carbone organique particulaire (COP).

Pour qu'une eau de surface soit potable, elle doit subir plusieurs modifications physico-chimiques. La coagulation des matières organiques dissoutes (MOD) a été largement étudiée.

Des essais sont effectuées a pour but d'éliminer la (MOD) par coagulation (utilisation du sulfate d'aluminium). Ils consistent a enrichi l'eau distillée par des quantités constantes des substances humiques, et étudier l'évolution des rendements de l'élimination et du pH final des solutions en fonction de la dose de coagulants pour différents teneurs en substances humiques.

**Tableau 5 :** Rendements à doses optimale en sulfate d'aluminium au cours des essais de coagulation des SH sans ajustement du pH.

<i>Concentration initiale en SH (mg/l)</i>	<i>Dose optimale en sulfate d'aluminium (mg/l)</i>	<i>Rendement %</i>	<i>pH</i>
2	4	95.12	5.61
5	10	96.32	5.31
10	20	96.11	4.67

D'après ces résultats, nous pouvons constater que le rendement d'élimination des substances humiques s'améliore avec l'augmentation de la dose de coagulant, et avec la teneur initiale des substances humiques.

La structure chimique des SH et notamment le nombre et la position des fonctions phénoliques et carboxyliques pourrait conditionner l'efficacité du procédé de coagulation de ces substances. Le pH est un paramètre qui influence la coagulation des substances humiques puisqu'il conditionne d'une part la dissociation des groupements fonctionnel existant dans la structure de SH, et d'autre part la spéciation du coagulant (formes solubles ou insolubles, chargées ou neutres).

Dans ce contexte, VIK en (1984) réalise un travail conséquent démontre l'efficacité de produire l'eau potable à partir des eaux de surface fortement chargé en MON. En plus, il a prouvé que les métaux d'aluminium et fer capable de produire des coagulants très efficaces que celle proviennent des produits chimiques lors de la coagulation classique.

La difficulté majeure qui limite le développement de cette technique est le manque d'études de génie chimique destiné à son application.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) : A.Rezeg et S.Achour (2005) : Larhyss journal 4 , Laboratoire de recherche en Hydraulique souterraine et de surface 141-152.
- (3) : Mélanie Asselin (2007) : utilisation de l'électrocoagulation dans le traitement des eaux chargé en matière organique , Mémoire en Sc.Chimie.
- (4) : Veyssy E (1998) : Transferts de matières organiques des bassins versants : Thèse Univ.Bordeaux 262 .
- (5) : Cemagref (2004) : Facteurs expliquant la présence de matière organique dans les eaux superficielles. Rapport final.
- (6) : Sigg L , Behra P (1992) : Chimie des mileux aquatiques (chimie des eaux naturelles).
- (7) : WALL N.A (2003) : HUMIC ACIDS COAGULATION , INFLUANCE OF DIVALENT CATIONS 1573-1582.
- (8) : Thibaud H. (1987) : Contribution à l'étude du mécanisme de formation de la chloropicrine au cours de traitements oxydants : Application aux eaux à potabiliser. Thèse de Doctorat d'Université de Poitiers, N° 90, Poitiers.
- (9) : Astruc M (1986) : Propriétés des substances humiques des eaux continentales : Rennes
- (10) : MALLEVIALLE J . SCHMITT . BRUCHET A (1982) : Composées organiques azotés dans les eaux , inventaire et évolution dans différentes filières industrielles de production d'eau potable.
- (11) : Kruithof J.C (1994) : Drinking water production from surface water : 47-57
- (12) : Chitour C.E (1992) : physico-chimie des surfaces , les interfaces gaz-solide et solide-liquide .
- (13) : Bansal R , Donnet J.B (1988) : Active carbon : New york.
- (14) : Matilainen A (2010) : Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment : A review , 159.189-197.

- (15) : Linda Hecini (2016) :** Incidence de la coagulation-floculation sur l'élimination de la matière organique. Thèse de doctorat en hydraulique.
- (16) :** Abdelghani Tahiri , Jacqueline Destain , Philippe Druart (2013) : Propriétés physico-chimiques et biologiques des substances humiques.
- (17) :** A.Vik , D.A.Carlson , A.S.Eikum (1984) : Electrocoagulation of potable water 1355-1360.
- (19) :** V.I.Przhegorlinski , A.I.Ivanishvili , V.D.Grebenyuk (1987) : Dissolution of aluminium electrodes in the electrocoagulation treatment of water : 181-182.
- (20) :** G.A.Ottewill , F.C.Walash (1995) : Faraday's laws revisited : 158-162.
- (21) :** JIANG J.Q (2002) : LABORATORY STUDY OF ELECTRO-COAGULATION-FLOTATION FOR WATER TREATMENT : 4064-4078.
- (22) :** Chen G (2015) : Electrochemical technologies in waste water treatment : 11-41.
- (23) :** Luc Schrive , Guy Lumia , Florian Pujol (6 avril 2010) : Procédé de perméabilisation membranaire de cellules biologiques par l'utilisation d'un champ électrique pulse.
- (24) :** Genesis water tech ( 16 avril 2019) : avantages et inconvénients des méthodes de traitement des eaux

