



UNIVERSITE ABOU-BAKR BELKAID – TLEMCCEN

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCE-DEPARTEMENT DE CHIMIE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER EN CHIMIE

Spécialité : Chimie Analytique

Par : BOUSMAHA Wided et KEHAL Douaa

Sur le thème :

Utilisation d'un biotensioactif dans une extraction liquide-liquide

Soutenu publiquement le 21 juin 2025 à Tlemcen devant le jury composé de :

Mme BENHACHEM Fatima Zahra	MCA	Présidente	Université de Tlemcen
Mme MESLI Meriem	MCB	Examinatrice	Université de Tlemcen
Mr ELHABIRI Sid Ahmed	MCB	Examineur	Université de Tlemcen
Mme SEKKAL Amina Rim	MCB	Encadrante	Université de Tlemcen

Année universitaire : 2024/2025

« Il est difficile d'échouer
mais il est encore plus
difficile de ne pas avoir
essayé de réussir »

« *Théodore Roosevelt* »



Dédicace

Grâce à Allah, Le Tout-Puissant, Le Très Miséricordieux, qui m'a accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail. Sans Sa guidance, rien de tout cela n'aurait été possible. Qu'Il soit loué pour Ses innombrables bienfaits.

C'est avec une profonde gratitude et une émotion sincère que je dédie ce modeste travail, fruit d'efforts, de persévérance et de passion :

À mes chers parents,

Vous êtes les piliers de ma vie. Votre amour incommensurable, vos innombrables sacrifices, votre patience sans limite et votre soutien indéfectible ont toujours été pour moi une source d'inspiration. Votre confiance m'a portée dans les moments de doute, et votre exemple m'a guidée avec sagesse et humilité.

À mes frères et sœurs,

Merci pour votre présence réconfortante, vos encouragements sincères et votre amour fraternel. Votre soutien constant, même silencieux, a été pour moi une force précieuse au fil de ce parcours.

À mes amis et à mes proches,

Je vous adresse une pensée toute particulière pour vos encouragements, votre compréhension dans les moments difficiles et votre présence fidèle. Vous avez su, par vos gestes et vos mots, alléger les jours de fatigue et raviver ma motivation.

À mon encadrante et à l'ensemble de mes professeurs,

Recevez l'expression de ma profonde gratitude pour votre accompagnement rigoureux, vos conseils éclairés et votre disponibilité. Votre expertise et votre bienveillance ont enrichi mon travail et m'ont guidée tout au long de ce chemin scientifique.

***Enfin, à toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont cru en moi et ont contribué à mon épanouissement personnel, académique et spirituel,
Merci du fond du cœur. Cette réussite vous appartient aussi.***

Wided



Dédicace

Grace à Allah tout puissant et en signe de reconnaissance à tous les sacrifices consentis pour ma réussite et la volonté pour mener à bien ce modeste travail je dédie :
À mes parents, aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont vous ne cessez de me combler. Grâce à vous, j'ai pu arriver là où je suis maintenant. Qu'Allah vous procure bonne santé et longue vie.

À mes deux princesses : Wafa et Soujoud et à mon cher Frère : Soheyb A qui je souhaite bonne santé et beaucoup d'amour.

À Asma, Amel et Ghezlane , plutôt sœurs qu'amies. Merci pour votre présence constante et votre amitié sans faille qui m'a accompagné dans tous les moments.

À mes chères copines : Asouma , Sabah, Zineb, Bouchra, Hafsa, Romaisa, Halima, Sabine, Chahida, Hadjer Et à tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

À mes sœurs de MOSALLA FATIMA ZAHRA, où les cœurs se sont unis dans l'amour d'Allah. À mes professeurs de l'Université de Tlemcen, ainsi qu'à mes collègues de la promotion de chimie analytique.

À la Palestine, notre juste cause, notre blessure saignante, terre de la résistance, c'est à toi que j'offre mes Douaa et mon savoir...Puissent-ils être une pierre dans le chemin de la victoire et de la liberté.

En fin A notre communauté islamique, j'espère que ce travail sera une petite pierre ajoutée à l'édifice de notre renaissance, et un modeste pas vers un avenir radieux.

Douaa

Remerciements

Nous tenons à remercier et rendre grâce à Allah le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de mener à bon ce modeste travail.

Ce travail a été réalisé au laboratoire de Technologie de Séparation et de Purification (LTSP) de l'Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen.

En premier lieu, Nos vifs remerciements s'adressent à notre encadrante Mme. SEKKAL Amina Rim pour tous ses efforts et ses conseils pour faire cette mémoire.

Nous remercions vivement tous les membres du jury qui ont bien accepté de juger notre travail.

Nos vifs remerciements s'adressent à notre responsable de formation Pr. OUKEBDANE Khalil et à notre responsable de laboratoire « LTSP » Pr. BELKHOUCHE Nasr-Eddine pour tous leurs efforts et leurs conseils durant cette formation.

Nous tenons à remercier l'ingénieur du laboratoire Mme BENAOUA Wafaa pour son aide.

Nous remercions aussi tous les responsables et le personnel de notre département de chimie, notamment notre cheffe de département Mme ABDOUN Fatima Zohra.

Dans l'impossibilité de citer tous les noms, nos sincères remerciements vont à tous ceux et celles, qui de près ou de loin, ont permis par leurs conseils et leurs compétences la réalisation de ce travail.

LISTE DES ABREVEATIONS

$R4As^-$: arsonium

$R4N^-$: ammonium

$R4P^+$: phosphonium

X^- : anion minéral

γM : facteur d'activité

[Pb] : la concentration de plomb

$=NH_3$: ammoniac A^- : l'anion minéral A : absorbance

a_M : activité thermodynamique

As : l'arsenic

B : fraction du plomb (II) extrait à l'équilibre

B^+ : cation organique

C : la concentration

$C_{42}H_{80}NO_8P$: Lécithine

C_6H_5N : la pyrimidine

Cd : le cadmium

CM : concentration de la solution

CMC : Concentration Micellaire Critique

$-COOH$: acide carboxylique Cr : chrome

Cu : cuivre

D : coefficient de distribution

E : efficacité de l'extraction

ELL : extraction liquide liquide

ETM : éléments traces métalliques

FDA : Food and Drug Administration Fe : fer

H_2O : eau

HCl : Acide Chlorhydrique Hg : mercure

HLB : balance lipophile-hydrophile

I : force ionique

IUPAC : union internationale de chimie pure et appliquée

K_c : constante d'équilibre en fonction des concentrations

L : extractant

L'EFSA : Autorité européenne de sécurité des aliments

Le : lécithine

LTSP : Laboratoire de Technologie de Séparation et de Purification m : masse

M : masse molaire

M^{m+} : cation métallique

Mn : manganèse

n : nombre de mole

-NH₂: amine

Ni : nickel

NO₃⁻ : ion de nitrate

-OH : hydroxydes

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ϕ : vitesse d'agitation

Pb (NO₃)₂ : Nitrate du plomb

Pb : plomb

PO₃H₂: acide phosphorique

R : constante des gaz parfaits

R : rendement

R1 R2 R3 : chaînes d'acides gras

-SH : thiol

SLS : laurylsulfate de sodium

Sn : étain

Zn : zinc

-SO₃H: acide sulfonique

T : température

t : temps

UV : rayonnement ultraviolet

V : volume

Z : Nombre de charge

ΔG : enthalpie libre de la réaction

ΔH : enthalpie de la réaction

ΔS : entropie de la réaction

LISTE DES FIGURES

Partie Théorique

Chapitre I : Généralités sur l'extraction liquide-liquide

Figure I.1 : Extraction liquide-liquide.....	4
Figure I.2 : Présentation du principe de l'extraction liquide-liquide.....	5
Figure I.3 : Schéma de principe d'une extraction simple.....	6

Chapitre II : Généralités sur Les métaux lourds

Figure II.1 : Classification périodique des éléments.....	16
Figure II.2 : Source industrielle et agricole des métaux présents dans l'environnement...	18

Chapitre III : : Généralités sur les biotensioactifs

Figure III.1: Représentation schématique d'un tensioactif.....	25
Figure III.2 : Représentation schématique des différentes catégories de tensioactifs en fonction de la charge portée.....	25
Figure III.3 : Exemples des tensioactifs anioniques.....	26
Figure III.4 : Exemples des tensioactifs cationiques.....	26
Figure III.5 : Exemples des tensioactifs zwitterionique.....	27
Figure III.6 : Exemples des tensioactifs non ioniques.....	28
Figure III.7 : Représentations schématiques d'une micelle de surfactant.....	29
Figure III.8 : Structure de quelques biosurfactants.....	30

Figure III.9 : Arrangements Supramoléculaires possibles des biosurfactants (a) monomère constitué d'une tête hydrophile et d'une queue hydrophobe, (b) micelle sphérique usuelle, (c) micelle tubulaire, (d) couche micellaire (e) vésicule ou liposome.....	31
Figure III.10 : Structure chimique de la lécithine.....	34

Chapitre IV: Etude expérimentale

Figure IV.1 : Schéma montrant les étapes de l'expérience.....	40
--	-----------

Partie Résultats et Discussions

Chapitre V: Résultats et Discussions

Figure V.1 : Courbe d'étalonnage du plomb.....	44
Figure V.2 : l'évolution du rendement d'extraction en fonction du pH.....	45
Figure V.3 : Evolution du log D en fonction du PH.....	46
Figure V.4 : Structure du complexe plomb-lécithine.....	47
Figure V.5: rendement d'extraction en fonction du $[Pb(NO_3)_2]$	47
Figure V.6 : rendement d'extraction en fonction de la vitesse d'agitation.....	48
Figure V.7 : rendement d'extraction en fonction du temps d'agitation.....	49
Figure V.8 : rendement d'extraction en fonction de la température.....	50
Figure V.9 : Variation de $\ln K_c$ en fonction de l'inverse de la température.....	52

LISTE DES TABLEAUX

Partie théorique

Chapitre I : Généralités sur l'extraction liquide-liquide

Tableau I.1 : les principaux solvants utilisés dans les opérations d'extraction liquide-liquide des métaux.....	14
--	-----------

Chapitre II : Généralités sur Les métaux lourds

Tableau II.1 : caractéristiques physico-chimiques du plomb.....	20
--	-----------

Tableau II.2 : Effet du plomb sur la santé : synthèse des données de littérature.....	23
--	-----------

Partie expérimentale

Chapitre IV: Etude expérimentale

Tableau IV.1 : Produits et réactifs utilisés.....	38
--	-----------

Partie Résultats et Discussions

Chapitre V: Résultats et Discussions

Tableau V.1 : Les différentes valeurs de l'enthalpie libre de la réaction en fonction de la température.....	53
---	-----------

Tableau V.2 : Tableau comparatif de l'extraction avec ou sans solvant.....	55
---	-----------

SOMMAIRE :

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE1

Chapitre I : Généralités sur l'extraction liquide-liquide

I.	Introduction	3
I.1.	Définition	3
I.2.	Principe de l'extraction liquide-liquide	4
I.3.	Différents types d'extraction	5
I.3.1.	Extraction simple	5
I.3.2.	Extraction multiple.....	6
I. 4.	Paramètres d'extraction	7
I.4.1.	Coefficient de distribution (D)	7
I.4.2.	Efficacité de l'extraction (E%).....	8
I.4.3.	Facteur de séparation(α).....	8
I.5.	Classification des mécanismes d'extraction liquide-liquide	9
I.5.1.	Extraction par échange de cations.....	9
I.5.2.	Extraction par chélation	10
I.5.3.	Extraction par solvatation.....	10
I.5.4.	Extraction par échange d'anions	11
I.6.	Effet de la force ionique	12
I.7.	Diluants et leur rôle.....	12

Chapitre II : Généralités sur Les métaux lourds

II.1.	Généralités sur les métaux lourds.....	15
II.2.	Définition des « métaux lourds ».....	15
II.3.	Classification des métaux lourds.....	16
II.3.1.	Métaux essentiels.....	16
II.3.2.	Métaux toxiques.....	17
II.4.	Origine des métaux lourds	17
II.4.1.	Origine naturelle	17
II.4.2.	Origine anthropique	17
II.5.	Aspects théoriques sur le plomb	18
II.5.1.	Généralités	18
II.5.2.	Définition	19
II.5.3.	Utilisations du plomb.....	20
II.5.4.	Normes de l'OMS	21
II.5.5.	Dangers du plomb métal	21

Chapitre III : : Généralités sur les biotensioactifs

III.1. Généralités sur les tensioactifs	24
III.1.1. Définitions des tensioactifs	24
III.1.2. Différents types de tensioactifs	25
a. Les tensioactifs anioniques	25
b. Les tensioactifs cationiques	26
c. Les tensioactifs zwitterioniques	27
d. Les tensioactifs non-ioniques	27
III.2. Généralités sur les biotensioactifs	28
III.2.1. Définitions des biotensioactifs	28
III.2.2. Différents types de biotensioactifs	29
III.2.3. Les propriétés physico-chimiques des biosurfactants	30
a. Concentration micellaire critique	31
b. Tension superficielle	32
c. Tension interfaciale	32
d. Equilibre hydrophile-lipophile	32
e. Solubilisation des bio-surfactants dans l'eau	32
III.3. La lécithine	33
III.3.1. Généralités	33
III.3.2. Lécithine du jaune d'œuf	33
III.4. Utilisation de lécithine	34
III.5. Stabilité de la lécithine	35
III.6. Toxicologie de la lécithine	35

Chapitre IV : Etude expérimentale

IV.1. Le laboratoire de Technologie de Séparation et de Purification	37
IV.2. Produits et appareillages utilisés	38
IV.2.1. Appareillages utilisés	38
IV.2.2. Produits utilisés	38
IV.3. Propriétés chimiques et propriétés physiques de la lécithine	38
IV.4. Préparation des solutions	39
IV.4.1. Préparation de la solution mère Pb^{2+} à 0.1M	39
IV.4.2. Préparation de la solution HCl à 0.1M	39
IV.4.3. Préparation de la solution de la lécithine	39
IV.5. Procédé analytique d'extraction	40
IV.5.1. Etude de l'influence de pH	40
IV.5.2. Etude de l'influence de la concentration de la solution de plomb	40
IV.5.3. Etude de l'influence de la vitesse d'agitation	41
IV.5.4. Etude de l'influence du temps d'agitation	41
IV.5.5. Etude de l'influence de la température	41

Chapitre V: Résultats et Discussions

V.1. Courbe d'étalonnage du plomb.....	43
V.2. Effet du pH sur l'extraction du plomb	44
V.3.Effet de la concentration de la solution du plomb sur l'extraction du plomb	47
V.4. Effet de la vitesse d'agitation sur l'extraction du plomb	48
V.5. Effet du temps d'agitation sur l'extraction du plomb.....	49
V.6. Effet de la température sur l'extraction du plomb	50
V.7.Paramètres thermodynamiques.....	51
V.8.Avantages et inconvénients de l'extraction (plomb-lécithine).....	53
a.Avantages.....	53
b.Inconvénients.....	54
Conclusion générale	56
Références bibliographiques.....	57
Résumé	



Introduction Générale

La pollution par les métaux lourds, en particulier le plomb, constitue un enjeu environnemental et sanitaire majeur en raison de sa toxicité, de sa persistance et de son accumulation dans les écosystèmes. Les rejets industriels, les eaux usées et les sols contaminés représentent des sources importantes de contamination, nécessitant le développement de méthodes d'extraction et de décontamination efficaces et respectueuses de l'environnement.

Parmi les techniques disponibles l'extraction liquide-liquide est largement utilisée pour la séparation et la récupération des métaux lourds. Cependant les solvants organiques traditionnels et les agents extractants synthétiques posent des problèmes de toxicité, de coût et de biodégradabilité. Dans ce contexte, l'utilisation de biotensioactifs naturels telle que la lécithine offre une alternative prometteuse en raison de leurs propriétés amphiphiles, biocompatibles et peu polluantes.

La lécithine, un phospholipide d'origine naturelle (issue de soja, du tournesol ou de l'œuf) présente une affinité particulière pour les ions métalliques grâce à ses groupements polaires (phosphate) et sa capacité à former des micelles ou des émulsions. Son utilisation comme agent extractant dans l'extraction liquide-liquide pourrait améliorer la sélectivité, l'efficacité et la durabilité du procédé, tout en réduisant l'impact environnemental.

Ce mémoire vise à étudier l'efficacité de la lécithine comme biotensioactif dans l'extraction du plomb, en explorant les paramètres optimaux d'extraction (pH, concentration du métal, température, temps et vitesse d'agitation). Les résultats obtenus pourraient ouvrir la voie à des procédés plus verts dans le traitement des eaux et la valorisation des déchets métalliques.

Dans ce contexte, nous avons entrepris l'étude de l'extraction du plomb (II) en milieu nitrate par la lécithine. Le but est de déterminer les principaux paramètres d'extraction du métal. La détermination et l'amélioration de ces paramètres se font par variation du pH, de la concentration du métal, de la température, du temps et de la vitesse d'agitation.

Le travail présenté dans ce manuscrit est organisé de la manière suivante :

- ✓ Le premier chapitre, est réservé aux généralités sur l'extraction liquide-liquide.
- ✓ Le second quant à lui nous donne une idée générale sur les métaux lourds en particulier le plomb.
- ✓ Le troisième est consacré aux tensioactifs en général et au biotensioactifs plus spécifiquement.
- ✓ Le quatrième comporte la partie expérimentale détaillée.
- ✓ Le cinquième regroupe les résultats expérimentaux obtenus lors de l'extraction du plomb (II) par la lécithine en fonction de différents paramètres : pH, concentration du plomb, température, vitesse et temps d'agitation.
- ✓ Nous terminerons par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus

Chapitre I : Généralités sur l'extraction liquide- liquide

I .Introduction

L'extraction liquide-liquide (ELL), également appelée extraction par solvant, est une technique de séparation qui permet de transférer une ou plusieurs espèces chimiques d'une phase aqueuse vers une phase organique. La phase organique contient généralement un agent extractant complexant ou une molécule extractante spécifique, dissoute dans un diluant approprié. Ce procédé repose sur la différence de solubilité des solutés entre les deux phases non miscibles, ainsi que sur leur équilibre de partage [1].

Cette méthode est particulièrement adaptée pour la récupération et la séparation des métaux lourds contenus dans les effluents aqueux industriels à des concentrations moyennes en soluté. Elle est à la fois efficace et peu coûteuse, ce qui explique qu'elle ait fait l'objet de nombreuses études et améliorations pour optimiser la récupération et la purification de molécules chimiques ou de biomolécules [2].

L'extraction liquide-liquide a connu un développement majeur au cours de la seconde moitié du XXe siècle, notamment grâce à l'essor de l'énergie nucléaire. Aujourd'hui, elle demeure un procédé incontournable, largement utilisé à l'échelle industrielle dans des secteurs aussi divers que l'hydrométallurgie, l'industrie nucléaire, la pétrochimie, la pharmacie, ainsi que l'agroalimentaire [3], grâce à sa capacité à purifier, concentrer ou récupérer des composés spécifiques.

I.1. Définition

L'extraction liquide-liquide est un procédé physico-chimique de séparation qui a connu un grand développement en particulier dans les industries nucléaires, pharmaceutiques et pétrochimiques. Elle est basée sur le principe de transfert de matière d'une ou de plusieurs espèces métalliques dites « soluté » entre deux phases liquides non miscibles [4]

Le système se compose de deux éléments principaux :

- Une solution aqueuse contenant des cations métalliques, qui peuvent se présenter sous forme d'ions libres, de composés chargés ou de complexes neutres, en fonction de la composition et de la nature de la phase aqueuse.
- Une phase organique composée d'un ou plusieurs extractants, dissous ou non dans un diluant.

La réalisation de l'extraction liquide-liquide nécessite deux étapes distinctes :

1. **L'agitation** : Les deux phases doivent être intimement mélangées par brassage, afin d'assurer un transfert efficace des solutés jusqu'à atteindre une concentration d'équilibre, selon la cinétique de transfert.
2. **La décantation** : Les phases sont ensuite séparées par gravité, le temps de décantation étant déterminé par la séparation des deux phases non miscibles.

À l'équilibre, la phase aqueuse est appelée « raffinat », tandis que la phase organique est désignée comme « extrait » [5].

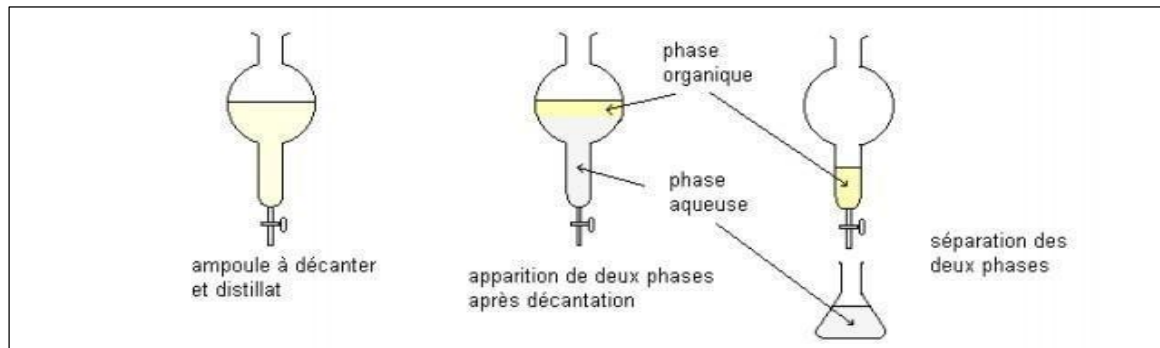


Figure I.1 : Extraction Liquide-liquide [6].

I.2. Principe de l'extraction liquide-liquide

L'extraction liquide-liquide est un procédé qui permet la séparation de deux ou plusieurs constituants d'un mélange en mettant à profit leur distribution inégale entre deux liquides pratiquement non miscibles.

On réalise généralement une mise en contact étroite entre une solution d'alimentation, contenant les solutés à séparer, et une seconde phase liquide appelée solvant. Ce solvant est souvent composé d'un extractant, d'un diluant et parfois d'un modificateur de phase, permettant d'extraire préférentiellement un ou plusieurs solutés. Une fois les solutés transférés, le solvant chargé est désigné sous le terme **d'extract**, tandis que la solution d'alimentation, appauvrie en ces constituants, devient le **raffinat** [7] (figure I.2).

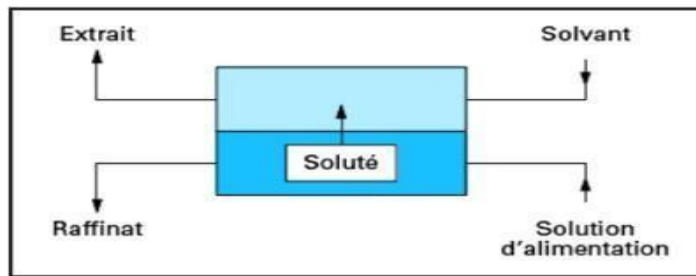


Figure I.2 : Présentation du principe de l'extraction liquide-liquide [8].

En pratique, un processus d'extraction liquide-liquide implique deux étapes essentielles [9]:

- **Mise en contact des phases :** Les deux liquides sont mélangés durant un temps suffisant pour atteindre l'équilibre ou s'en approcher. Pendant cette période, les solutés migrent de la phase d'alimentation vers le solvant. À l'équilibre, le **rapport de distribution**, exprimé par le ratio des concentrations du soluté dans l'extract et le raffinat, reflète son affinité relative pour chaque phase.
- **Séparation des phases :** Après leur mise en contact, les deux liquides sont séparés sous l'effet de la gravité. Dans certains cas, d'autres forces peuvent être employées pour faciliter la séparation, comme la force centrifuge ou un champ électrique.

I.3. Différents types d'extraction

I.3.1.Extraction simple

On cherche à extraire un soluté contenu dans un mélange liquide homogène constitué de soluté et de diluant. On utilise pour cela une certaine quantité d'un solvant qui ne doit

pas être miscible avec le diluant, mais miscible avec le soluté.

Les deux phases liquides ainsi que solvant sont mélangées intimement (mélange non homogène) et le soluté se distribue dans chacune des phases selon un équilibre physicochimique.

Le mélange non homogène est alors décanté en deux phases non miscibles (Figure I.3) :

- L'extrait, contenant majoritairement du solvant et le soluté extrait.
- Le raffinat contenant majoritairement du diluant, ainsi que le soluté non extrait [10].

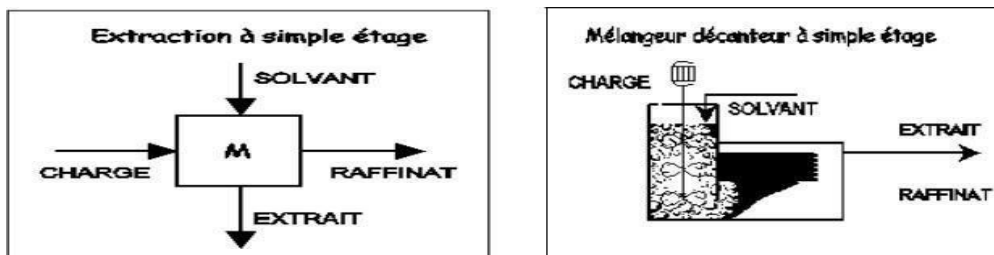


Figure I.3 : Schéma de principe d'une extraction simple [10].

I.3.2. Extraction multiple

La réalisation de ce mode d'extraction peut être soit continue soit discontinue. Lors de l'extraction discontinue on fait subir à la phase aqueuse des extractions successives en utilisant à chaque fois une phase organique neuve. Elle s'effectue par l'agitation vigoureuse du solvant et de la solution à extraire dans une ampoule à décanter.

Par contre l'extraction continue peut-être réalisée par le passage continu du solvant organique à travers la solution aqueuse immobile. La solution à extraire est alimentée par un solvant pur recyclé en continue par distillation.

Tandis que pour l'extraction chromatographique ; la phase liquide mobile est une phase aqueuse. Elle est plus polaire que la phase stationnaire qui est une phase organique adsorbée par un support hydrophobe et poreux.

I.4. Paramètres d'extraction

I.4.1. Coefficient de distribution (D)

Le coefficient de distribution (souvent noté D) est une grandeur fondamentale en extraction liquide-liquide, qui quantifie la répartition à l'équilibre d'un soluté entre deux phases liquides

non miscibles, typiquement une phase aqueuse et une phase organique. Ce coefficient exprime le rapport des concentrations du soluté dans chaque phase lorsque l'équilibre thermodynamique est atteint [11].

Lorsque la phase organique (contenant un extractant et un diluant) est mise en contact avec une phase aqueuse contenant un soluté, un processus de distribution s'instaure. Le soluté migre entre les deux phases jusqu'à ce que les potentiels chimiques du soluté dans chaque phase s'égalisent, marquant ainsi l'équilibre. A cet équilibre, on peut relier les activités thermodynamiques (a) du soluté aux concentrations ($C_{M, aq}$ et $C_{M, org}$ dans les phases aqueuses et organiques respectivement) selon la loi de Berthollet -Nerst :

$$a_M = \gamma_M C_M$$

Où γ_M : facteur d'activité

C_M : concentration de la solution

a_M : activité thermodynamique

Le coefficient de distribution D est défini comme le ratio de la concentration totale en soluté dans la phase organique par rapport à celle dans la phase aqueuse à l'équilibre [12] :

$$D = \frac{a_{M,org}}{a_{M,aq}} = \frac{y_{M,org} C_{M,org}}{y_{M,aq} C_{M,aq}}$$

Dans le cas de solutions suffisamment diluées, les coefficients d'activités tendent vers un (1), et on peut alors écrire la formule précédente sous cette forme :

$$D = \frac{C_{M,org}}{C_{M,aq}}$$

I.4.2. Efficacité de l'extraction (E%)

Le pourcentage d'extraction (EM) est défini comme la fraction de composé M en phase organique à l'équilibre par rapport à la quantité totale de ce composé mise en jeu dans le système et s'exprime en pourcentage (%) [13].

$$E_M (\%) = 100 \frac{C_{M,org} V_{M,org}}{[C_{M,org} V_{M,org} + C_{M,aq} V_{M,aq}]}$$

$$E_M (\%) = 100 \frac{D_M}{[D_M + \frac{V_{M,aq}}{V_{M,org}}]}$$

Dans le cas où les volumes des deux phases sont égaux $\frac{V_{M,aq}}{V_{M,org}} = 1$ on a :

$$E_M (\%) = 100 \frac{D_M}{[D_M + 1]}$$

I.4.3. Facteur de séparation (α)

Le facteur de séparation, appelé aussi coefficient de sélectivité $\alpha_{M,N}$ de deux éléments M et N, est défini comme étant le rapport de leurs coefficients de distribution respectifs D_M et D_N , établis dans les mêmes conditions :

$$\alpha_{M,N} = \frac{D_M}{D_N}$$

On obtiendra une séparation d'autant plus efficace que la valeur de $\alpha_{M,N}$ est différente de l'unité, cette condition n'étant valable que si les valeurs D_M et D_N ne sont pas très élevées [14].

I.5. Classification des mécanismes d'extraction liquide-liquide

Dans un système à deux phases (aqueuse et organique), la distribution préférentielle d'un soluté minéral en faveur de la phase organique ne peut se faire que grâce à une interaction chimique forte entre ligand en phase organique et soluté. Selon la nature des interactions mises en jeu par l'extractant, les phénomènes d'extraction sont classés en quatre catégories [15] :

1. L'extraction par solvation.
2. L'extraction par échange de cations.
3. L'extraction par chélation.
4. L'extraction par échange d'anions.

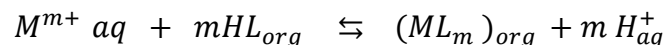
I.5.1. Extraction par échanges de cations

Cette extraction fait intervenir l'échange d'un ou de plusieurs protons, entre l'extractant acide et un cation métallique présent dans la phase aqueuse. Les extractants sont des acides

organiques lipophiles, caractérisés par un groupement échangeur de proton (-COOH, -SO₃H,

=NH₃, -SH, PO₃H₂, -NH₂, ...), ils forment avec les cations métalliques des sels organosolubles.

L'extraction se produit par simple réaction de l'acide organique avec les cations métalliques de la phase aqueuse, cette réaction est régie par l'équilibre suivant :



Avec :

$$K_{ex} = \frac{[ML_m]_{org} [H^+]^m_{aq}}{[M^{m+}]_{aq} [H^+]^m_{aq}}$$

Le coefficient de distribution du métal est défini par : $D = \frac{[ML_m]_{org}}{[M^{m+}]_{aq}}$

Donc : $\log D = \log k_{ex} + [HL]_{org} + mpH$

L'étude des courbes $\log D = f(pH)$ et $\log D = f(\log [HL]_{org})$ nous renseigne sur le nombre de protons échangés et sur la nature du complexe extrait. Ces extractions sont sensibles au pH. Un pH élevé favorise l'extraction.

Le facteur de séparation de deux cations métalliques M^{+m} et N^{+n} est défini par la relation :

$$\log \alpha_{MN} = \log \frac{D_M}{D_N} = \log \frac{k_M}{K_N} + (m + N) \log [HL]_{org} + (m - n)p$$

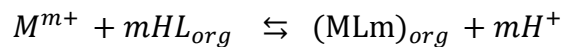
La sélectivité de séparation augmente avec l'augmentation du pH et la molarité de l'extractant si « m » diffère de « n » ; par contre pour deux métaux de même valence (m=n), le facteur de séparation ne dépend que de la différence des valeurs des constantes d'extraction et de la différence des rayons ioniques des cations étudiés, le moins volumineux étant le mieux extrait.

I.5.2. Extraction par chélation

Dans le procédé d'extraction par chélation, l'extractant agit à la fois comme un solvant et comme un échangeur de cation. Il possède un groupement fonctionnel acide faible (-OH où

-SH) et un groupement donneur (atomes d'oxygène ou d'azote), susceptible de se coordonner avec le métal.

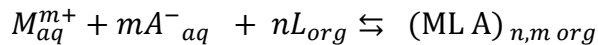
Celui-ci est extrait sous forme d'un chélate métallique. L'équilibre est décrit comme suit :



I.5.3. Extraction par solvation

Les extractants possèdent des groupements donneurs (O, N, S, P) sans proton labile. Par l'intermédiaire de ces groupements, l'extractant peut partiellement ou totalement remplacer les molécules d'hydratation du cation et solvater ou complexer le métal.

L'espèce est extraite sous forme d'une paire d'ions complexe. L'extraction par solvation d'un cation métallique M^{m+} dans un milieu aqueux contenant l'anion minéral A^- par un extractant L, est décrite par l'équilibre suivant :



Avec :

$$K_{ex} = \frac{[ML_n A]_{org}}{[M^{m+}]_{aq} [A^-]_{aq}^m [L]_{org}^n}$$

Le coefficient de distribution du métal est :

$$D_M = \frac{[ML_n A]_{org}}{[M^{m+}]_{aq}}$$

$$\text{D'où } \log D = \log K_{ex} + m \log [A^-]_{aq} + n \log [L]_{org}$$

D'après cette expression, le coefficient de distribution (D) augmente avec l'augmentation de la concentration de l'extractant (L) ou celle de l'anion (A^-).

I.5.4. Extraction par échange d'anions

Dans certains milieux aqueux, les ions métalliques peuvent se présenter sous forme de complexes anioniques.



L'extraction d'anions métallates est associée à des cations organiques [ammonium (R_4N^+), arsonium (R_4As^+), phosphonium (R_4P^+)] accompagnés par un anion minéral X^- .

L'équilibre d'extraction correspond à un échange d'anions qui doit satisfaire

l'électroneutralité des phases :



$$K_{ex} = \frac{[B_{(n-m)}^+ MA_{org}^{(n-m)}]_{org} [k^-]_{aq}^{(n-m)}}{[MA^{(n-m)-}]_{aq} [B^+ X^-]_{org}^{(n-m)}}$$

$$\text{Donc : } \log D = \log K_{ex} + (n-m) \log [B^+ X^-]_{org} - (n-m)$$

D'après cette relation, l'augmentation de la concentration du cation organique (B⁺, X⁻) et la réduction de la concentration de l'anion X⁻ en phase aqueuse améliore l'extraction.

I.6. Effet de la force ionique

La force ionique notée I, est un des principaux facteurs influençant l'activité des ions en solution aqueuse. Dans le procédé d'extraction la concentration des anions constituant le milieu aqueux exerce un effet très important sur l'extraction des ions métalliques.

La force ionique est définie par l'expression suivante et s'exprime en *mol L*⁻¹ [16].

$$I = \frac{1}{2} \sum C_i Z_i^2$$

I : La force ionique du milieu aqueux.

Z_i : Nombre de charge de l'espèce « i ».

C_i : Concentration molaire de l'espèce i.

I.7. Diluants et leur rôle

En général, on utilise des solvants, également appelés diluants, pour dissoudre et diluer les extractants. Cette dilution permet d'ajuster la concentration des extractants afin d'optimiser à la fois le rendement et la sélectivité des extractions. Toutefois, les solvants sélectionnés doivent posséder une grande inertie chimique, être peu inflammables et

présenter des propriétés physiques favorables à l'écoulement des liquides ainsi qu'à la séparation des émulsions.

Parmi les caractéristiques physico-chimiques habituellement recherchées pour un solvant, qui doit former une phase organique continue et non miscible avec la phase aqueuse, on peut citer :

- Une densité suffisamment différente de celle de la phase aqueuse.
- Une faible viscosité.
- Une tension interfaciale avec l'eau assez élevée pour faciliter la décantation.
- Une faible volatilité.
- Un point éclair élevé.

Les solvants les plus fréquemment employés sont généralement des hydrocarbures aliphatiques, aromatiques ou des solvants chlorés. Le choix du solvant est souvent guidé par des critères économiques et techniques [17].

Les solvants présentant un moment dipolaire permanent sont qualifiés de solvants dipolaires, contrairement aux solvants apolaires qui n'ont pas de moment électrique.

Selon leurs interactions spécifiques avec le soluté, les solvants peuvent être classés en :

- **Solvants protiques** (possédant un hydrogène mobile) : eau, ammoniac, alcools, phénols, acides, amides non substitués.
- **Solvants aprotiques dipolaires** (fortement polaires mais incapables de donner un proton)
: cétones, diméthylformamide, dérivés nitrés, nitriles, sulfones.
- **Solvants aprotiques apolaires** : principalement les hydrocarbures et leurs dérivés halogénés.

Ces classifications n'ont rien de rigoureux, de nombreuses autres sont encore proposées.

D'autre part, la nature du soluté intervient pour beaucoup aussi. Ainsi, un acide gras tel que l'acide stéarique présente un caractère polaire (groupement carboxylique) mais aussi un caractère apolaire (longue chaîne hydrocarbonée).

Lorsque dans une molécule le centre de gravité des charges (électrons-noyaux) ne sont pas confondus, celle-ci possède un moment électrique (ou moment dipolaire) (μ). Ce moment définit l'énergie de liaison (de Van Der Waals).

Dans le tableau 1, on donne les principaux solvants utilisés dans les opérations d'extraction Liquide-liquide des métaux.

Tableau I.1 : les principaux solvants utilisés dans les opérations d'extraction Liquide-liquide des métaux [17].

Solvant	μ (Debye) Moment dipolaire	ϵ à 25 C° Constante diélectrique	Solubilité dans l'eau à 25 C° % mas
Cyclohexane	0	2.02	0.0055
n-Hexane	0.09	1.88	0.00123
n-Octane	~0	1.95	6.60×10^{-7}
n-Dodécane	~0	2.00	3.7×10^{-9}
Benzène	0	2.27	0.179
Toluène	0.31	2.38	0.0515
Ethylbenzène	0.37	2.40	0.0152
p-Xylène	0	2.27	0.0156
Dichlorométhane	1.14	8.93	1.30
Chloroforme	1.15	4.89	0.815 (20 C°)
Tétrachlorure de carbone	0	2.242.24	0.077
1-1-Dichloroéthane	1.82	10.00	5.03(20 C°)



Chapitre II : Généralité sur les métaux lourds

II.1. Généralités sur les métaux lourds

Les métaux lourds, ou éléments traces métalliques (ETM), sont naturellement présents en faible quantité dans l'environnement, que ce soit dans les sols, l'eau ou l'air. Cependant, certaines activités humaines amplifient leur dispersion et leur concentration, ce qui peut engendrer des impacts environnementaux et sanitaires préoccupants. Parmi ces activités, on retrouve l'incinération de combustibles fossiles comme le charbon et le pétrole, ainsi que la combustion de déchets et divers procédés industriels [14]. Ces processus libèrent des ETM tels que le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et le mercure (Hg) dans l'atmosphère, qui finissent par contaminer les écosystèmes terrestres et aquatiques.

Une fois dans l'environnement, ces éléments peuvent s'accumuler dans les organismes vivants et provoquer des effets toxiques à long terme. Par exemple, le mercure peut s'intégrer à la chaîne alimentaire sous forme de méthyl mercure, entraînant des risques neurologiques pour les êtres humains et les animaux. De même, le plomb et le cadmium sont connus pour leurs propriétés toxiques affectant les reins, le système nerveux et les fonctions biologiques essentielles.

II.2. Définition des « métaux lourds »

Le terme "métaux lourds" a été introduit historiquement au début du XX^{ème} siècle, et comportait à l'époque le mercure, le plomb et le cadmium [18].

Les définitions des métaux lourds sont multiples et dépendent du contexte dans lequel on se situe ainsi que de l'objectif de l'étude à réaliser.

D'un point de vue purement scientifique et technique, les métaux lourds peuvent être définis comme [19] :

- Tout métal ayant une densité supérieure à 5.
- Tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du sodium (Z=11)
- Tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques.

Certains chercheurs utilisent des définitions plus spécifiques. Le géologue, par exemple, considérera comme métal lourd tout métal réagissant avec la pyrimidine (C₆H₅N).

Dans le traitement des déchets liquides, les métaux lourds indésirables auxquels on s'intéresse principalement sont : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le mercure (Hg), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le sélénium (Se), le zinc (Zn).

Dans les sciences environnementales, les métaux lourds associés aux notions de pollution et de toxicité, sont généralement : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le plomb (Pb), l'étain (Sn), le zinc (Zn) [20].

Enfin, dans l'industrie en général, on considère comme métal lourd tout métal de densité supérieure à 5 (tableau I.1), de numéro atomique élevé et présentant un danger pour l'environnement.

Bloc s			Métaux lourds de densité > 5																		Bloc p					
H																										He
Li	Be																				B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg		Bloc d																		Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr									
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Te	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe									
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn									
Fr	Ra	Ac	Bloc f																							
Lanthanides			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu										
Transuraniens			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Cf	Bk	Es	Fm	Md	No	Lr										

Figure II.1: Classification périodique des éléments [21].

II.3. Classification des métaux lourds

II.3.1. 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 (Loué, 1993). Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du : Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Fer (Fe) [22].

Le zinc (Zn), à faible concentration de l'ordre de milli moles, est essentiel pour

diverses réactions enzymatiques et pour le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides [23].

II.3.2. Métaux toxiques

Les métaux non essentiels n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule mais présentent un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration, c'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg) et du cadmium (Cd) [24].

II.4. Origine des métaux lourds

II.4.1. Origine naturelle

Les métaux lourds sont présents à tous les niveaux dans l'ensemble des écosystèmes naturels, que ce soit dans les milieux aquatiques, les formations rocheuses ou au sein des communautés animales et végétales. Parmi leurs principales sources naturelles figurent les phénomènes sismiques et volcaniques, l'érosion, les incendies de forêt, le ruissellement des rivières et fleuves, ainsi que le lessivage des sols et l'altération des masses continentales.

II.4.2. Origine anthropique

Les métaux d'origine anthropique sont présents sous forme chimique relativement réactive. Par conséquent, le risque est bien supérieur à celui des métaux naturels, qui sont généralement fixés sous des formes relativement inertes. Les sources anthropiques comprennent les activités pétrochimiques, l'utilisation des combustibles fossiles, les activités industrielles, les transports et les municipalités (eaux usées, boues d'épuration, ordures ménagères) ainsi que les déchets agricoles et certains produits (interrupteurs électroniques, amalgames dentaires, lampes fluorescentes) [25].

Utilisations	Métaux
Batteries et autres appareils électriques	Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni.
Pigments et Peintures	Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu, Fe.
Alliages et soudures	Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu.
Biocides (pesticides, herbicides, conservateurs)	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Mn.
Agents de catalyse	Ni, Hg, Pb, Cu, Sn.
Verre	As, Sn, Mn.
Engrais	Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn.
Matières plastiques	Cd, Sn, Pb.
Produits dentaires et cosmétiques	Sn, Hg.
Textiles	Cr, Fe, Al.
Raffineries	Ni, V, Pb, Fe, Mn, Zn.
Carburants	Ni, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd

Figure II.2: Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement [26].

II. 5. Aspects théoriques su le plomb

II.5.1.Généralités

Le plomb est principalement présent dans l'environnement sous forme de particules atmosphériques, issues des activités humaines telles que la métallurgie, la combustion du charbon et du pétrole, l'incinération des déchets et les émissions des véhicules. Avec le temps, il peut contaminer l'eau et les sols, notamment à cause de la corrosion des conduites en plomb ou de la détérioration des peintures contenant ce métal.

Étant peu mobile, le plomb a tendance à s'accumuler dans les milieux naturels. Les sols situés à proximité des routes et des terres agricoles peuvent présenter des concentrations élevées, entraînant une altération de leur composition et mettent en péril les organismes qui y vivent. Cette accumulation entraîne une toxicité accrue pour la faune terrestre et aquatique, avec des effets particulièrement notables chez les crustacés, même à

de faibles concentrations.

Sa dangerosité réside également dans sa capacité à pénétrer la chaîne alimentaire. En s'accumulant dans les tissus biologiques des organismes, il peut provoquer des troubles physiologiques graves et avoir des répercussions sur l'ensemble de l'écosystème. Des méthodes de dépollution et de filtration avancée sont donc nécessaires pour limiter ses effets nocifs sur l'environnement et la santé humaine.

II.5.2. Définition

Le plomb est un élément chimique du groupe IV et de la période 6 du tableau périodique de la famille des cristallogènes. Il existe à l'état naturel à des teneurs variées dans des zones géographiques réparties à travers le monde. Le plomb est rarement sous sa forme élémentaire. Il existe sous forme métallique, inorganique et organique. Il prend une forme inorganique lorsqu'il est associé à certains composés pour former les sels du plomb. Parmi les sels de plomb les plus fréquemment rencontrés, on retrouve ceux de chlorures, du chromate, du nitrate, des phosphates et des sulfates [27].

Le plomb existe sous les états d'oxydation 0, +II et +IV, mais son état principal dans l'environnement est +II. Le degré +IV n'existe que dans les conditions oxydantes.

Le plomb est un métal lourd blanc-grisâtre, possède des caractéristiques uniques telles que la flexibilité, la résistance à la corrosion et la résistance à certains rayonnements à haute densité, ce qui le rend adapté à une variété d'applications [28].

Les caractéristiques physico-chimiques du plomb sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau II.1: caractéristiques physico-chimiques du plomb [29].

Numéro Atomique	82
Masse atomique	207.20g/mol
Masse volumique	11.34 g/cm³ à 20°C
Electronégativité de Pauling	1.8
Température de Fusion	327.46°C
Température d'ébullition	1740°C
Rayon atomique (Van der Waals)	0.154 nm
Rayon ionique	0,132 nm (+2) ; 0,084 nm (+4)
Configuration électronique	[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p²
Energie de première ionisation	715,4 kJ.mol⁻¹
Energie de deuxième ionisation	1450,0 kJ.mol⁻¹
Energie de troisième ionisation	3080,7 kJ.mol⁻¹
Energie de quatrième ionisation	4082,3 kJ.mol⁻¹
Energie de cinquième ionisation	6608 kJ.mol⁻¹
Potentiel standard	- 0,13 V (Pb²⁺ / Pb) ; -1,5 V (Pb⁴⁺ / Pb²⁺)
Minerie d'origine	Galène

II.5.3. Utilisations du plomb

Le plomb a été l'un des premiers métaux utilisés par l'homme dès l'âge du bronze, il y a plus de 7 000 ans, grâce à sa malléabilité, sa ductilité, son bas point de fusion et sa relative disponibilité. Ces propriétés physico-chimiques ont favorisé son emploi par les civilisations antiques, notamment les Grecs et les Romains, qui l'utilisaient largement comme pigment (oxyde de plomb), pour la fabrication de canalisations, de vaisselle, de pièces de monnaie, ou encore pour les toitures. Le plomb servait également à la protection anticorrosion des pièces métalliques, à la fabrication de caractères d'imprimerie, de fils et bâtons de soudure, ainsi qu'à la radioprotection grâce à sa capacité d'absorber les rayonnements X et gamma [30]. Son usage s'est intensifié durant la Révolution industrielle, avec une application majeure dans l'industrie, l'imprimerie, les peintures, puis surtout dans

les carburants automobiles où il était ajouté comme antidétonant. Cependant, depuis les années 1970, les préoccupations environnementales et sanitaires ont conduit à la réduction progressive de ces usages, notamment dans les canalisations, la soudure, les peintures et les pesticides. Aujourd'hui, la principale application industrielle du plomb reste la fabrication des batteries d'accumulateurs, qui consomme plus de 70 % de la production mondiale. En France, par exemple, la production de plomb est majoritairement issue du recyclage, avec environ 94,5 % de la production provenant de la valorisation des déchets [31]. Par ailleurs, le plomb a été employé dans divers domaines, allant de la verrerie (cristal) aux cosmétiques, en passant par les colorants et les émaux, témoignant de son importance historique et industrielle, mais aussi des risques sanitaires associés à son usage prolongé.

II.5.4. Normes de l'OMS

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) classe le plomb parmi les dix produits chimiques les plus préoccupants pour la santé publique, appelant les États membres à agir pour protéger particulièrement les travailleurs, les enfants et les femmes en âge de procréer. En 2021, l'OMS a publié des lignes directrices cliniques recommandant qu'une plombémie égale ou supérieure à 5 µg/dL nécessite l'identification de la source d'exposition et la mise en place de mesures pour y mettre fin. Concernant l'eau potable, l'OMS fixe une concentration maximale recommandée de plomb à **10 µg/L**, tout en soulignant que les teneurs doivent être maintenues aussi basses que raisonnablement possible, selon le principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable). L'OMS dirige également, avec le PNUE, l'Alliance mondiale pour l'élimination des peintures au plomb, encourageant l'adoption de mesures légales contraignantes, car la peinture au plomb demeure une source majeure d'exposition [32]. Enfin, l'OMS élabore actuellement des lignes directrices actualisées pour la prévention de l'exposition au plomb, destinées à fournir aux responsables politiques et professionnels de santé des recommandations fondées sur des preuves pour protéger la santé des populations.

II.5.5. Dangers du plomb métal

A fortes doses, le plomb peut conduire à des encéphalopathies, des neuropathies et

au décès chez l'adulte et chez l'enfant. Il provoque également des effets digestifs : colique saturnine, douleurs abdominales...).

Le plomb présente également des effets sur la pression artérielle, sur la fonction rénale chez l'adulte ainsi que sur la reproduction et le développement de l'enfant et sur le système nerveux central (diminution de points de quotient intellectuel, troubles de l'attention) chez l'enfant, même à des faibles doses.

La plombémie ou taux de plomb dans le sang est l'indicateur de référence pour dépister une contamination. Une fois dans l'organisme, le plomb se stocke, notamment dans les os, d'où il peut être libéré dans le sang, des années ou même des dizaines d'années plus tard notamment lors d'une grossesse ou en cas d'ostéoporose. L'élimination du plomb dans l'organisme est lente après l'arrêt de l'exposition : sa demi-vie est de 15 à 20 ans.

Tableau : Effet du plomb sur la santé : synthèse des données de littérature [33].

Effets	Plombémie (µg/L)
Risque de décès, chez l'adulte	2000
Risque d'encéphalopathie sévère chez l'adulte	2000
Hépatite cytolytique	1500
Syndrome de Toni-Debré-Fanconi	1500
Risque d'intoxication mortelle, chez l'enfant	1000
Risque élevé d'encéphalopathie sévère, chez l'enfant	1000
Risque de neuropathie périphérique cliniquement évidente, chez l'adulte	1000
Colique saturnine	1000
Anémie	700
Risque d'encéphalopathie sévère chez l'enfant	700
Signes électriques de neuropathie périphérique décelables au niveau individuel	700
Élévation de l'ALA urinaire au-dessus de la valeur limite	500
Douleurs abdominales et ralentissement du transit digestif	500
Risque de néphropathie glomérulaire et tubulo-interstitielle (après exposition prolongée)	500
Troubles mentaux organiques avérés, chez l'adulte	400
Risque d'encéphalopathie subaiguë, chez l'enfant	400
Premiers signes d'atteinte tubulaire rénale	400
Diminution du taux d'hémoglobine	400
Diminution des vitesses de conduction nerveuse	200
Élévation de la ZPP	200
Inhibition de la synthèse de la vitamine D	200
Augmentation du délai nécessaire pour concevoir chez les hommes exposés	200
Augmentation du risque d'avortement, en cas d'exposition pendant la grossesse	200
Altérations du spermogramme	100
Troubles cognitifs, chez l'enfant (preuves limitées chez l'adulte)	100
Diminution de l'acuité auditive, chez l'enfant	100
Élévation de la pression artérielle et du risque d'HTA chez l'adulte	100
Diminution du débit de filtration glomérulaire chez l'adulte	100
Augmentation du risque de petit poids de naissance, en cas d'exposition in utero	100
Inhibition du développement de certaines fonctions cognitives	100
Retard de la maturation sexuelle chez l'enfant	100
Augmentation du risque de retard pubertaire	100
Inhibition de l'ALAD	100



Chapitre III : Généralité sur les biotensioactifs

III.1. Généralités sur les tensioactifs

En 2007, la consommation mondiale de tensioactifs, substances largement utilisées dans de nombreux produits de soin personnel et d'entretien ménager, a atteint 12 millions de tonnes, dont environ 3 millions en Europe, ce qui équivaut à 380 kilos de tensioactifs employés chaque seconde. Le marché de ces composés devrait croître de 2,7 % par an entre 2012 et 2017. Les tensioactifs occupent une place centrale dans diverses applications : ils servent de matières premières dans des formulations destinées aux usages domestiques et personnels, comme les détergents pour le linge, la vaisselle et les produits d'hygiène corporelle. Ils sont aussi employés comme agents auxiliaires industriels, notamment dans la majorité des émulsions cosmétiques où ils assurent la stabilisation. Plus de 5 000 molécules de tensioactifs sont actuellement commercialisées, mais seules quelques-unes répondent aux critères de tolérance nécessaires pour une utilisation cosmétique [43]. En cosmétique, les tensioactifs sont principalement valorisés pour leurs propriétés émulsionnantes et détergentes. La détergence correspond au processus par lequel un agent de surface, en s'adsorbant sur la surface d'un matériau tel que la peau ou les cheveux, élimine des molécules insolubles ou des particules solides en les dissolvant ou dispersant. Ce mécanisme contribue au nettoyage cutané, mais peut également être à l'origine d'irritations de la peau suite à l'utilisation de ces substances.

III.1.1. Définitions des tensioactifs

Appelés également « agents de surface » ou « surfactants » en anglais, les tensioactifs sont des substances d'origine naturelle ou synthétique, solubles dans l'eau.

Tous les tensioactifs sont des molécules organiques amphiphiles, comportant deux parties de polarités distinctes (Figure III.1) :

- Une tête polaire hydrophile, qui présente une forte affinité pour les molécules d'eau.
- Une queue apolaire hydrophobe (lipophile), que les molécules d'eau ont plutôt tendance à fuir.

La tête hydrophile est généralement constituée d'un ou plusieurs groupements polaires, ioniques ou non ioniques et la queue hydrophobe d'une ou de plusieurs chaînes aliphatiques.

Lorsqu'elles se trouvent à l'interface eau-air, les molécules amphiphiles ont tendance à diriger leur tête hydrophile vers l'eau et leur queue hydrophobe vers l'air, ce qui a pour conséquence de modifier l'énergie de l'interface [35].

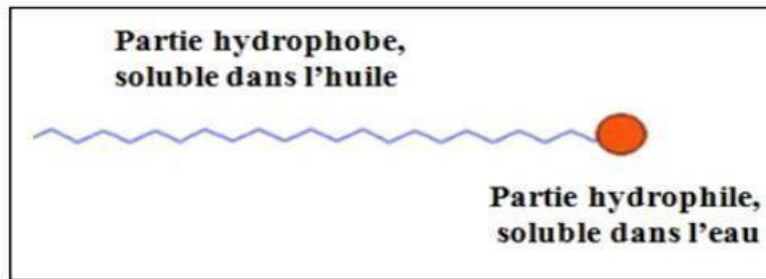


Figure III. 1 Représentation schématique d'un tensioactif.

III.1.2. Différents types de tensioactifs

Une classification simple des agents de surface basée sur la nature du groupe hydrophile est couramment utilisée. Quatre classes de tensioactifs peuvent être distinguées, à savoir anionique, cationique, zwitterioniques (amphotère) et non-ionique [36].

Nature du tensioactif	Représentation schématique
Non-ionique	
Anionique	
Cationique	
Zwitterionique	

Figure III.2 : Représentations schématique des différentes catégories de tensioactifs en fonction de la charge portée.

a. Les tensioactifs anioniques

Ce sont les tensioactifs les plus utilisés industriellement, notamment dans le domaine de la détergence, grâce à leur propriété moussante. En solution aqueuse, ils se dissocient

pour donner naissance à un anion organique tensioactif et un cation de faible poids moléculaire. De nombreux groupes polaires peuvent conférer le caractère anionique. A titre d'exemple, nous citerons les carboxylates (ex. laurate de sodium dans les savons), sulfates (ex. lauryléther sulfate de sodium dans les shampoings et gels douche) et sulfonates (ex. dodecylbenzène sulfonate en détergence).

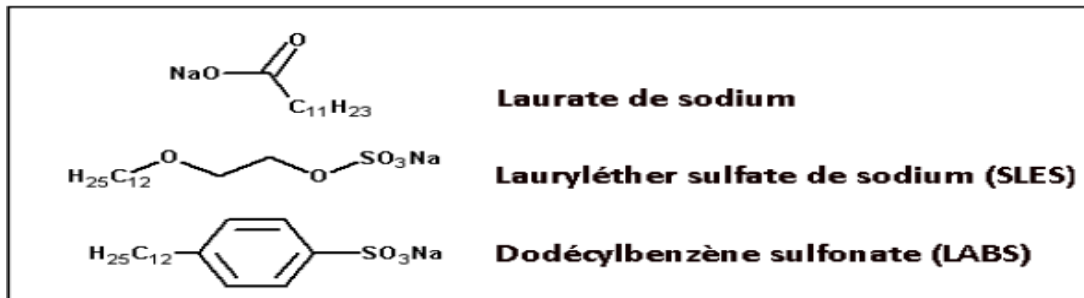


Figure III.3 : Exemples des tensioactifs anioniques.

b. Les tensioactifs cationiques

Ces tensioactifs s'ionisent en solution aqueuse pour former des cations, dont la charge est, le plus souvent, portée par un atome d'azote. Insensibles aux pH élevés et stables même à forte concentration, ils sont appréciés pour leurs propriétés substantives, c'est-à-dire leur capacité à s'adsorber sur une grande variété de surfaces chargées négativement (cellulose, protéines, métaux, pigments ...) en leur conférant ainsi un comportement hydrophobe. Ce sont les produits actifs des assouplissants textiles employés pour réduire l'électricité statique présente dans les tissus. Les dérivés ammonium (ex. bromure de cétyltriméthylammonium dans les soins pour cheveux) sont les plus répandus.

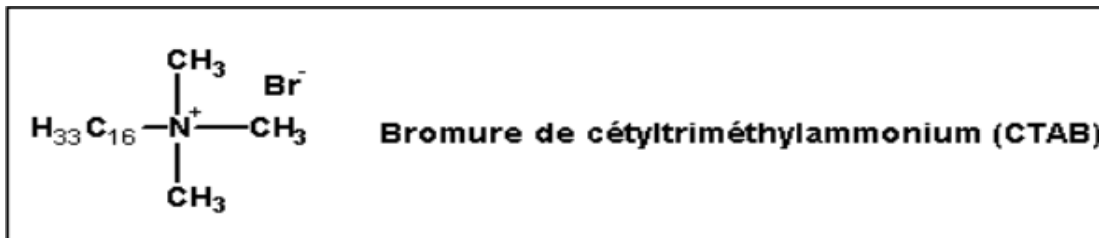


Figure III.4 : Exemple de tensioactif cationique.

c. Les tensioactifs zwitterioniques

Leur tête polaire est constituée de deux ou plusieurs groupements fonctionnels qui peuvent, selon le pH du milieu, s'ioniser en solution aqueuse et conférer au composé le caractère de tensioactif anionique ou cationique. Ils sont de bons agents mouillants, bactéricides et peu irritants. Ils sont compatibles en toutes proportions avec les autres tensioactifs, dont ils améliorent parfois les caractéristiques. Les N-alkylbétaines (ex. cocamidopropyl bétaine dans les gels douches) sont les plus connus.

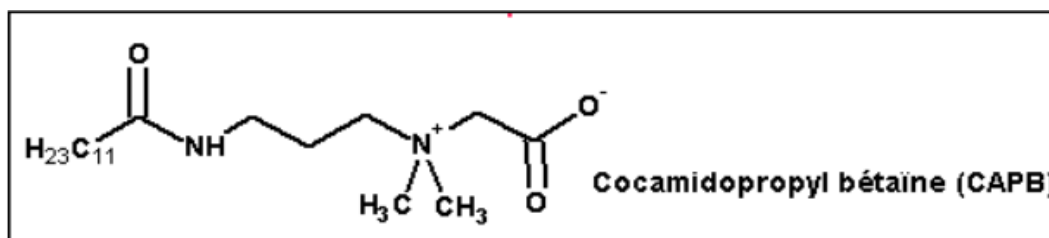


Figure III.5 : Exemple de tensioactif zwitterionique.

d. Les tensioactifs non ioniques

Ils ne se dissocient pas en solution. L'hydrophilie de leur tête polaire provient de fonctions hydroxyles (R-OH) ou éthers (R-O-R') qui ont une forte affinité pour l'eau. Ils sont insensibles aux variations de pH. Deux principales catégories se distinguent :

- les tensioactifs dérivés de diols (éthylène glycol, propylène glycol) à liaison ester, éther (alkylphénol polyoxyéthylénés), amide ou amine.
- les tensioactifs dérivés de polyols tels que le glycérol (ex. polyglycérol polyricinoléate, additif alimentaire émulsionnant), le sorbitol (ex. monooléate de sorbitane, additif alimentaire stabilisant), les mono- et polysaccharides (ex. lauryl polyglucosides, soins de la peau).

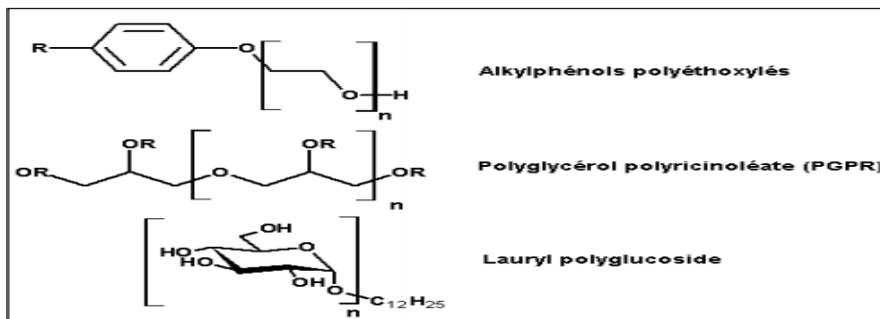


Figure III.6 : Exemples des tensioactifs non ioniques.

Concernant la partie hydrophobe, elle est principalement issue de trois sources différentes : pétrochimique, végétale ou animale. Elle peut posséder des structures très variées : chaînes hydrocarbonées linéaires, ramifiées, insaturées ou saturées. Le nombre d'atomes de carbone, d'insaturations et de ramifications influent sur le caractère hydrophobe de cette partie et sur sa solubilité. En effet, son hydrophobicité croît avec l'augmentation du nombre d'atomes et diminue avec l'augmentation du nombre de ramifications. Pour obtenir les meilleures propriétés de détergence, de mouillage, d'adsorption et d'émulsification, le nombre d'atomes de carbone est le plus souvent compris entre 8 et 16. Les chaînes hydrophobes linéaires sont également privilégiées afin d'améliorer la biodégradabilité de ces molécules.

III.2. Généralités sur les biotensioactifs

III.2.1. Définitions des biotensioactifs

Face aux préoccupations croissantes liées à la toxicité des tensioactifs, de nombreux travaux de recherche se sont orientés vers les bio-tensioactifs, qui apparaissent aujourd'hui comme une alternative prometteuse sur le marché grâce à leur production à partir de ressources naturelles et durables. Les bio-tensioactifs sont des tensioactifs d'origine naturelle, produits par des micro-organismes tels que des bactéries ou des champignons. Ils possèdent des caractéristiques physico-chimiques similaires à celles des tensioactifs conventionnels : ils sont amphiphiles, comportant une partie polaire et une partie apolaire, ce qui leur permet de faciliter le mouillage, la dispersion, l'émulsification ainsi que la solubilisation.

Cependant, ils présentent plusieurs avantages par rapport aux tensioactifs synthétiques d'origine chimique, notamment une toxicité réduite, une biodégradabilité accrue, un pouvoir moussant élevé, un meilleur respect de l'environnement, ainsi qu'un coût des matières premières généralement faible. Ces qualités en font des alternatives plus sûres, particulièrement adaptées aux secteurs alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques [43].

Un bio-tensioactif est capable de réduire la tension superficielle de l'eau de 75mN/m à 32 mN/m à 20 °C, une performance comparable à celle des tensioactifs conventionnels [48]. Ces molécules appartiennent à un large éventail de familles chimiques, synthétisées par de nombreux organismes, notamment des bactéries et des champignons.

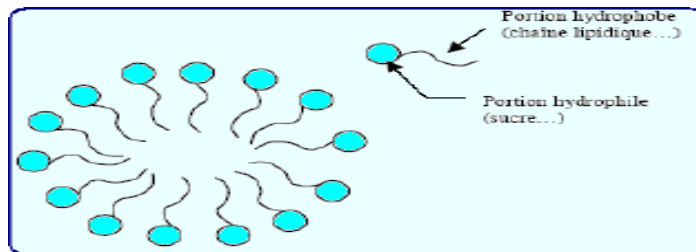


Figure III.7 : Représentations schématiques d'une micelle de surfactant.

III.2.2. Différents types de biotensioactifs

Contrairement aux tensioactifs chimiques, qui sont classés selon leur structure de dissociation dans l'eau, les biosurfactants sont différenciés essentiellement par leur composition chimique et leur origine microbienne. En effet ils sont classés en cinq grandes catégories :

Les glycolipides : sont constitués d'hydrates de carbone en combinaison avec une longue chaîne d'acides aliphatiques ou d'acides hydroxyaliphatiques. Les glycolipides les plus étudiés sont les rhamnolipides, les tréhalolipides et les sophorolipides .

Les lipopeptides : sont composés d'un lipide attaché à une chaîne polypeptidique. Les lipides d'ornithine sont les plus connus.

Les phospholipides : sont formés de groupements alcool, phosphate et de chaîne lipidique. Indique que bien que présents dans tous les micro-organismes, il y'a peu

d'exemples de production extracellulaire.

Les lipopolysaccharides ou polymériques : sont constitués d'une ou plusieurs unités saccharides et d'acides gras.

Les acides gras et lipides neutres : sont les biosurfactants qui possèdent la masse molaire la plus élevée. Du fait de leur forte production et de leurs propriétés tensioactives importantes, les biosurfactants les plus communs et les plus étudiés sont les glycolipides et les phospholipides.

La partie hydrophile peut être ionique ou non ionique et consiste de mono-, di- ou polysaccharides, d'acides carboxyliques ou de peptides. Les parties hydrophobes consistent généralement en des acides gras saturés, insaturés ou hydroxylés.

Les biosurfactants de faible poids moléculaire (glycolipides, les lipopeptides) sont plus efficaces pour diminuer les tensions de surface et interfaciale. Alors que les biosurfactants de haut poids moléculaire (polysaccharides amphiphiles, des protéines, des lipopolysaccharides, et les lipoprotéines) connus comme bioémulsifiants qui sont plus efficaces à stabiliser le complexe huile-eau émulsion sans une réduction importante de la tension de surface [39].

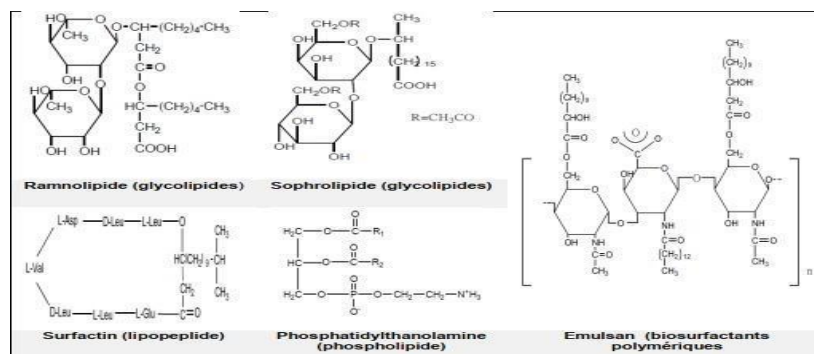


Figure III.8 : Structure de quelques biosurfactants [40].

III.2.3. Les propriétés physico-chimiques des bio-surfactants

La présence des molécules amphiphiles aide les biosurfactants à se déplacer vers les interfaces pour réduire la surface et la tension superficielle et interfaciale. Ces propriétés font des biosurfactants d'excellents agents de détergence, émulsifiants,

moussants et dispersants. De nombreuses propriétés physicochimiques caractérisent les surfactants synthétiques ou biologiques.

Les cinq suivantes seraient particulièrement importantes [41] :

a. Concentration micellaire critique (CMC) : Une des principales caractéristiques des biosurfactants est leur aptitude à former des agrégats moléculaires appelés micelles : un arrangement thermodynamiquement stable de molécules amphiphiles sous la forme d'une sphère possédant un extérieur hydrophile et un intérieur hydrophobe (Figure 1). Les micelles ont un diamètre d'environ 3 nm. La concentration du biosurfactant à laquelle les micelles commencent à s'agréger se nomme la concentration micellaire critique (CMC). Elle correspond à la solubilité maximale des molécules amphiphiles dans la phase aqueuse et donc à la quantité requise pour atteindre la tension superficielle la plus basse. Avant que la CMC soit atteinte, les molécules de biosurfactant existent sous une forme dissoute dans la phase liquide. Une fois la CMC dépassée, les molécules de biosurfactant supplémentaires formeront des micelles et la portion dissoute restera constante, tant que les conditions physico-chimiques ne varieront pas.

Des changements de température, de pH ou l'ajout d'électrolytes peuvent modifier significativement la CMC et d'autres structures supra- moléculaires comme des liposomes pourront alors se former.

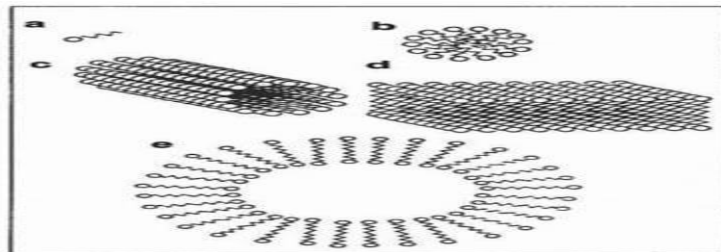


Figure III.9: Arrangements Supramoléculaires possibles des biosurfactants : (a) monomère constitué d'une tête hydrophile et d'une queue hydrophobe, (b) micelle sphérique usuelle, (c) micelle tubulaire, (d) couche micellaire (e) vésicule ou liposome.

b. Tension superficielle : La tension de surface est une indication de la cohésion des

molécules d'un liquide donc elle est définie comme étant la force existant à la surface d'un liquide dû à l'attraction entre les molécules qui s'opposent à la rupture de la surface. Les unités de la tension de surface équivalent à la force par la distance, mN/m, ce qui correspond à l'énergie par unité de surface, mJ/m². Les biosurfactants sont capables de réduire la tension superficielle d'eau jusqu'à 29,0 mN/m, contrairement aux surfactants synthétiques où on atteint une valeur de 42.8 mN/m pour le Pluronic F-68.

c. Tension interfacielle : La tension interfacielle est la force nécessaire pour rompre la surface entre deux liquides immiscibles. La tension interfacielle de l'eau contre un alcane (n- octane) est de 50.81 mN/m à 20°C et en présence d'un biosurfactant, elle diminue jusqu'à moins de 1 mN/m .

d. Équilibre hydrophile-lipophile (EHL) : La relation entre la portion hydrophile et la portion hydrophobe d'une molécule de surfactant constitue une autre caractéristique importante. Essentiellement, le ratio de la masse de la portion hydrophile sur la masse totale de la molécule indique la valeur de l'équilibre hydrophile lipophile (EHL), laquelle augmente donc avec l'hydrophilicité de la molécule. Des surfactants avec des EHL inférieures formeront des micelles plus efficacement. La EHL peut donc servir d'indicateur de l'efficacité de la formation de micelles, de la solubilisation et émulsion des hydrocarbures, et aussi éventuellement d'indicateur de la compatibilité entre un biosurfactant et les membranes cellulaires.

$$\text{Equilibre hydrophile – lipophile (EHL)} = \frac{\text{masse de la portion hydrophile de la molécule}}{\text{masse totale de la molécule}}$$

e. Solubilité des biosurfactants dans l'eau : La solubilité des biosurfactants dans l'eau ou dans les hydrocarbures dépend du nombre de liaisons C-C présentes dans la partie lipophile de la molécule du biosurfactant. Si la longueur de la chaîne de la partie lipophile est inférieure à 12 liaisons C-C, le biosurfactant est soluble dans l'eau. La solubilité des biosurfactants dans l'eau ou dans les hydrocarbures est fonction de l'importance relative de leurs parties hydrophobe et hydrophile (plus précisément de leur « balance lipophile-hydrophile (HLB) .

III.3. La lécithine

III.3.1. Généralités

La lécithine, un phospholipide présent principalement dans le jaune d'œuf, possède des propriétés émulsifiantes, moussantes et gélifiantes grâce à sa structure amphiphile ; ses caractéristiques en font un ingrédient très utilisé dans plusieurs domaines tels que l'agroalimentaire, la pharmacie, la cosmétique, la médecine et la recherche scientifique. Elle permet notamment de stabiliser les émulsions, d'améliorer la texture des produits et de favoriser l'absorption de substances actives. En plus de ses applications industrielles, la lécithine a une valeur nutritionnelle élevée, notamment grâce à sa teneur en choline, bénéfique pour le foie et le système nerveux. Cela contribue à faire de l'œuf un aliment nutritif de grande qualité.

III.3.2. Lécithine du jaune d'œuf

Le jaune d'œuf est une partie très importante de l'œuf de poule. Il occupe 30% de sa masse. Il est composé de 51% d'eau, 30% des lipides, 16% des protéines, 0.6% des glucides et 2,4% de minéraux et vitamines [42].

Les composants majoritaires du jaune d'œuf sont généralement des lipides (phosphatidylcholine) extraits et purifiés par plusieurs méthodes selon leur degré de solubilité dans les solvants organiques [43].

La lécithine ou la phosphatidylcholine a été isolée en 1846 par le chimiste pharmacien français Théodore Gobley à partir du jaune d'œuf. Elle représente la principale substance du jaune d'œuf qui désigne un phospholipide membranaire formé à partir d'une choline, d'un phosphate, d'un glycérol et de deux acides gras [44].

Il ne s'agit pas donc d'une seule molécule mais d'un groupe de molécules qui comprend des acides gras (AG) différents, des triglycérides et des phospholipides PL [45]. La structure chimique de la lécithine est représentée sur la figure III.8.

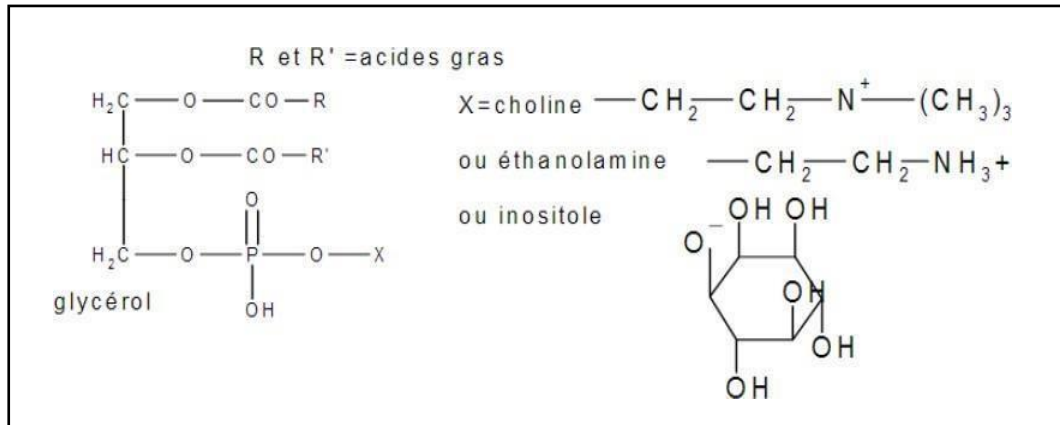


Figure III.10: Structure chimique de la lécithine [46].

III.4. Utilisation de la lécithine

La lécithine est une substance naturelle appartenant à la famille des phospholipides, présente dans divers organismes vivants et largement extraite de sources végétales comme le soja ou le colza. Grâce à sa structure chimique amphiphile, elle joue un rôle essentiel dans de nombreux processus biologiques et présente des propriétés technofonctionnelles particulièrement intéressantes. Ces caractéristiques expliquent son usage croissant dans plusieurs secteurs industriels et scientifiques. Parmi ses nombreuses applications, on peut citer[47] :

1. Émulsifiant et stabilisant alimentaire

- Utilisée par l'industrie agroalimentaire pour stabiliser les mélanges eau/huile.
- Les lécithines végétales, comme celles de soja ou de colza, sont les émulsifiants naturels les plus répandus dans l'alimentation.

2. Alternative aux additifs semi-synthétiques

- Les lécithines végétales peuvent remplacer certains additifs qui altèrent le microbiote intestinal et sont liés à des risques métaboliques accrus.

3. Complément alimentaire

- Elles peuvent être utilisées pour améliorer l'absorption intestinale des lipides, en particulier des acides gras essentiels.

- La lécithine de soja aurait des effets liporégulateurs, anti-inflammatoires et antioxydants.
- Potentiel préventif dans les troubles métaboliques et cardiovasculaires liés à l'alimentation occidentale.

4. Source nutritionnelle d'oméga 3

- La lécithine de colza est riche en acide α -linoléique (ALA), un oméga 3 essentiel.
- Elle peut maintenir un bon statut en oméga 3, au même titre que les huiles riches en ALA.

5. Modulation du microbiote intestinal

- La lécithine de colza pourrait favoriser une plus grande diversité bactérienne dans l'intestin.
- Elle est associée à une augmentation de bactéries bénéfiques, ce qui suggère un effet positif direct sur le microbiote.

III.5. Stabilité de la lécithine

La lécithine est un ingrédient utile mais sensible à l'oxydation (exposition à l'oxygène, lumière, UV), l'hydrolyse (humidité, $\text{pH} < 4$ ou > 8 et températures élevées) et la chaleur (la lécithine est stable entre 20°C et 60°C une température supérieure à 70°C peut dénaturer les phospholipides). Sa stabilité peut être prolongée par : un stockage approprié (frais, sec à l'abri de la lumière) ; l'ajout d'antioxydants et le choix de la forme la plus stable.

III.6. Toxicologie de la lécithine

Dans son avis adopté le 1er mars 2017, portant sur la réévaluation de la lécithine (E 322) en tant qu'additif alimentaire, l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) a estimé que cet excipient ne présente pas de danger pour la santé [48], y compris chez les nourrissons âgés de 12 semaines. Toutefois, pour les bébés de moins de 12 semaines, des études approfondies restent nécessaires avant de pouvoir conclure à l'innocuité de cette substance.

Par ailleurs, la quantité de lécithine ajoutée dans les denrées alimentaires pour sa fonction technologique est jugée faible. Aucune dose journalière acceptable (DJA)

numérique n'a été fixée pour cet excipient.

Le groupe scientifique de l'EFSA n'a observé aucun effet indésirable dans les études suivantes :

- Toxicité chronique.
- Toxicité subchronique.
- Toxicité sur le développement.
- Génotoxicité.

À noter : les études concernant les effets sur le développement neurocomportemental ont été jugées insuffisantes pour permettre une évaluation définitive de l'innocuité ou de la nocivité de cette substance.



Chapitre IV : Etude expérimentale

L'extraction liquide-liquide est une technique largement utilisée dans les industries chimique, pharmaceutique et environnementale pour purifier et concentrer certains composés. Traditionnellement cette méthode repose sur l'utilisation de solvants organiques et de tensioactifs synthétiques qui peuvent présenter des risques sur la santé et l'environnement.

Dans ce contexte les biotensioactifs émergent comme une alternative écologique et durable. Leur faible toxicité, leur biodégradabilité et leur efficacité comparable à celle des tensioactifs synthétiques en font des candidats prometteurs pour optimiser les procédés d'extraction.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'efficacité d'un biotensioactif (la lécithine) dans une extraction liquide-liquide sans utilisation de solvant organique, en analysant des paramètres clés tel que le rendement d'extraction.

Cette partie expérimentale décrira le protocole suivi pour caractériser les performances du biotensioactif dans le système d'extraction choisi. Nous avons étudié l'influence : du pH ; de la concentration de la solution du plomb ; de la vitesse d'agitation ; du temps d'agitation et de la température respectivement. Le but de cette étude vise à optimiser les paramètres d'extraction.

IV.1. Le Laboratoire de Technologie de Séparation et de Purification (LTSP)

Ce travail a été réalisé au sein du Laboratoire de Technologie de Séparation et de Purification (LTSP) de l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, un laboratoire de recherche universitaire spécialisé dans les procédés de séparation et de purification, offrant un environnement scientifique propice à l'expérimentation et à l'innovation.

IV.1. Produits et appareillages utilisés

IV.2.1. Appareillages utilisés

- Spectrophotomètre UV-Visible (Hach Lange DR5000)
- pH mètre (WTW pH310)
- Balance électronique
- Agitateur mécanique
- Agitateur magnétique chauffant avec régulation de température externe

IV.2.2. Produits utilisés

Au cours de notre étude expérimentale, nous avons été amenés à utiliser les produits dont les données sont récapitulées dans le Tableau suivant :

Tableau IV.1 : Produits et réactifs utilisés.

Les produits	Les formules	Les masses molaires
Eau distillé	H ₂ O	18 g/mol
Lécithine de jaune d'œuf	C ₄₂ H ₈₀ NO ₈ P	758 g/mol
Nitrate du plomb	Pb (NO ₃) ₂	331.2 g/mol
Acide Chlorhydrique	HCl	36.46 g/mol

IV.3. Propriétés chimiques et propriétés physiques de la lécithine

- **Formule chimique** : C₄₂H₈₀NO₈P.
- **Masse molaire** : 758,1 g/mol.
- **Structure** : Contient du phosphore, du glycérol et de la choline.
- **Solubilité** : Insoluble dans l'eau, mais soluble dans le chloroforme, l'éther et les huiles minérales.

- **Nature amphiphile** : Possède une tête hydrophile et une queue hydrophobe, ce qui lui permet d'agir comme émulsifiant.
- **Température de fusion** : 236-237 °C.
- **Aspect** : Substance jaune rappelant la cire.
- **Origine** : Présente dans le jaune d'œuf, le soja, le colza et d'autres sources végétales et animales.

IV.4. Préparation des solutions

IV.4.1. Préparation de la solution mère de Pb^{2+} à 0.1M

Dans une fiole jaugée de 250 ml, on introduit 0.025 g de nitrate de plomb $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ de masse molaire 331,2g/mol, on dissout cette quantité de sel avec un peu d'eau distillée, puis on complète jusqu'au trait de jauge.

IV.4.2. Préparation de la solution du HCl à 0.1M

La solution Acide Chlorhydrique (HCl) a été préparée à partir de chlorure d'hydrogène (2g) dissoudre dans 250 ml d'eau.

IV.4.3. Préparation de la solution de lécithine

Nous avons cassé l'œuf et prélevé uniquement le jaune. Le jaune d'œuf a été passé à travers une passoire, puis le liquide filtré a été versé dans un erlenmeyer. Nous avons placé l'erlenmeyer sur un agitateur mécanique et agité pendant 10 minutes afin d'extraire le maximum de lécithine.

IV.5. Procédé analytique d'extraction

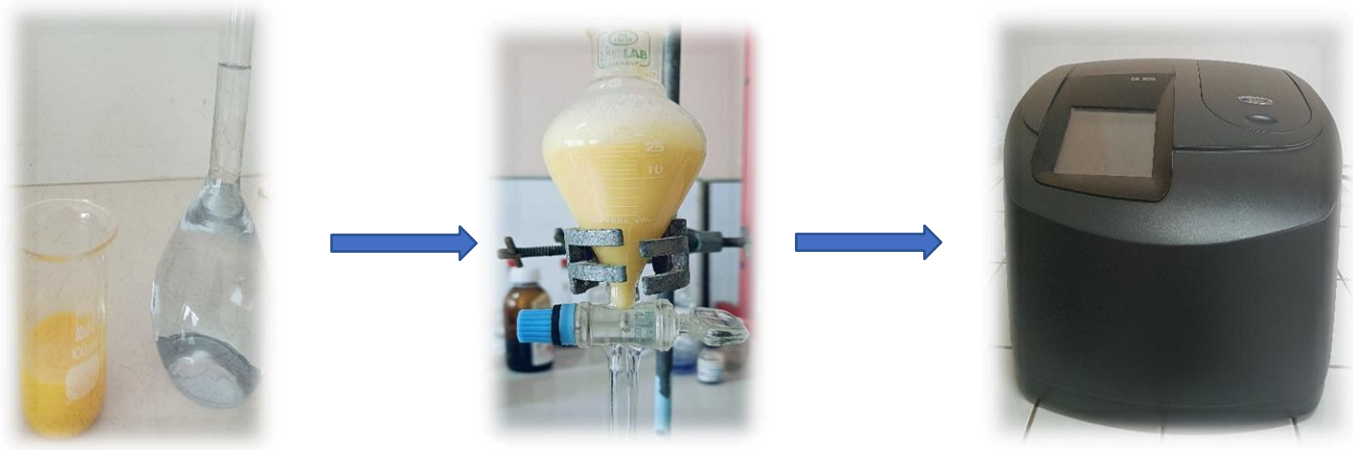


Figure IV.1 : Schéma montrant les étapes de l'expérience.

IV.5.1. Etude de l'influence du pH

Nous avons mélangé dans un erlenmeyer 10 ml de jaune d'œuf enrichi en lécithine avec 10 ml de la solution de nitrate de plomb. Nous avons ensuite ajusté son pH de 6,7 à (5,1 ; 5,8 ; 6,2 ; 6,3 et 6,5) respectivement en ajoutant progressivement de l'acide chlorhydrique (HCl). Nous avons agité ce mélange à l'aide d'un agitateur mécanique pendant 10 minutes. Le mélange a été transféré dans une ampoule à décanter et laissé au repos jusqu'à séparation complète des deux phases. Nous avons récupéré la phase liquide, en laissant la phase moussante dans l'ampoule. Les échantillons ainsi obtenus sont passés dans l'appareil UV-visible afin de calculer leur absorbance.

IV.5.2. Etude de l'influence de la concentration de la solution de plomb

Nous avons mélangé dans un erlenmeyer 10 ml de jaune d'œuf enrichi en lécithine avec 10 ml de la solution de nitrate de plomb à différentes concentrations (0.005g/l ; 0.1g/l ; 0.3g/l ; 0.5g/l ; 0.8g/l et 1 g/l). Nous avons ensuite ramené le pH des solutions obtenues à 5,8 (pH donnant le meilleur rendement d'extraction lors de l'étude de l'effet du pH) en ajoutant progressivement de l'acide chlorhydrique (HCl). Nous avons agité ce mélange à l'aide d'un agitateur mécanique pendant 10 minutes. Le mélange a été transféré dans une

ampoule à décanter et laissé au repos jusqu'à séparation complète des deux phases. Nous avons récupéré la phase liquide, en laissant la phase moussante dans l'ampoule. Les échantillons ainsi obtenus sont passés dans l'appareil UV-visible afin de calculer leur absorbance.

IV.5.3. Etude de l'influence de la vitesse d'agitation

Nous avons préparé cinq solutions contenant chacune 10 ml de lécithine et 10 ml de la solution de nitrate de plomb (0.1 g/l). Nous avons ensuite ramené le pH de chaque solution à 5,8 en ajoutant de l'acide chlorhydrique (HCl). Nous avons agité chaque mélange à l'aide d'un agitateur mécanique pendant 10 minutes en variant la vitesse d'agitation (50rpm ; 100rpm ; 150rpm ; 250rpm et 350 rpm). Le mélange a été transféré dans une ampoule à décanter et laissé au repos jusqu'à séparation complète des deux phases. Les échantillons ainsi obtenus sont passés dans l'appareil UV-visible afin de calculer leur absorbance.

IV.5.4. Etude de l'influence du temps d'agitation

Six solutions contenant chacune 10 ml de lécithine et 10 ml de la solution de nitrate de plomb (0.1 g/l) ont été préparées. Nous avons ensuite ramené le pH de chaque solution à 5,8 en ajoutant de l'acide chlorhydrique (HCl). Nous avons agité chaque mélange à l'aide d'un agitateur mécanique avec une vitesse de 100rpm pendant différents temps (10 min ; 20min ; 40min ; 60min ; 75min et 90min). Une fois le temps de l'agitation expiré le mélange a été transféré dans une ampoule à décanter et laissé au repos jusqu'à séparation complète des deux phases. Les échantillons ainsi obtenus sont passés dans l'appareil UV-visible afin de calculer leur absorbance.

IV.5.5. Etude de l'influence de la température

Nous avons mélangé dans un erlenmeyer 10 ml de jaune d'œuf enrichi en lécithine avec 10 ml de la solution de nitrate de plomb 0.1g/l. Nous avons ensuite ajusté son pH à 5,8 en

ajoutant progressivement de l'acide chlorhydrique (HCl). Nous avons agité ce mélange à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 10 minutes à une vitesse de 100rpm. Cette opération a été effectuée à différentes températures (10°C ; 20°C ; 30°C ; 35°C et 40°C). A la fin de l'agitation, la solution a été transférée dans une ampoule à décanter et laissée au repos jusqu'à séparation complète des deux phases. Les échantillons ainsi obtenus sont passés dans l'appareil UV-visible afin de calculer leur absorbance.



Chapitre V : Résultats et discussions

Ce chapitre regroupe les résultats expérimentaux obtenus lors de l'extraction liquide- liquide du plomb (II) en milieu nitrate par la lécithine. Nous avons étudié l'influence : du pH ; de la concentration de la solution du plomb ; de la vitesse d'agitation ; du temps d'agitation et de la température respectivement. Le but de cette étude vise à optimiser les paramètres d'extraction. Le suivi de la concentration du plomb (II) avant et après extraction est réalisé par spectrophotométrie UV-Visible.

V.1. Courbe d'étalonnage du plomb :

Afin d'établir la courbe d'étalonnage du plomb (II) plusieurs concentrations du Pb^{+2} ont été préparées. L'analyse des échantillons contenant le plomb a été effectuée par spectrophotométrie d'adsorption UV-Visible. La variation de l'absorbance en fonction de la concentration initiale en plomb est représentée sur la figure V.1.

Une solution mère d'une concentration de 1g/L a été initialement préparée. A partir de cette dernière cinq solutions filles dont la concentration varie entre 0.8g/L et 0.05g/L sont préparées par dilution. La concentration de chaque solution étant obtenue à l'aide de la relation suivante :

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

Avec C_1 : concentration de la solution mère.

V_1 : le volume de la solution mère.

C_2 : concentration de la solution fille.

V_2 : volume de la solution fille.

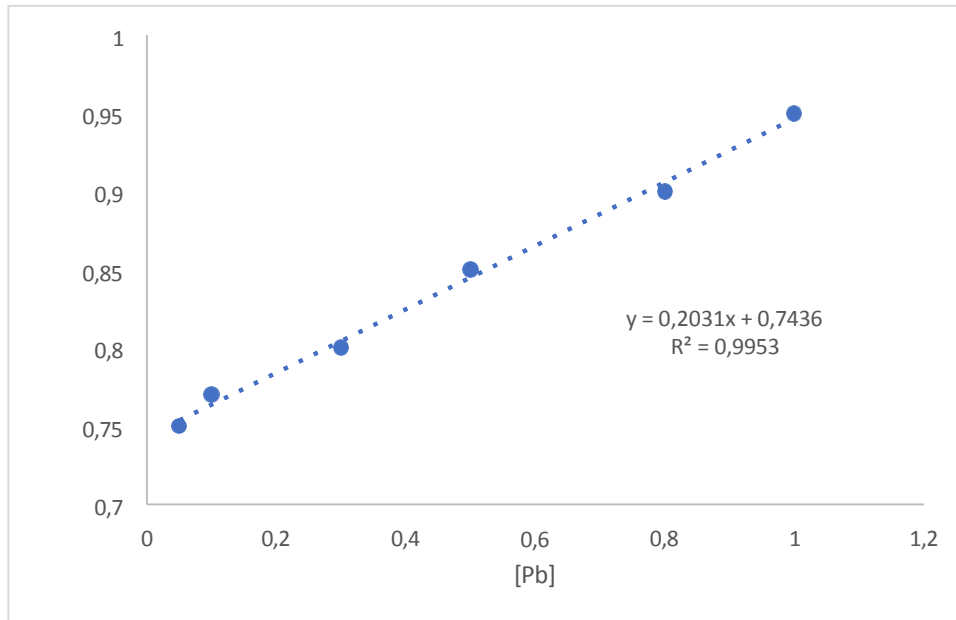


Figure V.1 : courbe d'étalonnage du plomb.

La courbe représentée sur la figure V.1 est une droite dont l'équation est : $A = 0.2351 [\text{Pb}] + 0.7506$ avec un coefficient de corrélation égale à $R^2 = 0.99$. Donc on peut dire que la loi de Beer-Lambert est vérifiée.

V.2. Effet du pH sur l'extraction du plomb :

L'extraction du plomb (II) de concentration 0.1 M à partir d'une solution de nitrate avec de la lécithine a été étudiée dans une gamme de pH allant de 6.7 à 5.1.

Lors de cette extraction deux cas de figure peuvent se présenter :

- Si aucun proton n'est échangé lors d'une extraction le pH ne devrait avoir aucune influence sur le pourcentage d'extraction.
- Si par contre le pourcentage d'extraction du métal varie avec la variation du pH de la phase aqueuse cela confirmera l'existence d'un échange cationique.

La figure V.2 donne l'évolution du rendement d'extraction en fonction du pH.

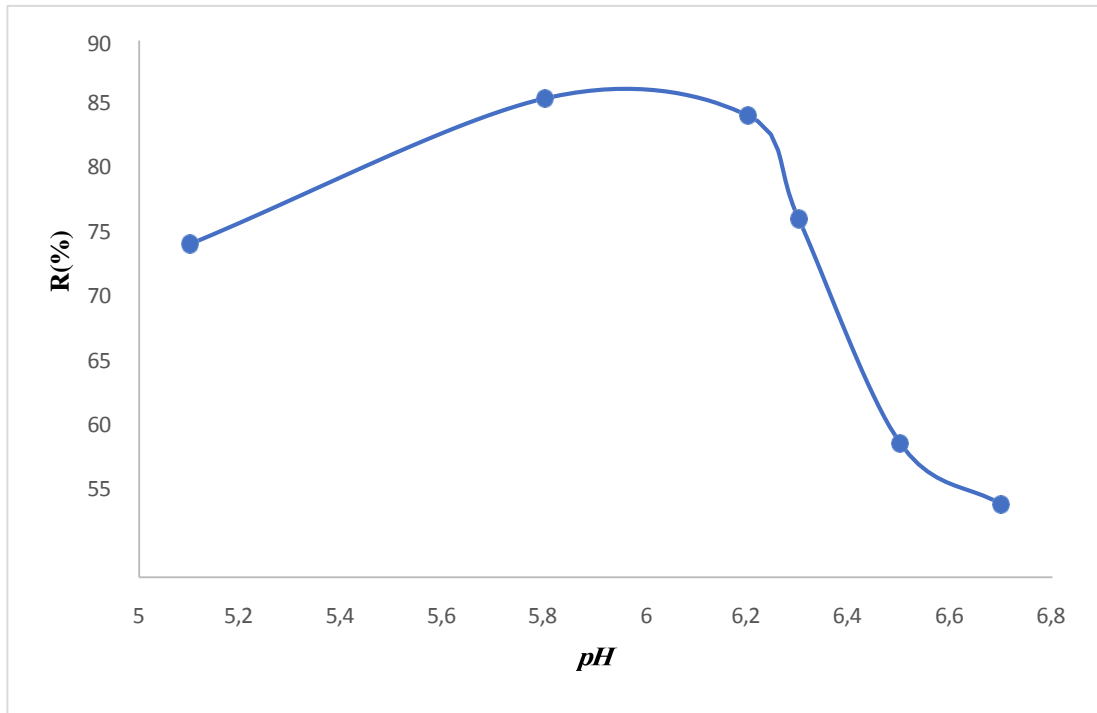


Figure V.2 : Rendement d'extraction en fonction du pH. [Pb]=0.1g/L ;
[lécithine]=1000mg/L ; T= 20°C ; ϕ =150rpm ; t = 10min

La figure V.2 montre une augmentation du rendement d'extraction jusqu'à 86,25% (pH = 5,8) puis une diminution progressive au-delà de ce pH. Donc il est clair que le pH dans la phase aqueuse affecte visiblement le pourcentage d'extraction du métal dans la phase organique ; ce qui prouve l'existence d'un échange cationique.

Une étude de la variation de $\log D$ en fonction du pH a été également effectuée. La courbe d'extraction $\log D = f(\text{pH})$ à 25°C du plomb (II) à partir du milieu nitrate a été représentée sur la figure V.3.

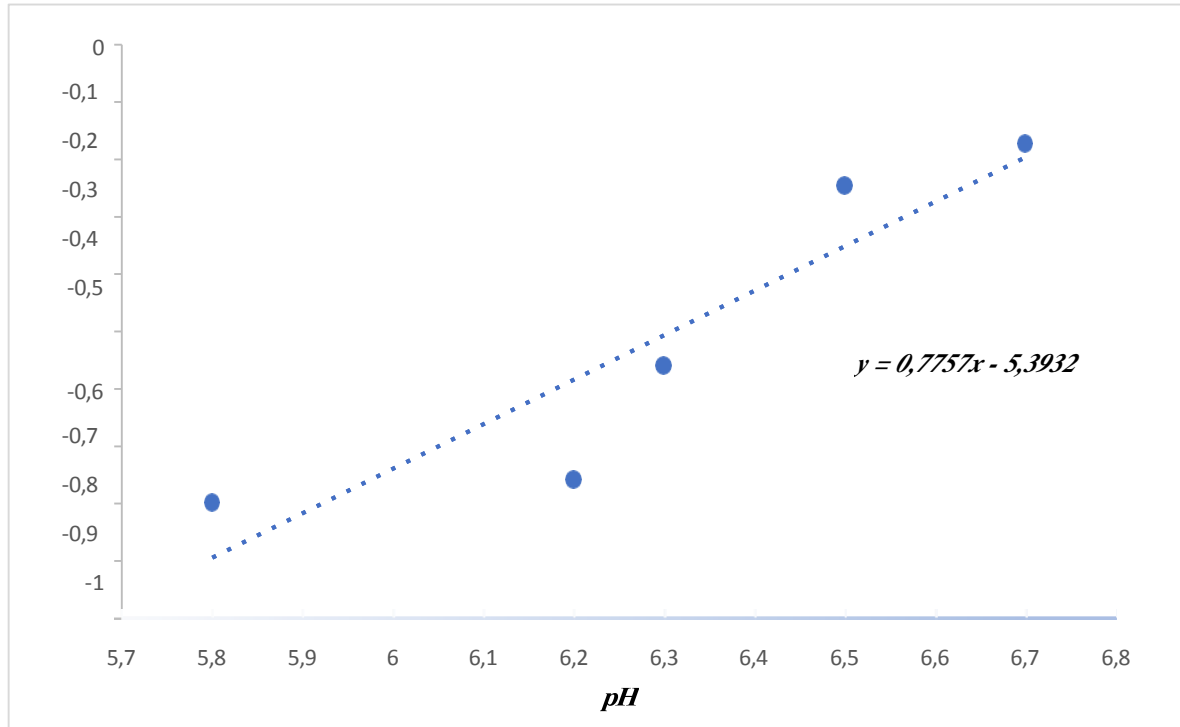
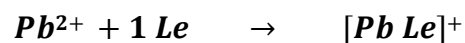


Figure V.3 : Evolution du log D en fonction du PH. [Pb]=0.1g/L ;
[lécithine]=1000mg/L ; T= 20°C ; ϕ =150rpm ; t = 10min

La courbe de la figure V.3 donnant la relation entre log D et pH pour l'extraction du plomb (II), à une concentration de 1000mg/L de lécithine est une ligne droite de pente 0.7757.

En prenant l'équation $\log D = n \text{ PH} + \log K_{\text{ext}}$ comme référence et en appliquant la technique des pentes, nous aurons une valeur de $n = 1$ cela s'explique par une déprotonation d'une molécule de lécithine et qu'un proton est libéré dans le milieu et échangé par un cation métallique. Le logarithme de la constante d'extraction du plomb (II) extrait avec de la lécithine a pour valeur ($\log K_{\text{ex}} = - 5.3932$).

Selon cette étude le complexe susceptible de se former entre la lécithine et le plomb est le suivant :



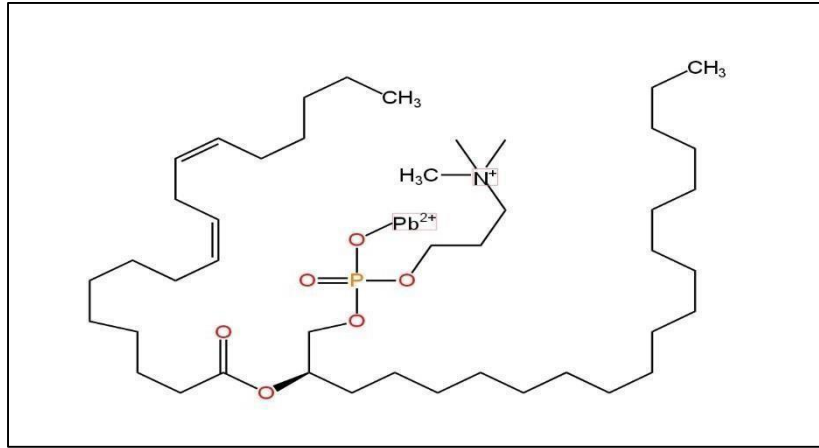


Figure V.4 : structure du complexe plomb -lécithine.

V.3. Effet de la concentration de la solution du plomb

Afin de connaître l'effet de la concentration du plomb sur le rendement de l'extraction ; nous avons fait varier cette dernière de 0.05g/L à 1g/L en fixant la concentration de la lécithine à 1000mg/L dans un milieu dont le pH est de 5.8.

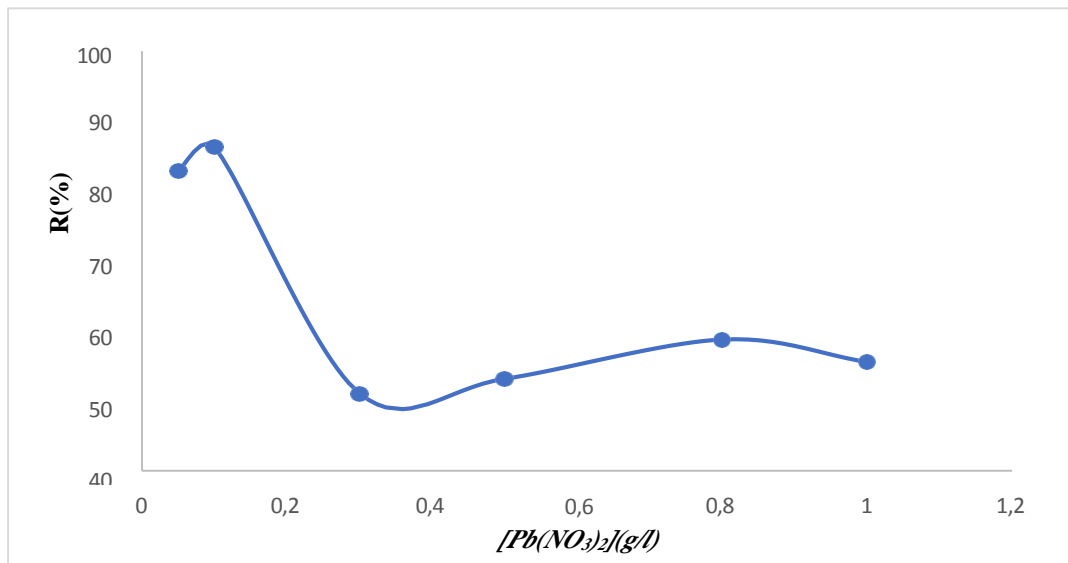


Figure V.5 : Rendement d'extraction en fonction du [Pb (NO₃)₂]. pH=5.8 ;

[lécithine]=1000mg/L ; T= 20°C ; ϕ =150tr/min ; t = 10min

L'analyse de la courbe montre que le rendement de l'extraction augmente rapidement puis diminue avec l'augmentation de la concentration du plomb.

Sachant qu'à basse concentration, la lécithine peut efficacement former des complexes avec les ions Pb^{2+} , facilitant leur extraction et qu'à concentration plus élevée, les sites de liaison deviennent saturés, réduisant l'efficacité ; le meilleur rendement (86.25%) est obtenu pour une concentration en plomb égale à 0.1g/L.

V.4. Effet de la vitesse d'agitation sur l'extraction du plomb :

L'agitation joue un rôle crucial dans l'efficacité de l'extraction du plomb car elle influence le transfert de masse, la cinétique de l'échange cationique et la stabilité des agrégats de lécithine. Une faible agitation entrainera une extraction lente et incomplète et une agitation intense pourrait déstabiliser les agrégats réduisant ainsi l'efficacité de l'extraction. Afin d'éviter tout cela nous avons décidé de balayer une gamme allant de 50rpm à 350rpm. Les résultats obtenus sont représentés sur la figure V.6.

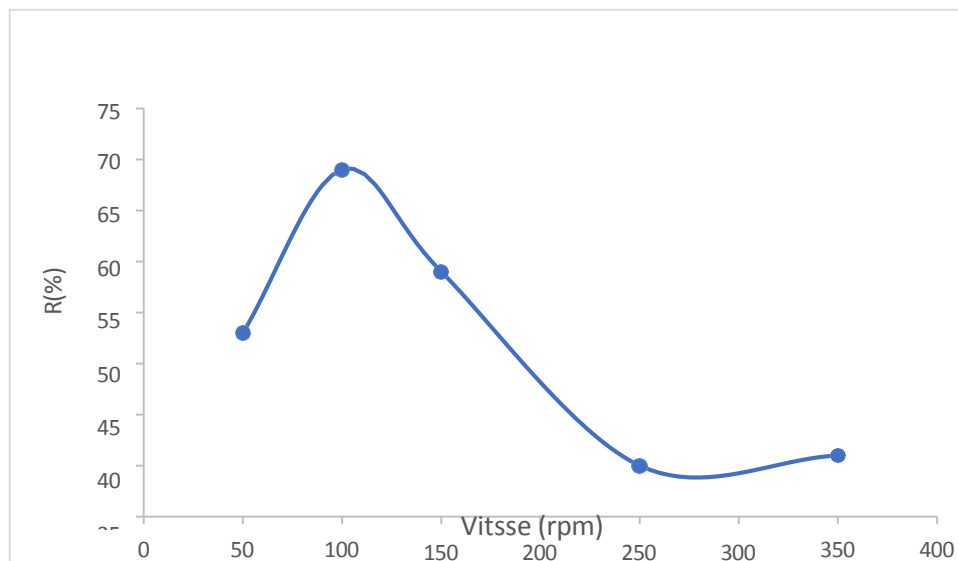


Figure V.6 : Rendement d'extraction en fonction de la vitesse d'agitation. [Pb]=0.1g/L ;

[lécithine]=1000mg/L ; T= 20°C ; pH=5.8 ; t = 10min

L'étude de la figure montre une augmentation rapide du rendement entre 50 et 100tr/min indiquant un contrôle par le transfert de masse. Au-delà de cette vitesse le rendement diminue

significativement cela est dû soit à la formation d'émulsions stables ce qui rend la séparation des phases plus complexe soit à la dégradation de la lécithine. Ces résultats suggèrent qu'une agitation de 100tr/min représente le meilleur compromis entre efficacité et stabilité du système.

V.5. Effet du temps d'agitation sur l'extraction du plomb :

Le temps d'agitation a lui aussi énormément d'importance sur le rendement de l'extraction puisqu'il a une influence directe sur la cinétique d'adsorption du plomb sur le groupement phosphate de la lécithine, sur l'équilibre de fixation et sur la stabilité des agrégats de lécithine. Si le temps d'agitation est trop court l'extraction sera incomplète, par contre si ce dernier est trop long une désorption partielle peut avoir lieu.

Nous avons alors choisi de faire varier le temps d'agitation de 10min à 90min afin d'étudier son effet sur le rendement de l'extraction. Les résultats obtenus sont regroupés sur la figure V.7.

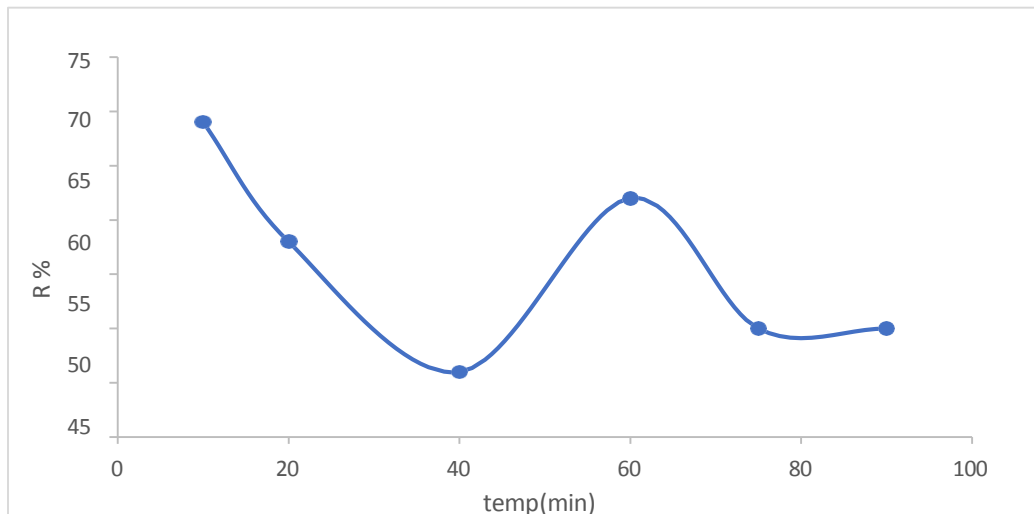


Figure V.7 : Rendement d'extraction en fonction du temps d'agitation. $[Pb]=0.1\text{g/L}$;

$[lécithine]=1000\text{mg/L}$; $T= 20^{\circ}\text{C}$; $\phi=100\text{tr/min}$; $\text{pH}= 5.8$

La figure montre une croissance rapide durant les 10 premières minutes (rendement passant de 0 à 69%) caractéristique d'un contrôle cinétique suivi d'une diminution du rendement d'extraction avec l'augmentation du temps d'agitation dû à une réduction de la force motrice ; un épuisement des sites actifs de la lécithine et à un équilibrage des flux entrants/ sortants. Le meilleur rendement étant obtenu pour un temps d'agitation de 10 minutes.

V.6. Effet de la température sur l'extraction du plomb :

L'impact de la température sur l'extraction de 0.1g/L de Pb^{2+} a été étudié dans un intervalle de température allant de 10°C à 40°C. Ce dernier est donné dans la figure V.8.

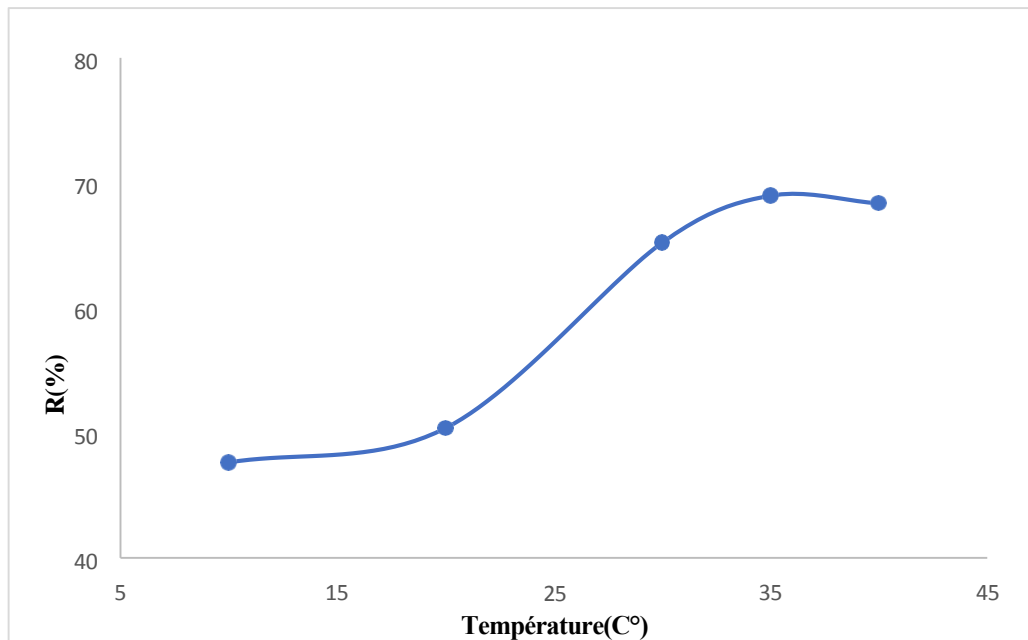


Figure V.8 : Rendement d'extraction en fonction de la température. $[Pb]=0.1g/L$;

$[lécithine]=1000mg/L$; $T= 20^{\circ}C$; $\phi=150tr/min$; $t = 10min$

La courbe présente un optimum à 35°C avec une croissance régulière entre 10-30 °C.

Ce comportement suggère une diffusion moléculaire accélérée ; une mobilité interfaciale améliorée et une énergie de complexation favorisée. Le meilleur rendement (69%) étant pour une température de 35°C.

V.7. Paramètres thermodynamiques :

L'étude de l'effet de température permet de déterminer les paramètres thermodynamiques de notre extraction (enthalpie ΔH , entropie ΔS et enthalpie libre ΔG). Ces paramètres sont calculés en utilisant l'équation de Vant'Hoff :

$$\ln K_c = - \frac{\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R}$$

$$\Delta G = -RT \ln k_c \quad \text{Avec } k_c = \frac{B}{(1-B)}$$

K_c : constante d'équilibre en fonction des concentrations ΔH : l'enthalpie de la réaction

ΔH : l'enthalpie de la réaction

ΔS : l'entropie de la réaction

ΔG : l'enthalpie libre de la réaction

R : la constante des gaz parfaits

T : la température

B : fraction du plomb (II) extrait à l'équilibre

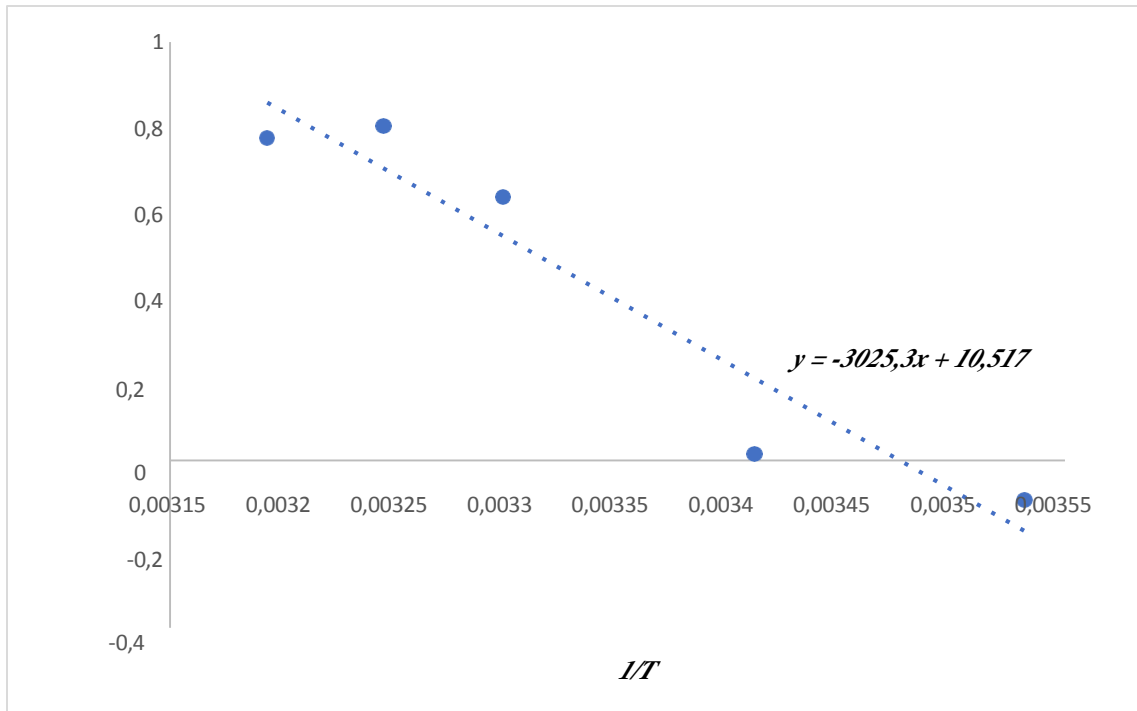


Figure V.9 : Variation de $\ln K_c$ en fonction de la température.

On remarque selon la courbe ci-dessus que la constante d'équilibre à concentration constante K_c augmente avec l'augmentation de la température (la droite de Vant'Hoff ayant une pente négative) ce qui montre que le processus est endothermique ceci peut être expliqué par le fait que la déshydratation des ions du plomb (nécessaire avant la complexation) est très énergivore.

Les paramètres thermodynamiques (ΔH et ΔS) seront déterminés graphiquement à l'aide de l'équation de la droite obtenue dans la figure ci-dessus.

$$\Delta H = 25.152 \text{ KJ et } \Delta S = 87.43 \text{ j/k}$$

Il y a une augmentation du désordre (ΔS étant positif) ceci peut être dû à une réorganisation des micelles ou agrégats de lécithine pour encapsuler les ions de plomb ou alors au fait que la complexation plomb-lécithine peut libérer des molécules d'eau

initialement liées au plomb (gain d'entropie du côté aqueux).

Le tableau suivant regroupe les différentes valeurs de l'enthalpie libre de la réaction.

Tableau V.1 : Les différentes valeurs de l'enthalpie libre de la réaction en fonction de la température.

Température (K)	283.15	293.15	300.15	305.15	310.15
ΔG (KJ/mol)	223.8.88	-36.5594	-1587.96	-2049.87	-2007.48

Le tableau V.3 montre une diminution de l'enthalpie libre de l'extraction lorsque la température augmente donc le processus devient de plus en plus spontané à haute température (35°C). Cette tendance confirme que l'extraction liquide-liquide du plomb par la lécithine sans utilisation de solvant est favorisée à température modérée ceci est en accord avec le mécanisme de complexation entropiquement favorable.

On conclue alors que l'extraction du plomb par la lécithine sans utilisation de solvant est endothermique, entropiquement favorisée et spontanément produite.

V.8. Avantages et inconvénients de l'extraction (plomb – lécithine) :

L'extraction liquide-liquide du plomb par de la lécithine sans solvant est une approche innovante qui présente des avantages écologiques et économiques pour la décontamination des eaux ou des solutions polluées mais aussi des défis techniques. Voici une analyse détaillée.

a. Avantages :

- ✓ Pas de solvants organiques toxiques (comme l'éthanol et l'acétone) évitant ainsi la pollution chimique secondaire et réduisant le risque pour la santé et l'environnement
- ✓ Biodégradabilité de la lécithine puisqu'elle est naturellement présente dans les organismes

- ✓ La lécithine (via son groupement phosphate et ses fonctions polaires) a une forte affinité pour les ions Pb^{+2} permettant une extraction ciblée
- ✓ La lécithine obtenue est plus sûre pour les applications alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques
- ✓ Meilleure conservation des propriétés émulsifiantes et antioxydantes
- ✓ Pas de risque d'inflammabilité ou toxicité liées aux solvants
- ✓ Coût réduit
- ✓ Élimination des coûts liés à l'achat, au recyclage et à l'élimination des solvants

b. Inconvénients :

- ✓ L'absence de solvant peut réduire l'efficacité de l'extraction
- ✓ Une pureté réduite
- ✓ Une stabilité moins bonne
- ✓ Conservation limitée
- ✓ Difficulté de régénération de la lécithine

Voici un tableau comparatif des méthodes d'extractions liquide-liquide du plomb par lécithine **avec ou sans solvant** résumant leurs avantages, inconvénients et applications potentielles :

Tableau V.2 : tableau comparatif de l'extraction avec ou sans solvant.

Critères	Extraction avec solvant	Extraction sans solvant
Pureté	Élevée	Moyenne
Sécurité	Risque élevé d'inflammabilité et de toxicité	Très sûre
Efficacité d'extraction	Élevée	Moyenne à élevée (dépend des conditions opératoires)
Sélectivité du plomb	Modérée	Faible à modérée
Impact environnemental	Solvant toxique + Pollution résiduelle	Aucun solvant + Biodégradable
Coût	Modérée à élevée	Faible
Complexité de la technique	Modérée	Très simple
Applications	Industrie à grande échelle	Dépollution verte, laboratoires

L'extraction liquide-liquide du plomb par la lécithine sans utilisation de solvant est une alternative prometteuse et durable, mais nécessite des optimisations pour concurrencer les méthodes traditionnelles. Elle est particulièrement adaptée pour des applications où la sécurité environnementale prime (traitement des eaux et procédés alimentaires).



Conclusion générale

Durant ce mémoire nous nous sommes intéressés à l'extraction liquide-liquide du plomb (II) par un biotensioactif nommé la lécithine dans le but d'optimiser les paramètres d'extraction.

L'extraction du plomb (II) par de la lécithine a été étudié en fonction du pH, de la concentration de la solution de plomb, de la vitesse d'agitation, du temps d'agitation et de la température.

Les résultats obtenus lors de cette étude sont comme suit :

1. L'étude de l'effet du pH du milieu réactionnel sur l'extraction du plomb montre une diminution du rendement d'extraction avec l'augmentation du pH le meilleur étant pour un pH de 5.8 (milieu acide).
2. L'étude de l'effet de la concentration du plomb (II) sur le rendement de l'extraction montre que ce dernier augmente avec la diminution de la concentration. Le meilleur rendement étant obtenu pour une concentration de 0.1g/L. La stœchiométrie du complexe extrait dans la phase organique a été déterminée par la méthode bi- logarithmique des pentes, il s'agit de complexe de type $[Pb(\text{lécithine-PO}_4)]$.
3. L'étude de l'effet de la vitesse d'agitation montre qu'une vitesse de 100rpm donne le meilleur rendement d'extraction.
4. L'étude de l'effet du temps d'agitation lors de l'extraction du plomb montre que 10 min sont suffisantes pour avoir un maximum de rendement.
5. Par ailleurs l'étude de l'effet de la température sur l'extraction liquide-liquide du plomb (II) a montré que le maximum d'extraction est obtenu avec une température de 35°C. Les paramètres thermodynamiques tel que l'enthalpie, l'entropie et l'énergie libre ont été déterminés. La valeur positive de ΔH° montre que les processus d'extraction est endothermique, La valeur positive de ΔS° calculée implique que le degré d'ordre du complexe, extrait diminue dans la phase organique et la valeur négative de ΔG° montre que la réaction est spontanée.

Ces résultats démontrent que la lécithine issue du jaune d'œuf constitue un agent biosurfactant efficace pour l'extraction du plomb, offrant ainsi une alternative écologique et prometteuse aux méthodes conventionnelles

REFERENCES BIBLIOPRAPHIQUES

- [1] Jan Rydberg, 2004, Solvent Extraction Principles and Practice 2nd édition, New York .Basel: Marcel Dekkar, p. 759.
- [2] F. Blais, 1999, «État du développement technologique en matière d'enlèvement des métaux des effluents,» Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 12, n° 14, pp. 687-711.
- [3] L. Selma, 2020, «Élimination de l'uranium et des terres rares par membrane liquide émulsionnée,» Thèse de doctorat, Annaba.
- [4] A. Emuri 2010, «Extraction liquide-liquide : théorie, applications, difficultés,» Ann Toxicol Anal, vol. 22, n° 12, pp. 51-59.
- [5] Habiri Sid-Ahmed, 2014, «Extraction liquide-liquide de Samarium liquide (III) par le D2EHPA, TBP, TOP, D2EHPA/TBP & D2EHP-TOPet du Cuivre (II) par le D2EHPA,» Thèse de Master, Université ABOU-BAKR BELKAID de Tlemcen.
- [6] A. Amira, 2019, «Etude Expérimentale De L'effet De Mgcl2 Sur L'équilibre Liquide-Liquide Du Système Binaire Eau + Butanone,» Thèse de Master, Université Mohamed Khider Biskra.
- [7] D. Siham, 2009, «Extraction Et Separation Des Acides Lactique Et Tartrique Par Solvants- Diluants,» MEMOIRE DE MAGISTER, UNIVERSITE HASSIBA BEN BOUALI CHLEF.
- [8] A. Guerdouh, 2017, «Effet Du Solvant Sur L'extraction Liquide-Liquide Du Cuivre (II) Et Du Chrome (III) Par L'acide Laurique Et La Salicolidèneaniline,» Thèse de Doctorat, Facultés des Science et de la technologie Biskra.
- [9] M. Nabil, 2008, «Application Des Reseaux De Neurones Pour Predire Le Rendement De L'extraction Liquide- Liquide Du Phenol,» Doctorat en génie des procédés , Université BADJI Mokhtar-Annaba.
- [10] R. Samia, 2015, Extraction liquide-liquide, Polycopié de cours pour les Master Génie des: Université 08 mai 1945 Guelma.
- [11] B. Ayache, 2017, «Application D'algorithmes Evolutionnistes Avec Hybridation Aux Calculs Des Equilibres Liquide-Liquide Dans Les Systèmes Ternaires,» Thèse de Doctorat, Université KASDI Merbah Ouargla.
- [12] A. LOUDJANI, 2018, «Etude Expérimentale et Modélisation de l'effet du sel sur

l'équilibre liquide-liquide des systèmes ternaires (Eau + Acide Acétique + Solvant),»
Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra.

[13] A. SANA, 2017, «Extractions synergiques du cuivre(II), cobalt(II) et du nickel(II) par la salicylidène ortho, méta et para- toluidine.,» Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra.

[14] N. TAOUALIT, 2018, «Techniques Membranaires De L'extraction– Concentration– Recuperation Des Espèces Metalliques Et Organiques. Application Aux Traitements Des Eaux,» Thèse de doctorat, UNIVERSITE SAAD-DAHLAB de BLIDA 1.

[15] B. Mihad, 2019, «Effet du substituant chlorure sur l'extraction liquide-liquide des métaux de transitions par la N-(2-hydroxybenzylidène)aniline,» Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra.

[16] S. Assia, 2022, «Etude de la sélectivité d'extraction du cobalt (II) et du nickel(II) par l'acide caprique,» Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider Biskra.

[17] E. FETTAH, «Effet du milieu aqueux sur l'extraction liquide-liquide des métaux de transition par l'acide di-(2-ethylhexyl) phosphorique,» Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra.

[18] R. Denis, 2023, La pollution par les métaux lourds : un risque sous estimé, Article en ligne.

[19] T. GLASS, 2020, Métaux lourds, 167-208: Citepa (centre Interprofessionnel Technique d'Etude de la Pollution Atmosphérique).

[20] D. Benedetto, METHODES SPECTROMETRIQUES D'ANALYSE ET DE CARACTERISATION "Dossier SAM 1997 LES METAUX LOURDS", Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne " Génie des Procédés."

[21] B. Sofiane, 2010, «La Decontamination Des Eaux Usees Sur Un Support Naturel,» UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEM.

[22] B. e. al, «Effet des sels de métaux lourds (chlorure de Cobalt et chlorure de Mercure) sur l'activité des hépatocytes,» Journal of Applied Biosciences, n° %17499–7505, p. 83.

[23] C. Khaoula, 2020, «Etude saisonnière de la variation du niveau de contamination des sols dans les régions Sahariennes Algériennes (31-33° N ; 4-9° E) par les polluants chimiques et microbiologiques. « Géo-référencement des teneurs en polluants », Thèse de Doctorat, UNIVERSITÉ KASDI MERBAH – OUARGLA.

[24] E. SELMANE, 2017, «Evaluation de la toxicité de quelques métaux lourds sur le

comportement d'un modèle animal du groupe des Coelomates, » Thèse de Doctorat, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA.

[25] G. BOUAZIZ, 2023, «Etude de la rétention du cuivre en solutions aqueuses par une bentonite de Mostaganem modifiée,» Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra.

[26] C. Biney, 1994, «ETUDE DES METAUX LOURDS, » pp. 37-67.

[27] F. Mohamed, 2024, «Etude de l'adsorption du plomb par des biosorbants locaux,» Thèse de doctorat, UNIVERSITE SETIF 1 - FERHAT ABBAS.

[28] G. Davidson, 2016, «Lead industry life cycle studies: environmental impact and life cycle assessment of lead battery and architectural sheet production,» The International Journal of Life Cycle Assessment, vol. 11, n° 121, pp. 1624-1636.

[29] D. AMIMEUR, 2018, «Contribution à l'étude de l'élimination du plomb par coagulation floculation et par adsorption sur charbon actif . Effet de la minéralisation et des paramètres réactionnels,» Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra "Faculté des Sciences et de la technologie."

[30] F. BOUCHALA, 2023, «Profil Metallique Sanguin Et Urinaire. Application A L'exposition Professionnelle Au Plomb Et Autres Elements Toxiques Dans Une Entreprise De Batteries A Setif,» Thèse de doctorat, UNIVERSITÉ FERHAT ABBAS SÉTIF 1 ,FACULTÉ DE MÉDECINE.

[31] P. Bertrand, 2008, «Implication du stress oxydatif dans la toxicité du plomb sur une plante modèle, Vicia faba,» Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse.

[32] (OMS), 2021, Lignes directrices de l'OMS sur la prise en charge clinique de l'exposition au plomb, Suisse: 20 Avenue Appia .CH-1211 Genève 27.

[33] Ministère de Travail, 2023, Effet du plomb sur la santé, consulté sur : <https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/batiments/article/effets-du-plomb-sur-la-sante>.

[34] C. Martini, 2006, Introduction à la dermopharmacie et à la cosmétologie, 2^e édition éd., Cachan (France), Paris, Londres, New York: Tec & Doc / Éditions médicales internationale, p. 448.

[35] S. Hugues Bijoux, 2020, RAPPORT D'ÉTUDE SUR LES TENSIOACTIFS, BASSIN D'ARCACHON "SIBA", p.

[36] C. LUDOT, 2013, «Développement De Methodologies De Synthèse De Tensioactifs Glycosidiques A Partir De Biomasse Lignocellulosique,» Thèse de doctorat, Institut de Chimie Moléculaire de Reims, Groupe Méthodologie de Synthèse Organique, Agro-Industrie Recherches et Développements.

[37] Banat, I. M. (2014). Microbial production of surfactants and their commercial potential. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 61(1), 47–64.

[38] F. Z. MESBAIAH, 2015, «BIODEGRADATION DES HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES ET PRODUCTION DE BIOSURFACTANTS PAR DES SOUCHES BACTERIENNES THERMOPHILES ISOLEES A PARTIR D'UN SOL CONTAMINE PAR LE PETROLE BRUT DE LA REGION DE HASSI-MESSAOUD,» Thèse de doctorat, UNIVERSITE DE BLIDA "1Faculté de Technologie."

[39] P. Chiewpattanakul, 2010, «Solation And Structure Elucidation Of Biosurfactant From Microorganism And Its Application Model In Drug Delivery System,» Thèse de doctorat, l'institut national polytechnique de Lorraine.

[40] H. Youcef, 2019, «Valorisation d'un rejet pour la production de biosurfactant,» Mémoire de projet de fin d'études Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie de l'Environnement, ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE "Département de Génie de l'Environnement ."

[41] Zaaboube, Hicham, Benrahou, Abdelkader, 2014 «Etude de la conformation et de la composition des œufs de la poule locale. Comparaison avec les œufs de souche commerciale,» Mémoire Master , Université Abou berk Belkaid-Tlemcen.

[42] Guérin-Dubiard, 2010, «Composition de l'œuf. Science et technologie de l'œuf.,» Thapon, vol. 2, pp. 1-176.

[43] C. Liébecq, 1992, «International Union of Biochemistry and Molecular Biology .Biochemical Nomenclature and Related Documents,» Portland Press.

[44] T. Goble, 1847, «Phosphatidylcholine (Choline),» *Journal de Pharmacie et de Chimie*, vol. 20.

[45] AIT ALLAOUA SIHEM, 2017, «Extraction et Caractérisation de la lécithine et de l'ovalbumine de l'œuf de poule,» Thèse de Master, UNIVERSITE MOULOUDE MAMMERI DE TIZI-OUZOU "FACULTE DES SCIENCES.

[46] C. R. e. al, 2023, «Natural emulsifiers lecithins preserve gut microbiota diversity in relation with specific faecal lipids in high fat-fed mice, » *Journal of Functional Foods*.

[47] (ANS),2017, «Re-evaluation of lecithins (E 322) as a food additive, » EFSA Journal, 15(4), 4742.

Résumé

Cette thèse vise à étudier l'efficacité de la lécithine comme biotensioactif dans l'extraction du plomb. Plusieurs paramètres ont été étudiés, notamment : l'effet du pH, la concentration de la solution de plomb, la vitesse et le temps d'agitation, ainsi que la température. Les résultats obtenus montrent que le meilleur rendement d'extraction, atteignant 89 %, est obtenu à un pH de 5,8 et une concentration en plomb de 0,1 g/L. Par ailleurs, pour une vitesse d'agitation de 100 rpm, un temps d'agitation de 10 minutes et une température de 35 °C, le rendement atteint 69 %.

Mots clés : extraction liquide-liquide, lécithine, plomb, absence de solvant.

Abstract

This thesis aims to study the effectiveness of lecithin as a biosurfactant in the extraction of lead. Several parameters were examined, including the effect of pH, lead solution concentration, agitation speed and time, as well as temperature. The results showed that the best extraction yield, reaching 89%, was achieved at a pH of 5.8 and a lead concentration of 0.1 g/L. Additionally, at an agitation speed of 100 rpm, an agitation time of 10 minutes, and a temperature of 35 °C, the yield reached 69%.

Keywords : liquid-liquid extraction, lecithin, lead, solvent-free.

المخلص

تهدف هذه الأطروحة الى دراسة فعالية الليسيثين كمادة خافضة للتوتر السطحي في استخلاص الرصاص. تم دراسة عدة معايير، من بينها تأثير الرقم الهيدروجيني، تركيز محلول الرصاص، سرعة ومدة التحريك، بالإضافة الى درجة الحرارة. أظهرت النتائج أن أفضل مردود للاستخلاص. بلغ 89 % عند تركيز الرصاص 0.1 غ/لتر. كما تم الحصول على مردود بنسبة 69 % عند سرعة تحريك 100 دورة /دقيقة، وزمن تحريك 10 دقائق، ودرجة حرارة 35 م°.

الكلمات المفتاحية: الاستخلاص سائل-سائل، الليسيثين، الرصاص، خالي من المذيبات.