



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique
et Populaire
وزارة التعليم والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement
Supérieur
et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي

Université Mohamed El
Bachir El Ibrahimide Bordj
Bou Arreridj



**Faculté des Sciences et de la Technologie Département Génie de
l'Environnement**

Mémoire

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER

Filière : *Sciences et Génie des Procédés de l'Environnement*

Option : *Génie des Procédés de l'Environnement*

THÈME :

Elimination du cuivre par l'extraction liquide-liquide

Préparé par : BENACHOUR Amani
BELAIFA Aya

Soutenu le : / / 2021

MERZOUQUI MOUFIDA	Président	M.A.B	Université Bordj Bou Arreridj
BAHAH SALAH	Rapporteur	M.C.B	Université Bordj Bou Arreridj
KARS HOUSSAM	Examineur	M.C.B	Université Bordj Bou Arreridj

Année Universitaire 2020-2021

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A ma fleur de mes espérances, la source de la tendresse à la plus belle personne : ***à mamère***, je te dis que tu resteras toujours la plus adorable dans ma vie. A celui qui m'a donné l'espoir et le courage nécessaire pendant mon long trajet d'étude, ***à mon cher père***, je vous estime fort ainsi que je vous aime.

A mes chers frères et surtout le plus cher de mon cœur Omar.

A mes chères sœurs

A mes chères tantes Naaima, Noura, Halima, Samra.

A mes chers petits neveux et nièces

Karim, Yanis, Amira, Malek, Amine, Mahdi, Yasser, Oussama.

A toute ma famille

A mes amis de toujours Selma Mredef, Imen mazaache, Houda Skhara, Cheyma Khalfellah, Rahma Benmsahel, Warda Hamadi, Sarah Gouni, et tous ceux qui m'ont encouragé tout au long de mes études.

Amani

DEDICACE

Je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont soutenu durant tout le chemin que j'ai dû passer pour en arriver là où j'en suis aujourd'hui.

A ma mère, source de tendresse et d'amour pour son soutien durant toute ma vie scolaire.

A mon père, pour sa bienveillance et ses bons conseils.

A mes sœurs :

Jiji, Nino, Asma, Alaa, Iline, Tasnim.

Mes frères :

Salah, Zaki.

A mes binômes, qui ont toujours étaient là à m'encourager et me pousser pour une bonne continuation.

A tous mes collègues de l'université et à mes chères amies.

Aya

REMERCIEMENTS

Ce travail a été effectué au laboratoire à Département de Génie des Procédés de l'Environnement, la Faculté des Sciences et de la technologie de l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arreridj.

Nous remercions tout d'abord le bon Dieu, le tout puissant pour la volonté et le courage qu'il nous a donné pour avoir terminé ce travail.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à Monsieur **BAHAH**, M.C.B à l'université de Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arreridj, qui nous encadre avec compétence, disponibilité et efficacité lors de l'accomplissement de ce travail. Nous lui sommes particulièrement reconnaissants pour tous ce qu'il nous appris et pour ces nombreux conseils.

Mes sincères remerciements vont également à **M.MERZOUGUI** M.A.B à l'université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arreridj, pour l'honneur qu'elle me fait d'avoir acceptée d'être Présidente du jury de soutenance de ce mémoire.

Nous remercions également monsieur **H.KARS** M.C.B à l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arreridj, pour l'aide précieuse qu'elle m'a apportée à chaque fois que je la sollicite. Je la remercie également d'avoir accepté d'être membre de jury de ce mémoire.

Nous tenons à remercier tout particulièrement mademoiselle **Z. TOUATI**, pour ses conseils pratiques, son aide, sa bonne humeur et pour ces nombreuses qualités humaines. Nous remercions également tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, nous les remercions et nous leur présentons nos totales gratitudees.

Enfin nous remercions nos familles. Merci à nos parents pour nous avoir toujours soutenu dans nos choix, pour nous avoir encouragés et qui ont fait ce que nous sommes. Merci à nos sœurs et nos frères, qui nous ont toujours encouragés.

Résumé :

Dans ce travail nous nous sommes intéressés à l'étude de l'effet du solvant sur l'extraction liquide- liquide du cuivre par l'utilisation l'acide benzoïque en tant qu'extractant, à l'aide d'un force ionique NaNO_3 , et cela afin de déterminer les meilleurs paramètres d'extraction de cuivre. L'extraction du cuivre a été étudiée en fonction de le type de solvant, le pH de la phase aqueuse, et de la température. Enfin l'utilisation d'une huile végétale (huile lentisque) comme neveux extractant testé pour savoir leur efficacité par rapport aux autres solvants organiques.

Le rendement d'extraction liquide-liquide de cuivre dans les différents solvants a été augmentédans l'ordre suivant :

Cyclohexane < xylène < toluène.

A la fin, nous avons remplacé les solvants précédent par un produit naturel (chimie vert) .l'huile végétale utilise a donn meilleure rendement d'extraction par rapport aux autres solvants.

Mots clés : Extraction liquide-liquide, solvants, huile végétale.

ملخص

نهتم في هذا العمل بدراسة تأثير المذيب على السائل لاستخلاص النحاس عن طريق استخدام حمض البنزويك كمستخرج، باستخدام القوة الأيونية NaNO_3 ، وذلك من أجل تحديد أفضل معاملات استخلاص النحاس. تمت دراسة استخلاص النحاس حسب نوع المذيب ودرجة الحموضة للمرحلة المائية ودرجة الحرارة. أخيراً، تم اختبار استخدام الزيت النباتي (زيت العدس) كعامل مستخرج لمعرفة مدى فعاليته مقارنة بالمذيبات العضوية الأخرى.

تمت زيادة إنتاجية الاستخلاص السائل للنحاس في المذيبات المختلفة بالترتيب التالي:

حلقي الهكسان، زيلين، تولوين.

في النهاية استبدلنا المذيب السابق بمنتج طبيعي (كيمياء خضراء) وزيت نباتي أعطى أداء استخلاص أفضل مقارنة بالمذيبات الأخرى.

الكلمات المفتاحية: استخلاص سائل - سائل، مذيبات، زيت نباتي.

Abstract

In this work we are interested in the study of the effect of the solvent on the liquid-liquid extraction of copper by the use of benzoic acid as an extractant, using an ionic strength NaNO_3 , and this in order to determine the best copper extraction parameters.

The extraction of copper was studied according to the type of solvent, the pH of the aqueous phase, and the temperature. Finally, the use of a vegetable oil (lentisk oil) as an extractant nephew tested to know their effectiveness compared to other organic solvents.

The liquid-liquid extraction yields of copper in the different solvents were increased in the following order:

Cyclohexane < xylene < toluene.

In the end, we replaced the previous solvent with a natural product (green chemistry). Vegetableoil which gave better extraction performance compared to other solvents

Keywords: Liquid- liquid extraction, solvents, vegetable oil.

Liste des figures	X
Liste des tableaux.....	IX
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralité sur la pollution et les Métaux lourds	
I.1 Introduction	3
I.1.1 Pollution de l'eau.....	3
I.1.2 Définition.....	3
I.1.3 Type de pollution.....	3
I.1.3.1 Pollution chimique.....	3
I.1.3.2 Pollution biologique.....	3
I.1.3.3 Pollution physique	4
I.1.4 Source de pollution de l'eau	4
I.1.4.1 Sources voie naturelle	4
I.1.4.2 Source entropique et leur voie	5
I.1.5 Principaux polluant de l'eau.....	5
I.1.5.1 Polluants biologiques	6
I.1.5.2 Polluants chimiques.....	6
I.1.5.3 Polluants physiques.....	6
I.2 Généralités sur les métaux lourds.....	7
I.2.1 Définition.....	7
I.2.2 Classification des métaux lourde	7
I.2.2.1 Métaux essentiels.....	7
I.2.2.2 Métaux toxiques.....	7
I.2.3 Origine des métaux lourde.....	7
I.2.3.1 Source naturelle.....	8
I.2.3.2 Source entropique.....	8
I.3 Cuivre.....	8
I.3.1 Généralité.....	8
I.3.2 Origine.....	8
I.3.3 Utilisation du cuivre	9
I.3.4 Propriété physico-chimie.....	9
I.3.5 Normes et règlements.....	9
I.3.6 Propriété physique	10
I.3.7 Effet de cuivre sur la sente.....	11

I.3.8 Effet de cuivre sur l'environnement	11
I.3.9 Traitement d'élimination de cuivre.....	11
I.3.9.1 Coagulation.....	11
I.3.9.2 Filtration du sable.....	12
I.3.9.3 Pré chloration.....	12
I.3.9.4 Décarbonatation.....	12
I.3.9.5 Adsorption	12
I.3.9.6 Extraction liquide-liquide.....	12
Conclusion.....	12
Chapitre II : Extraction liquide-liquide	
Introduction.....	13
II.1 Principe de base de l'extraction liquide-liquide.....	13
II.2 Méthode d'extraction liquide-liquide.....	14
II.2.1 Extraction simple.....	14
II.2.2 Extraction multiple.....	14
II.2.3 Extraction par paire d'ion.....	15
II.2.4 Extraction liquide-liquide sur support solide	15
II.3 Coefficient de partage et taux de distribution.....	15
II.4 Rendement d'extraction.....	16
II.5 Solvant.....	16
II.5.1 Définition.....	16
II.5.2 Type des solvants	17
II.5.2.1 Solvants protiques et polaires	17
II.5.2.2.Solvants aprotiques et apolaires	17
II.5.3. Huile de lentisque.....	17
II.5.3.1. Définition	17
II.5.3.2 Caractéristiques.....	18
II.5.3.3 Propriétés de l'huile lentisque.....	18
II.5.3.3Utilisation de l'huile lentisque	18
II.5.4 Classification	18
II.5.4.1 Hydrocarbures non substitués (solvants pétroliers).....	19
II.5.4.2 Hydrocarbures halogénés.....	19
II.5.4.3 Dérivés oxygénés	19
II.5.4 Utilisations.....	19
II.5.5 Choix du solvant.....	19
II.6 Paramètre d'influençant de l'extraction.....	20

II.7 Avantages et inconvénients de l'extraction liquide-liquide.....	20
II.7.1	
Avantages.....	20
II.7.2 Inconvénients et solutions.....	20
Conclusion.....	21
Chapitre III : Matériel et Méthode	
Introduction.....	22
III.1 Techniques et appareillages utilisés.....	22
III.1.1 Spectroscopie l'UV/Visible.....	22
III.1.2 Spectre UV-Visible.....	22
III.1.3 Matériel et les produits.....	23
III.1.3.1 Matériel.....	23
III.1.3.2 Appareillage.....	23
III.1.3.3 Produits.....	24
III.1.3.4 Solvants organiques.....	24
III.2 Propriété des solvants.....	24
III.3 Caractéristique de l'huile de lentisque.....	25
III.4 Propriétés de l'huile essentielle de lentisque pistachier	26
III.5 Protocoles de l'extraction liquide-liquide.....	26
III.6 Résultats et discussion.....	27
III.6.1 Préparation des solutions de cuivre (II).....	27
III.6.2 Effet de pH.....	28
III.6.3 Effet de solvant	35
III.6.3.1 Effet de solvant sur l'extraction du cuivre par l'acide benzoïque.....	35
III.6.3.2 Effet de solvant sur la distribution à pH =3.....	35
III.6.3.3 Effet de solvant sur D à pH=6.....	36
III.6.3.4 Effet de solvant sur D à pH=8.....	37
III.6.4 Effet de température.....	38
Conclusion générale.....	40

Liste d'abréviation

C : Concentration molaire.

M : Masse molaire.

m : Masse.

A : Absorbant.

D : Coefficient de distribution.

E% : Rendement d'extraction.

Org : Phase organique.

Aqu : Phase aqueuse.

pH : Potentiel D'hydrogène.

Cu : Cuivre.

NaNO₃ : Nitrate de sodium.

C₇H₆O₂ : Acide benzoïque.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

CAG : Charbon actif en grain.

SPE : Solide phase l'extraction.

HCL : L'acide chlorhydrique.

NaOH : L'Hydroxyde de sodium.

T : Température.

UV : Ultra-violet.

T : Nombre ou nous forme pourcentage.

I₀ : Intensité de la lumière incidente.

I : Quantité de lumière.

Liste des figures

Figure I. 1	Principales sources naturelles et anthropiques des polluants de l'eau	6
Figure I. 2	Symbole du cuivre	9
Figure I. 3	Quelques utilisations du cuivre (a- b- c)	10
Figure II. 1 :	Schéma de principe de l'extraction liquide-liquide	15
Figure II. 2 :	Les différents types d'extraction	16
Figure II. 3 :	Réaction soluté solvant	18
Figure III. 1	Appareil de l'UV/visible.	24
Figure III. 2	Courbe d'étalonnage	29
Figure III. 3	Coefficient de distribution à différents pH	31
Figure III. 4	Pourcentage d'extraction à différents pH	32
Figure III. 5	Coefficient de distribution à différents Ph	32
Figure III. 6 :	Pourcentage d'extraction à différents pH	33
Figure III. 7 :	Coefficient de distribution à différents pH	33
Figure III. 8 :	Pourcentage d'extraction à différents Ph	34
Figure III. 9 :	Coefficient de distribution à différents pH	34
Figure III. 10	Pourcentage d'extraction à différents pH	35
Figure III. 11	Coefficient de distribution de type solvant à pH=3	35
Figure III. 12	Pourcentage d'extraction en fonction de type solvant à pH=3	36
Figure III. 13	Coefficient de distribution en fonction de type solvant à pH=6	36
Figure III. 14	Pourcentage d'extraction en fonction de type solvant à pH=6	37
Figure III. 15	Coefficient de distribution en fonction de type solvant à pH=8	38
Figure III. 16	Pourcentage d'extraction en fonction de type solvant à pH=8	38
Figure III. 17	Effet de la température en fonction le coefficient de distribution (D)	39
Figure III. 18	Effet de la température sur le pourcentage d'extraction	39

Liste des tableaux

Tableau I. 1	Quelques propriétés physico-chimiques du cuivre	10
Tableau I. 2	Qualité d'une eau potable selon l'OMS	11
Tableau I. 3	Normes Algériennes des rejets	11
Tableau II. 1	Type des solvants	19
Tableau III. 1	Propriété (physico-chimique) des solvants utilisés nondéfini.	25
Tableau III. 2	Concentration en phase aqueuse et en phase organique, le coefficient de distribution, et le pourcentage d'extraction cas du toluène	31
Tableau III. 3	Concentration en phase aqueuse et en phase organique, le coefficient de distribution, et le pourcentage d'extraction. Cas de xylène	32
Tableau III. 4	Concentration en phase aqueuse et en phase organique, le coefficient de distribution, et le pourcentage d'extraction. Cas de cyclohexane	33
Tableau III. 5	Concentration en phase aqueuse et en phase organique, le coefficient de distribution, et le pourcentage d'extraction. Cas d'huile végétale (huile de lentisque)	34
Tableau III. 6	Effet de température sur l'extraction de cuivre pour l'huile de lentisque.	38

Introduction Générale

Introduction générale

Les métaux lourds (cadmium, plomb, mercure, chrome, cuivre...) constituent un Problème préoccupant lorsqu'ils sont impliqués dans la pollution des ressources en eau.

Leur impact sur l'environnement se manifeste, non seulement, par leur toxicité forte et néfaste pour le milieu aquatique, mais également par leur accumulation dans les organismes vivants provenant de la chaîne alimentaire [1].

De multiples activités humaines sont responsables de cette pollution et la principale source est d'origine industrielle (métallurgie, tannerie, galvanisation,...) [2].

Actuellement, l'exigence de la protection de l'environnement peut être résolue via différents procédés physico-chimiques, cependant, le problème de la valorisation reste entier. En effet, il existe plusieurs procédés qui permettent de récupérer les métaux lourds contenus dans les effluents aqueux parmi lesquels on peut citer la précipitation, l'adsorption, la séparation par membrane, l'extraction liquide-liquide [3-5].

L'extraction liquide-liquide joue un rôle très important dans divers secteurs industriels et ses applications couvrent les champs des industries de chimie organique, minérale, pétrochimique, nucléaire...etc. [6].

C'est une technique efficace et peu coûteuse, elle est capable de répondre aux critères de sélectivité, de productivité et de pureté.

L'extraction liquide-liquide est la plus utilisée ces dernières décennies, elle constitue une opération fondamentale en génie chimique. C'est un procédé qui permet la séparation d'un ou des plusieurs constituants d'un mélange en mettant à profit leur distribution inégale entre deux liquides non miscibles. Les méthodes d'extraction se basent essentiellement sur le suivi d'équilibre, et donc le transfert de masse ne peut être ignoré.

Dans le but d'optimiser le fonctionnement d'un procédé d'extraction liquide-liquide, il est extrêmement important de prendre en compte, d'une part, le choix de l'extractant qui devra être le plus performant possible et d'autre part, il est nécessaire de bien connaître les facteurs qui gouvernent les mécanismes mis en jeu pour prévoir les interactions entre le soluté et le solvant afin d'améliorer le processus. Le solvant joue un rôle important avec une forte interaction avec l'extractant qui peut se traduire par une modification de la solubilité du complexe dans les différentes phases. Il influe fortement sur les caractéristiques du système étudié. Le choix d'un solvant est l'un des sujets les plus essentiels dans l'extraction par solvant.

Dans ce contexte, nous avons entrepris dans ce travail l'étude sur l'extraction par solvant du cuivre en utilisant l'acide benzoïque et la force ionique nitrate de sodium (NaNO_3).

Le but consiste à déterminer les principaux paramètres d'extraction de cuivre. La détermination et l'amélioration de ces paramètres se feront par la variation : du pH de la phase aqueuse, de la concentration de l'extractant, ainsi que la nature du solvant.

L'objectif principal de notre travail, est non seulement d'extraire et séparer le cuivre, mais aussi d'étudier l'influence du type de solvant, le pH, la concentration, et la température sur l'efficacité de l'extraction. En plus, de rechercher un meilleur solvant, pour meilleur rendement d'extraction.

Plusieurs solvants non polaires et polaires comme : le cyclohexane, le toluène, le xylène et l'huile végétale ont été utilisés pour réaliser ce travail. Ce manuscrit, outre l'introduction et la conclusion générale, est divisé en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, on rappellera brièvement les type de pollution, les sources de pollution de Eau, principaux polluants de l'eau, les propriétés physico-chimiques du cuivre .puis quelques techniques de leur séparation.

Le chapitres II on parle sur Principe de base de l'extraction liquide – liquide, les Méthodes d'extraction liquide-liquide et les paramètres d'extraction, Ensuite on présentera une description du solvant, type et classification des solvants et leur utilisation. Enfin, les Avantages et inconvénients de l'extraction liquide-liquide.

Le dernier chapitre consacré au protocole d'extraction, les produits et les matériels utilisés et l'étude de l'effet du solvant sur l'extraction du Cuivre. Les effets des conditions expérimentales tels que : le pH de la phase aqueuse, la concentration de 'extractant dans la phase organique, la température et le type du solvant sont examinés et discutés. Pour déterminer les paramètres d'extraction, la courbe étalonnage, l'analyse par l'UV visible de la phase aqueuse avant et après l'extraction a été réalisée dans différents solvants et l'huile végétale.

Chapitre I

Généralité sur la pollution et les métaux lourds

Introduction

La contamination et la pollution se rapportent toute les deux à la présence des produits chimiques dans l'environnement. La contamination se réfère à la présence d'un ou plusieurs produits chimiques à des concentrations plus hautes que la normale, mais non assez pour causer des dégâts biologiques ou écologiques [7].

Cependant le verbe Polluer est dérivé du latin pollué : de faute ou de corruption. De ce fait le sens le plus commun est de faire quelque chose d'impropre ou nuisible pour les êtres vivants, en particulier par l'ajout des déchets ou des eaux usées [8].

Les polluants peuvent être également caractérisés par leur classes chimiques ou physiques, par leur utilisation, par leur source industrielle, par la forme ou ils sont susceptibles d'être présents (dans l'air, l'eau, la nourriture ou d'autres médias), par les organes qu'ils attaquent ou leur effet sur la santé, par les lois qui contrôlent leur utilisation et par leur forme de présences causant problème à l'échelle local, régional ou mondial. Tous ces systèmes de catégorisation sont valides mais aucun n'est sans défauts [9].

I.1 Pollution de l'eau

I.1.2 Définition

L'eau est la deuxième en importance après l'air pour la vie humaine sur Terre. Notre eau est composée d'eau de surface telle que les rivières, les lacs, les mers et d'eau souterraine [10]. La pollution de l'eau décrit généralement l'introduction ou la présence des substances nocives ou inacceptables dans l'ampleur suffisante pour modifier les indices de qualité de l'eau naturelle [11]. La pollution de l'eau douce (par exemple par le biais de l'eutrophisation, l'acidification, et la pollution des eaux souterraines) est celle qui diminue sa pureté [12].

I.1.3 Types de la pollution

I.1.3.1 Pollution chimique

Ce sont des pollutions dues au déversement de substance chimiques telles que les hydrocarbures, les détergents, les biocides (pesticides), métaux lourds [13].

I.1.3.2 Pollution biologique

Il peut s'agir de pollution par micro-organisme : les germes (bactéries, virus, champignons, etc) provenant des égouts peuvent proliférer à leur arrivée dans le milieu marin, même s'il est vrai qu'il s'agit d'un milieu qui ne favorise pas la vie de la plupart des agents pathogènes. Il peut également s'agir de l'introduction d'une espèce marine dans une zone où elle est normalement absente et dans laquelle elle a un impact non négligeable (ex : *Caulerpa taxifolia*). En eau douce,

l'exemple de la jacinthe d'eau est frappant : introduite par l'homme, elle a depuis colonisé une grande partie des cours d'eau de la zone intertropicale, éliminant la majorité des espèces de plantes aquatiques indigènes et affectant profondément les écosystèmes limniques (rivières et lacs) [13].

I.1.3.3 Pollution physique

On parle de pollution physique lorsque le milieu marin est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Il peut s'agir :

- d'un rejet d'eau douce qui fera baisser la salinité d'un lieu, d'un rejet d'eau réchauffée ou refroidie (par une centrale électrique ou une usine de regazéification de gaz liquide),

- d'un rejet de liquide ou solide de substance modifiant la turbidité du milieu (boue, limon, ...), d'une source de radioactivités ... La plupart du temps, un rejet n'est jamais une source unique et les différents types de pollution sont mélangés et agissent les uns sur les autres. Ainsi, un égout rejette des déchets organiques, des détergents dont certains s'accompagnent de métaux lourds (pollution chimique), des micro-organismes (pollution biologique), le tout dans de l'eau douce (pollution physique) [13].

I.1.4 Sources de pollution de l'eau

En général, les eaux souterraines sont moins vulnérables à la pollution que les eaux de surface.[14]. Il existe des sources naturelles de contamination des eaux, tels que les ressorts des poisons, les suintements de pétrole, l'érosion et la sédimentation (figure I.1) ; mais la plupart des discussions sur la pollution de l'eau se rapportent aux changements d'origine humaine qui affectent la qualité de l'eau ou son utilisation [8]. La pollution de production peut être considérée sous la rubrique des quatre grands secteurs d'activités humaines : l'industrie, l'énergie, le transport et l'agriculture. Avec l'augmentation marquée de la population et l'industrialisation, un nouvel ensemble des polluants est apparu [9].

I.1.4.1 Sources et les voies naturelles

- A.** Les retombées océaniques et les sels ;
- B.** Le lessivage des sols et l'érosion ;
- C.** La dissolution minérale par les eaux souterraines ;
- D.** Les processus biogéochimiques dans les écotones ;
- E.** Les processus au sein des masses d'eaux ;
- F.** L'évaporation.

I.1.4.2 Sources anthropiques et leurs voies

- G. La pollution atmosphérique ;
- H. La libération directe des eaux des mines,
- I. La sortie des eaux usées urbaines ;
- J. Le rejet des déchets industriels dans les eaux ;
- K. Les eaux de ruissellement provenant des terres agricoles ;
- L. Les eaux de ruissellement provenant des zones urbaines ;
- M. Les eaux de ruissellement provenant des résidus des mines ;
- N. Le lessivage des sols contaminés aux eaux souterraines ;
- O. La lixiviation de résidus de mines des eaux souterraines, des décharges de polluants ;
- P. Les fuites ;
- Q. Les libérations des déchets vers les eaux souterraines.
- R. Les canalisations ;
- S. Les barrages

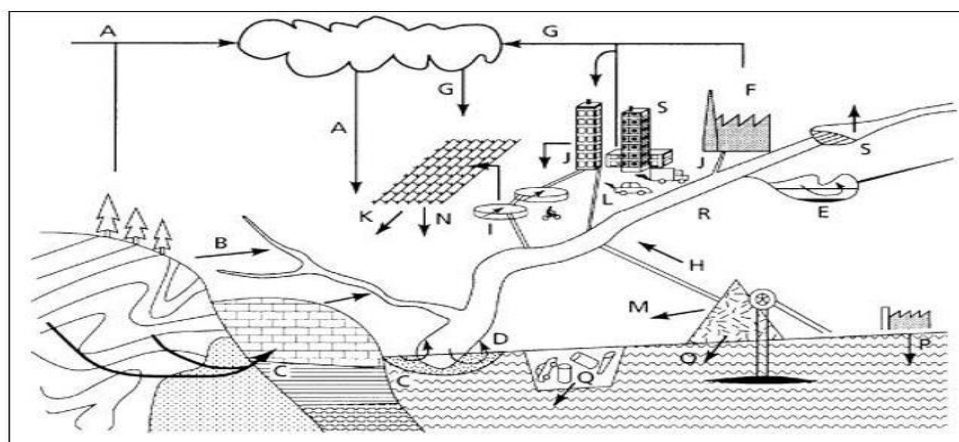


Figure I. 1 : Principales sources naturelles et anthropiques des polluants de l'eau [15].

I.1.5 Principaux polluants de l'eau

I.1.5.1 Polluants biologiques

Les humains sont les plus importants pollueurs biologiques de la planète : les contaminants fécaux sont parmi les polluants biologiques des sources d'eau potable ; par conséquence l'homme et les animaux domestiques sont souvent contaminés par des microbes pathogènes [16]. Les bactéries présentes dans la matière organique peuvent avoir des effets néfastes sur la santé humaine et animale [17], telles que les streptocoques [18], *Cryptosporidium*, *Escherichia coli*

O157, etc [19]. En outre la pollution virale de la biosphère peut aussi avoir des effets dévastateurs et selon les estimations, il y en a dix fois plus de virus sur la Terre que l'ensemble des cellules vivantes [16].

I.1.5.2 Polluants chimiques

Les industries chimiques continuent à synthétiser des milliers de substances chaque année. Plusieurs de ces produits sont spécifiquement conçus pour être toxiques et persistants. Cependant, les contaminants les plus nuisibles à la santé sont les produits chimiques d'origines naturelles qui se trouvent habituellement dans les eaux souterraines [20]. Le groupe des matières inhibitrices englobant :

- Le fluor quand sa concentration dépasse les 10 mg / l -Le sélénium: se trouvant surtout au voisinage des mines.

1. L'uranium : se trouve dans les eaux souterraines, associé aux roches granitiques et aux autres dépôts minéraux. [14]. Les métaux lourds, et les solvants, tels que le tri et tétrachloréthane, qui se trouvent parfois dans les eaux souterraines et les hydrocarbures en particulier les huiles de pétrole [21]. Un autre ensemble qui regroupe : l'azote organique et ammoniacal, le phosphore et les composés organohalogénés.

2. les sels minéraux.

3. Les hydrocarbures aromatiques à faible poids moléculaires... à des concentrations moins de 30 µg/l [14]. Les produits utilisés dans le traitement des eaux potables destinés à éliminer les microorganismes, augmenteront dans de nombreux cas les contaminants chimiques. Néanmoins, le processus peut en lui-même conduire à la formation d'autres contaminants tels que les trihalométhanes et les acides halo- acétiques provient de la réaction chimique des oxydants naturels avec les matières organiques.

Le traitement des eaux, cependant, peut prendre de nombreuses formes et peut utiliser différents produits chimiques y compris : le chlore, les chloramines, le dioxyde de chlore et l'ozone [14].

I.1.5.3 Polluants physiques

La pollution physique est due essentiellement aux substances en suspension (matières solides) [22]. Bien que sa forme commune est la pollution thermique [11]. Elle peut englober également plusieurs autres aspects : couleur, transparence, pH dont on peut citer :

- Les matières en suspension désignent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau et la troublent.

- Les déchets solides divers (objets d'origines variés) posent des problèmes d'esthétiques.
- Les matières colorantes modifiant la transparence du milieu.
- La pollution thermique due au rejet des eaux utilisées pour le refroidissement des installations industrielles diverses.
- Les acides et les alcalins déchargés par l'industrie chimique et d'autres installations industrielles [23].

I.2 Généralités sur les métaux lourds

I.2.1 Définition

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm^3 . Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse etc [24]. d'un point de vue chimique, les éléments de la classification périodique formant des cations en solution sont des métaux.

d'un point de vue physique, le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique supérieure à 5 g/cm^3 [25].

d'un autre point de vue biologique, on en distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : métaux essentiels et métaux toxiques.

I.2.2 Classification des métaux lourds

I.2.2.1 Métaux essentiels

Sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques. Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du zinc (Zn), du fer (Fe). Par exemple, Le zinc (Zn), à la concentration du milli molaire, est un oligo-élément qui intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques (déshydrogénases, protéinase, peptidase) et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides [26].

I.2.2.2 Métaux toxiques

Ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les Organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour La cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (cd) [27].

I.2.3 Origine des métaux lourds

I.2.3.1 Sources naturelles

Les métaux lourds sont présents naturellement dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fond géochimique [28]. Parmi les importantes sources naturelles, citons l'activité volcanique, l'altération des Continents et les incendies de forêts. La contribution des volcans peut se présenter sous forme d'émissions volumineuses dues à une activité explosive, ou d'émissions continues de faible Volume, résultant notamment de l'activité géothermique et du dégazage du magma [29].

I.2.3.2 Sources anthropiques

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux d'origine Naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes [30].

I.3 Cuivre

I.3.1 Généralités

Le Cuivre, de symbole Cu et de numéro atomique 29 (figure I.2), est un élément de la colonne 11 et de la 4ème période du bloc d du tableau périodique. C'est un métal de transition. Il est stable. Sa masse molaire est de 63,546 g/mol [31]. Naturellement, il est présent dans la croûte terrestre sous forme de sulfures (CuFeS_2), (CuS), de carbonates $\text{Cu}^3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ ou d'oxyde Cu_2O . Il est appelé le métal rouge et c'est le plus ancien métal utilisé par l'homme [32].

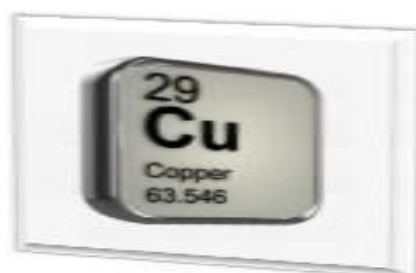


Figure I. 2 : Symbole du cuivre.

Le cuivre est à la fois vital et toxique, il a un rôle important dans les études environnementales et de santé. Il est un micronutriment nécessaire à la croissance des plantes et des productions d'hémoglobine de sang toxique pour les plantes aquatiques et les poissons [34].

I.3.2 Origine

Le cuivre est un métal largement répandu dans la nature la croûte terrestre est comprise entre 45 et 70 mg/kg. Forme libre dans la cuprite, soit sous forme d'oxyde de sulfure. Il est dans

les roches magiques (riche) élevées (> 80 mg/kg) seraient observées dans les roches minérauxferromagnésiens. Il est au contraire très peu représenté dans les roches carbonatées [35].

I.3.3 Utilisation du cuivre

Le cuivre est l'un des métaux les plus employés à cause de ses particulièremets, sa conductibilité électrique et thermique. Il est très largement employé

- Dans la fabrication de matériels électriques (fils, enroulements dynamos, transformateurs) (figure a)
- Dans la plomberie, dans les équipements industriels (figure .b);
- Dans l'automobile et en chaudronnerie (figure .c)

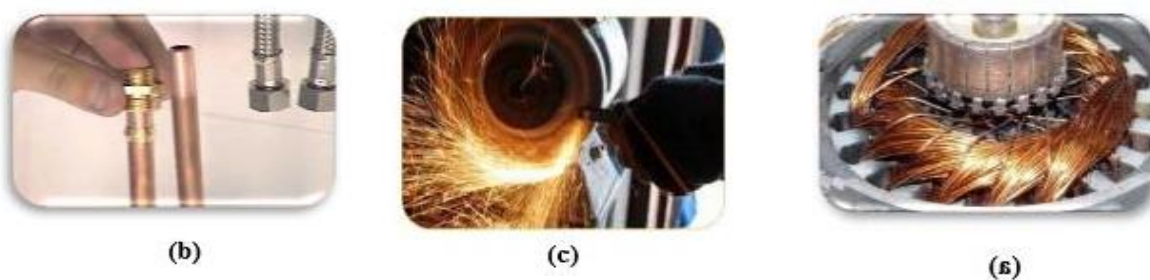


Figure I. 3 : Quelques utilisations du cuivre (a- b- c)

I.3.4 Propriétés physico-chimique du cuivre

Le cuivre possède des propriétés physico-chimiques citées dans le tableau

Tableau I. 1 : Quelques propriétés physico-chimiques du cuivre [36].

Numéro Atomique	29	T. Ébullition	2562°C	Ee de 1 ^{ère} Ionisation	745.49 Kj.mol ⁻¹
Masse Atomique	63.546 g.mol ⁻¹	T. Fusion	1084.62°C	Ee de 2 ^{ème} Ionisation	1957.93 Kj.mol ⁻¹
Electronégativité	1.9	Rayon atomique	1.291A°	Ee de 3 ^{ème} Ionisation	3554.64 Kj.mol ⁻¹
Masse Volumique	8.96 g.cm ⁻³ à 20°C	Configuration électrique	[Ar] 3d ¹⁰ 5s ¹	Etat d'oxydation	+1,+2,+3

I.3.5 Normes et réglementations

Les normes sont des valeurs limites fixées par la loi et établies en vertu de compromis entre demandes concurrentes. L'établissement de normes des métaux lourds présente un intérêt particulier. Ceci s'explique par le fait que leurs effets sur l'homme l'environnement ne cessent

d'être éclairé, voire prouvé pour certains. Les tableaux présentent les normes concernant les effluents qui fixent les charges polluantes limites (métaux lourds) qui peuvent être rejetées ponctuellement dans les eaux réceptrices (tableau I.2).

Tableau I. 2 : Qualité d'une eau potable selon l'OMS [37].

Elément	Recommandations de l'O M S
As	10 µg/L
Cd	3,0 µg/L
Cr	50 µg/L (chrome total)
Cu	2,0 µg/L
Hg	1,0 µg/L
Ni	20 µg/L
Pb	10 µg/L
Se	10 µg/L

Tableau I. 3 : Normes Algériennes des rejets [38].

Paramètres	Unités	Valeurs limites
pH	/	5,5-8,5
Pb	mg/L	0,5
Cu	mg/L	0,5
Ni	mg/L	0,5
Fe	mg/L	3
Mn	mg/L	1

I.3.6 Propriétés physiques

Le cuivre est donc indispensable à la vie car :

- Le cuivre est un bon conducteur de l'électricité.
- Le cuivre est un bon conducteur thermique : utilisé pour chauffer ou refroidir rapidement un liquide ou un gaz.
- Le cuivre présente une bonne aptitude à la constitution d'alliages. La plupart des éléments sont solubles dans le cuivre, ou on peut introduire dans le cuivre jusqu'à 100% de nickel, 40% de zinc, 25% d'étain et 15% d'aluminium.
- Résistance à la corrosion : Le cuivre et ses alliages ne sont pas attaqués par l'eau ni par un grand nombre de produits chimiques. Pour une utilisation en milieu marin, on

utilise des alliages à base de cuivre nickel (cupro-nickel) ou cuivre aluminium (cupro-aluminium)...

I.3.7 Effet de cuivre sur la santé

Le cuivre est une substance très connue qui est naturellement présent dans l'environnement et se diffuse par des phénomènes naturels. On peut trouver du cuivre dans beaucoup de type d'aliments, dans l'eau et dans l'air. A cause de cela on absorbe des quantités importantes de cuivre chaque jour en mangeant, buvant et respirant. L'absorption de cuivre est nécessaire, car le cuivre est un élément qui est essentiel pour la santé. Bien que l'homme puisse gérer des concentrations proportionnellement importantes de cuivre, des quantités excessives peuvent causer des problèmes de santé importants.

L'exposition professionnelle au cuivre arrive souvent. Dans l'environnement du lieu de travail, une contamination au cuivre peut provoquer un état proche de la grippe que l'on appelle la fièvre du fondeur.

Mais une exposition au cuivre à long terme peut provoquer une irritation au nez, à la bouche et aux yeux et, peut provoquer des maux de tête, des maux d'estomac, des vertiges, des vomissements et des diarrhées. Les prises intentionnelles de fortes doses de cuivre peuvent provoquer des dommages aux reins et au foie et même la mort.

I.3.8 Effet de cuivre sur l'environnement

La production mondiale de cuivre est toujours en augmentation, ce qui signifie que de plus en plus de cuivre se retrouve dans l'environnement, des boues contaminées par du cuivre, du fait du rejet d'eaux usées. Le cuivre pénètre dans l'air principalement lors de la combustion de combustibles fossiles. Il reste dans l'air pendant une période assez longue avant de se déposer lorsqu'il pleut, Il se retrouve alors essentiellement dans le sol. Par conséquent, les sols peuvent contenir une grande quantité de cuivre après que le cuivre de l'air se soit déposé.

Le cuivre ne se détruit pas dans l'environnement, quand il est présent dans le sol il peut s'accumuler dans les plantes et les animaux. Sur les sols riches en cuivre, seul un nombre limité de plantes a des chances de survivre. C'est pour ça, il n'y a pas beaucoup de diversité de plantes près des industries rejetant du cuivre. Du fait des effets sur les plantes, le cuivre est une sérieuse menace pour la production des terres agricoles, suivant l'acidité du sol et la présence de matière organique. Malgré cela, les engrais contenant du cuivre sont toujours.

I.3.9 Traitement du cuivre

I.3.9.1 Coagulation-floculation-décantation :

La coagulation par les sels d'aluminium et de fer peut éliminer le cuivre. L'utilisation du charbon actif en poudre couramment (correspondant à 20 g/m³) a peu d'influence sur le cuivre

comme pour les autres métaux lourds et n'améliore pas significativement l'efficacité du traitement [39].

I.3.9.2 Filtration sur sable

N'élimine par les métaux lourds, elle permet juste de récupérer les floes encore présents après le passage dans le décanteur.

Il s'agit de faire percoler l'eau conditionnée (après coagulation/floculation) à travers d'un lit filtrant composé de sable calibré. La Filtration sur charbon actif en grain (CAG) permet une réduction du cuivre [39].

I.3.9.3 Pré-chloration

La chloration combinée à la coagulation-décantation, à la filtration sur sable et à la filtration sur CAG améliore nettement la réduction des métaux lourds [39].

I.3.9.4 Décarbonatation

À la chaux réduit notablement les métaux lourds dont le cuivre. Généralement, le rendement d'épuration des métaux est élevé. En effet, la majorité du cuivre étant sous forme particulaire, les procédés de filtration sont efficaces [39].

I.3.9.5 Adsorption

Consiste à fixer par voie chimique ou physique le micropolluant à la surface ou à l'intérieur des pores d'un matériau. L'utilisation du charbon dans le processus d'adsorption est également très sollicitée.

I.3.9.6 Extraction liquide-liquide

Qui est très utilisée dans l'industrie chimique, c'est une technique efficace et peu coûteuse, elle fait l'objet de plusieurs études portant sur la récupération et la purification des molécules chimiques ou de biomolécules, cette méthode est utilisée dans notre travail.

Conclusion

Bref, la pollution de l'eau est devenue un problème majeur pour le monde entier. Il y a des conséquences désastreuses pour nous et notre planète et provoque souvent des maladies mortelles. C'est pourquoi il est nécessaire de réaliser des traitements pour éliminer la contamination, notamment la contamination par les métaux lourds (par exemple le cuivre) de plusieurs manières, dont la méthode d'extraction liquide-liquide avec solvant.

Chapitre II

L'extraction liquide- liquide

Introduction

L'extraction liquide – liquide est une technique qui permet d'extraire une ou plusieurs espèces chimiques, d'une phase aqueuse vers une phase organique.

La phase organique est constituée par un agent complexant ou une molécule extractant spécifique, dissoute dans un diluant. L'extraction liquide - liquide a connu au cours de la seconde moitié du XXème un essor considérable notamment avec le développement de l'énergie nucléaire. Ses applications touchent des domaines variés comme l'hydrométallurgie, la pharmacie, le traitement des effluents industriels,... [40].

Elle permet d'extraire et de séparer une grande variété de solutés (métaux, acides, molécules organiques telles que le phénol ou les colorants) à partir de solutions aqueuses (jus de lixiviation, effluents industriels, ...). Elle repose sur la différence de solubilité du soluté entre deux phases non miscibles.

II.1 Principe de base de l'extraction liquide – liquide

Le principe de l'extraction liquide-liquide, consiste à rendre soluble un sel ou un acide minéral dans un solvant organique, en le complexant avec un composé ayant un groupement hydrophile et des radicaux hydrophobes. Le processus de complexion a lieu à l'interface entre les deux liquides mis en contact. L'interface entre les deux phases se caractérise par une forte concentration des molécules d'agents complexant dont les groupement hydrophiles trempent dans la phase aqueuse; il se forme ainsi un front inter facial très polarisé qui a pour effet d'attirer de la phase aqueuse les molécules (cations + anion) des sels ou d'acides [41,42]. L'extraction liquide –liquide est fondée sur la distribution de soluté M entre les deux phases aqueuse et organique immiscibles. Durant ce transport, le potentiel chimique du soluté en phase organique s'accroît tandis que celui de la phase aqueuse diminue. L'égalité du potentiel chimique d'une molécule dans deux phases en équilibre, se traduit par la proportionnalité des activités relatives, donc approximativement par la proportionnalité des concentrations de cette molécule dans les deux phases [43].

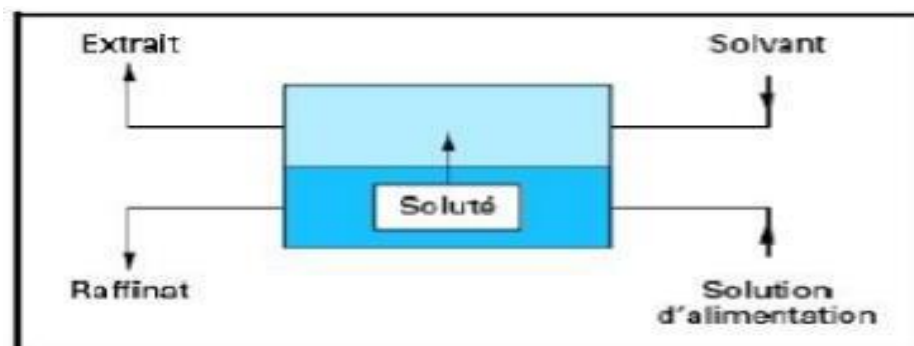


Figure II. 1 : Schéma de principe de l'extraction liquide-liquide.

II.2 Méthodes d'extraction liquide-liquide

Ces méthodes permettent l'extraction de composés ayant des températures d'ébullition voisines, l'extraction azéotrope (mélange binaire de liquides, homogènes et de composition fixe, qui bout à une température constante), ou la séparation de molécules thermosensibles. Elles permettent la concentration et la purification de très nombreuses molécules comme les molécules organiques, les médicaments, les huiles essentielles, les pesticides, les stéroïdes, les lipides, les vitamines, les métaux, etc [44].

II.2.1 Extraction simple

L'extraction simple consiste à extraire en une seule étape le maximum de soluté initialement présent dans la solution A par le solvant B. Le solvant B sera choisi en fonction de son pouvoir dissolvant vis-à-vis de S, c'est-à-dire un coefficient de partage favorable à B. La séparation des deux phases s'effectue par une décantation ; le processus est accéléré par la centrifugation du mélange. L'extrait est récupéré puis concentré par évaporation partielle ou complète, avant d'être repris puis analysé [44].

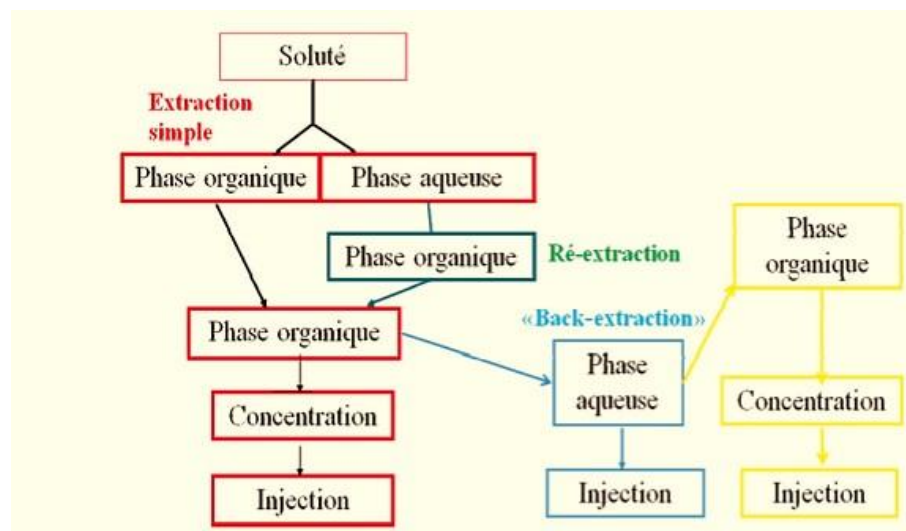


Figure II. 2 : Les différents types d'extraction [44].

II.2.2 Extraction multiple

Les extractions multiples sont employées dans deux cas :

- Le rendement d'extraction simple n'est pas satisfaisant, ce qui signifie que le coefficient de partage n'est pas suffisamment grand pour pouvoir extraire en une seule fois la quasi-totalité du soluté. Dans cette situation, il peut être nécessaire de répéter l'opération d'extraction afin d'obtenir un rendement d'extraction satisfaisant. On parle alors d'extraction par épuisement. Les différents extraits obtenus sont par la suite mélangés puis concentrés pour isoler le soluté.

L'inconvénient majeur de la méthode d'extraction par épuisement est l'utilisation de gros volume de solvant.

- L'extrait n'est pas suffisamment purifié, la réextraction de ce premier est nécessaire afin d'en éliminer les substances interférentes. Le soluté est en général resolubilisé dans une phase aqueuse [44].

II.2.3 Extraction par paire d'ions

Le principe de l'extraction par paire d'ions repose sur l'élimination ou le camouflage de la charge d'un ion par une molécule de charge opposée appelée contre ion, puisque seules les molécules de charge neutre sont extractibles par les solvants organiques. Ce procédé concerne les molécules pour lesquelles le recul d'ionisation n'est pas suffisant.

C'est le cas des ammoniums quaternaires, des bases fortes ou des esters mono sulfuriques. Le contre ion doit être suffisamment volumineux et hydrophobe et avoir un caractère peu dissociant pour favoriser le passage du complexe vers la phase organique. Des paires d'ions peuvent être formées par des composés tensioactifs anioniques comme le dioctylsulfosuccinate de sodium (DOSS) ou des ammoniums quaternaires à longues chaînes [44].

II.2.4 Extraction liquide-liquide sur support solide

Afin de pallier aux difficultés d'une extraction classique (consommation de beaucoup de solvant, durée d'extraction très longue), l'extraction liquide-liquide sur un support solide a été développée. Le support solide est constitué de terre de diatomées. Les diatomées sont des algues unicellulaires entourées d'une coque siliceuse. La terre de diatomées est conditionnée dans des cartouches de type solide phase extraction (SPE). Les procédures d'extraction sont simples, puisque la première étape consiste à déposer directement la matrice sur la cartouche. À ce moment la phase aqueuse de la matrice est adsorbée sur la terre de diatomée. Cette étape ne dure que quelques minutes. Le solvant d'extraction, dont la nature et le volume sont judicieusement choisis, est ensuite directement déposé sur la cartouche. Il se crée alors un équilibre entre la phase aqueuse adsorbée sur la terre de diatomées et la phase organique. Le soluté migrera vers la phase organique si son coefficient de partage lui est favorable. Enfin le solvant est récupéré par gravité dans sa totalité, en évitant toute formation d'émulsion à la sortie de la cartouche [44].

II.3 Coefficient de partage et taux de distribution

Ce coefficient mesure le rapport entre la concentration de l'ion en phase organique et aqueuse à l'équilibre. On définit le coefficient de distribution ou de partage **D** par la relation suivante :

$$D = \frac{C_{(Org)Cu}}{C_{(aqu)Cu}} \dots \dots \dots (II. 1)$$

C_{org} : la concentration totale du cuivre dans la phase organique à l'équilibre.

C_{aqu} : la concentration totale du cuivre dans la phase aqueuse à l'équilibre.

Une extraction dite faible, est un équilibre thermodynamique pour lequel le coefficient de distribution est inférieur à 1 ($D < 1$). Une forte extraction correspond, quant à elle, à un fort coefficient de distribution ($D \gg 1$).

II.4 Rendement d'extraction

Le rendement d'une extraction " E " est la fraction de la quantité totale d'un élément, initialement dans un volume (V_{aq}) de solution aqueuse, qui est passée dans un volume (V_{org}) de solution organique.

$$\% E = \frac{D}{D + 1} * 100 \dots \dots \dots (II - 2)$$

Dans notre travail, nous avons utilisé le même volume on écrit :

$$V_{aq} = V_{org} = 1$$

II.5 Solvant

II.5.1 Définition

Les solvants sont des produits utilisés pour dissoudre toutes sortes de matières, corps gras, caoutchouc, matières plastiques, cires. Ce sont des liquides à température ambiante. Ils sont volatils et pour la plupart inflammables.

Les solvants appelés aussi diluants sont des composés organiques liquides capables de dissoudre d'autres substances. Le processus de dissolution ne modifie ni le solvant ni les composés dissous (soluté). Il présente des propriétés physico-chimiques lui permettant de former une phase organique continue, non miscible à la phase aqueuse (Figure II.3).

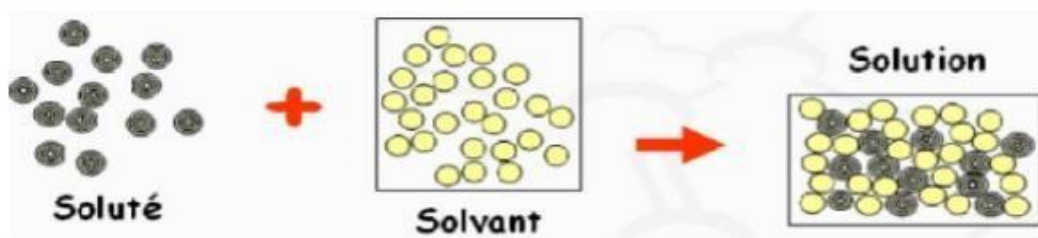


Figure II. 3 : Réaction soluté-solvant.

II.5.2 Type des solvants

Il n'existe pas de classement officiel des solvants. Ceux-ci peuvent être classés selon leurs similitudes de groupement chimiques : hydrocarbures aromatiques, alcools, esters, cétones, éthers. . . Mais la classification selon les propriétés chimiques vues précédemment semble plus intéressante concernant l'ELL.

II. 5. 2.1 Solvants protiques et polaires

Sont des solvants portant des atomes porteurs de charges électriques différentes plus ou moins marquées au sein de leurs molécules tels que les liaisons OH. Ce partage inéquitable des charges transforme le couple atomique en dipôle. Ils peuvent grâce à cela se lier plus ou moins fortement à des produits eux-mêmes porteurs de charges, comme les sels minéraux, les acides, les bases, certains composés métalliques, certains sels organiques.

II.5.2.2 Solvants aprotiques et apolaires

Possèdent un moment dipolaire permanent nul. Sont des molécules qui présentent un partage égal d'électrons entre deux atomes ou en raison de la disposition symétrique des liaisons polaires. Par exemple, les hydrocarbures : benzène, alcanes linéaires, ramifiés ou cycliques, alcènes.

Tableau II. 1 : type des solvants

Les solvants	Caractère polaire	Proticité
Toluène	Très faible polaire	aprotique
Xylène	Apolaire	Aprotique
Cyclohexane	Apolaire	Aprotique

II.5.3 Huile de lentisque

II.5.3.1 Définition

L'huile de lentisque est caractérisée par sa bonne qualité nutritive, elle est extraite à partir du fruit comestible, est de couleur verte foncée ; elle n'est entièrement liquide qu'à la température de 32 à 34 C° ; en-dessous, elle laisse déposer une matière blanche, susceptible de cristallisation, qui bientôt envahit la totalité de l'huile et la solidifie complètement.

Beaucoup d'études sur la composition chimique de cette huile ont été effectués par quelques auteurs ; ont rapporté que l'huile a la bonne qualité nutritive en raison de son contenu

en acides gras insaturé (oléique + linoléique = 73%) et d'acides gras saturés (Palmitique + stéarique = 25.8%).

II.5.3.2 Caractéristiques

Une bonne huile essentielle de Lentisque Pistachier doit avoir les caractéristiques Suivantes :

- Densité à 20°C : 0,850 à 0,875
- Indice de réfraction à 20°C : 1,465 à 1,485
- Pouvoir rotatoire à 20°C : -13° à -4
- Point éclair : + 42°C
- couleur : vert.
- parfum : frais et caractéristique de pistache.

II.5.3.2 Propriétés de l'huile lentisque

- Antalgique
- Anti-inflammatoire
- Antispasmodique
- Décongestionnante lymphatique
- Décongestionnante prostatique
- Décongestionnante veineuse
- Phlébotomie
- Tonique nerveuse

II.5.3.3 Utilisation de l'huile lentisque

L'huile essentielle de Lentisque pistachier peut être utilisée de façons très différentes pour un large spectre de maladies et symptômes. Néanmoins, en cas de doute, il est recommandé de s'adresser à un professionnel afin de recueillir des informations personnalisées et sécurisées, adaptées à votre situation médicale, votre profil et votre âge.

II.5.3 Classification

Les solvants sont des hydrocarbures formés d'une chaîne carbonée. On peut distinguer:

II.5.4.1 Hydrocarbures non substitués (solvants pétroliers) :

Ils sont soit aliphatiques, soit alicycliques à chaîne cyclique aromatique ou non.

II.5.4.2 Hydrocarbures halogénés

Substitution d'un ou de plusieurs atomes d'hydrogène du squelette carboné par un halogène (chlore, fluor, brome ou iode) : on les sépare en aliphatiques chlorés, et en aromatiques chlorés, chlorofluorocarbones, hydrocarbures bromés, iodés.

II.5.4.3 Dérivés oxygénés

• Les alcools : de formule générale R-OH, avec les mono alcools, les diols ou glycols et les polyalcools.

• Les aldéhydes : de formule R-CHO.

• Les cétones : de formule R₁-CO-R₂ aliphatiques ou cyclique.

• Les esters : de formule R₁-CO-O-R₂ (les acétates).

• Les éthers : de formule R₁-O-R₂ (éthers de glycols).

II.5.4 Utilisations

1. produit de dégraissage dans la métallurgie, la mécanique et les pressings.

2. solvants des produits de revêtement, peinture, laque, vernis, colle, encre.

agents d'extraction, de purification et de synthèse dans l'industrie chimique, pétrolière, agroalimentaire, pharmaceutique et cosmétique.

industrie automobile.

II.5.5 Choix du solvant

Les principaux critères requis pour un solvant sont:

• Une solubilité totale avec l'extractant.

Être fortement hydrophobe pour que sa miscibilité avec les phases aqueuses soit la plus faible possible;

• Avoir une température d'ébullition élevée si possible supérieure à 170°C afin d'éviter son évaporation au cours du transport;

• Une faible viscosité et volatilité.

• Une parfaite stabilité chimique et une absence de toxicité.

Une tension interfaciale avec l'eau supérieure à 10 mN/m.

• Avoir un constant diélectrique élevé pour permettre la dissociation et même la solubilisation des complexes non neutres formés.

• Une différence de masse volumique avec la solution aqueuse d'au moins 120kg/m³.

Les solvants les plus employés sont les hydrocarbures aliphatiques, aromatiques et les solvants chlorés.

II.6 Paramètre d'influençant de l'extraction

- Température
- PH
- Concentration
- Le soluté
- Le temps
- La pression

II.7 Avantages et inconvénients de l'extraction liquide-liquide

II.7.1 Avantages

L'extraction présente de nombreux avantages parmi lesquels :

- Le coût : ce sont des techniques qui ne demandent pas d'investissement de gros matériel ou de réactifs. Le matériel nécessaire à la mise en œuvre de ces techniques est du matériel de base de laboratoire comme de la verrerie, des pipettes, une centrifugeuse et une hotte à solvants.
- La concentration des échantillons : l'utilisation de solvants organiques volatiles permet la concentration du soluté par évaporation du solvant.
- La purification : l'utilisation d'un solvant organique judicieusement choisi permet de solubiliser la substance d'intérêt et de laisser dans la matrice les molécules interférentes.
- La possibilité de travailler sur des matrices très variées.
- La possibilité d'extraire une gamme très étendue de molécules qui couvre une multitude d'applications [44].

II.7.2 Inconvénients et solutions

La consommation de volumes importants de solvants, surtout lorsqu'il s'agit d'extractions multiples

- La toxicité des solvants : les solvants sont des produits toxiques dont il faut se protéger.
- Difficultés d'extraire les molécules très polaires de par les caractéristiques chimiques des solvants organiques (apolaire et aprotiques). Pour quantifier de telles molécules, d'autres méthodes de traitements d'échantillons devront être appliquées comme la précipitation ou la SPE.
- Ce sont des techniques manuelles, consommatrices de temps et de personnel [44].

Conclusion

En conclusion, l'extraction liquide-liquide par solvant présente de nombreux avantages qui rendent son utilisation très générale. C'est une méthode simple, rapide, de mise en œuvre facile et s'appliquant à de très nombreuses substances. Dans notre mémoire en utilisant les solvants (toluène, xylène, cyclohexane, huile végétale) pour élimination le cuivre.

Chapitre III

Matériel et méthode

Introduction

Ce dernier chapitre décrit la partie expérimentale de ce projet de Master à savoir élimination de cuivre par extraction liquide- liquide, a description des techniques adoptées (matériel, méthode, principe), la discussion des résultats de cette extraction et enfin l'utilisation d'huile végétale (huile lentisque) comme nouvelle extractant testé pour savoir l'efficacité par rapport aux autres solvant organiques..

III.1 Techniques et appareillages utilisés

III.1.1 Spectroscopie UV/Visi



Figure III. 1 : Appareil de l'UV/visible.

L'absorption des rayonnements électromagnétiques par la matière dans la plage spectre les 'étendant du proche ultraviolet au très proche infrarouge, soit entre 180 et 1100nm, a été abondamment étudiée d'un point de vue fondamental.

Cette partie du spectre est désignée par l'«UV/Visible», parce qu'elle englobe les radiations perceptibles par l'œil humain. D'une manière générale elle apporte peu d'informations structurales, mais elle a, en revanche, beaucoup d'applications en analyse quantitative.

III.1.2 Le spectre UV-Visible

Les spectromètres UV/Visible permettent d'obtenir le spectre des composé examinés sous la forme d'un tracé de la transmittance, ou de l'absorption, en fonction des longueurs d'onde repérées en abscisses, ici en nano mètres.

En optique, la transmittance T est une mesure de l'atténuation d'un faisceau lumineux mono chromatique basée sur la comparaison entre l'intensité lumineuse transmise (I) et l'intensité incidente (I_0) selon que l'échantillon est placé ou non sur le trajet optique entre la source et le détecteur.

T est exprimé par un nombre fractionnaire ou sous forme pourcentage :

$$T = \frac{I}{I_0}$$

$$T \% = \frac{I}{I_0} * 100$$

Lorsqu'un faisceau lumineux traverse une cuvette contenant un composé en solution, l'intensité de la lumière incidente I_0 est diminuée, si le composé absorbe une certaine quantité de lumière I.

III.1.3 Matériel et les produits

III.1.3.1 Matériel

- Becher
- Eprouvette
- Fioles jaugée
- tubes à essais
- Entonnoir
- pipettes graduée
- propipette
- Erlenmeyer
- Ampoule à décanter
- Thermomètre

III.1.3.2 Appareillage

- pH mètre
- UV visible
- Agitateur magnétique
- Balance
- Plaque chauffante

III.1.3.3 Produits

- nitrate de cuivre ($\text{CuN}_2\text{O}_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)
- Acide benzoïque ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$).
- nitrate de sodium (NaNO_3).
- NaOH
- HCL
- Eau distillée

III.1.3.4 Solvants organiques

- Toluène.
- Xylène.
- Cyclohexane.

III.2 : Propriété des solvants

Un **solvant** est une substance, liquide ou supercritique à sa température d'utilisation, qui a la propriété de dissoudre, de diluer ou d'extraire d'autres substances sans les modifier chimiquement et sans lui-même se modifier. Les solvants sont utilisés dans des secteurs très diversifiés tels que le dégraissage.

Tableau III.1 : Propriété (physico-chimique) des solvants utilisés.

Les solvants	Propriétés physiques	Propriétés Chimique
Toluène	La température de fusion est -95°C . La température d'ébullition est 11058°C , la masse volumique est $0.8670\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, viscosité dynamique est $0.59\cdot 10^{-3}\text{ps}\cdot\text{s}$ Viscosité cinématique est $0.681\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	Formule C_7H_8 Masse molaire est 92.138g/mol
Xylène	La température de fusion est comprise entre -47.8°C , et 13.26°C . la température d'ébullition et voisine de 140°C . la densité est 0.87 .	Xylène est un liquide incolore, d'odeur désagréable et très inflammable la masse molaire est 106.16g/mol
Cyclohexane	La température de fusion est 6.47°C . La température d'ébullition est 80.75°C . La masse volumique est $0.7776\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, viscosité dynamique est $0.98\text{mpa}\cdot\text{s}$ à 20°C	Formule C_6H_{12} Masse molaire est 84.1595g/mol

III.3 Caractéristiques de l'huile de lentisque

Une bonne huile essentielle de Lentisque Pistachier doit avoir les caractéristiques Suivantes

- Densité à 20°C : $0,850$ à $0,875$
- Indice de réfraction à 20°C : $1,465$ à $1,485$
- Pouvoir rotatoire à 20°C : -13° à -4°
- Point éclair : $+42^{\circ}\text{C}$
- Couleur : vert.
- Parfum : frais et caractéristique de pistache.

III.4 Propriétés de l'huile essentielle de lentisque pistachier

- Antalgique
- Anti-inflammatoire
- Antispasmodique
- Décongestionnante lymphatique
- Décongestionnante prostatique
- Décongestionnante veineuse
- Phlébotomie
- Tonique nerveuse

III.5 Protocoles de l'extraction liquide-liquide

Tout d'abord, l'extraction liquide-liquide du cuivre (II), se fait à partir d'un milieu nitrate par l'acide benzoïque (AB), en utilisant différents solvants non polaires tels que le toluène, le xylène et le cyclohexane et une huile végétale (lentisque).

Dans une bécher, 25 ml d'une solution aqueuse de force ionique unitaire ($[\text{NaNO}_3] = 0.1\text{M}$) contenant le cuivre de concentration $2.63 \times 10^{-3} \text{ M}$ a agité avec 25 ml de solvant organique contenant 0,1M de l'acide benzoïque.

L'agitation des phases est assurée par un agitateur magnétique de vitesse constante à température ambiante. La variation du pH de la phase aqueuse se fait par ajout de soude 0,1 M demême force ionique dans le système. Au bout de 20 minutes, l'équilibre d'extraction étant largement atteint, on fait des prélèvements de la phase aqueuse pour le dosage et la détermination du coefficient de distribution du cuivre(II) au pH considéré. La concentration du cuivre(II) dans la phase organique a été calculée à partir de la différence entre les concentrations du cuivre(II) dans la phase aqueuse avant et après l'extraction. Le cuivre absorbe à une $\lambda_{\text{max}} = 810\text{nm}$.

Après la mise en contact entre les phases dans le bicher au bout du temps considéré :

On introduit la solution à extraire et le solvant d'extraction dans l'ampoule à l'aide d'un entonnoir à liquide.

Pour extraire le soluté de façon optimale, il faut atteindre l'équilibre de partage précédent. Il faut déboucher l'ampoule lorsqu'on la repose sur son support, toujours pour éviter une surpression. On doit ensuite laisser décanter les phases. Il arrive parfois que des gouttes de la

phase la moins dense adhèrent le long de la paroi de l'ampoule, au sein de la phase la plus dense. On peut les décrocher manuellement en introduisant une baguette de verre dans l'ampoule ou bien en la faisant tourner sur son axe en tenant le tube entre ses mains. En fin on récupère ensuite les deux phases.

III.6 Résultats et discussion

III.6.1 Préparation des solutions de cuivre (II)

(Pour tracer la courbe d'étalonnage et les solutions de travail expérimentale)

Une solution mère de Cu (II) a été préparée en solubilisant une quantité déterminée de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dans de l'eau distillée de façon à obtenir une concentration égale à $2.63 \cdot 10^{-2}$ M de $[\text{Cu}^{2+}]$. Les autres concentrations sont obtenues par des dilutions successives. Le pH initial de la solution a été ajusté en ajoutant des solutions diluées à 0,1 M de HCL ou NaOH

• Courbe d'étalonnage

On fait la dilution de solution mère pour tracer la courbe d'étalonnage, on utilise la loi suivant :

$$C_0V_0 = C_1V_1 \dots\dots\dots \text{(III-1)}$$

On fait 6 solution filles, dans un volume 25ml, on a mesuré les absorbances de tous les solutions dans appareils UV visible. La gamme est [1100-550nm]. Longueur d'onde d'absorbance pour absorber le Cu (II) = 810nm

La courbe d'étalonnage obtenu est présentée dans la figure (III.2).

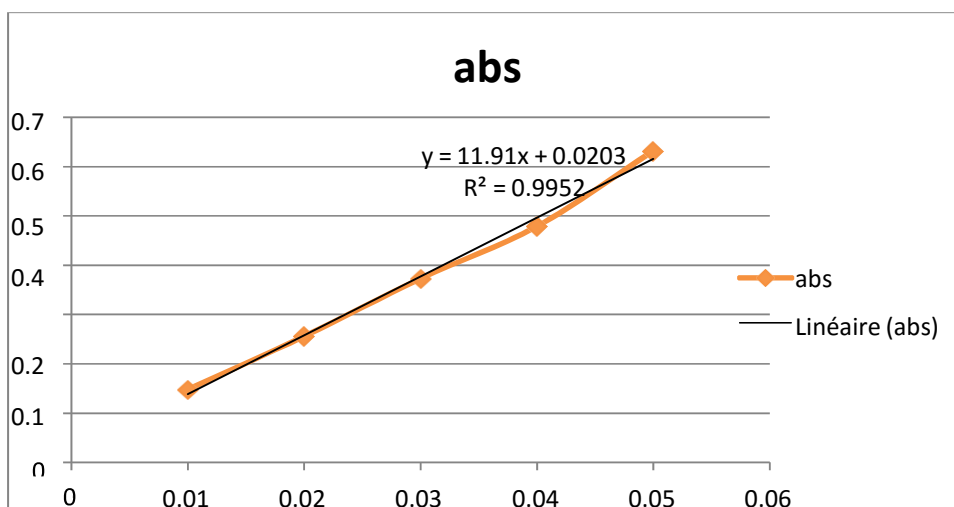


Figure III. 2 : la courbe d'étalonnage

La courbe de la figure III.1 est linéaire dans l'intervalle de concentration choisi, le coefficient de régression R^2 est de l'ordre de 0.99, la relation mathématique de cette droite est de la forme suivante :

$$Y = 0.0203 + 11.91X \dots \dots \dots (2)$$

• **Protocole d'extraction pour les effets de solvant et effet de pH**

Dans notre travail on utilise les solvants apolaires (toluène, xylène, cyclohexane) et on a étudié aussi l'huile végétale (huile de lentisque) comme autre extractant.

Avant chaque extraction, nous avons calibré toujours les solvants utilisés avec l'eau distillée. On mix 25 ml de solvant et 25 ml d'eau distille les deux phases sont agité 10 min. L'extraction de cuivre a été réalisée par les solvants calibrés. La séparation des phases se fait par décantation dans une ampoule à décanter.

III.6.2 Effet de pH

Le pH est un facteur important dans le contrôle du mouvement des ions cuivriques Cu (II) en milieu nitrate par l'acide benzoïque dans le xylène, le cyclohexane le toluène et l'huile de lentisque.

Pour savoir quel est le domaine de pH domaine optimale de l'extraction de Cu (II), nous avons effectué des extractions en faisant varier le pH de la phase aqueuse. Les pH choisis sont 3, 6 et 8.

Il faut noter que les concentrations de cuivre (II) ont été toujours mesurées par l'UV, juste avant et après l'extraction.

Les résultats de concentration en phase aqueuse et en phase organique, le coefficient de distribution, et le pourcentage d'extraction sont indiqués dans les tableaux (1, 2, 3,4)

Pour le coefficient de distribution et de pourcentage d'extraction de cuivre dans les solvants utilisés pour chaque solvant les résultats sont présentés dans les figures (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10).

On constate que le pourcentage d'extraction et le coefficient de distribution (D) du cuivre(II) augmentent avec l'augmentation du pH de la phase aqueuse de 3 à 6 Pour le toluène, le xylène et l'huile de lentisque, puis diminuent légèrement à pH 8. Pour le cyclohexane le %E et D augmentent avec l'augmentation de pH Globalement on peut dire que le pH optimum pour l'extraction de cuivre est au voisinage de pH 6 pour tous les solvants et même pour l'huile de lentisque.

On constate que l'huile de lentisque présente la meilleure efficacité par rapport aux autres solvants organiques quel que soit le pH. Par exemple à pH 6, il atteint une efficacité d'élimination de 98.46 %. Donc il peut être considéré parmi les meilleures solutions pour éliminer le cuivre à partir de solution aqueuse. Economiquement il est moins cher que tous les solvants organiques utilisées. D'un côté environnementale il ne pas dangereux et il ne présente aucun effet sur la santé humaine.

Pour les solvants organiques :

- A pH 3 le toluène il présent une meilleur efficacité de séparation par rapport aux autressolvants,
- A pH 6 le toluène est le meilleur extractant, tableau (III-2) ;
- A pH 8 le cyclohexane est le plus efficace, tableau (III-4).

Tableau III. 2: Concentration en phase aqueuse et en phase organique, le coefficient de distribution, et le pourcentage d'extraction cas du toluène.

Toluène	Caqs	Corg	Coefficient de distribution	(%E)
pH=3.1	0.016	0.005	0.3125	23.809
pH=6	0.008	0.077	9.625	90.588
pH=8	0.006	0.04	6.666	87.032

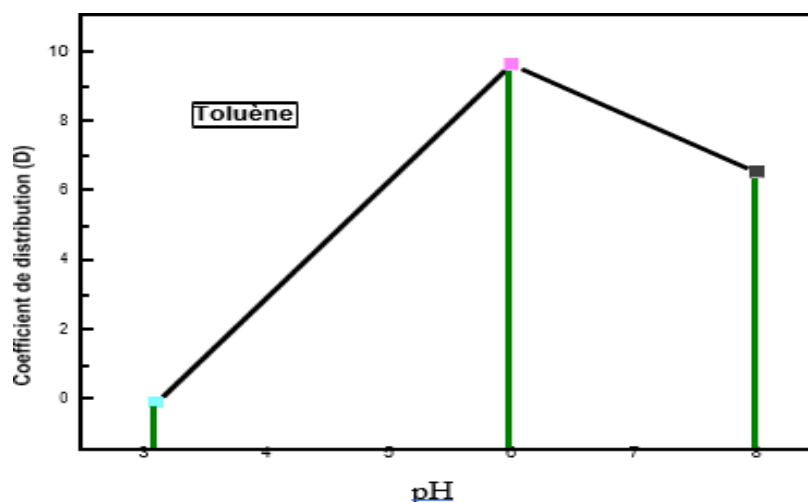


Figure III. 3 : Coefficient de distribution (D) à différents pH

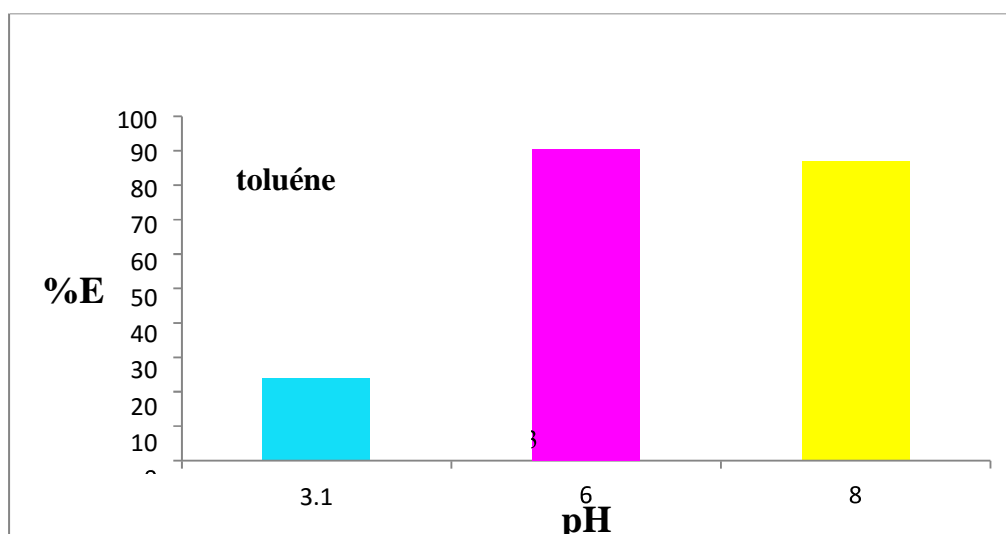


Figure III. 4 : Pourcentage d'extraction à différents pH

Tableau III. 3 : Concentration en phase aqueuse et en phase organique, le coefficient de distribution, et le pourcentage d'extraction. Cas de xylène.

Xylène	C_{aqu}	C_{org}	Coefficient de distribution	(% E)
pH 3	0.016	0.003	0.1875	15.79
pH 6	0.008	0.07	8.75	89.74
pH 8	0.018	0.115	6.388	86.46

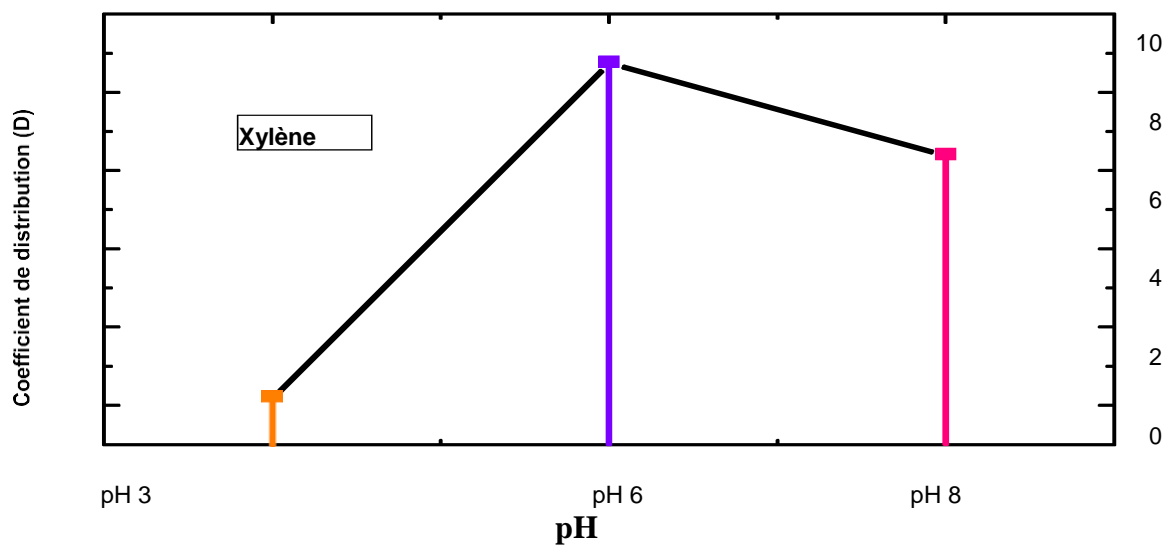


Figure III. 5 : Coefficient de distribution à différents Ph

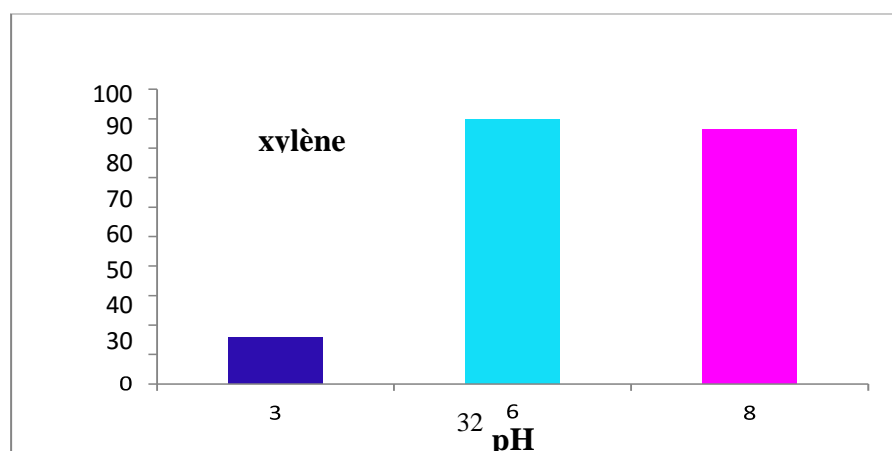


Figure III. 6 : Pourcentage d'extraction à différents pH

Tableau III. 4 : Concentration en phase aqueuse et en phase organique, le coefficient de distribution, et le pourcentage d'extraction. Cas de cyclohexane.

Cyclohexane	C_{aqu}	C_{org}	Coefficient de distribution	(% E)
pH 3.2	0.016	0.001	0.0625	05.88
pH 5.6	0.0089	0.0711	7.9887	88.87
pH 8	0.0063	0.0617	9.7936	90.73

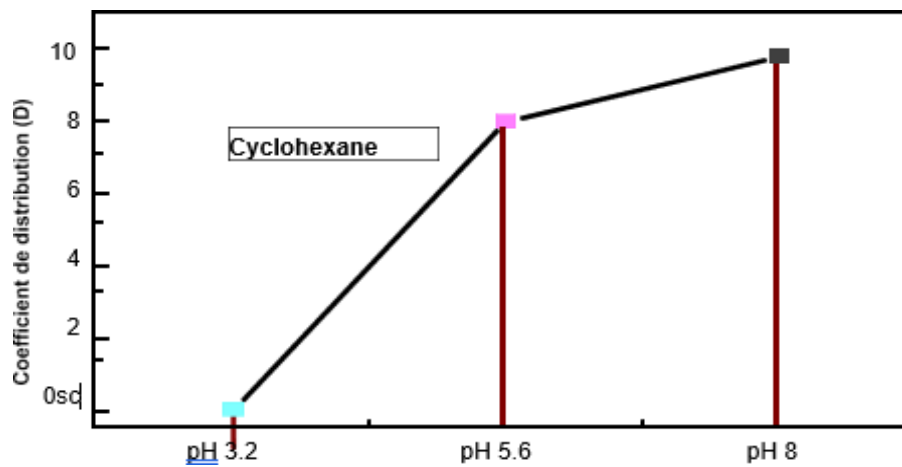


Figure III. 7 : Coefficient de distribution à différents pH

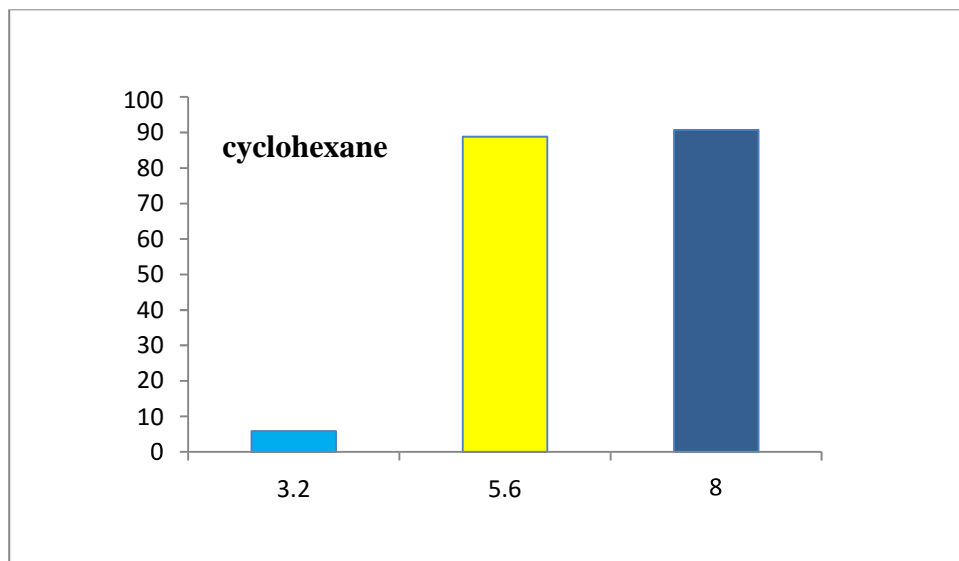


Figure III. 8 : Pourcentage d'extraction à différents Ph

Tableau III. 5 : Concentration en phase aqueuse et en phase organique, le coefficient de distribution, et le pourcentage d'extraction. Cas d'huile végétale (huile de lentisque).

Huile de lentisque	C _{aqu}	C _{org}	Coefficient de distribution	Rendement (% E)
pH 3.2	0.011	0.008	0.7272	42.10
pH 6.5	0.0012	0.0768	64	98.46
pH 8	0.005	0.113	22.6	95.76

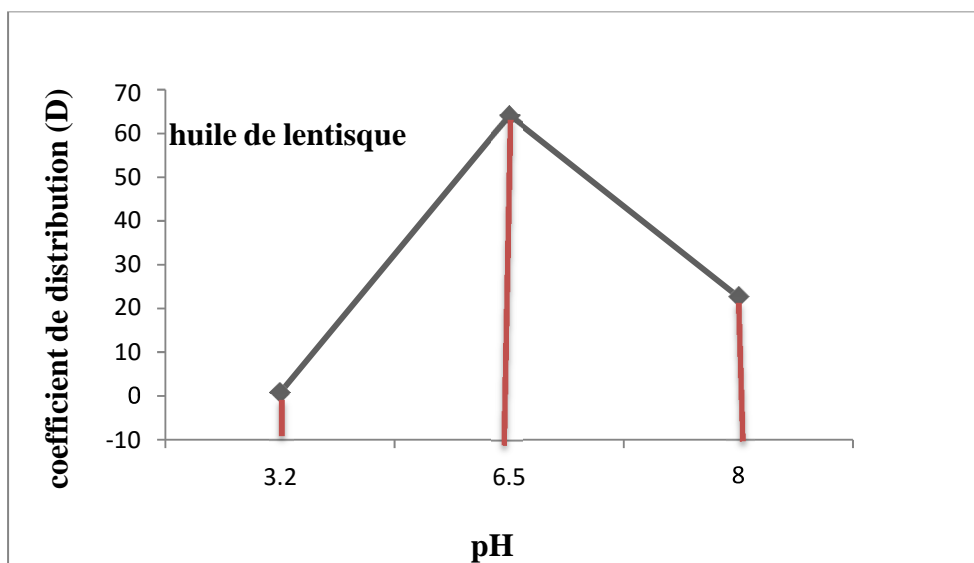


Figure III. 9 : Coefficient de distribution à différents pH

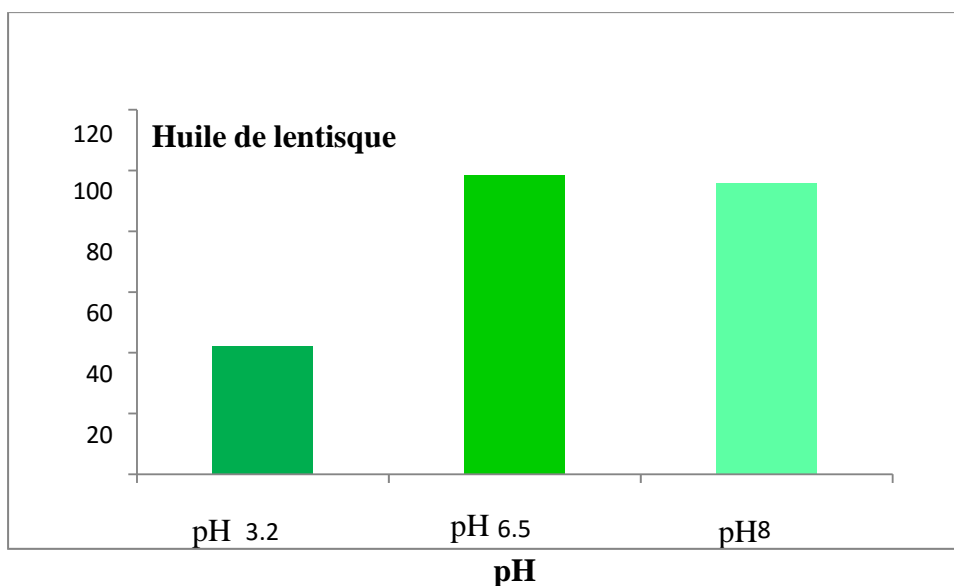


Figure III. 10 : Pourcentage d'extraction à différents pH

III.6.3 Effet de solvant

III.6.3.1 Effet du solvant sur l'extraction du cuivre(II) par l'acide benzoïque

Nous avons utilisés trois solvants organiques et une huile végétale (Huile de lentisque) pourétudier l'influence du type de solvant sur l'extraction de Cu (II) par l'acide benzoïque.

Les figures (III.3- III.10) montrent l'évolution de coefficient de distribution (D) d'ion Cu

(II) et le pourcentage d'extraction en fonction type de solvant.

D'après l'analyse des courbes, on constate que l'acide benzoïque se comporte de manière différente dans les divers solvants utilisées et dans l'huile de lentisque aussi.

III.6.3.2 Effet de solvant sur la distribution (calculée par D) de Cu(II) à pH=3

La figure III-11 montre que le coefficient de distribution change selon le type de solvantdansl'ordre suivant :

$$D_{\text{Huile lentisque}} > D_{\text{Toluène}} > D_{\text{Xylène}} > D_{\text{Cyclohexane}}$$

Donc la distribution est meilleure dans l'huile de lentisque par rapport aux autres solvantsorganiques.

Même ordre est observé pour le pourcentage d'extraction (Figure III12):

$$\%E_{\text{Huile lentisque}} > \%E_{\text{Toluène}} > \%E_{\text{Xylène}} > \%E_{\text{Cyclohexane}}$$

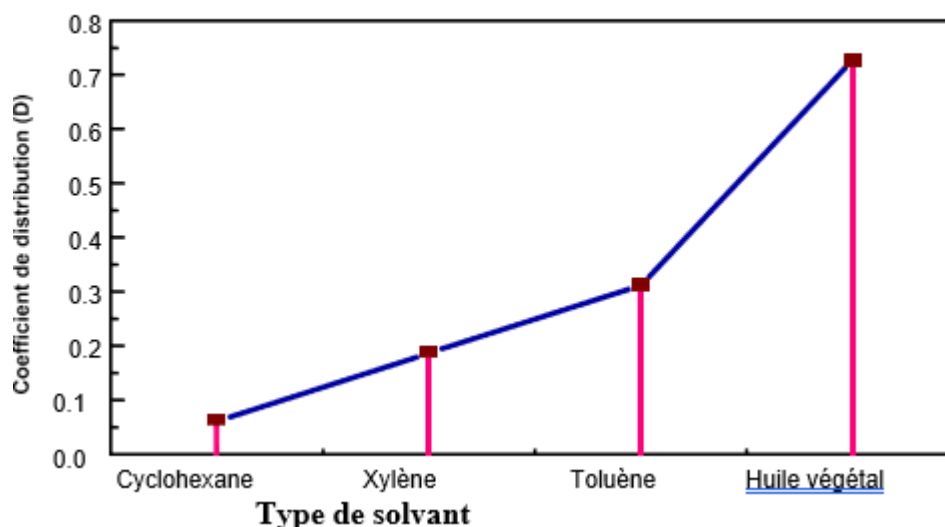


Figure III. 11 : Coefficient de distribution de type solvant à pH=3

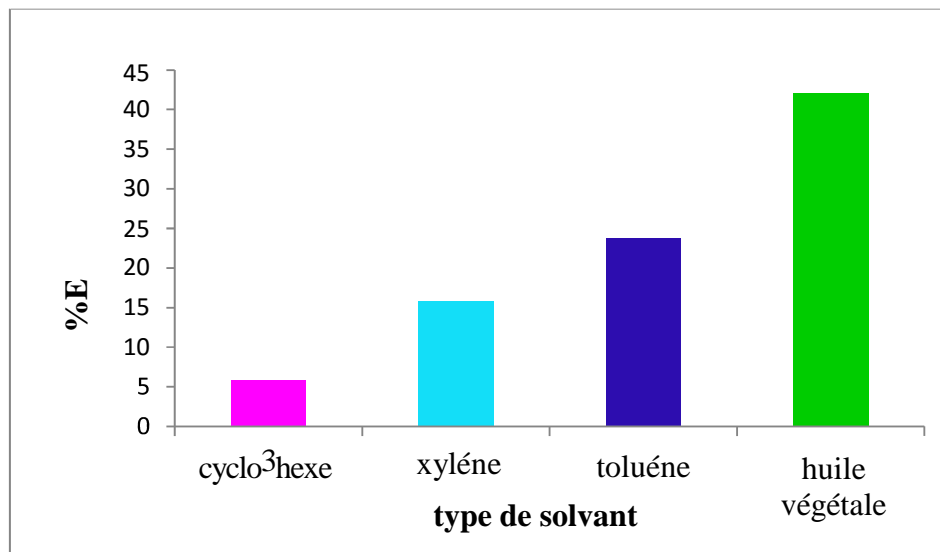


Figure III. 12 : Pourcentage d'extraction en fonction de type solvant à pH=3

III.6.3.3 Effet de solvant à pH =6

Concernant le coefficient de distribution (D) et le pourcentage d'extraction (% E), les mêmes remarques ont été observés comme indiqué dans les figures III-13 et III-14.

Donc :

$$D_{\text{Huile lentisque}} > D_{\text{Toluène}} > D_{\text{Xylène}} > D_{\text{Cyclohexane}}$$

Toujours la distribution est meilleure dans l'huile de lentisque par rapport aux autres solvants organiques.

Pour le pourcentage d'extraction l'ordre est le suivant :

$$\%E_{\text{Huile lentisque}} > \%E_{\text{Toluène}} > \%E_{\text{Xylène}} > \%E_{\text{Cyclohexane}}$$

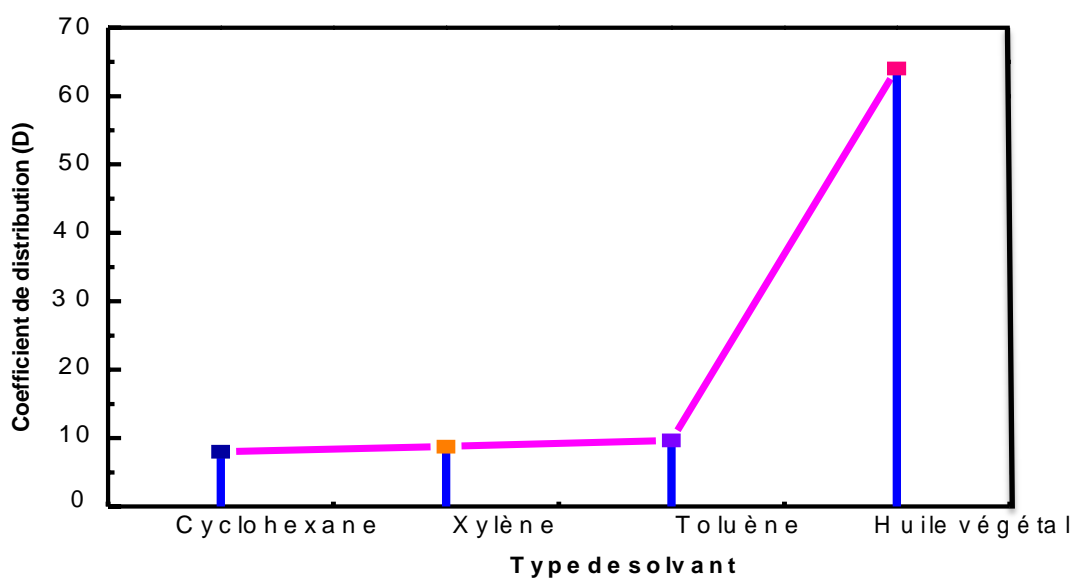


Figure III. 13 : Coefficient de distribution en fonction de type solvant à pH=6

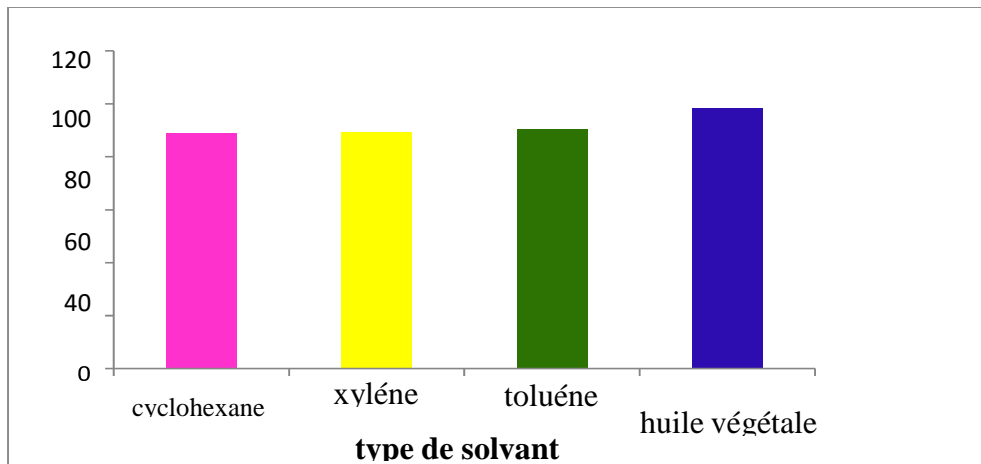


Figure III. 14 : Pourcentage d'extraction en fonction de type solvant à pH=6

III.6.3.4 Effet de solvant sur D à pH=8

A pH8, le coefficient de distribution (D) et le pourcentage d'extraction (% E), sont changés commeindiqué dans les figures III-15 et III-16.

Donc :

$$D_{Huile\ lentisque} > D_{Cyclohexane} > D_{Toluène} > D_{Xylène}$$

In addition, à pH 8, la distribution est meilleure dans l'huile de lentisque par rapport auxautres solvants organiques.

Pour le pourcentage d'extraction l'ordre est le suivant :

$$\% E_{Huile\ lentisque} > \% E_{Cyclohexane} > \% E_{Toluène} > \% E_{Xylène}$$

Pour les solvants organiques le cyclohexane est le meilleur extractant que les autres.

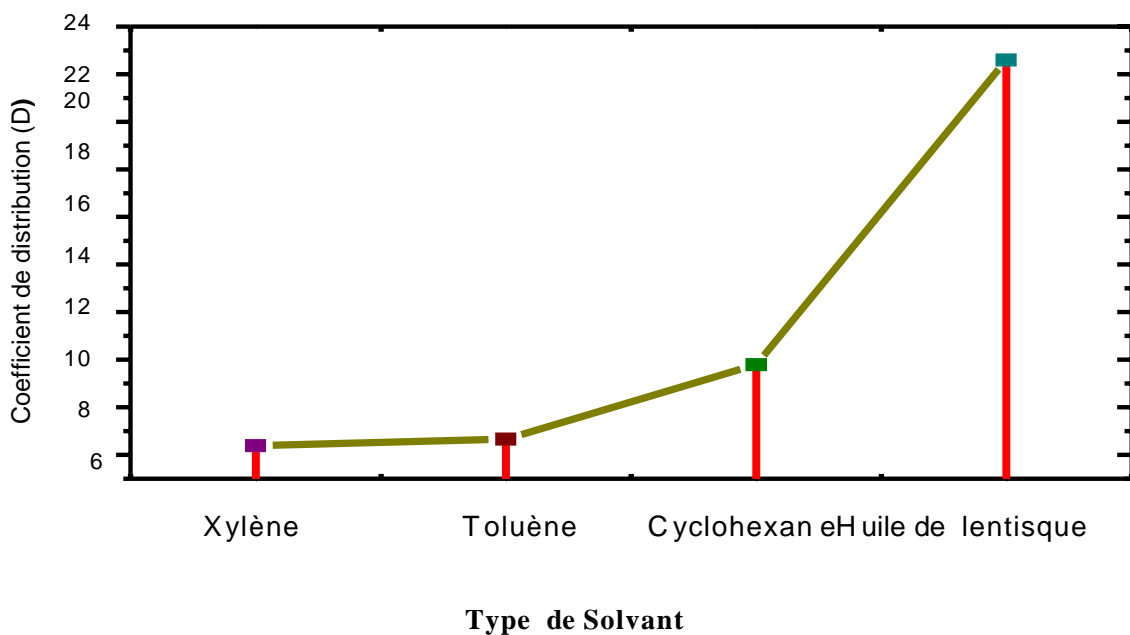


Figure III. 15 : Coefficient de distribution en fonction de type solvant à pH=8

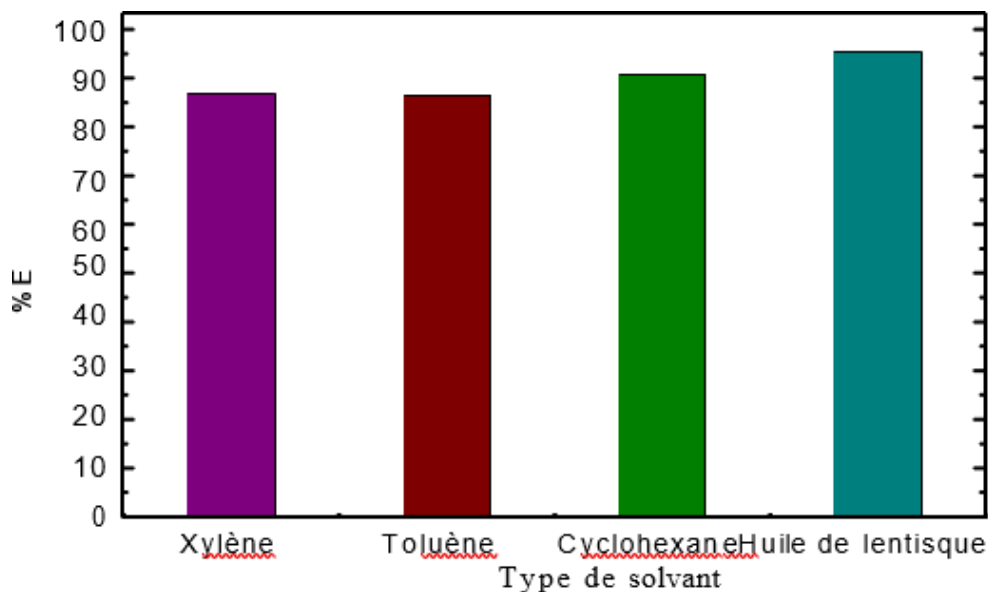


Figure III. 16 : Pourcentage d'extraction en fonction de type solvant à pH=8.

Finalemnt

➤ On conclut l'huile de lentisque donne meilleure extraction dans les trois milieux (Acide, basique, neutre).

III.6.4 Effet de température sur le coefficient de distribution et le pourcentage d'extraction pour l'huile de lentisque

Le comportement d'extraction du cuivre dans l'acide benzoïque dilué dans l'huile de lentisque a été étudié en fonction de la température à différentes valeurs de 35, 45, 56 et 70°C (Figure III- 17).

A ces températures, les efficacités d'extraction de cuivre ont été trouvées à 93.42 %, 92.26%, 97.16% et 96.66 % (Tableau III-8). Comme on l'a vu, l'extraction du cuivre est légèrement améliorée par l'augmentation de la température, et les changements dans le taux d'extraction sont très faibles (Figures III-17 et III-18).

Tableau III. 6: Effet de température sur l'extraction de cuivre pour l'huile de lentisque.

Température °C	C_{aq}	C_{org}	D	%E
35°C	0.0048	0.0682	14.20	93.42
45°C	0.0058	0.0692	11.93	92.26
56°C	0.0019	0.0651	34.26	97.16
70°C	0.0026	0.0754	29	96.66

Remarque : L'effet de température a été étudié seulement sur l'huile de lentisque et non pas sur les solvants organiques, pour éviter la toxicité et le danger des solvants organiques.

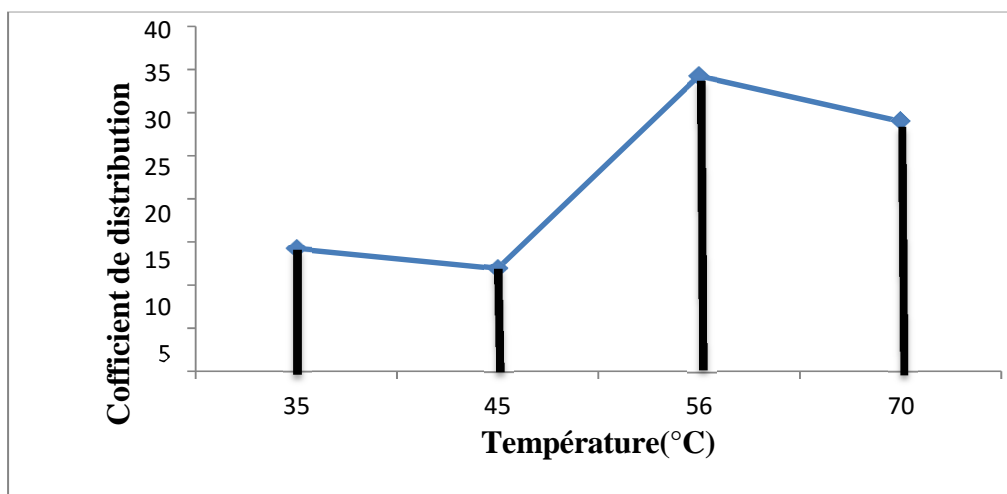


Figure III. 17 : Effet de la température en fonction le coefficient de distribution (D).

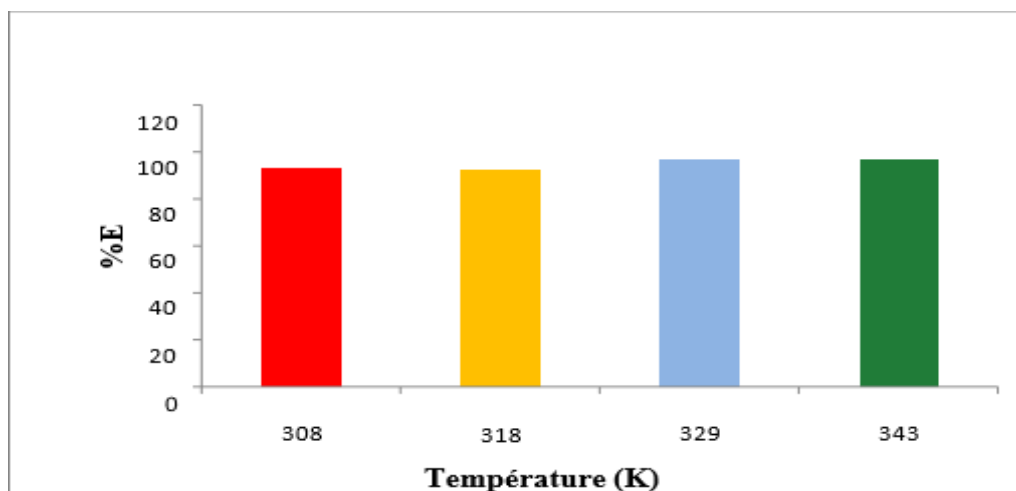


Figure III. 18 : Effet de la température sur le pourcentage d'extraction

Conclusion Générale

Conclusion générale

Cette étude, s'inscrit dans le cadre de la dépollution des effluents aqueux industriels, a pour objectif d'étudier l'effet de l'acide benzoïque sur l'extraction du cuivre(II) en milieu nitrate dans différents types de solvants organiques apolaires.

Les expériences effectuées dans le présent travail ont permis de déterminer l'influence des différents paramètres tel que : la température, le pH de la phase aqueuse, la nature du solvant sur l'efficacité d'extraction du cuivre.

L'étude de l'extraction du cuivre (II) par l'acide benzoïque dans la solution organique à l'aide de la force ionique dans la solution aqueuse a permis de mettre en évidence les résultats suivants:

- Le rendement d'extraction augmente à pH=6 de la phase aqueuse et diminue à pH =3.
- L'étude de l'effet du solvant a montré que l'efficacité d'extraction est meilleure dans les solvants non polaires, l'extraction du cuivre(II) augmenté suivant l'ordre:

➤ à pH=3, pH =6

Cyclohexane <xylene <toluene <l'huile végétale

➤ à pH=8

Xylène < toluène <cyclohexane <l'huile végétale.

- Le meilleur rendement d'extraction de cuivre à température T=56°C
- L'huile de lentisque donne le très bon résultat par rapport aux autres solvants organiques.

Références

Bibliographique

Références Bibliographique

- [1] Parhi P K, Padhan E, Palai A K, Sarangi K, Nathsarma K C, Park K H. Separation of Co (II) and Ni (II) from the mixed sulphate/chloride solution using NaPC-88A. *Desalination*, 2011, 267, 201-208
- [2] Guerdouh A, Barkat D. *Thermodyn Catal.* 2015, 6: 148. doi:10.4172/2157-7544.1000148
- [3] Abd ElHalim H F, Mohamed Omar M, Genidy Mohamed G, Sayed M A E E. Spectroscopic and biological activity studies on tridentate Schiff base ligands and their transition metal complexes. *European Journal of Chemistry*, 2011, 2 178188
- [4] Dubey R K, Dubeya U K, Mishrab. C M. Synthesis and physicochemical characterization of some Schiff base complexes of chromium(III). *Indian Journal of Chemistry*, 2008, 47A, 1208-1212
- [5] Cegłowski, M., Schroeder, G. Preparation of porous resin with Schiff base chelating groups for removal of heavy metal ions from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, 2015, 263, 402-411.
- [6] Barkat D, Tayeb A, Benabdellah T, Derriche Z. Extraction par solvant du zinc en milieu sulfate par le mélange: 1-Phenyl-3-méthyl-4-benzoylpyrazol-5-one/méthylisobutylcétone. *J.Soc. Alg. Chem*, 2001, 11, 149-158.
- [7]. Freedman Bill . *Environmental Encyclopedia*, Eds. Marci, Bortman., Peter, Brimblecombe., Mary Ann, Cunningham., William P, Cunningham., William, Freedman, 2003, 1:131-134.
- [8]. Cunningham William P. *Environmental Encyclopedia* . Eds. Marci Bortman, Peter Brimblecombe, Mary Ann Cunningham, William P. Cunningham, and William Freedman. Vol 2. 3rd ed Farmington Hills. MI: Gale. 2003,2:1480-1482.
- [9]. Goldstein Bernard D. *Encyclopedia of Public Health*. Ed. Lester Breslow.. New York, macmillan Reference USA.2002, 4 :936 – 941
- [10]. Jeng H. *Encyclopedia of Cancer and Society*. Ed. Graham Colditz., Los Angeles: Sage Publications Inc.2007, 2: 695-697
- [11]. Nsirik Benson. *Encyclopedia of Global Warming and Climate Change*. Ed. S. Philander. Vol 3. Thousand Oaks. CA: Sage Publications Inc .2008,3 :813-817
- [12]. Park Chris. *A Dictionary of Environment and Conservation : water pollution*. Oxford University Press, 2007. Oxford Reference Online www.oxfordreference.com.edlis.ied.edu.hk/views/ENTRY.html?subview=Main&entry=t244.e8816.
- [13] : <https://www.memoireonline.com/09/19/10995/pollution-de-l-eau.html>.
- [14] : Fawell John et Nieuwenhuijsen Mark J. Impact of environmental pollution on health: balancing risk : Contaminants in drinking water. *British Medical Bulletin* .2003, 68: 199–208.
- [15] Meybeck Michel H. *Encyclopedia of Global Change : Water Quality* . Ed. Andrew S. Goudie. Oxford University Press,2001:

www.oxfordreference.com.edlis.ied.edu.hk/views/ENTRY.html?subview=Main&entry=t1

78.e0459

[16] : Trevors J. T . et Saier Jr M. H.Regulation of Pollution . Water Air Soil Pollution,2007.

[17]: Buriks C.pollution of the natural environment . The Oxford Companion to the Earth. Ed. Paul Hancock and Brian J. Skinner. Oxford University Press. Oxford Reference Online. Oxford University Press,2000.
<http://www.oxfordreference.com.edlis.ied.edu.hk/views/ENTRY.html?subview=Main&entry=t112.e735>

[18] : Bridgman Howard A.Encyclopedia of Global Change : Pollution . Ed. Andrew S. Goudie.Oxford University Press,2001.

[19] : Anonyme.Dictionary of Public Health. Oxford University Press. Ed. John M. Last. OxfordReference Online,2007.

[20] : Roberts Stephen M ., Munson John W ., Lowney Yvette W. et Ruby Michael V, Relative oral bioavailability of arsenic from contaminated soils measured in the cynomolgus monkey . Toxicological sciences . 2007,95(1) : 281–288.

[21] : Fawell John et Nieuwenhuijsen Mark J. Impact of environmental pollution on health: balancing risk : Contaminants in drinking water. British Medical Bulletin .2003, 68: 199–208

[22]: Boyd C.E. Chemecal analyse of some vascular aquaic plants. 1970,P.50.

[23] : koller Emilian.Trainement des pollutions industrielles, Dunod, Paris.2004,P23 .

[24] : ARRIS S. « Etude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sous produits de céréale » Thèse de doctorat de l'université de Constantine- Algérie,2008.

[25] ADRIANO D.C. Trace elements in terrestrial environments: Biochemistry,bioavailability and risks of metals. Springer-Verlag, New York,2001.

[26] KABATA-PENDIAS A., et PENDIAS H. Trace elements in soils and plants. 3rd CRC Press, Boca Raton, London, New-York, Washington D.C,2001.

[27] BEHANZIN G. J., ADJOU E.S., YESSOUFOU A.G., DAHOUEONON A.E. et SEZAN A. Effet des sels de métaux lourds (chlorure de Cobalt et chlorure de Mercure) sur l'activité des hépatocytes, Journal Applied Biosciences,2014. Vol 83, pp 7499-7505.

[28] BOURRELIER, P.H., BERTHELIN J. Contamination des sols par les éléments en traces: les risques et leur gestion. Rapport n°42, Académie des Sciences. (Ed). Lavoisier,1998,300p.

[29] AFNOR, Prélèvement et dosage du plomb dans les aérosols. Paris-La Défense, sept 1988.

[30] WEISS D., SHOTYK W., KEMPF O.Archives of Atmospheric Lead Pollution. NaturWissenschaften. Mémoire de magister de l'université de Tlemcen-Algérie,1999.

[31] Muller Rémy, Tableau-periodique.fr/element-cuivre.php.2016-2012.

- [32] I. AIT KHALDOUN, Optimisation du transport des cations Cu(II), Zn(II) et Cd(II) par le tri-n-butylphosphate (TBP) à travers les membranes d'affinité, MEMOIRE MAGISTER, MOULOUD MAMMERI, TIZI OUZOU, Algérie, 2011, p 6-12.
- [33] Travaux pratiques de cristallographie 3 : structure cubique à face centrée du cuivre' Ressources.Unisciel.fr.
- [34] M. Shahab and Golshekanb Shariati, Optimization of cloud point extraction of copper with neocuproine from aqueous solutions using Taguchi fractional factorial design Journal of Analytical Chemistry March 2014, Volume 69, Issue 3, p 248-254.
- [35] D.-E.-D. KADEM, Evaluation et comportement des métaux lourds (cd – cr – cu – ni – pb – zn et mn) dans les sols à vocation agricole et à végétation naturelle soumis à une pollution atmosphérique. (el-hadjar – annaba – est algérien). influence de la végétation sur la dynamique de ces métaux' THESE, MENTOURI, CONSTANTINE.Algérie, 2005. p 10.
- [36] F. Ghebghoub, Effet du diluant sur l'extraction du cuivre(II), cobalt(II) et nickel(II) par l'acide di-(2-ethylhexyl) phosphorique' THESE, Mohamed Khider, BISKRA.Algérie, 2012. [37] Chapitre-I.pdf, Généralités sur les métaux lourds et leurs effets sur l'environnement.
- [38] H. KHELFAOUI, CHAFFAI,HANI,LAOUAR Hicham,Azzedine,Rabah, Impacts des rejets industriels sur les eaux de la région de Berrahal (Nord Est Algérien),Rev. Sci. Technol., Synthèse 25, 2012 p 71- 81.
- [39] S. Azzoug, O. Arous, H. Kerdjoudj. J. Soc. Alger. Chim.2010, 20 (2), 73-82.
- [40] W. W. Schulz, J. D. Navratil, Ed. CRC Press,1984, Vol. 1, P. 3, Florida, USA.
- [41] A. Oubouzar, Thèse de magister, USTHB-Alger, (1983).
- [42] D. Barkat, Thèse Doctorat d'état, U.S.T.M.B, Oran, Algérie, (2001).
- [43] E. Abe, S.G. Delyle, J.C. Alvarez, Extraction liquide-liquide : théorie, applications, difficultés, Ann Toxicol Anal. 2010; 22(2): 51-59
- [44] INRS. Les solvants organiques, Fiches solvants: Institut national de recherches et sécurité.2009, In: 4220 E (ed.).