

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département Génie de l'environnement.

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLÔME DE MASTER

FILIÈRE : Génie des procédés

Spécialité : Génie des procédés de l'environnement.

Par

➤ **CHIHA DJIHAD**

➤ **REGHIS NABILA NADJLA**

Intitulé

***Extraction liquide-liquide de plomb et de zinc par quelques types des solvants
organiques***

Soutenu le : 22/06/2024

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Établissement</i>
<i>Mme. Abdoune. A</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Bahah. S</i>	<i>MCB</i>	<i>Encadrant</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mme. Bakri. S</i>	<i>MCB</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2023/2024

Dédicace:

En guise de dédicace pour ce mémoire, je voudrais dédier ce travail à mes parents, pour leur amour, leur soutien inconditionnel et leur encouragement constant. Leur sacrifice et leur dévouement ont été une source d'inspiration tout au long de ce parcours académique.

Je dédie également ce mémoire à mes amis qui ont été présents à mes côtés, me soutenant et m'encourageant à chaque étape. Leurs mots d'encouragement et leur amitié ont été précieux pour moi.

Enfin, je dédie ce travail à tous ceux qui croient en moi et m'ont aidé à atteindre mes objectifs. Leur confiance et leur soutien ont été des moteurs dans la réalisation de ce mémoire.

Ce travail est dédié à tous ceux qui ont cru en moi et m'ont soutenu tout au long de ce parcours. Merci infiniment.

Chiha djihad

Dédicace :

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce modeste travail de fin d'étude à mes chers parents ; Reghis Mohamed, Briki Ratiba qui ont sacrifié leur vie pour ma réussite et mon éclairée le chemin par leurs conseils judicieux. J'espère qu'un jour, Je peux leurs rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi, que dieu leur prête bonheur et longue vie. Je dédie aussi ce travail à mes sœurs :

Reghis Liliyas, Reghis Amira, Reghis Assia et mes beaux-frères

:

Chikh Djallal, Gharibe Nasre dine, Lahmare nouari

A toute la famille et les amis tous mes professeurs qui mon enseigner et à tous ceux qui mon sont chers.

Reghis nabila nadjsa

Remerciements:

Nous louons beaucoup Dieu et nous le remercions beaucoup pour sa bonté, son don et sa générosité. Nous le louons pour avoir rendu notre objectif facile, facilité nos difficultés et atténué nos ennuis Il nous a aidés à terminer ce travail, auquel nous demandons qu'il être purement pour un visage généreux. En reconnaissance de la gratitude et de l'appréciation au bienfaiteur, après avoir terminé la préparation de ce mémorandum, nous ne pouvons qu'exprimer nos sincères remerciements et notre gratitude à :

Professeur "BAHAH Salah "

Pour ses précieux conseils et ses bons conseils, et il a été crédité d'avoir terminé ce travail. Que Dieu fasse cela dans la balance de ses bonnes actions jusqu'au Jour du Jugement. Nous adressons également nos plus profonds remerciements et notre reconnaissance à : Faculté des sciences et de la technologie et département de Génie des procédés de l'environnement.

Table des matières

Introduction.....	1
Chapitre I : L'extraction liquide-liquide.....	3
I.1 Extraction liquide-liquide.....	4
I.1.1 Introduction.....	4
I.1.2 Définition.....	4
I.1.3 Conditions d'extraction.....	5
I.1.4 Principe de l'extraction liquide-liquide.....	5
I.1.5 Les étapes clés de l'extraction liquide-liquide	5
I.1.6 Classification des différentes méthodes d'extraction liquide-liquide.....	5
I.1.6.1 Extraction simple	5
I.1.6.2 Extraction multiple ou fractionnée	5
I.1.6.3 Extraction par étapes contre-courant	6
I.1.6.4 Extraction par solvant sélectif	6
I.1.6.5 Extraction à température contrôlée	6
I.1.6.6 Extraction avec réaction chimique.....	6
I.1.6.7 Extraction par micro-ondes	6
I.1.6.8 Extraction assistée par ultrasons	6
I.2 Solvants	6
I.2.1 Définition.....	6
I.2.2 Classification des solvants.....	6
I.2.2.1 Solvants polaires	6
I.2.2.2 Solvants apolaires	6
I.2.3 Les type des solvants utilisés	7
I.2.3.1 Toluène.....	7
I.2.3.2 Cyclohexane	7
I.2.3.3 N-hexane.....	8
Conclusion	8
Chapitre II : Les métaux lourds	9
II.1 Les métaux lourds.....	10
II.1.1 Introduction	10
II.1.2 Définition des métaux lourds	10

II.1.3 Classification des métaux lourds	11
II.1.3.1 Métaux essentiels.....	11
II.1.3.2 Métaux lourds non essentiels	11
II.1.3.3 Métaux lourds émergents	11
II.1.4 Effet des métaux lourds	11
II.1.4.1 Effet sur l'environnemental	11
II.1.4.2 Effet sur la santé	12
II.1.5 Utilisations des métaux lourds.....	12
II.2 Le zinc	13
II.2.1 Définition.....	13
II.2.2 Propriétés physico-chimiques.....	13
II.2.3 Propriétés biologiques	13
II.2.4 Effet de zinc sur la santé et l'environnement	13
II.2.4.1 Effets sur la santé.....	13
II.2.4.2 Effets sur l'environnement.....	14
II.3 Plomb	14
II.3.1 Définition.....	14
II.3.2 Propriétés physico-chimiques.....	15
II.3.3 Effet de plomb sur la santé et l'environnement	15
II.3.3.1 Effets sur la santé.....	15
II.3.3.2 Effets sur l'environnement	15
Conclusion	16
Chapitre III : Matériel et Méthode	17
III.1 Spectrométrie d'absorption atomique	18
III.1.1 Principe	18
III.2 Matériel et produits.....	18
III.2.1 Matériel	18
III.2.2 Les produits	19
III.3 Propriété des solvants	20
III.4 Protocoles de l'extraction liquide-liquide	20
III.5 Calcul de concentration de la phase organique (mg/l).....	21
III.6 Calcul du coefficient de diffusion de Pb^{+2} et Zn^{+2}	21
III.7 Calcul du rendement (%).....	21

Chapitre IV : Résultats et discussions.....	22
IV.1 Paramètres influençant sur le rendement et le coefficient de diffusion de plomb	23
IV.1.1 Effet de solvant d'extraction à différent pH.....	23
IV.1.1.1 Rendement d'extraction pour les types de solvants	23
IV.1.1.2 Coefficient de diffusion pour les types de solvants	26
IV.1.2 Effet de pH de plomb (Pb^{+2})	28
IV.1.3 Effet de concentration de plomb	31
IV.1.4 Effet de la force ionique ($NaNO_3$) de plomb	32
IV.1.5 Effet de la concentration de l'acide benzoïque s de plomb	33
IV.1.6 Effet de temps de contact de plomb.....	34
IV.1.7 Effet de volume de solvant de plomb	35
IV.2 Paramètres influençant sur le rendement et le coefficient de diffusion de zinc	36
IV.2.1 Effet de solvant d'extraction à différent pH.....	36
IV.2.1.1 Rendement d'extraction pour les types de solvants	36
IV.2.1.2 Coefficient de diffusion pour les types de solvants	40
IV.2.2 Effet de pH de zinc (Zn^{+2})	43
IV.2.3 Effet de la force ionique ($NaNO_3$) de plomb	45
IV.2.4 Effet de la concentration de l'acide benzoïque de zinc	46
IV.2.5 Effet de temps de contact de zinc	47
IV.2.6 Effet de volume de solvant de zinc.....	48
IV.3 Effet de nombre d'étage de Pb^{+2} et Zn^{+2}	49
IV.4 Etude comparative entre l'extraction de Pb^{+2} et Zn^{+2}	49
Conclusion	51
Référence	52

Liste des figures

Figure II-01 : Le zinc.....	14
Figure II-02 : Le plomb.....	15
Figure III-01 : Spectrométrie d'absorption atomique.....	19
Figure IV-01 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 2.....	25
Figure IV-02 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 3.....	25
Figure IV-3 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 4.....	26
Figure IV-04 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 5.....	26
Figure IV-05 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 6.....	27
Figure IV-06 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 7.....	27
Figure IV-07 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 8.....	28
Figure IV-08 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 9.....	28
Figure IV-09 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 2.....	29
Figure IV-10 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 3.....	29
Figure IV-11 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 4.....	30
Figure IV-12 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 5.....	30
Figure IV-13 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 6.....	31
Figure IV-14 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 7.....	31
Figure IV-15 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 8.....	32
Figure IV-16 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 9.....	32
Figure IV-17 : Effet de pH sur le rendement de plomb par toluène.....	33
Figure IV-18 : Effet de pH sur le rendement de plomb par cyclohexane.....	33
Figure IV-19 : Effet de pH sur le rendement de plomb par n-hexane.....	34
Figure IV-20 : Effet de pH sur le coefficient de diffusion de plomb par toluène.....	34
Figure IV-21 : Effet de pH sur le coefficient de diffusion de plomb par cyclohexane.....	35
Figure IV-22 : Effet de pH sur le coefficient de diffusion de plomb par n-hexane.....	35
Figure IV-23 : Effet de concentration de plomb sur le rendement.....	36
Figure IV-24 : Effet de concentration de plomb sur le coefficient de diffusion.....	36
Figure IV-25 : Effet de concentration de nitrate de sodium sur le rendement de plomb par le toluène.....	37
Figure IV-26 : Effet de concentration de nitrate de sodium sur le coefficient de diffusion de plomb par le toluène.....	38
Figure IV-27 : Effet de concentration de l'acide benzoïque sur le rendement de plomb par le toluène.....	38
Figure IV-28 : Effet de concentration de l'acide benzoïque sur le coefficient de diffusion de plomb par le toluène.....	39
Figure IV-29 : Effet de temps de contact sur le rendement de plomb par le toluène.....	40
Figure IV-30 : Effet de temps de contact sur le coefficient de diffusion de plomb par le toluène.....	40
Figure IV-31 : Effet de volume de solvant sur le rendement de plomb par le toluène.....	41

Figure IV-32 : Effet de volume de solvant sur le coefficient de diffusion de plomb par le toluène.....	41
Figure IV-33 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 2.....	42
Figure IV-34 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 3.....	42
Figure IV-35 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 4.....	43
Figure IV-36 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 5.....	43
Figure IV-37 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 6.....	44
Figure IV-38 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 7.....	44
Figure IV-39 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 8.....	45
Figure IV-40 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 9.....	45
Figure IV-41 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 2.....	46
Figure IV-42 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 3.....	46
Figure IV-43 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 4.....	47
Figure IV-44 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 5.....	47
Figure IV-45 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 6.....	48
Figure IV-46 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 7.....	48
Figure IV-47 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 8.....	49
Figure IV-48 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 9.....	49
Figure IV-49 : Effet de pH sur le rendement de zinc par toluène.....	50
Figure IV-50 : Effet de pH sur le rendement de zinc par cyclohexane.....	50
Figure IV-51 : Effet de pH sur le rendement de zinc par <i>n</i> -hexane.....	51
Figure IV-52 : Effet de pH sur le coefficient de coefficient de zinc par toluène.....	51
Figure IV-53 : Effet de pH sur le coefficient de diffusion de zinc par cyclohexane.....	52
Figure IV-54 : Effet de pH sur le coefficient de diffusion de zinc par <i>n</i> -hexane.....	52
Figure IV-55 : Effet de concentration de nitrate de sodium sur le rendement de zinc par le toluène.....	53
Figure IV-56 : Effet de concentration de nitrate de sodium sur le coefficient de diffusion de zinc par le toluène.....	53
Figure IV-57 : Effet de concentration de l'acide benzoïque sur le rendement de zinc par le toluène.....	54
Figure IV-58 : Effet de concentration de l'acide benzoïque sur le coefficient de diffusion de zinc par le toluène.....	54
Figure IV-59 : Effet de temps de contact sur le rendement de zinc par le toluène.....	55
Figure IV-60 : Effet de temps de contact sur le coefficient de diffusion de zinc par le toluène.....	55
Figure IV-61 : Effet de volume de solvant sur le rendement de zinc par le toluène.....	56
Figure IV-62 : Effet de volume de solvant sur le coefficient de diffusion de zinc par le toluène.....	56
Figure IV-63 : Effet de nombre d'étage sur le rendement de zinc et plomb.....	57
Figure IV-64 : Effet de nombre d'étage sur le coefficient de diffusion de plomb et zinc.....	57

Liste des tableaux

Tableau II-01 : Classification périodique des éléments.....	12
Tableau II-02 : Les principales propriétés physico-chimiques.....	14
Tableau II-03 : Caractéristiques physico-chimiques du plomb.....	16
Tableau III-01 : Propriété physico-chimique des solvants utilisés.....	21
Tableau IV-01 : Les différences des rendements et coefficient de diffusion entre zinc et plomb par toluène	58
Tableau IV-02 : Les différences des rendements et coefficient de diffusion entre zinc et plomb par cyclohexane.....	58
Tableau IV-03 : Les différences des rendements et coefficient de diffusion entre zinc et plomb par <i>n</i> -hexane.....	58

Liste des abréviations

Zn : Zinc.

Pb : Plomb.

D : Coefficient de diffusion.

R : Rendement d'extraction.

C : Concentration massique.

Org : Phase organique.

Aqu : Phase aqueuse.

pH : Potentiel d'hydrogène.

NaNO₃ : Nitrate de sodium.

C₇H₆O₂ : Acide benzoïque

HCl : Acide chlorhydrique.

NaOH : Hydroxyde de sodium.

Pb(NO₃)₂ : Nitrate de plomb.

Zn(NO₃)₂ : Nitrate de zinc.

C₇H₈: Toluène

C₆H₁₂: Cyclohexane

C₆H₁₄: *N*-hexane

Introduction

Introduction

Depuis les années 1960, la pollution de l'environnement est devenue une préoccupation centrale dans notre société moderne. La pollution est définie comme une modification néfaste de l'environnement naturel, impliquant des changements dans la structure physique, chimique ou biologique des écosystèmes. Parmi les différents types de pollution, celle causée par les métaux lourds représente un problème environnemental majeur en raison de leur toxicité, leur persistance et leur capacité de bioaccumulation. Les métaux lourds tels que le plomb (Pb), le zinc (Zn), le mercure (Hg), le cuivre (Cu), le nickel (Ni), l'arsenic (As) et le cadmium (Cd) proviennent principalement des activités industrielles, agricoles et urbaines. Leur présence dans l'air, l'eau et le sol peut avoir des effets néfastes directs ou indirects sur la santé humaine et l'équilibre des écosystèmes [1]. Les métaux lourds peuvent provoquer des intoxications aiguës ou chroniques chez les êtres humains et les animaux, affectant divers systèmes biologiques. Par exemple, le plomb est connu pour ses effets neurotoxiques, en particulier chez les enfants, tandis que le cadmium et le mercure peuvent causer des dommages rénaux et neurologiques respectivement. Les plantes peuvent également accumuler ces métaux, perturbant ainsi les chaînes alimentaires et les cycles biogéochimiques [2].

Plusieurs méthodes ont été développées pour remédier à la pollution par les métaux lourds, incluant des techniques physiques, chimiques et biologiques. L'extraction liquide-liquide est l'une des techniques efficaces pour la séparation et la récupération des métaux lourds des matrices aqueuses. Le but de cette étude est d'étudier le processus d'extraction de plomb et de zinc en tant que liquides dangereux et très pollués pour la santé et l'environnement grâce à la technique d'extraction liquide utilisant l'acide benzoïque dans différents solvants. Et étudier également certains paramètres dus au premier principe d'extraction liquide-liquide pour améliorer le processus.

Notre travail est divisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente une bibliographie générale sur le principe de l'extraction liquide-liquide, la classification des systèmes d'extraction et les propriétés physiques et chimiques utilisées dans les solvants.

Le deuxième chapitre est également consacré à des études bibliographiques sur les métaux lourds qui comprennent la classification, la distribution, le destin environnemental et ses effets sur la santé et le temps.

Introduction

La troisième partie est dédiée aux équipements et méthodes utilisés. Comprend des procédures et des méthodes d'analyse. Le quatrième chapitre est consacré à la présentation et à la discussion des résultats obtenus.

L'objectif de notre étude est d'éliminer le zinc et le plomb de l'eau par extraction liquide-liquide.

**Chapitre I : L'extraction
liquide-liquide**

I.1 Extraction liquide-liquide**I.1.1 Introduction**

L'extraction par solvant est une méthode largement utilisée dans diverses industries pour raffiner et purifier une gamme d'éléments chimiques et de produits chimiques. Cette technique chimique est largement utilisée dans les domaines du traitement des minerais, de la pharmacie, de l'agriculture, de la chimie industrielle, de la pétrochimie, de l'industrie agroalimentaire, de la purification des métaux communs, de la métallurgie, du traitement des eaux usées industrielles ou municipales, de la gestion des déchets radioactifs et de la valorisation avancée dans les « mines urbaines ». L'accent est mis sur la récupération des métaux et le raffinage des métaux précieux. Les systèmes d'extraction liquide-liquide ou par solvant sont constitués de deux phases liquides non miscibles qui peuvent se mélanger librement indéfiniment lorsqu'elles sont agitées. Le milieu organique contient généralement un agent complexant lipophile qui favorise la répartition de l'analyte dans la phase organique en formant des complexes lipophiles ou des paires d'ions [3].

Les systèmes d'extraction liquide-liquide typiques sont basés sur l'utilisation de composés organiques volatils (COV), tels que le benzène, le chloroforme, le tétrachlorométhane, etc., comme deuxième phase liquide organique pour extraire les composants métalliques [3].

I.1.2 Définition

L'extraction liquide-liquide constitue une opération fondamentale en génie chimique. C'est un procédé qui permet la séparation de un ou plusieurs constituants d'un mélange en mettant à profit leur distribution inégale entre deux liquides pratiquement non miscibles. Les méthodes d'extraction se basent essentiellement sur le suivi d'équilibre, et donc le transfert de masse ne peut être ignoré [4].

Dans l'industrie, l'extraction liquide-liquide concurrence les autres procédés, tel que la distillation, la cristallisation, l'adsorption...etc. Dans certains cas elle s'impose de manière indiscutable, notamment lorsque les conditions technologiques ou physico-chimiques lui sont favorables [4].

L'extraction liquide-liquide consiste à transférer sélectivement des composés chimiques d'une phase liquide à une autre en utilisant un solvant approprié [5].

Cette méthode repose sur le principe de la distribution des composés entre les phases liquides en fonction de leur affinité pour chacune des phases [5].

I.1.3 Conditions d'extraction

- L'état physique du solvant ; liquide à la température et à la pression d'extraction.
- Immiscibilité des solvants avec l'eau [6].
- Solubilité de la substance à extraire : La solubilité de la substance à extraire doit être plus élevée dans le solvant que dans l'eau [6].

Il faut également connaître la densité du solvant pour connaître la position de la phase organique (contenant le solvant) par rapport à la phase aqueuse (contenant l'eau) [6].

I.1.4 Principe de l'extraction liquide-liquide

L'extraction liquide-liquide exploite les différences de solubilité des composés dans les deux phases liquides pour séparer les composés d'intérêt des autres constituants du mélange [7].

Les composés à extraire se répartissent entre les phases en fonction de leur coefficient de distribution, qui est déterminé par des facteurs tels que la polarité, la taille moléculaire et la solubilité dans les solvants [7].

I.1.5 Les étapes clés de l'extraction liquide-liquide

- **Mise en contact des phases** : Le mélange contenant le soluté à extraire est mis en contact avec le solvant extracteur dans une ampoule à décanter [8].
- **Agitation** : Le mélange est agité vigoureusement pour favoriser le transfert du soluté vers la phase organique [8].
- **Décantation** : Les deux phases se séparent en raison de leur non-miscibilité. La phase organique, moins dense, se situe généralement au-dessus de la phase aqueuse [9].
- **Récupération des phases** : Les deux phases sont séparées à l'aide d'une ampoule à décanter ou d'un entonnoir à séparer [9].
- **Récupération du soluté** : Le soluté est ensuite récupéré de la phase dans laquelle il est le plus concentré [9].

I.1.6 Classification des différentes méthodes d'extraction liquide-liquide

I.1.6.1 Extraction simple

L'extraction simple consiste à mélanger directement les deux phases liquides et à les séparer après un certain temps d'équilibre [10].

I.1.6.2 Extraction multiple ou fractionnée

Dans cette méthode, plusieurs extractions successives sont effectuées avec de nouvelles portions de solvant pour augmenter l'efficacité de la séparation [11].

I.1.6.3 Extraction par étapes contre-courant

Cette méthode implique l'utilisation de plusieurs étapes d'extraction où le solvant et le mélange initial se déplacent en sens opposé, ce qui améliore l'efficacité de l'extraction [12].

I.1.6.4 Extraction par solvant sélectif

L'utilisation de solvants spécifiques pour extraire sélectivement un ou plusieurs composants d'un mélange [13].

I.1.6.5 Extraction à température contrôlée

Cette méthode utilise des variations de température pour optimiser l'extraction du soluté [14].

I.1.6.6 Extraction avec réaction chimique

Implique une réaction chimique pour faciliter la séparation des composants [15].

I.1.6.7 Extraction par micro-ondes

Utilisation des micro-ondes pour chauffer sélectivement les phases et améliorer la séparation [16].

I.1.6.8 Extraction assistée par ultrasons

L'application des ultrasons pour améliorer la diffusion du soluté entre les phases [17].

I.2 Solvants**I.2.1 Définition**

Un solvant est une substance capable de dissoudre un soluté (une autre substance) pour former une solution homogène sans changer chimiquement le soluté ou elle-même de manière significative [18]. Les solvants peuvent être classés en fonction de leur polarité (polaire et non polaire) et sont essentiels dans de nombreux processus chimiques et industriels [19].

I.2.2 Classification des solvants

Il existe de nombreuses classifications des solvants : en fonction de la nature chimique du composé, de sa polarité, de ses propriétés physico-chimiques, de son secteur d'utilisation, de sa toxicité, de son origine (pétrolière ou agrosourcée),...etc. On peut classer les solvants organiques selon le caractère polaire en deux catégories [19] :

I.2.2.1 Solvants polaires

Dissolution de substances polaires et réactions chimiques dans lesquelles la polarité est un facteur clé [20].

I.2.2.2 Solvants apolaires

Dissolution de substances apolaires, extraction de composés hydrophobes [20].

I.2.3 Les type des solvants utilisés

L'utilisation de toluène, cyclohexane et *n*-hexane permet de bénéficier de leurs différentes propriétés chimiques et physiques pour optimiser les réactions, les purifications et les séparations dans divers contextes chimiques.

I.2.3.1 Toluène

Le toluène est un hydrocarbure aromatique couramment utilisé comme solvant industriel. Sa formule chimique est C_7H_8 et il est constitué d'un cycle benzénique substitué par un groupe méthyle. [21].

Utilisations

- Il permet une application facile et un séchage rapide des produits [22].
- Le toluène est utilisé comme matière première dans la fabrication de nombreux produits chimiques, y compris le benzène, le phénol, et les isocyanates utilisés dans la production de polyuréthane.
- Le toluène est utilisé comme solvant dans les procédés d'extraction et de purification pour séparer et purifier divers composés chimiques [23].
- Il est employé dans l'extraction de certains produits naturels et dans la purification de métaux et de minéraux [23].

I.2.3.2 Cyclohexane

Le cyclohexane est un hydrocarbure aliphatique saturé de formule C_6H_{12} . C'est un liquide incolore à température ambiante, d'une odeur caractéristique légèrement âcre. Il est légèrement soluble dans l'eau mais miscible avec la plupart des solvants organiques [24].

Utilisations

- Le cyclohexane est utilisé dans les processus d'extraction pour séparer et purifier des composés chimiques [25].
- Il est couramment utilisé dans les laboratoires pour extraire des composés organiques des mélanges complexes [25].
- Le cyclohexane est couramment utilisé comme solvant et réactif dans la recherche scientifique, en particulier dans les études de chimie organique et de catalyse [26].
- Il est utilisé dans les réactions de cycloaddition et comme solvant dans les réactions de polymérisation [26].
- Le cyclohexane est utilisé comme précurseur pour la production de cyclohexanol et de cyclohexanone, qui sont des intermédiaires importants dans la fabrication de plastiques, de fibres et de produits chimiques [27].

I.2.3.3 *N*-hexane

L'*n*-hexane, aussi appelé simplement hexane, est un hydrocarbure saturé de la famille des alcanes, de formule brute C_6H_{14} . Il s'agit d'un liquide incolore, volatil et inflammable, avec une odeur caractéristique d'hydrocarbure semblable à celle de l'essence.

Utilisations

- Extraction de corps gras (huiles, lipides) [28].
- Nettoyage de pièces métalliques [28].
- Production de polymères (polystyrène, nylon) [28].
- Le *n*-hexane est couramment utilisé comme solvant pour l'extraction d'huiles végétales à partir de graines comme le soja, le maïs, et le tournesol [29].
- L'*n*-hexane est utilisé dans les nettoyants et dégraissants industriels en raison de ses excellentes propriétés solvants [30].
- Le *n*-hexane est utilisé comme solvant dans la synthèse de produits pharmaceutiques [31].
- Il est impliqué dans les processus de purification et de cristallisation des composés pharmaceutiques [31].

Conclusion

L'extraction par solvant liquide-liquide présente de nombreux avantages qui rendent son application très courante. La méthode est simple, rapide, facile à mettre en œuvre et applicable à un grand nombre de substances. Dans notre mémoire, des solvants (toluène, *n*-hexane, cyclohexane) sont utilisés pour éliminer le zinc et le plomb.

Chapitre II : Les métaux lourds

II.1 Les métaux lourds

II.1.1 Introduction

Les métaux lourds sont généralement définis comme des éléments métalliques naturels ayant une densité supérieure à 5 000 kg/m³. Ils sont présents naturellement dans notre environnement et sont largement utilisés dans l'industrie. Ils sont généralement émis sous forme de particules très fines, qui sont transportées par le vent et se propagent dans le sol et le milieu aquatique, contaminant la flore et la faune et finissant par entrer dans la chaîne alimentaire [32].

Certains métaux sont vitaux pour le corps humain, tandis que d'autres n'ont aucune fonction biologique. Mais même si cela est nécessaire, ils peuvent être toxiques à des concentrations élevées. Mais leur toxicité dépend non seulement de leur concentration, mais aussi de leur spéciation, la forme chimique sous laquelle ils sont présents dans notre environnement. Concentrez-vous sur les métaux lourds les plus toxiques et les moyens de les éviter [32].

II.1.2 Définition des métaux lourds

Les métaux lourds sont généralement définis comme des éléments métalliques ayant une densité élevée (supérieure à 5 g/cm³), un poids atomique ou un numéro atomique élevé. Ils sont souvent toxiques à des concentrations faibles et peuvent avoir des effets négatifs sur la santé humaine et l'environnement. Les métaux lourds incluent des éléments naturels présents dans la croûte terrestre, mais leurs niveaux ont été augmentés par les activités humaines, notamment l'industrie et l'agriculture [33].

Tableau II-01 : Classification périodique des éléments [34].

Bloc s												Bloc p						
H		■ Métaux lourds de densité > 5															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	Tc	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			

II.1.3 Classification des métaux lourds

I.3.1 Métaux essentiels

Ces métaux sont nécessaires en petites quantités pour le bon fonctionnement des processus biologiques. Ils jouent des rôles vitaux dans divers systèmes enzymatiques et métaboliques. [35].

II.1.3.2 Métaux lourds non essentiels

Ces métaux n'ont pas de rôle biologique connu et peuvent être toxiques même à de faibles concentrations. Ils peuvent s'accumuler dans les organismes vivants et causer divers effets toxiques [36].

II.1.3.3 Métaux lourds émergents

Ces métaux deviennent des préoccupations environnementales récentes en raison de leur utilisation croissante dans les technologies modernes et leur potentiel toxique [37].

II.1.4 Effet des métaux lourds

II.1.4.1 Effet sur l'environnemental

II.1.4.1.1 Contamination des sols

Les métaux lourds comme le plomb, le cadmium et le mercure peuvent s'accumuler dans les sols, affectant leur qualité et réduisant leur fertilité. La contamination des sols par ces métaux peut provenir de sources industrielles, de l'utilisation de pesticides et de l'épandage de boues d'épuration.

II.1.4.1.2 Pollution des eaux

Les métaux lourds peuvent contaminer les eaux de surface et souterraines par le ruissellement des sols pollués, les rejets industriels et les effluents domestiques. Cette contamination pose des risques pour la santé humaine et la biodiversité aquatique, affectant les chaînes alimentaires et les écosystèmes [38].

II.1.4.1.3 Bioaccumulation et biomagnification

Les métaux lourds peuvent se bio accumuler dans les organismes vivants et se bio magnifier dans les chaînes alimentaires, atteignant des concentrations dangereuses pour la faune et la flore. Par exemple, le mercure peut se transformer en méthyl mercure, hautement toxique, qui s'accumule dans les poissons et les mammifères marins [39].

II.1.4.1.4 Effets sur la santé des écosystèmes

La présence de métaux lourds peut altérer la composition des espèces dans les écosystèmes, réduisant la biodiversité et perturbant les fonctions écologiques. Les plantes et les

microorganismes du sol sont particulièrement sensibles, ce qui peut affecter la décomposition de la matière organique et le cycle des nutriments [40].

II.1.4.1.5 Effets toxiques sur la faune

Les métaux lourds peuvent provoquer des effets toxiques directs sur la faune, notamment des troubles neurologiques, des problèmes de reproduction et une mortalité accrue. Les oiseaux, les poissons et les mammifères aquatiques sont souvent les plus affectés en raison de leur position dans les chaînes alimentaires et de leur exposition prolongée [41].

II.1.4.2 Effet sur la santé

Les métaux lourds sont pour les

Toxicité neurologique [42].

Effets rénaux [43].

Effets cardiovasculaires [44].

Effets cancérogènes [45].

Effets immunotoxiques [46].

Effets sur le système reproducteur [47].

Effets sur le développement des enfants [48].

II.1.5 Utilisations des métaux lourds

- Plomb (Pb) : Utilisé dans les soudures électroniques et les batteries au plomb-acide.
- Cadmium (Cd) : Employé dans les batteries Ni-Cd et comme stabilisateur dans les plastiques [49].
- Mercure (Hg) : Utilisé dans certains interrupteurs électriques et lampes fluorescentes [49].
- Platine (Pt) : Employé dans les médicaments anticancéreux comme le cisplatine [50].
- Or (Au) : Utilisé dans certains traitements contre l'arthrite [50].
- Chrome (Cr) : Utilisé pour la fabrication d'aciers inoxydables et comme pigment [51].
- Arsenic (As) : Utilisé dans les alliages de plomb pour les batteries et les munitions [51].
- Nickel (Ni) : Employé dans la fabrication d'aciers inoxydables et d'alliages spéciaux [51].
- Zinc (Zn) : Employé dans les engrais pour améliorer la croissance des plantes.
- Lithium (Li) : Utilisé dans les batteries lithium-ion pour les véhicules électriques et les dispositifs électroniques [52].
- Cobalt (Co) : Utilisé dans les batteries rechargeables et les aimants [52].

II.2 Le zinc

II.2.1 Définition

Le zinc est un élément chimique de symbole Zn et de numéro atomique 30.

Un métal bleu-gris avec un état d'oxydation commun de (+2) et un état d'oxydation primaire de (+2). Le minerai est du sulfure de zinc ZnS . Il contient également du carbonate ($ZnCO_3$) et silicates ($Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$). Le zinc est présent naturellement dans l'air et l'eau et le sol, qui est vital pour la santé humaine.



Figure II-01 : Le zinc [53].

II.2.2 Propriétés physico-chimiques

Tableau II-02 : Les principales propriétés physico-chimiques [54].

Masse atomique	65,38
Rayon atomique	0,138 nm
Rayon ionique	0,074 nm
Masse volumique à 25 °C	7133 Kg/m ³
Température de fusion	419,5 °C
Température d'ébullition	97 °C
Résistivité électrique	6*10 ⁻⁸ Ω. m

II.2.3 Propriétés biologiques

Le zinc est un oligo-élément essentiel pour de nombreuses fonctions biologiques, y compris la synthèse de l'ADN, la division cellulaire, et la fonction immunitaire. Il est un composant crucial de nombreuses enzymes, telles que les métalloprotéines, et joue un rôle clé dans le métabolisme des protéines, des lipides et des glucides. [55].

II.2.4 Effet de zinc sur la santé et l'environnement

II.2.4.1 Effets sur la santé

- Le zinc est crucial pour le fonctionnement optimal du système immunitaire [56].
- Le zinc est vital pour la croissance et le développement, particulièrement chez les enfants [57].
- Le zinc est impliqué dans la synthèse du collagène et d'autres protéines qui sont essentielles pour la réparation des tissus et la cicatrisation des plaies [58].

- Le zinc joue un rôle dans la fonction cognitive et l'humeur [59].

II.2.4.2 Effets sur l'environnement

- Le zinc peut contaminer les sols et les eaux souterraines par le biais des activités industrielles, des mines, des déchets industriels et des engrais contenant du zinc [60].
- La contamination des sols par le zinc peut réduire la biodiversité microbienne et affecter la santé des sols [60].
- Le zinc peut également interférer avec l'absorption d'autres nutriments essentiels, entraînant des déséquilibres nutritionnels [61].
- Le zinc peut s'accumuler dans les organismes vivants, particulièrement chez les animaux aquatiques tels que les poissons, les mollusques et les crustacés [62].
- Dans les écosystèmes aquatiques, le zinc peut se lier aux particules de sédiments et affecter les organismes benthiques (organismes vivant au fond de l'eau) [63].
- L'accumulation excessive de zinc dans les sols agricoles peut réduire la fertilité du sol et affecter la qualité des cultures [64].
- Les plantes cultivées dans des sols contaminés par le zinc peuvent absorber ce métal, ce qui peut poser des risques pour la santé humaine lorsqu'elles sont consommées [64].

II.3 Plomb

II.3.1 Définition

Le plomb est un élément chimique, de symbole Pb et de numéro atomique 82. Il peut être présent sous forme de carbonates, de phosphates, mais surtout de sulfure. Ce dernier sel, très peu soluble, peut cependant se transformer en hydroxyde ou en carbonate, après avoir été oxydé en sulfate [65].



Figure II-02 : Le plomb [66].

II.3.2 Propriétés physico-chimiques

Tableau II-03 : Caractéristiques physico-chimiques du plomb [67].

Nombre atomique	82
Poids atomique	207,19
Isotopes stables	²⁰⁴ Pb, ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb, ²⁰⁸ Pb
Système cristallin	Cubique faces centrées
Densité	11,9
Température de fusion	327,5 °C
Température d'ébullition	1739,85 °C
Dureté (échelle e Mohs)	1,5
Ductilité	Elevée
Résistivité	$21 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ à 20 °C
Etats d'oxydation	+ II et + IV

II.3.3 Effet de plomb sur la santé et l'environnement

II.3.3.1 Effets sur la santé

Le plomb (Pb), en particulier, est considéré comme l'un des métaux les plus omniprésents dans l'environnement et le plus ancien et le plus utilisé par l'homme (fabrication de batteries, de peintures, de matériaux d'insonorisation). Par conséquent, la probabilité d'empoisonnement par cet élément est plus grande en raison de la variabilité de ces voies d'absorption. En ce sens, plusieurs études ont mis en évidence les effets néfastes de l'exposition au plomb sur le système squelettique, notamment le système nerveux central, tant au niveau structurel que fonctionnel. Ceux-ci incluent des effets neurocomportementaux, neurodégénératifs, cardiovasculaires, rénaux et reproducteurs. Ces effets peuvent conduire à une maladie rare appelée empoisonnement au plomb [68].

II.3.3.2 Effets sur l'environnement

- Le plomb peut contaminer les sols et les eaux souterraines par le biais des activités industrielles, des décharges de déchets contenant du plomb, et de l'utilisation de produits contenant du plomb comme les peintures et les carburants [69].
- La contamination des sols peut affecter les micro-organismes et les vers de terre, perturbant ainsi la chaîne alimentaire et les cycles des nutriments [69].

- Les oiseaux et les mammifères peuvent être exposés au plomb par l'ingestion de particules de sol contaminé, d'eau, ou de nourriture contaminée [70].
- Chez les oiseaux, le plomb peut provoquer des troubles neurologiques, une altération de la reproduction, et la mort [70].
- Les poissons et autres organismes aquatiques sont également affectés par la présence de plomb dans les cours d'eau [70].
- La bioaccumulation du plomb affecte non seulement la santé des animaux, mais aussi celle des humains consommant des produits animaux contaminés.

Conclusion

Les métaux lourds représentent une menace importante pour la santé humaine et l'environnement. Il est essentiel de mettre en place des mesures pour réduire leur émission et leur présence dans l'environnement, et de sensibiliser le public aux dangers qu'ils représentent.

Chapitre III : Matériel et Méthode

III.1 Spectrométrie d'absorption atomique

La spectrométrie d'absorption atomique est une technique d'analyse chimique qui permet de déterminer la concentration d'éléments métalliques dans un échantillon. Elle est basée sur le principe que les atomes à l'état gazeux absorbent la lumière à des longueurs d'onde spécifiques lorsqu'ils passent d'un état fondamental à un état excité.



Figure III-01 : Spectrométrie d'absorption atomique.

III.1.1 Principe

L'absorption atomique de flamme est une méthode qui permet de doser essentiellement les métaux en solution. Cette méthode d'analyse élémentaire impose que la mesure soit faite à partir d'un analyte (élément à doser) transformé à l'état d'atomes libres. L'échantillon est porté à une température de 2000 à 3000 degrés pour que les combinaisons chimiques dans lesquelles les éléments sont engagés soient détruites.

La spectrométrie d'absorption atomique est basée sur la théorie de la quantification de l'énergie de l'atome. Celui-ci voit son énergie varier au cours d'un passage d'un de ses électrons d'une orbite électronique à une autre : $E = h \cdot \nu$ où h est la constante de Planck et ν est la fréquence du photon absorbé ou émet. Généralement seuls les électrons externes de l'atome sont concernés.

III.2 Matériel et produits

III.2.1 Matériel

- Bêcher
- Eprouvette
- Fiole jaugée
- Pipette graduée
- Entonnoir
- Erlenmeyer
- Ampoule à décanter
- Tubes à essais

- Thermomètre
- Agitateur magnétique
- Barreau magnétique
- Pissette
- PH mètre

III.2.2 Les produits

- Acide benzoïque ($C_7H_6O_2$)
- Nitrate de sodium ($NaNO_3$)
- Acide chlorhydrique (HCl).
- Hydroxyde de sodium ($NaOH$).
- Nitrate de plomb ($Pb(NO_3)_2$).
- Nitrate de zinc ($Zn(NO_3)_2$).
- Cyclohexane (C_6H_{12}).
- Toluène (C_7H_8).
- *N*-hexane (C_6H_{14}).

III.3 Propriété des solvants

Tableau III-01 : propriété physico-chimique des solvants utilisés.

Les solvants	Propriété physico-chimiques
Toluène	État : Liquide à température ambiante.
	Point d'ébullition : 110,6 °C.
	Point de fusion : -95 °C.
	Densité : 0,867 g/cm ³ à 20 °C.
	Insoluble dans l'eau.
	Miscible avec la plupart des solvants organiques non polaires.
	Inflammabilité : inflammable et explosif .
	Couleur : Incolore.
Cyclohexane	Odeur : Forte odeur aromatique
	Liquide incolore à température ambiante.
	odeur caractéristique d'essence.
	Point d'ébullition : 80,7 °C.
	Point de fusion : 6,5 °C.
	Densité : 0,78 g/cm ³ à 20°C.
N-hexane	Solubilité : insolubilité dans l'eau, miscible avec la plupart des solvants organique.
	Inflammabilité
	État physique à température ambiante : Liquide.
	Couleur : Incolore.
	Odeur : Essence.
	Point d'ébullition : 69 °C.
	Point de fusion : -95 °C.
	Densité : 0,66 g/cm ³ .
Solubilité : insolubilité dans l'eau, miscible avec la plupart des solvants organique.	
Inflammabilité : Très inflammable (point d'éclair : -22 °C).	

III.4 Protocoles de l'extraction liquide-liquide

Tout d'abord, l'extraction liquide-liquide du plomb et zinc, se fait à partir d'un milieu nitrate par l'acide benzoïque, en utilisant différents solvants non polaires tels que le toluène, le cyclohexane et L'*n*-hexane.

Tout d'abord on prépare une solution mère de zinc et plomb de concentration 1 (g/l).

Les solutions filles utilisées pour l'étude des différents paramètres sont préparées à partir de la solution mère par dilution.

Pour le paramètre de pH, on utilise 25 ml d'une solution aqueuse de force ionique unitaire ($[NaNO_3] = 0.1 M$) contenant le plomb et le zinc de concentration 25 (mg/l) a agité avec 25 ml de solvant organique contenant 0,1 M de l'acide benzoïque.

L'agitation des phases est assurée par un agitateur magnétique de vitesse constante (250 tr/min) à température ambiante. La variation du pH de la phase aqueuse se fait par ajout de *HCl* et *NaOH* (0,1 M) de même force ionique dans le système. Au bout de 30 minutes, l'équilibre

d'extraction étant largement atteint, on fait des prélèvements de la phase aqueuse pour le dosage et la détermination du coefficient de distribution du plomb et zinc au pH considéré. La concentration du plomb et zinc dans la phase organique a été calculée à partir de la différence entre les concentrations du plomb et zinc dans la phase aqueuse avant et après l'extraction.

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

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

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

La même procédure a été utilisée pour les paramètres de temps de contact, de concentration de l'acide benzoïque, celle de NaNO_3 et le volume de solvant. L'étude de ces paramètres ce fait à température ambiante, à pH environ de 9 (pH de solution), la vitesse d'agitation est (250 tr/min) où on fait varié chaque fois le paramètre étudié.

III.5 Calcul de concentration de la phase organique (mg/l)

$$C_{org} = C_{aq(i)} - C_{aq(e)} \dots \dots \dots (1)$$

C_{org} : Concentration de plomb et zinc dans la phase organique (mg/l).

$C_{aq(i)}$: Concentration de plomb et zinc dans la phase aqueuse interne (mg/l).

$C_{aq(e)}$: Concentration de plomb et zinc dans la phase aqueuse externe (mg/l).

III.6 Calcul du coefficient de diffusion de Pb^{+2} et Zn^{+2}

$$D = \frac{C_{org}}{C_{aqu}} \dots \dots \dots (2)$$

D : Coefficient de diffusion.

C_{org} : Concentration de plomb et zinc dans la phase organique (mg/l).

C_{aqu} : Concentration de plomb et zinc dans la phase aqueuse externe (mg/l).

III.7 Calcul du rendement (%)

$$R = \frac{D}{D+1} * 100 \dots \dots \dots (3)$$

R : Rendement (%).

D : Coefficient de diffusion.

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1 Paramètres influençant sur le rendement et le coefficient de diffusion de plomb

IV.1.1 Effet de solvant d'extraction à différent pH

IV.1.1.1 Rendement d'extraction pour les types de solvants

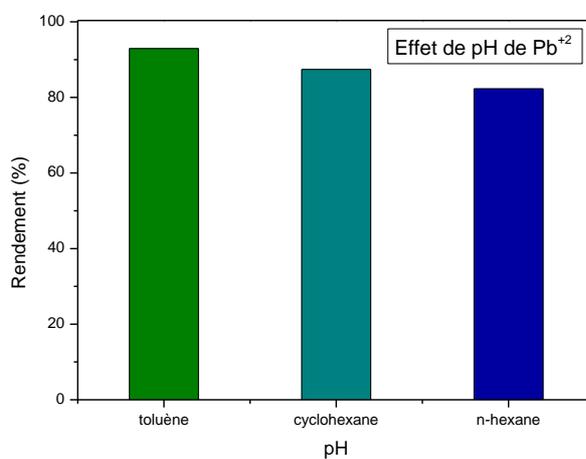


Figure IV-01 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 2

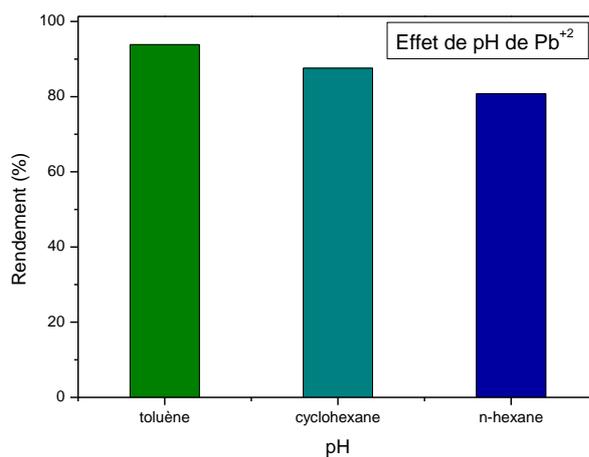


Figure IV-02 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 3

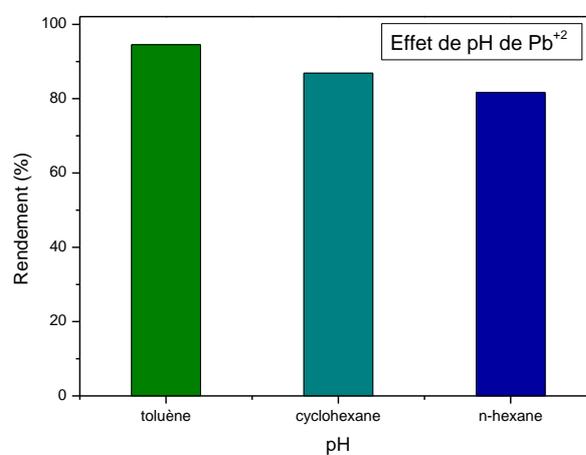


Figure IV-03 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 4

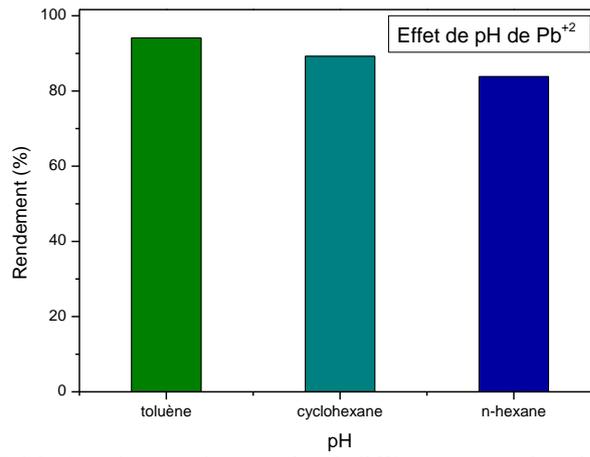


Figure IV-04 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 5

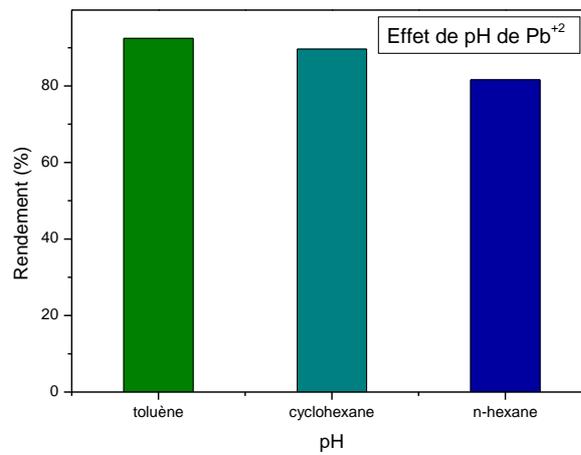


Figure IV-05 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 6

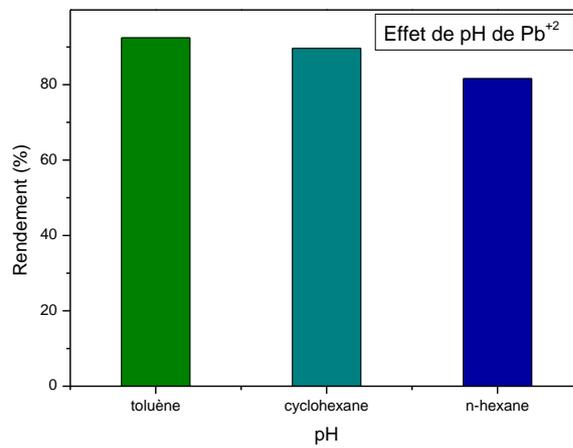


Figure IV-06 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 7

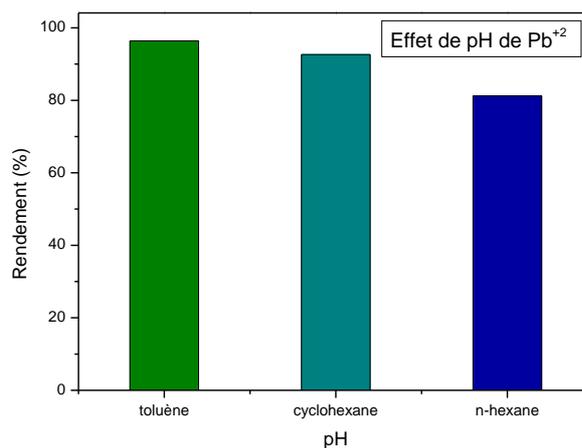


Figure IV-07 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 8

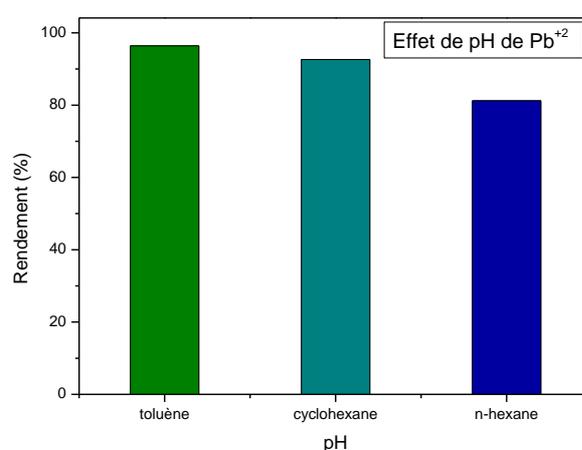


Figure IV-08 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 9

Les résultats d'extraction à différent pH pour les trois solvants utilisées sont présentés dans les figures (IV-01 -IV-08). Les histogrammes montrent que le rendement d'extraction de plomb par toluène est supérieur (96%) par rapport à celles de *n*-hexane (83%) et du cyclohexane (92%).

Les mêmes résultats d'extraction à différent pH ont été trouvés pour les autres cas.

I.1.2 Coefficient de diffusion pour les types de solvants

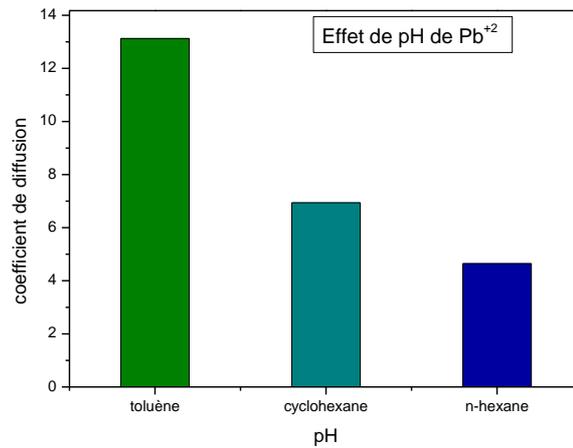


Figure IV-09 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 2

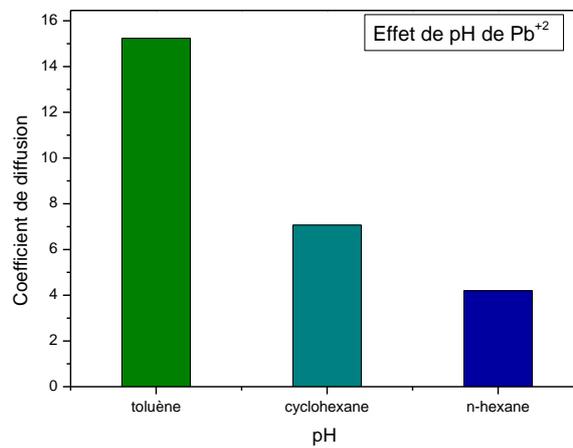


Figure IV-10 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 3

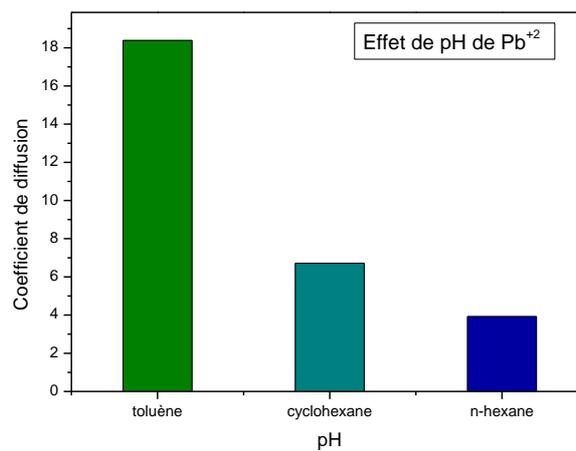


Figure IV-11 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 4

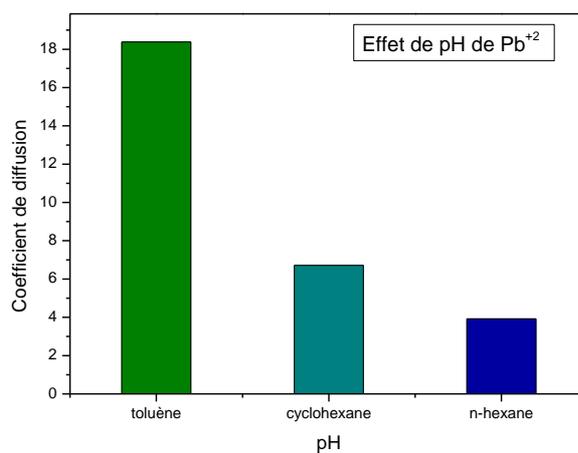


Figure IV-12 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 5

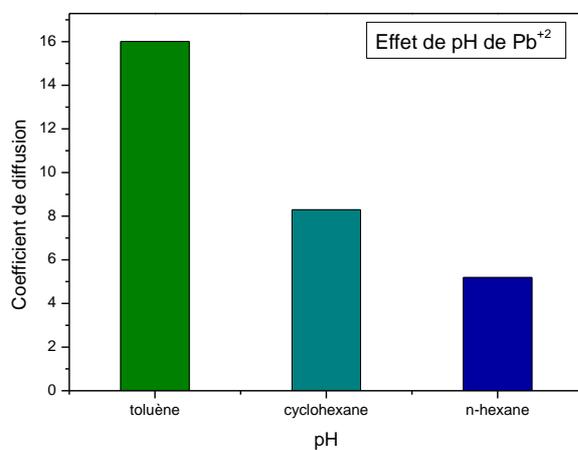


Figure IV-13 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 6

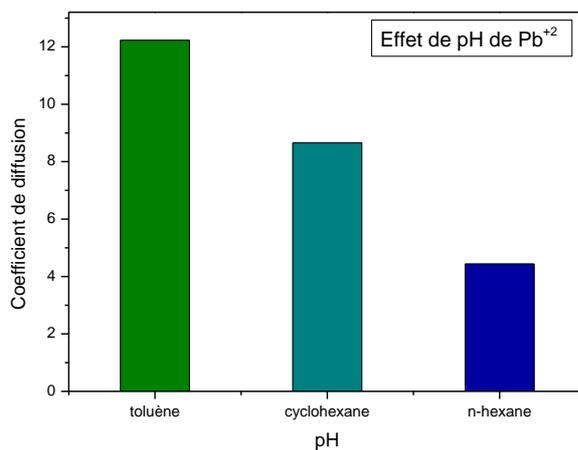


Figure IV-14 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 7

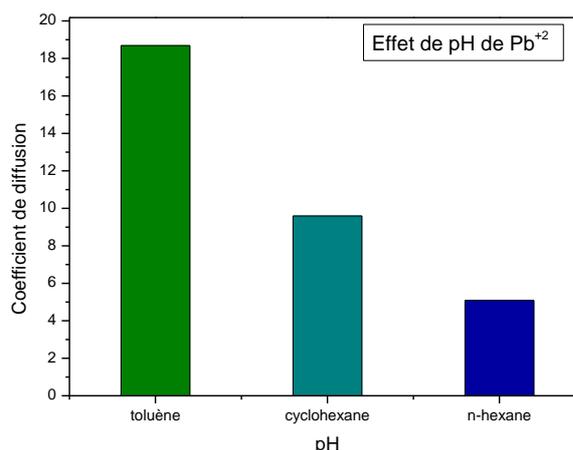


Figure IV-15 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 8

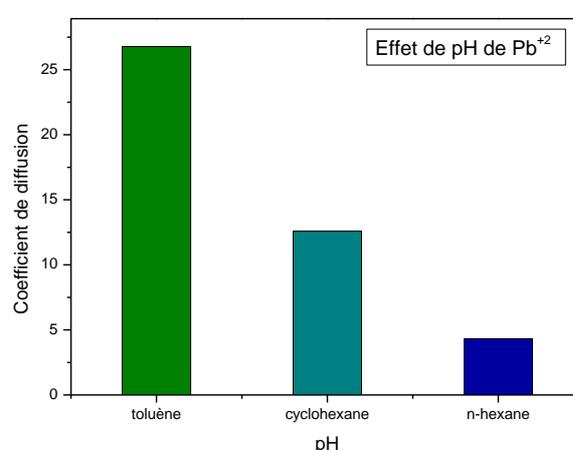


Figure IV-16 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 9

Les histogrammes présentés dans les figures (IV-09 -IV-16) montrent que le coefficient de diffusion de plomb donne les mêmes résultats que les histogrammes de rendement.

IV.1.2 Effet de pH sur le rendement d'extraction et le coefficient diffusion de plomb (Pb⁺²) pour une concentration 25 mg /l

D'une manière générale les figures IV-17, IV-18 et IV-19 montrent que les trois solvants utilisés peuvent être considérés comme milieux adéquats pour extraire le plomb en utilisant l'acide benzoïque. Toujours d'après ces figures, le toluène présente le solvant le plus approprié pour l'extraction de plomb par rapport à celles de cyclohexane et *n*-hexane où le taux d'élimination de plomb dans le toluène est supérieur par rapport aux cyclohexanes et *n*-hexane.

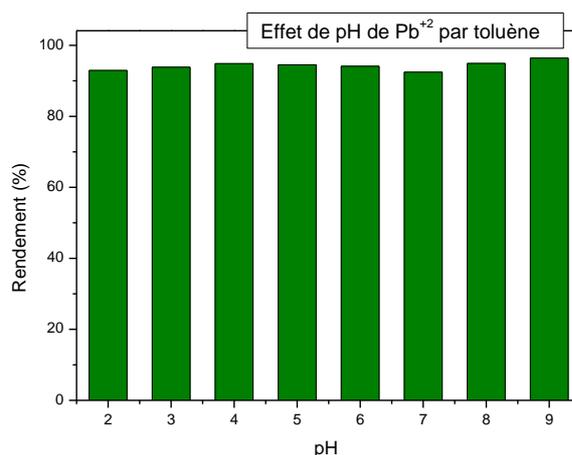


Figure IV-17 : Effet de pH sur le rendement d'extraction de plomb par toluène

Toujours d'après la figure (IV-17) qui présente l'effet du pH sur l'extraction de plomb par toluène, on peut noter qu'il n'y a pas d'effet remarquable sur le rendement d'extraction du plomb. Le taux d'élimination de plomb augmente légèrement avec l'augmentation du pH de (93%) à pH 2 jusqu'à (96%) à pH 9.

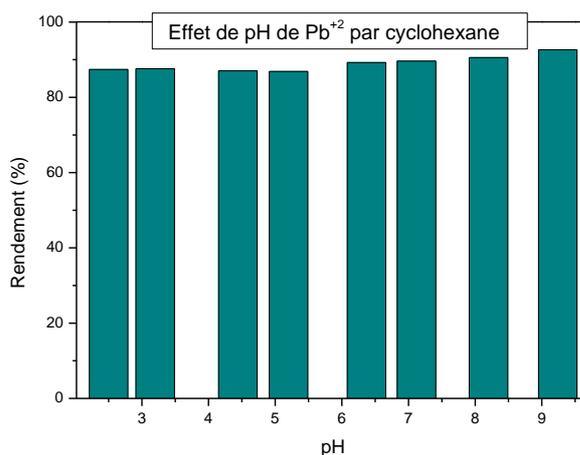


Figure IV-18 : Effet de pH sur le rendement d'extraction de plomb par cyclohexane

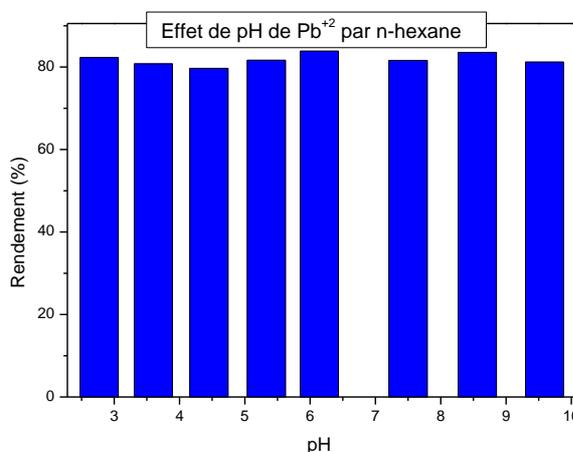


Figure IV-19 : Effet de pH sur le rendement d'extraction de plomb par n-hexane

Les figures (IV-18 et IV-19), montrent qu'il n'y a pas d'une grande différence de l'effet de pH sur l'extraction de plomb pour le cyclohexane et *n*-hexane. Un avantage relatif a été remarqué à pH 6 dans le cas de *n*-hexane ou le pourcentage d'élimination de plomb dépasse 82 %.

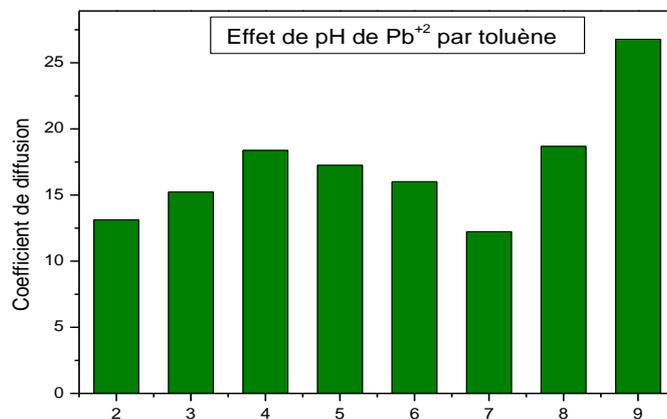


Figure IV-20 : Effet de pH sur le coefficient de diffusion de plomb par toluène.

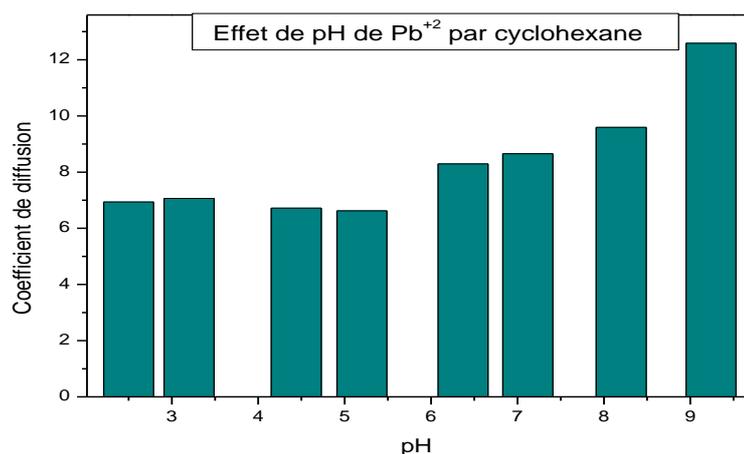


Figure IV-21 : Effet de pH sur le coefficient de diffusion de plomb par cyclohexane

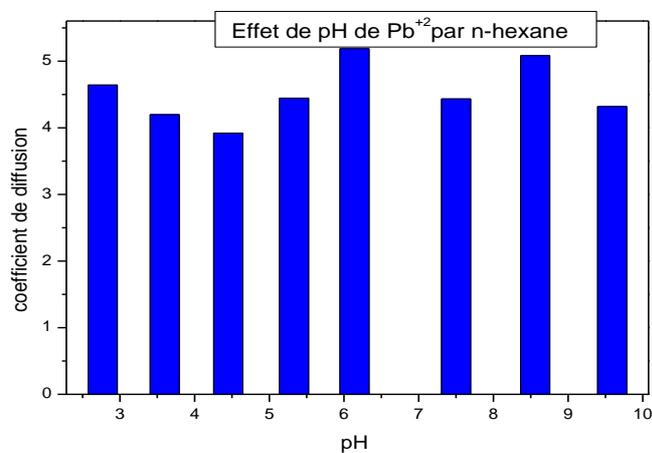


Figure IV-22 : Effet de pH sur le coefficient de diffusion de plomb par *n*-hexane.

Les histogrammes montrent que le coefficient de diffusion de plomb pour les trois solvants nous donne les mêmes résultats et les mêmes remarques avec les histogrammes de rendement, le coefficient de diffusion de plomb est plus grand dans le milieu basique par rapport à celle du milieu acide.

IV.1.3 Effet de concentration de plomb sur le rendement d'extraction et le coefficient de diffusion

Sur la base de la figure IV-23, les résultats ont démontré que l'augmentation des concentrations initiales de plomb dans la phase aqueuse conduit à une diminution de rendement d'extraction du plomb pour les trois types de mélanges d'extraction.

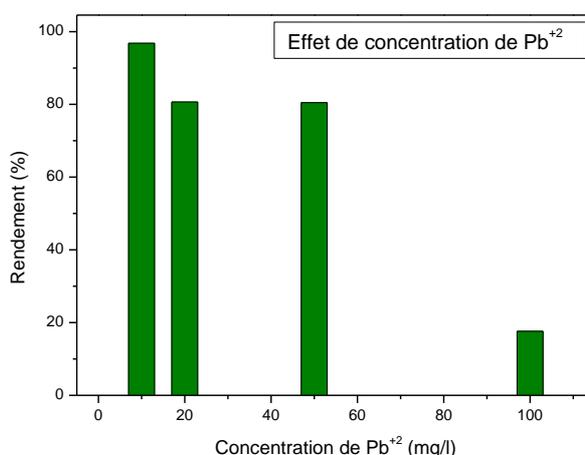


Figure IV-23 : Effet de concentration de plomb sur le rendement d'extraction de plomb

L'histogramme montre qu'à une concentration 5 (mg/l) le rendement est très élevée (92%) par rapport aux autres concentrations, puis il diminué jusqu'à (17%) à une concentration 100(mg/l).

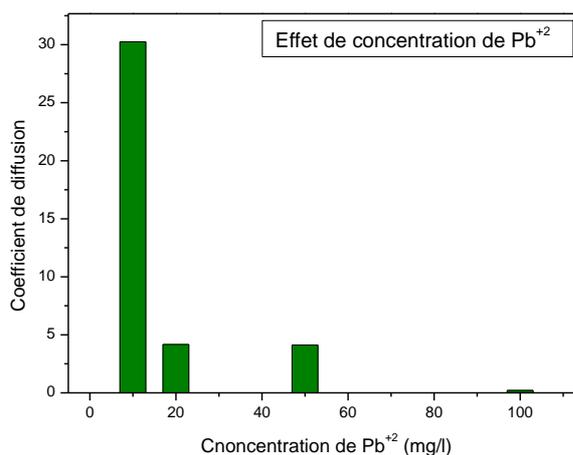


Figure IV-24 : Effet de concentration de plomb sur le coefficient de diffusion

L'histogramme montre que le coefficient de diffusion de plomb pour les concentrations de plomb nous donne les mêmes résultats et les mêmes remarques avec les histogrammes de rendement.

IV.1.4 Effet de la force ionique (NaNO_3) sur le rendement d'extraction et le coefficient de diffusion de plomb pour une concentration 25 mg/l

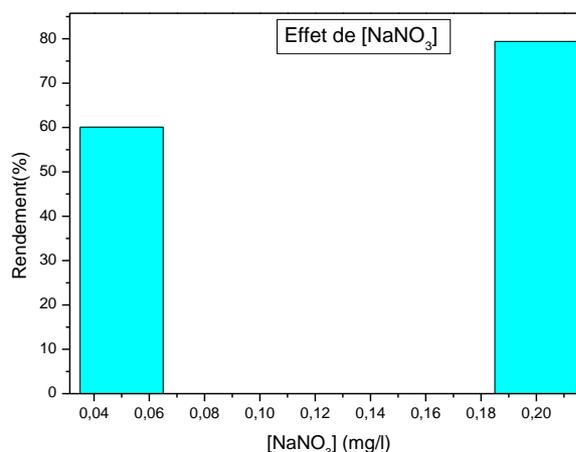


Figure IV-25 : Effet de concentration de nitrate de sodium sur le rendement de plomb par le toluène.

Les résultats d'extraction pour la concentration de NaNO_3 sont présentés dans la figure (IV-25). L'histogramme montre que le rendement d'extraction de plomb à concentration 0,05 (mg/l) est faible (60%) par contre à la concentration de 0.2 (mg/l) où il augmente jusqu'à (79%).

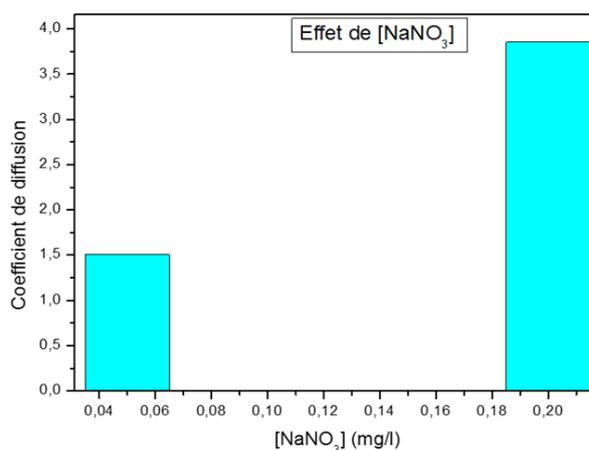


Figure IV-26 : Effet de concentration de nitrate de sodium sur le coefficient de diffusion de plomb par le toluène.

L'histogramme montre que le coefficient de diffusion d'extraction de plomb pour les deux concentrations de NaNO_3 nous donne les mêmes résultats et les mêmes remarques avec les histogrammes de rendement.

IV.1.5 Effet de la concentration de l'acide benzoïque sur le rendement d'extraction et le coefficient de diffusion de plomb.

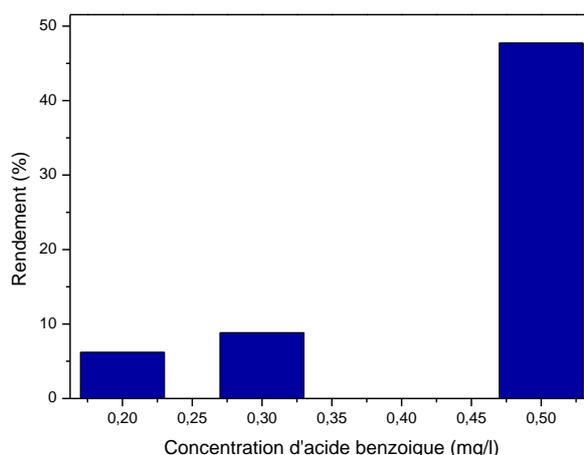


Figure IV-27 : Effet de concentration de l'acide benzoïque sur le rendement d'extraction de plomb par le toluène.

Les résultats d'extraction pour les différentes concentrations d'acide benzoïque sont présentés dans la figure (IV-27). L'histogramme montre que le rendement d'extraction de plomb à la concentration de 0,2 (mg/l) est faible (5%), avec l'augmentation de la concentration jusqu'à 0,5 (mg/l) le taux d'élimination de plomb augmente jusqu'à (50%).

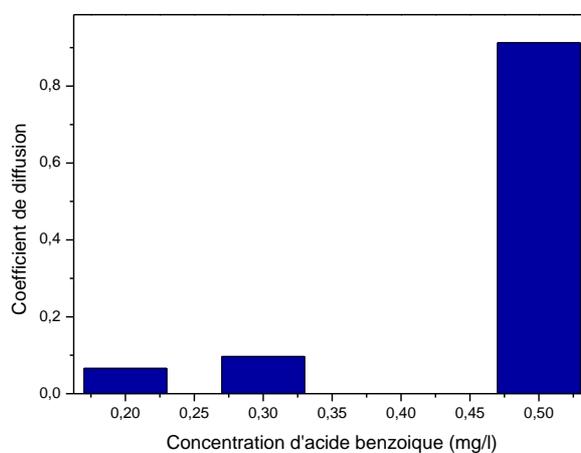


Figure IV-28 : Effet de concentration de l'acide benzoïque sur le coefficient de diffusion de plomb par toluène. L'histogramme montre que le coefficient de diffusion de plomb pour les différentes concentrations d'acide benzoïque nous donne les mêmes résultats et les mêmes remarques avec les histogrammes de rendement.

IV.1.6 Effet de temps de contact sur le rendement d'extraction et le coefficient diffusion de plomb.

Les résultats de l'étude de l'effet de temps de contact sur l'extraction de plomb sont présentés dans la figure (IV-29). L'histogramme montre que le rendement d'extraction de plomb pour les premières minutes (3 min) est au bout de 39%, puis il augmente jusqu'à 44% à 20 min. L'extraction du plomb à l'équilibre peut être atteinte avec un temps d'extraction suffisant (20 min), puisque la force potentielle chimique a entraîné le transfert des métaux lourds de plomb et de zinc d'une phase à une autre. Par conséquent, l'ensemble du système qui forme les solvants et les solutés est dans un état plus stable une fois le processus de transfert terminé.

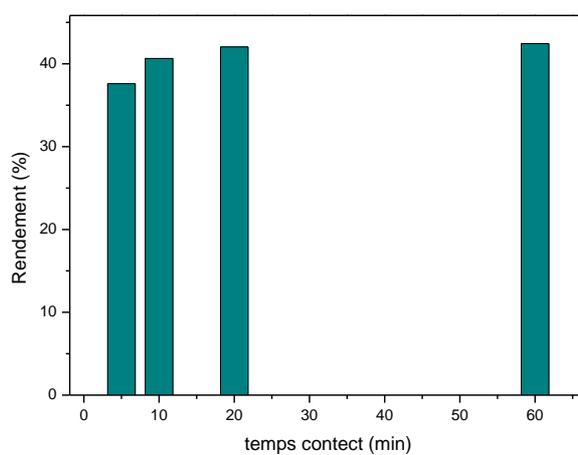


Figure IV-29 : Effet de temps de contact sur le rendement de plomb par le toluène.

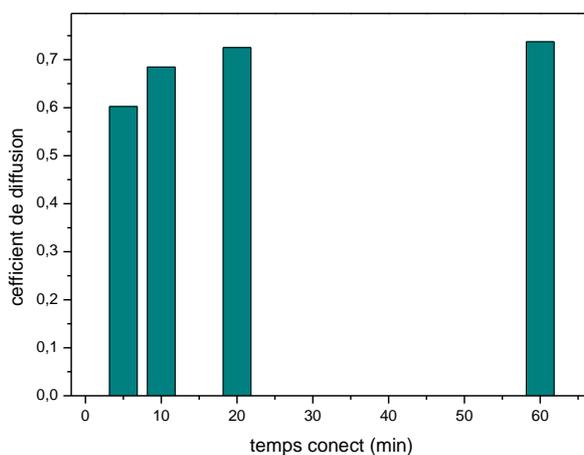


Figure IV-30 : Effet de temps de contact sur le coefficient de diffusion de plomb par le toluène.

L'histogramme de la figure IV-30, montre que le coefficient de diffusion de plomb pour le temps de contact nous donne les mêmes résultats et les mêmes remarques avec les histogrammes de rendement.

IV.1.7 Effet de volume de solvant sur le rendement d'extraction et le coefficient diffusion de plomb pour une concentration 25 mg/l

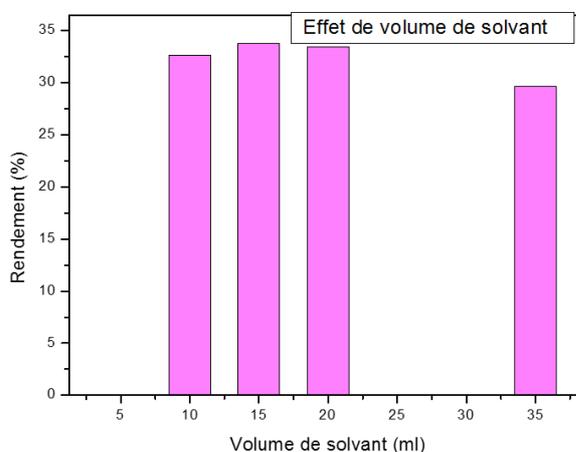


Figure IV-31 : Effet de volume de solvant sur le rendement de plomb par toluène.

Les résultats d'extraction pour l'effet de volume de solvant utilisées sont présentes dans la figure (IV-31), On peut noter qu'il n'aya pas d'effet remarquable sur le rendement d'extraction du plomb. Puisque le toluène il ne réagit pas avec le plomb, on pense qu'il considéré comme milieu où il s'effectué l'échange ionique.

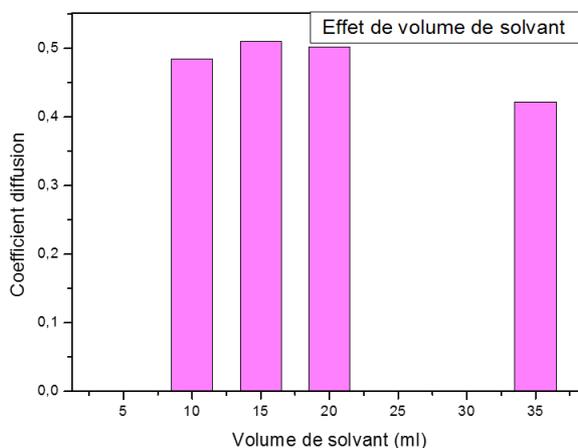


Figure IV-32 : Effet de volume de solvant sur le coefficient de diffusion de plomb par toluène.

Les résultats de coefficient de diffusion sont présentés dans la figure (IV-32). L'histogramme montre que le coefficient de diffusion de plomb nous donne les mêmes résultats et les mêmes remarques avec l'histogramme de rendement.

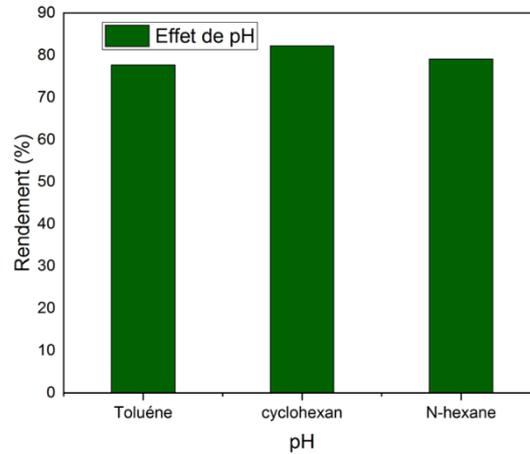
IV.2 Paramètres influençant sur le rendement et le coefficient de diffusion de zinc**IV.2.1 Effet de solvant d'extraction à différent pH****IV.2.1.1 Rendement d'extraction pour les types de solvants**

Figure IV-33 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 2.

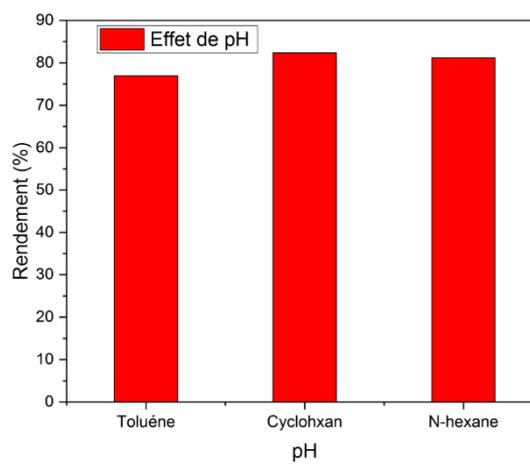


Figure IV-34 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 3

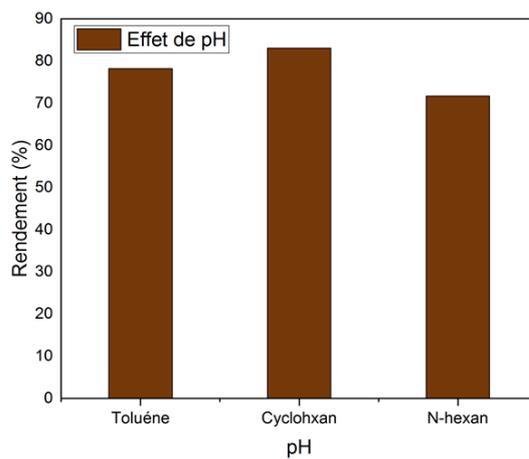


Figure IV-35 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 4

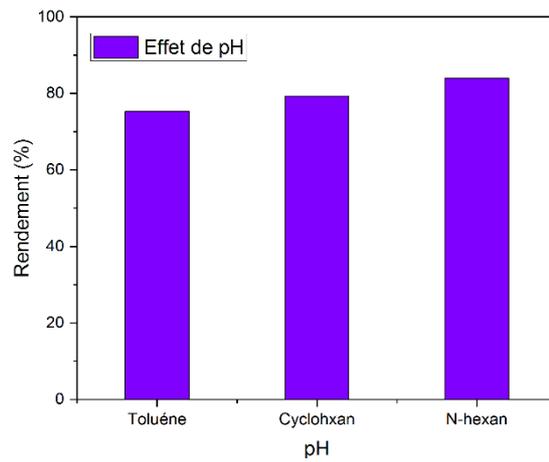


Figure IV-36 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 5

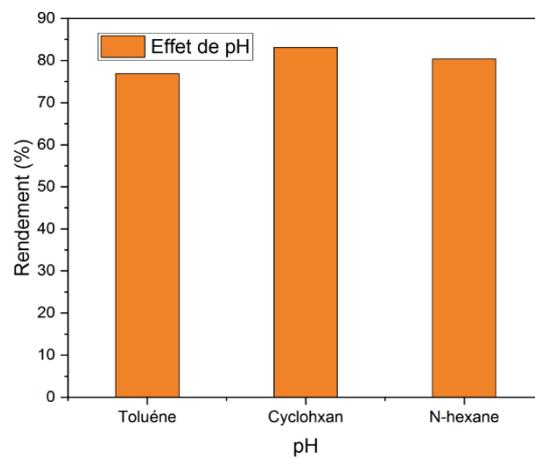


Figure IV-37 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 6

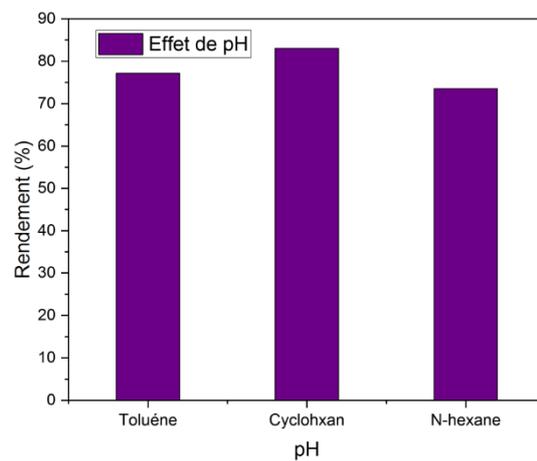


Figure IV-38 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 7

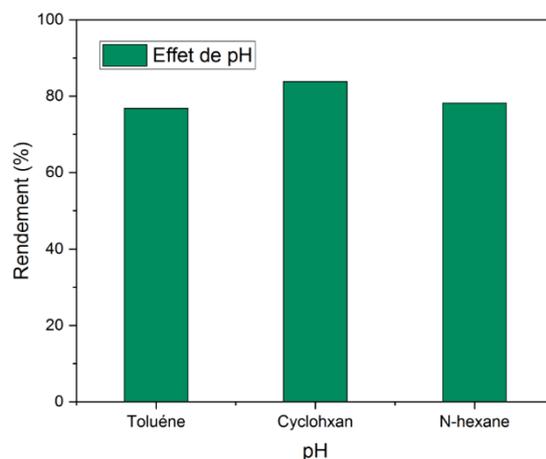


Figure IV-39 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 8

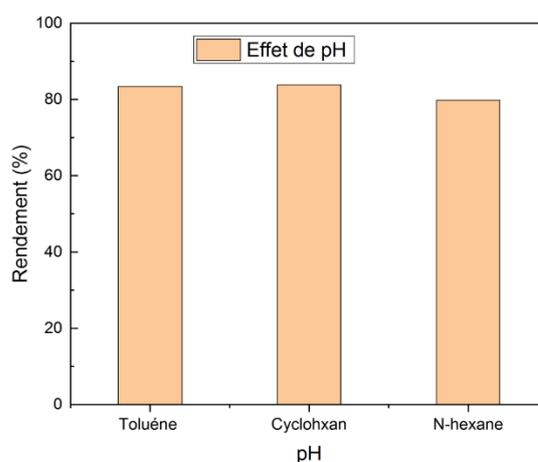


Figure IV-40 : Rendement d'extraction à différents types de solvants à pH 9

Les résultats présentés dans les figures (IV-33-IV-40) montrent que le cyclohexane est le meilleur solvant d'extraction par rapport à celles de toluène et *n*-hexane dans tous les pH, à l'exception à pH 7, où le *n*-hexane donne le bon rendement (l'histogramme montre que le rendement d'extraction de zinc par *n*-hexane est supérieure (83%) par rapport à celles de cyclohexane (79%) et le toluène (75%)). Les histogrammes montrent que l'ordre de rendement est le suivant :

$$R_{\text{cyclohexane}} > R_{n\text{-hexane}} > R_{\text{toluène}}$$

Ces résultats peuvent être expliqués par l'effet que, la solubilité de l'acide benzoïque dans le cyclohexane est plus grande par rapport à celle de toluène et *n*-hexane.

IV.2.1.2 Coefficient de diffusion pour les trois types de solvants

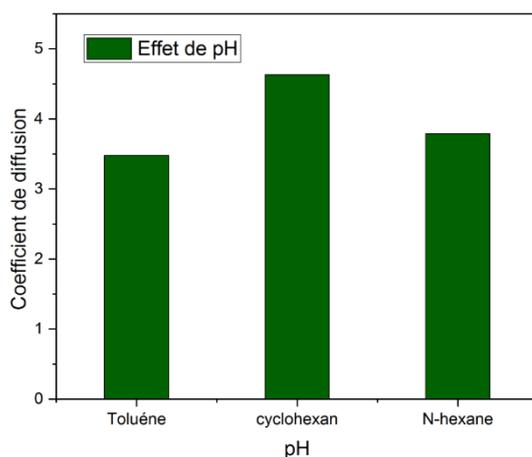


Figure IV-41 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 2

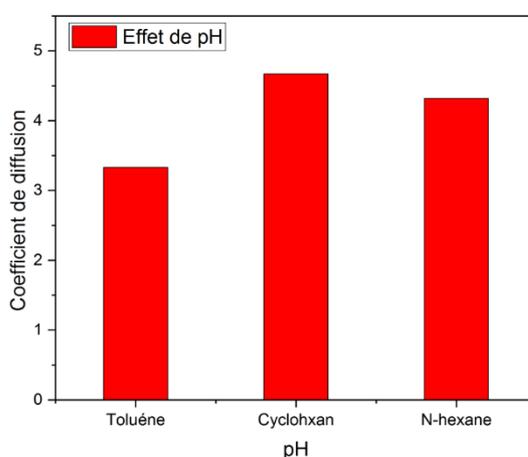


Figure IV-42 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 3

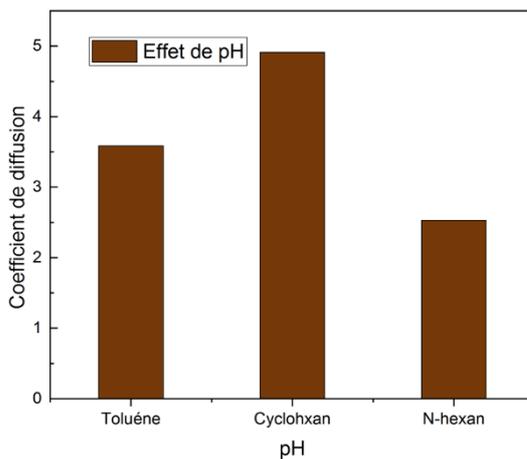


Figure IV-43 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 4

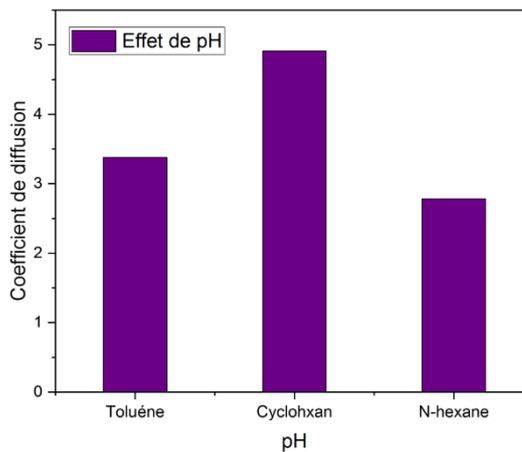


Figure IV-44 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 5

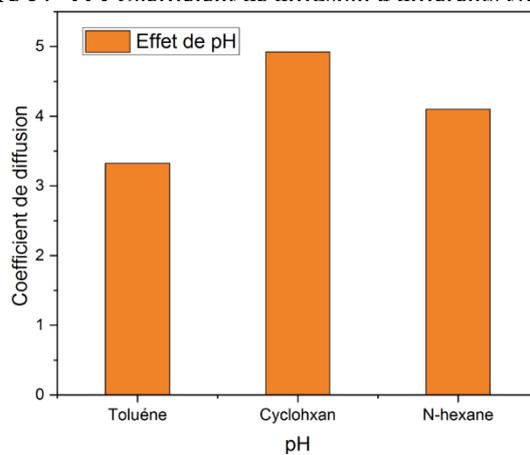


Figure IV-45 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 6

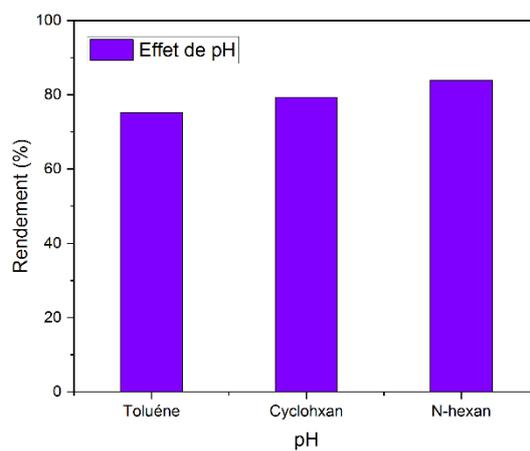


Figure IV-46 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 7

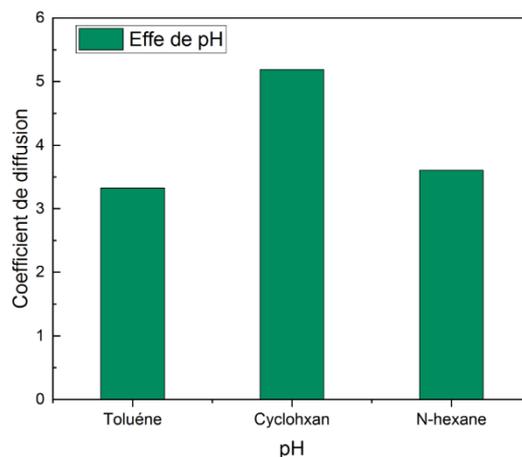


Figure IV-47 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 8

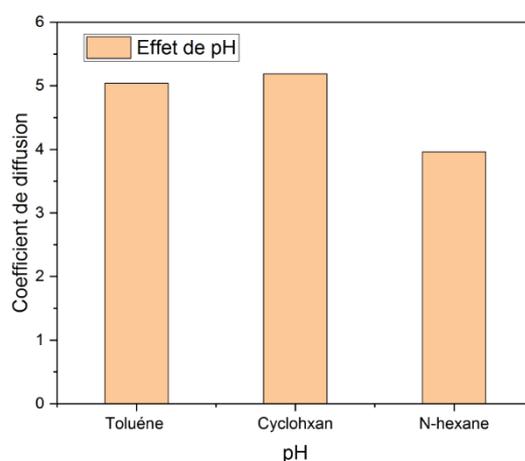


Figure IV-48 : Coefficient de diffusion à différents types de solvants à pH 9

Les histogrammes montrent que le coefficient de diffusion de zinc nous donne les mêmes résultats et les mêmes remarques avec les histogrammes de rendement.

II.2 Effet de pH sur le rendement d'extraction et le coefficient diffusion de zinc (Zn^{+2}) pour une concentration 25 mg /l

Pour l'étude des paramètres influençant sur l'extraction de zinc nous avons choisi le toluène comme solvant d'extraction pour des raisons de comparaisons avec les résultats d'extraction de plomb. Pour l'étude de l'effet de pH la concentration de zinc choisi est 25 (mg/l), les volumes de la solution de zinc et de solvant sont fixés à 25 ml pour chaque phase. Le temps d'agitation est fixé à 30 min. l'opération d'extraction a été réalisé à température ambiante sous la hotte.

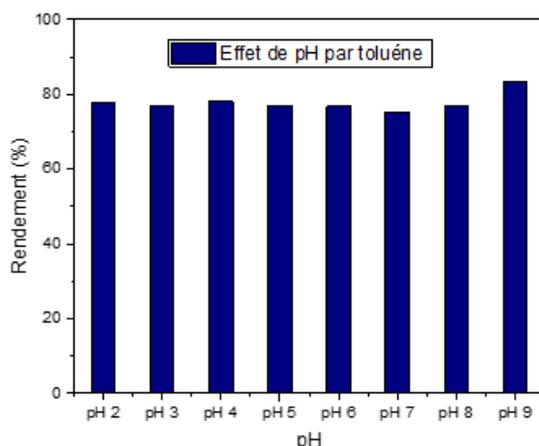


Figure IV-49 : Effet de pH sur le rendement de zinc par toluène.

Dans le cas du toluène, figure (IV-49) on note des faibles différences dans le rendement d'extraction de zinc à différent pH.

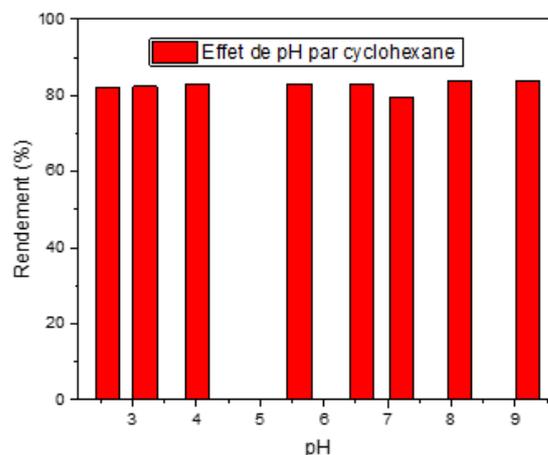


Figure IV-50 : Effet de pH sur le rendement de zinc par cyclohexane.

D'après la figure (IV-50) qui présent l'effet du pH sur l'extraction de zinc par cyclohexane, on peut noter qu'il n'y a pas d'effet remarquable sur le rendement d'extraction du zinc et le rendement d'extraction augment légèrement avec l'augmentation de pH (82,24%) à pH 2 jusqu'à (84%) à pH 9.

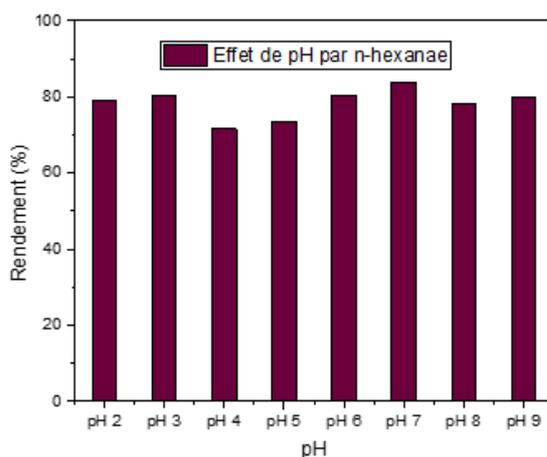


Figure IV-51 : Effet de pH sur le rendement d'extraction de zinc par *n*-hexane.

D'après la figure (IV-51) qui présente l'effet du pH sur le rendement d'extraction de zinc par *n*-hexane on peut noter que le rendement d'extraction est au voisinage de 80 % pour les pH.

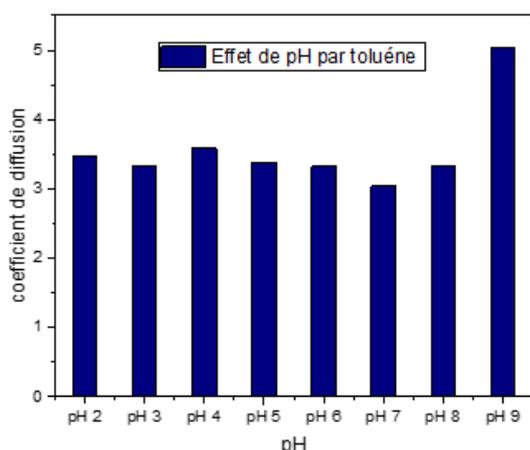


Figure IV-52 : Effet de pH sur le coefficient de diffusion de zinc par toluène.

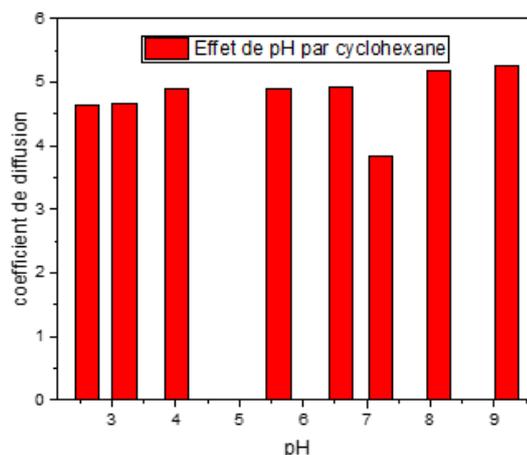


Figure IV-53 : Effet de pH sur le coefficient de diffusion de zinc par cyclohexane.

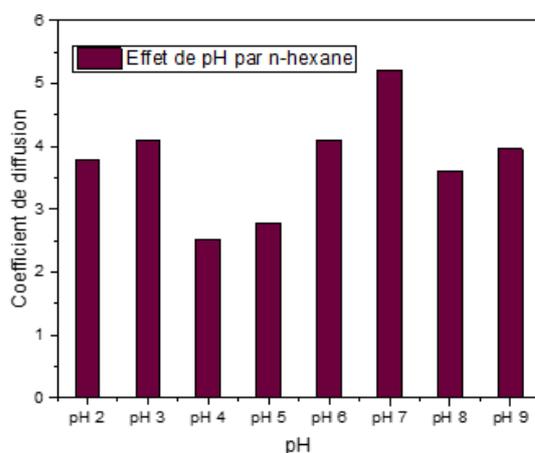


Figure IV-54 : Effet de pH sur le coefficient de diffusion de zinc par *n*-hexane.

Les histogrammes montrent que le coefficient de diffusion par cyclohexane, toluène et *n*-hexane nous donne les mêmes résultats et les mêmes remarques avec les histogrammes de rendement.

IV.2.3 Effet de la force ionique (NaNO_3) sur le rendement d'extraction et le coefficient de diffusion de zinc pour une concentration 25 mg/l

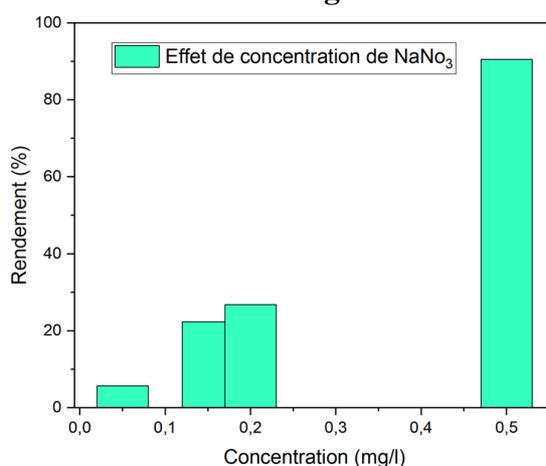


Figure IV-55 : Effet de concentration de nitrate de sodium sur le rendement de zinc par le toluène.

Les résultats d'extraction pour la concentration de NaNO_3 sont présentés dans la figure (IV-55). L'histogramme montre que le rendement d'extraction de zinc à la concentration (0,05mg/l) est faible par contre aux concentrations élevées (0,15mg/l, 0,2mg/l, 0,5mg/l) où il augmente jusqu'à (90%).

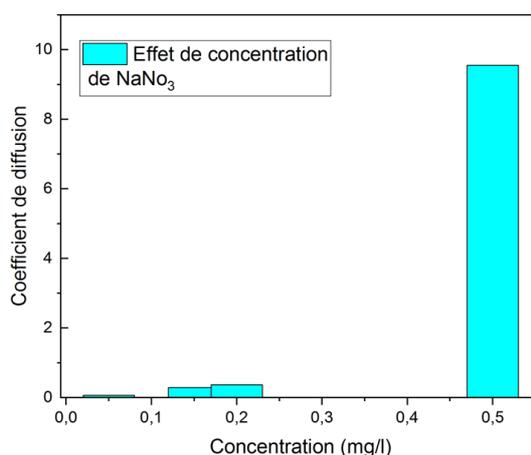


Figure IV-56 : Effet de concentration de nitrate de sodium sur le coefficient de diffusion de zinc par toluène.

Les résultats de coefficient de diffusion sont présentés dans la figure (IV-56).

L'histogramme montre que le coefficient de diffusion de zinc nous donne les mêmes résultats et les mêmes remarques avec l'histogramme de rendement.

IV.2.4 Effet de la concentration de l'acide benzoïque sur le rendement d'extraction et le coefficient diffusion de zinc pour une concentration 25 mg/l

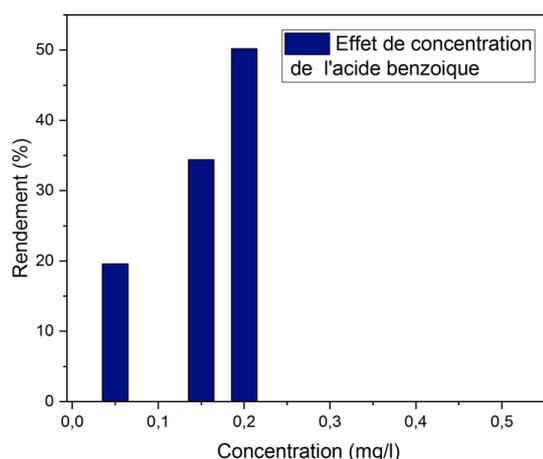


Figure IV-57 : Effet de concentration de l'acide benzoïque sur le rendement de zinc par toluène.

Les résultats d'extraction pour la concentration de l'acide benzoïque sont présentées dans la figure (IV-57), l'histogramme montre que le rendement d'extraction de zinc a concentration (0,05mg/l) est faible (19,60%), a une concentration (0,2mg/l) il augmenter jusqu'à (50,20%). Par ce que la quantité de l'acide benzoïque est suffisante pour fixer le maximum des ions de zinc.

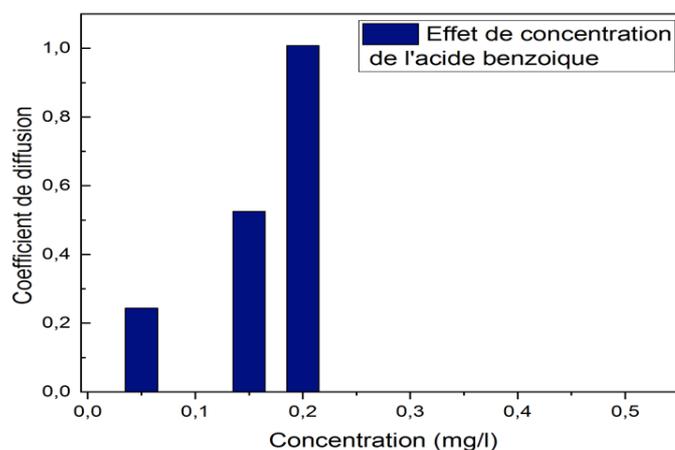


Figure IV-58 : Effet de concentration de l'acide benzoïque sur le coefficient de diffusion de zinc par toluène.

Les résultats d'extraction de coefficient de diffusion sont présentés dans la figure (IV-58)

L'histogramme montre que le coefficient de diffusion de zinc nous donne les mêmes résultats et les mêmes remarques avec l'histogramme de rendement.

IV.2.5 Effet de temps de contact sur le rendement d'extraction et le coefficient diffusion de zinc pour une concentration 25mg/l

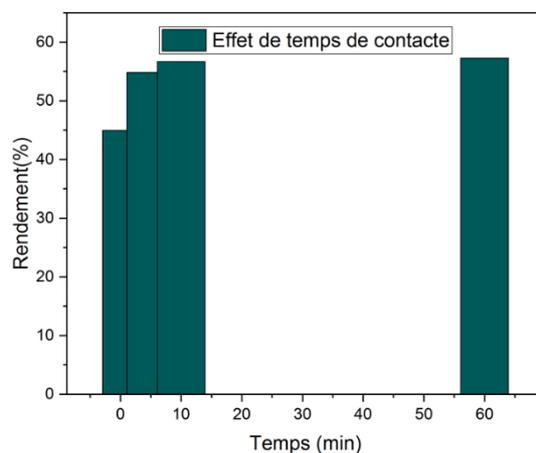


Figure IV-59 : Effet de temps de contact sur le rendement de zinc par le toluène.

Les résultats d'extraction pour le temps de contact sont présentés dans la figure (IV-59). L'histogramme montre que le rendement d'extraction de zinc pour (1min) est faible (44,96%), puis augmente jusqu'à (56,68%) à 10min qui présente le temps d'équilibre.

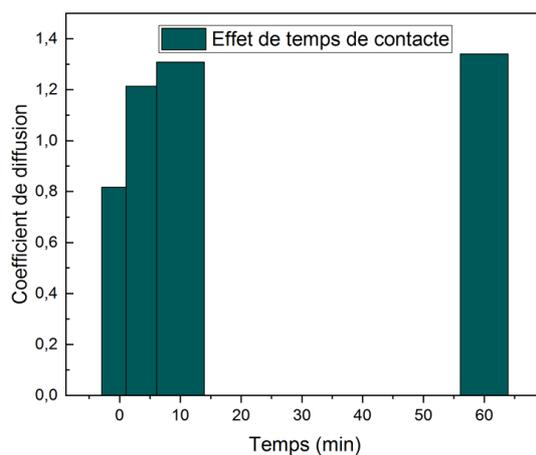


Figure IV-60 : Effet de temps de contact sur le coefficient de diffusion de zinc par toluène.

Les résultats de coefficient de diffusion sont présentés dans la figure (IV-60).

L'histogramme montre que le coefficient de diffusion de zinc nous donne les mêmes résultats et les mêmes remarques avec l'histogramme de rendement.

IV.2.6 Effet de volume de solvant sur le rendement d'extraction et le coefficient diffusion de zinc pour une concentration 25 mg/l

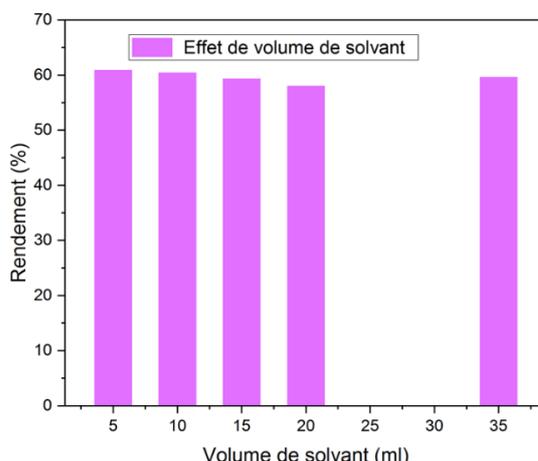


Figure IV-61 : Effet de volume de solvant sur le rendement de zinc par le toluène.

Les résultats d'extraction pour l'effet de volume de solvant utilisé sont présents dans la figure (IV-61), On peut noter qu'il n'y a pas d'effet remarquable sur le rendement d'extraction du zinc. Par ce que le toluène il ne réagit pas avec le zinc, il est considéré agent d'extraction dans lequel il s'effectué l'échange ionique entre le zinc et l'acide benzoïque.

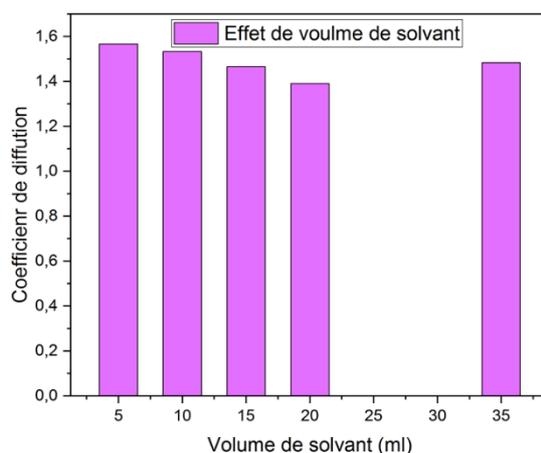


Figure IV-62 : Effet de volume de solvant sur le coefficient de diffusion de zinc par le toluène.

Les résultats de coefficient de diffusion sont présentés dans la figure (IV-62) L'histogramme montre que le coefficient de diffusion d'extraction de zinc nous donne les mêmes résultats et les mêmes remarques avec l'histogramme de rendement.

IV.3 Effet de nombre d'étage sur l'extraction de plomb et de zinc

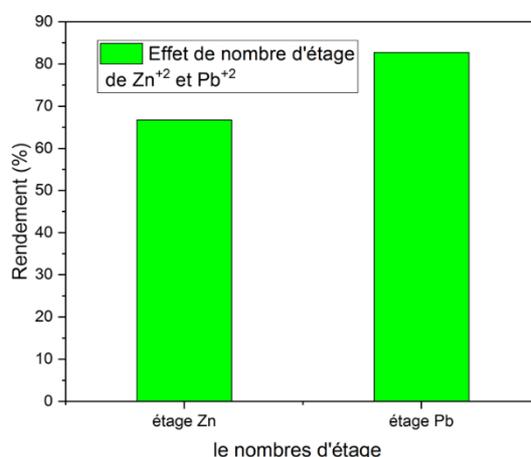


Figure IV-63 : Effet de nombre d'étage sur le rendement de zinc et plomb

D'après la figure (IV-63) qui indique l'effet de nombre d'étage sur l'extraction de zinc et plomb, on peut tirer les remarques suivantes :

- Le rendement d'extraction de plomb est supérieur à celui du zinc. le rendement d'extraction de plomb est (82,72%) pour le zinc le rendement est égal à (66,72%) ;
- Il n'y a pas d'effet de nombre d'étage sur le rendement d'extraction par rapport à un seul étage dans le cas du même élément (zinc ou plomb).

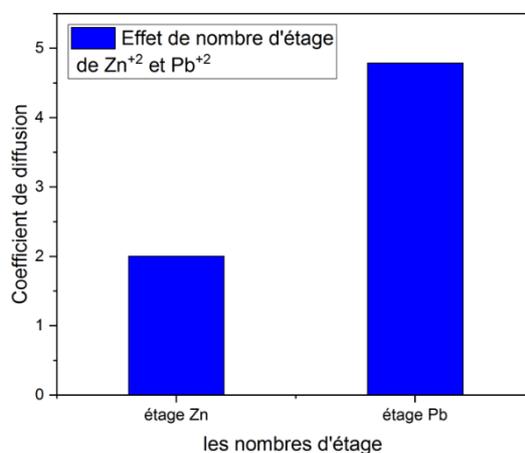


Figure IV-64 : Effet de nombre d'étage sur le coefficient de diffusion de plomb et zinc.

L'histogramme de la figure IV-64 montre que le coefficient de diffusion pour l'effet de nombre d'étage sur l'extraction de zinc et plomb, nous donne les mêmes résultats et les mêmes remarques avec l'histogramme de rendement.

IV.4 Etude comparative entre l'extraction de Pb^{+2} et Zn^{+2}

Les résultats des rendements et coefficients de diffusions pour les trois solvants et à différentes pH sont présentés dans les tableaux IV-1, IV-2 et IV-3

Tableau IV-1 : Les différences des rendements et coefficient de diffusion entre zinc et plomb par toluène

pH	Zn		Pb	
	Rendement	Coefficient de diffusion	Rendement	Coefficient de diffusion
2	78%	3,48029	93%	13,12429
3	77%	3,33276	94%	15,23377
4	78%	3,58716	95%	18,37984
5	77%	3,37828	95%	17,24818
6	77%	3,32526	94%	16,0068
7	75%	3,04531	92%	12,22751
8	77%	3,32526	95%	18,68504
9	83%	5,03865	96%	26,77778

Tableau IV-02 : Les différences des rendements et coefficient de diffusion entre zinc et plomb par cyclohexane.

pH	Zn		Pb	
	Rendement	Coefficient de diffusion	Rendement	Coefficient de diffusion
2	82%	4,63063	87%	6,93651
3	82%	4,66893	88%	7,06452
4	83%	4,91017	87%	6,71605
5	83%	4,91017	87%	6,62195
6	83%	4,92417	89%	8,29368
7	79%	3,83559	90%	8,65251
8	84%	5,18812	91%	9,59322
9	84%	5,25	93%	12,58696

Tableau IV-03 : Les différences des rendements et coefficient de diffusion entre zinc et plomb par *n*-hexane.

pH	Zn		Pb	
	Rendement	Coefficient de diffusion	Rendement	Coefficient de diffusion
2	79%	3,78927	82%	4,64334
3	81%	4,31915	81%	4,19751
4	72%	2,53107	80%	3,92126
5	74%	2,78215	82%	4,44662
6	80%	4,10204	84%	5,18812
7	84%	5,21891	82%	4,43478
8	78%	3,60405	84%	5,08273
9	80%	3,96032	81%	4,31915

Les tableaux (IV-01, IV-02, IV-03) montrent que le rendement d'extraction du plomb par les trois solvants est meilleur par rapport à celles trouvés pour le zinc.

Conclusion

Comme mentionné précédemment, l'extraction liquide-liquide est une technique efficace pour éliminer les composés de métaux lourds de plomb et de zinc de l'eau en fonction de leur solubilité relative dans deux différentes phases liquides non miscibles.

Dans notre travail nous nous sommes intéressés à l'extraction du zinc et plomb à partir du milieu nitrate par l'acide benzoïque dans trois types de solvants organique, à savoir le toluène, le cyclohexane et le *n*-hexane.

D'après les résultats obtenus on peut conclure que :

- Le rendement et le coefficient de diffusion d'extraction de Zn^{+2} à différent pH (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9) est bon avec le cyclohexane.
- A pH 7 le bon solvant d'extraction de Zn^{+2} est *n*-hexane.
- Le rendement d'extraction et le coefficient de diffusion de Pb^{+2} à différent pH est meilleur avec le toluène.
- À différent pH le rendement et le coefficient de diffusion de la différence de pH entre Zn^{+2} et Pb^{+2} , le Pb^{+2} est élevées par rapport ou zinc avec le cyclohexane et *n*-hexane
- A pH 7 le *n*-hexane l'extraction de zinc est supérieure par rapport au plomb.
- Pour avoir un bon rendement et bon coefficient de diffusion de zinc et plomb il faut utiliser un volume faible.
- Le temps d'équilibre qu'il faut pour avoir un bon rendement et bon coefficient de diffusion de Zn^{+2} et Pb^{+2} pour l'extraction c'est 10min.
- A une concentration d'acide benzoïque (0,2mg/l) le rendement et le coefficient de diffusion sont élevée.
- Pour avoir un bon rendement et bon coefficient il faut augmenter la concentration $NaNO_3$.
- Il y a un effet sur le rendement et le coefficient de diffusion du Zn^{+2} par *n*-hexane à pH 7 (84%).
- Le rendement d'extraction de plomb est supérieur par rapport au zinc pour les trois solvants et à différentes pH.

Résumé :

L'extraction de zinc et de plomb en phase aqueuse par l'acide benzoïque en utilisant différents solvants non polaires tels que le toluène, le *n*-hexane et le cyclohexane dans un liquide ionique de nitrate de sodium a été étudiée à température ambiante. Le coefficient de diffusion et le rendement d'extraction ont été étudiés en faisant varier les paramètres expérimentaux, tels que le pH, le temps de contact, le type de solvant, la concentration de nitrate de sodium, la concentration de plomb et zinc et la concentration de l'acide benzoïque. Les résultats ont montré que le pH du milieu aqueux avait un effet important sur l'efficacité du procédé et sur le pourcentage d'extraction. Le pH optimal pour avoir meilleur rendement d'extraction de plomb et de Zinc est déterminé à pH 9 pour le Toluène et Cyclohexane respectivement.

Mots clé: Extraction, plomb, zinc, acide benzoïque, toluène, cyclohexane et *n*-hexane.

ملخص:

استخراج الزنك والرصاص في المرحلة المائية بواسطة حمض البنزويك باستخدام مختلف المذيبات غير القطبية مثل التولوين، ن-الهكسان والهكسان الحلقي في سائل أيوني من نترات الصوديوم في درجة حرارة الغرفة. معامل الانتشار وتمت دراسة عائد الاستخراج عن طريق تغيير المعلمات التجريبية، مثل الرقم الهيدروجيني، ووقت الاتصال، ونوع المذيب، وتركيز نترات الصوديوم، وتركيز الرصاص والزنك وتركيز حمض البنزويك وأظهرت النتائج أن الرقم الهيدروجيني للوسط المائي كان له تأثير مهم على كفاءة العملية وعلى نسبة الاستخراج الرقم الهيدروجيني الأمثل للحصول على عائد أفضل لاستخراج الرصاص ويتم تحديد الزنك عند الرقم ال هيدروجيني 9 للتولوين والهكسان الحلقي على التوالي. الكلمات المفتاحية: الاستخراج، الرصاص، الزنك، حمض البنزويك، التولوين،الهكسان الحلقي والهكسان.

Summary:

The extraction of zinc and lead in aqueous phase by benzoic acid using different non-polar solvents such as toluene, *n*-hexane and cyclohexane in an ionic liquid of sodium nitrate was studied at room temperature. The diffusion coefficient and the extraction yield have been studied by varying the experimental parameters, such as the pH, the contact time, the type of solvent, the concentration of sodium nitrate, the concentration of lead and zinc and the concentration of benzoic acid. The results showed that the pH of the aqueous medium had an important effect on the efficiency of the process and on the percentage of extraction. The optimal pH for a better lead extraction yield and Zinc is determined at pH 9 for Toluene and Cyclohexane respectively.

Key words: Extraction, lead, zinc, benzoic acid, toluene, cyclohexane and *n*-hexane.

Référence

Références bibliographiques

- [1] Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68(1), 167-182.
- [2] Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, clinical and environmental toxicology: volume 3: environmental toxicology*, 133-164.
- [3] Atanassova, M. (2021). SOLVENT EXTRACTION OF METALLIC SPECIES IN IONIC LIQUIDS: AN OVERVIEW OF s-, p- AND d-ELEMENTS. *Journal of Chemical Technology & Metallurgy*, 56(3).
- [4] Bouraqadi Idrissi, A. (2006). Extraction par solvant : étude et modélisation du système tributylphosphate-acides monocarboxyliques. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse.
- [5] Christian, G. D. (2003). *Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons.
- [6] myMaxicours. Principe de l'extraction par un solvant. <https://www.maxicours.com/se/cours/principe-de-l-extraction-par-un-solvant/Consulter> le 10/03/2024.
- [7] Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (1996). *Fundamentals of analytical chemistry* (Vol. 33, pp. 53-55). Fort Worth: Saunders College Pub.
- [8] <https://www.zysman-colman.com/courses/chm302/Extraction.pdf>. Consulter le 11/03/2024
- [9] <https://www.interchim.fr/cat/A62-A191-Extraction-SPE.pdf>. Consulter le 11/03/2024.
- [10] Treybal, R. E. (1980). *Mass-Transfer Operations* (3rd ed). McGraw-Hill. ISBN 0-07-066615-6.
- [11] King, C. J. (1980). *Separation Processes* (2nd ed). McGraw-Hill.
- [12] Lo, T. C., Baird, M. H. I., & Hanson, C. (1983). *Handbook of Solvent Extraction*. Wiley-Interscience. ISBN 0-471-08752-1.
- [13] Schechter, R. S. (1992). *Oil Well Stimulation*. Prentice Hall. ISBN 0-13-633394-8.
- [14] Perry, R. H., & Green, D. W. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (7th ed.). McGraw-Hill. ISBN 0-07-049841-5.
- [15] Seader, J. D., & Henley, E. J. (1998). *Separation Process Principles*. Wiley. ISBN 0-471-36635-3.
- [16] Camel, V. (2000). "Microwave-assisted solvent extraction of environmental samples". *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 19(4), 229-248.

- [17] Chemat, F., & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics sonochemistry*, 18(4), 813-835.
- [18] Greenwood, N. N., & Earnshaw, A. (1997). *Chemistry of the Elements* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann. Ce livre offre une définition exhaustive des solvants et de leurs propriétés chimiques, avec des exemples pratiques de leur utilisation dans différents contextes chimiques.
- [19] Korichi, C., & Mezaour, L. (2019). *Extraction Liquide-Liquide des Métaux de Transition par la Base de Schiff Bidentée*. Mémoire de Master. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.
- [20] Morrison, R. T., & Boyd, R. N. (1992). *Organic Chemistry* (6th ed.). Prentice Hall. Ce manuel fournit des descriptions détaillées des types de solvants, leurs propriétés, et des exemples de leur utilisation dans la chimie organique.
- [21] <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/occupational-health-safety/workplace-hazardous-materials-information-system/hazardous-substance-assessments/toluene.html>. Consulter le 20/03/2024.
- [22] Walker, J. D. (2014). *Industrial Solvents Handbook*. CRC Press.
- [23] Weissermel, K., & Arpe, H. J. (2003). *Industrial Organic Chemistry*. Wiley-VCH.
- [24] Seader, J. D., Henley, E. J., & Roper, D. K. (2016). *Separation Process Principles: Chemical and Biochemical Operations*. Wiley.
- [25] BARRAQUE, M. (1996). Cyclohexane: C₆H₁₂. *Techniques de l'ingénieur. Génie des procédés*, 6, J6265-1.
- [26] Weissermel, K., & Arpe, H. J. (2003). *Industrial Organic Chemistry*. Wiley-VCH.
- [27] Green, B. (2001). *The Sigma-Aldrich Handbook of Fine Chemicals*. Sigma-Aldrich Corporation.
- [28] Wittcoff, H. A., Reuben, B. G., & Plotkin, J. S. (2012). *Industrial Organic Chemicals*. Wiley.
- [29] Hexane. https://www.inrs.fr/dms/ficheTox/FicheFicheTox/FICHETOX_113-3/FicheTox_113.pdf. Consulter le 25/03/2024.
- [30] Erickson, D. R. (1995). *Practical Handbook of Soybean Processing and Utilization*. AOCS Press.
- [31] Flick, E. W. (1998). *Industrial Solvents Handbook*. William Andrew Publishing.
- [32] Shargel, L., Wu-Pong, S., & Yu, A. B. C. (2004). *Applied Biopharmaceutics & Pharmacokinetics*. McGraw-Hill.
- [33] <https://www.asef-asso.fr/production/les-metaux-lourds-la-synthese-de-lasef/>

- [34] Duffus, J. H. (2002). "Heavy metals"—A meaningless term? *Pure and Applied Chemistry*. [Lien vers l'article](<https://doi.org/10.1351/pac200274050793>).
- [35] <https://www.institut-numerique.org/i2-definitions-et-caracteristiques-des-metaux-lourds-5306014f2e326/amp>. Consulter le 03/04/2024.
- [36] Alloway, B.J. (2013). "Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability." Springer Science & Business Media.
- [37] Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K., & Sutton, D.J. (2012). "Heavy metal toxicity and the environment." *EXS*, 101, 133-164.
- [38] Nies, D.H. (1999). "Microbial heavy-metal resistance." *Applied Microbiology and Biotechnology*, 51(6), 730-750.
- [39] Alloway, B.J. (2013). "Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability." Springer.
- [40] Wang, S., & Shi, X. (2001). "Molecular mechanisms of metal toxicity and carcinogenesis." *Molecular and Cellular Biochemistry*, 222(1-2), 3-9.
- [41] Mason, R.P., Reinfelder, J.R., & Morel, F.M.M. (1996). "Uptake, toxicity, and trophic transfer of mercury in a coastal diatom." *Environmental Science & Technology*, 30(6), 1835-1845.
- [42] Giller, K.E., Witter, E., & McGrath, S.P. (1998). "Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils: A review." *Soil Biology and Biochemistry*, 30(10-11), 1389-1414.
- [43] Scheuhammer, A.M., Meyer, M.W., Sandheinrich, M.B., & Murray, M.W. (2007). "Effects of environmental methylmercury on the health of wild birds, mammals, and fish." *Ambio*, 36(1), 12-18.
- [44] Grandjean, P., & Landrigan, P.J. (2014). "Neurobehavioural effects of developmental toxicity." *The Lancet Neurology*, 13(3), 330-338.
- [45] Johri, N., Jacquillet, G., & Unwin, R. (2010). "Heavy metal poisoning: the effects of cadmium on the kidney." *Biometals*, 23(5), 783-792
- [46] Navas-Acien, A., Guallar, E., Silbergeld, E.K., & Rothenberg, S.J. (2007). "Lead exposure and cardiovascular disease—a systematic review." *Environmental Health Perspectives*, 115(3), 472-482.
- [47] IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2012). "Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts." *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, 100C, 11-465.

- [48] Bernhoft, R.A. (2013). "Mercury toxicity and treatment: a review of the literature." *Journal of Environmental and Public Health*, 2012, 460508.
- [49] Vigeh, M., Smith, D.R., & Hsu, P.C. (2011). "How does lead induce male infertility?" *Iranian Journal of Reproductive Medicine*, 9(1), 1-8.
- [50] Bellinger, D.C. (2008). "Very low lead exposures and children's neurodevelopment." *Current Opinion in Pediatrics*, 20(2), 172-177
- [51] Clarkson, T. W., Magos, L., & Myers, G. J. (2003). The toxicology of mercury—current exposures and clinical manifestations. *New England Journal of Medicine*, 349(18), 1731-1737.
- [52] Nordberg, G. F., Fowler, B. A., & Nordberg, M. (Eds.). (2014). *Handbook on the Toxicology of Metals*. Academic Press.
- [53] Grosjean, C., Herrera Miranda, P., Perrin, M., & Poggi, P. (2012). Assessment of world lithium resources and consequences of their geographic distribution on the expected development of the electric vehicle industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1735-1744.
- [54] Zinc Metal: Definition, Composition, Types, Properties, and Applications. Xometry. <https://www.xometry.com/resources/materials/what-is-zinc/> consulté le 01/05/2024.
- [55] ZINC : Propriétés. DREULLE et al. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/zinc/2-proprietes/> Consulté le 01/05/2024.
- [56] Prasad, A.S. (2013). "Discovery of human zinc deficiency: its impact on human health and disease." *Advances in Nutrition*, 4(2), 176-190.
- [57] Rink, L., & Gabriel, P. (2000). "Zinc and the immune system." *Proceedings of the Nutrition Society*, 59(4), 541-552.
- [58] Lansdown, A.B.G., & Mirastschijski, U. (2007). "Zinc in wound healing: theoretical, experimental, and clinical aspects." *Wound Repair and Regeneration*, 15(1), 2-16.
- [59] Sandstead, H.H., Penland, J.G., Alcock, N.W., Dayal, H.H., Chen, X.C., Li, J.S., ... & Carroll, R.M. (1998). "Effects of repletion with zinc and other micronutrients on neuropsychologic performance and growth of Chinese children." *American Journal of Clinical Nutrition*, 68(2 Suppl), 470S-475S.
- [60] Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press.
- [61] Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., & Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New Phytologist*, 173(4), 677-702.
- [62] Rashed, M. N. (2010). Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environment International*, 17(5), 733-738.

- [63] Canli, M., & Atli, G. (2003). The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. **Environmental Pollution**, 121(1), 129-136.
- [64] Alloway, B. J. (2008). Zinc in soils and crop nutrition. International Zinc Association
- [65] Les bienfaits du zinc sur l'organisme - Je m'informe. Admin. <https://store.avec.fr/jeminforme/post/les-bienfaits-du-zinc-sur-l-organisme.html#:~:text=voici%20les%20nombreux%20bienfaits%20du,le%20phosphore%20sur%20les%20os>. Consulter le 5/05/2024.
- [66] Lead Element : (Properties + Uses + Facts) <https://science4fun.info/lead/> Consulter le 05/05/2024.
- [67] Saturnisme : intoxication au Plomb - Revues Scientifiques. https://revues.imist.ma/index.php/SMETox_Journal/article/download/11782/6662. Consulter le 06/05/2024.
- [68] Alloway, B. J. (2013). Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. Springer.
- [69] Burger, J., & Gochfeld, M. (2000). Effects of lead on birds (Laridae): A review of laboratory and field studies. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews*, 3(2), 59-78
- [70] Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *Experientia Supplementum*, 101, 133-164.