



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCEN

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE CHIMIE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER EN CHIMIE

Spécialité : **Chimie Analytique**

Par :

M^{lle} BENDELLA Souhila

Et

M^{lle} CHERIFI Wafaâ

Sur le thème

Extraction liquide-liquide, assistée par ultrason, de polluants organiques

Soutenu publiquement le 15 juin 2022 à Tlemcen devant le jury composé de :

M^{me} BENYAHIA Nacera
M^r DIDI Mohamed Amine
M^r BELKHOUCHE Nasr Eddine
M^{lle} NAIT TAHAR Sanaa

MCB
Professeur
Professeur
MCB

CU de Maghnia
Université de Tlemcen
Université de Tlemcen
ESSA-Tlemcen

Présidente
Examineur
Examineur
Encadrante

Dédicaces

Nombreuses sont les personnes que je souhaite citer pour m'avoir soutenues et accompagnées dans la réalisation de ce mémoire.

- A la femme qui a tout sacrifié et n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse ; mon adorable mère « **Latifa** ».*
- A l'épaule solide ; l'œil attentif à qui je dois ma vie, ma réussite et tout mon respect ; mon cher père « **Boufeldja** ».*
- A mes deux frères « **Walid** » et « **Mohammed** » ; pour qui mon attachement et mon affection sont sans limites. Aucun mot ne pourrait décrire la gratitude et l'amour que je vous porte.*
- A ma chère sœur « **Zahra** » et mon beau-frère « **Nasr Eddine** », qui n'ont pas cessé de me conseiller, de m'encourager et de me soutenir tout au long de mon parcours. Que Dieu les protège et leur offre chance et bonheur.*
- A la plus formidable des belles sœurs ; « **Nawel** ».*
- A mon neveu « **Karam** » ; ma source de joie et de bonheur.*
- A la perle précieuse, qui représente pour moi un exemple de bonté, de dévouement. Celle qui m'a toujours encouragé ; ma très chère tante « **Fatima** ».*
- A ma grand-mère ; dont les duâas me facilitent la vie, mes oncles ; que Dieu leur donne une longue et heureuse vie.*
- A la personne pour qui je ne trouve pas les mots qui expriment ma reconnaissance pour sa présence et son aide ; ma cousine « **Khatima** ».*
- Sans oublier mon binôme, « **Souhila** » pour son soutien moral, sa patience, et sa compréhension tout au long de ce projet, à notre amitié.*

Wafaâ

Je dédie ce travail

A mon cher père,

A ma chère mère,

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs. Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point vous remercier comme il se doit.

A mes très chers frères Sidahmed et Ghouti, ma belle-sœur Cherifa, et Othmane mon fiancé.

Puisse Dieu vous donner santé, bonheur, amour, courage et surtout réussite.

A mon adorable petit neveu Wassim Qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille

A ma chère grand-mère,

A qui je souhaite une longue vie pleine de santé

A mes oncles et tantes, mes cousins et cousines.

A mes amies et mes collègues qui m'ont marquées de souvenirs Que jen'oublierai jamais.

A ma chère binôme Wafaâ

ma douce sœur qui a eu la patience de me supporter durant ce mémoire, et qui m'a soutenu et encouragé pendant tous les moments difficiles vécus, je t'aime beaucoup ma chère.

Souhila

Remerciements

Louange à Dieu de nous avoir donné la force d'accomplir ce travail.

الحمد لله وحده

*En premier lieu, nous tenons à remercier M^{lle} **NAIT TAHAR Sanaa**, Maitre de conférences B à l'école supérieure en science appliquée de Tlemcen et Directrice de ce mémoire, pour l'aide qu'elle a fourni et les connaissances qu'elle a su nous transmettre. Nous sommes reconnaissantes pour son soutien, sa disponibilité et ses précieux conseils.*

*Nos plus vifs remerciements vont à M^{me} **BENYAHIA Nacera**, Maitre de Conférences B au centre universitaire de Maghnia d'avoir accepté de présider le jury de ce travail.*

*Notre gratitude s'adresse également à M' **DIDI Mohammed Amine**, Professeur à l'université de Tlemcen, pour nous avoir fait l'honneur de juger ce travail*

*Nous tenons à témoigner toute notre reconnaissance à M' **BELKHOUCHE NasrEddine**, Professeur à l'université de Tlemcen qui a accepté d'examiner ce travail.*

*Nous souhaitons adresser nos sincères remerciements à notre **équipe de formation**, Pour la qualité des enseignements fournis tout au long de ces deux dernières années.*

*Nous voudrions remercier M^{lle} **Beldjilali Samira**, Pour son aide et sa patience.*

Un grand Merci à nos parents pour leurs amours, leurs conseils, ainsi que leurs soutiens inconditionnels à la fois moral et économique qui nous a permis de réaliser les études que nous voulions et par conséquent ce mémoire.

Enfin, merci à nos familles et nos proches.

Abréviations

TA	Tensioactif
TANI	Tensioactif non ionique
CPE	Cloud point extraction
CMC	Concentration micellaire critique
CAC	Concentration agrégative critique
TPT	Température de point de trouble
TS	Température de séparation
HLB	Hydrophile-lipophile balance
NaCl	Chlorure de sodium
KCl	Chlorure de potassium
Na ₂ SO ₄	Sulfate de sodium
CH ₃ COONa	Acétate de sodium
NaOH	Hydroxyde de sodium
H ₂ SO ₄	Acide sulfurique

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	2
PARTIE A : EXTRACTION PAR COACERVAT.....	4
I. INTRODUCTION	4
II. INTERET DE LA METHODE.....	4
III. PRINCIPE DE LA METHODE	5
IV- GENERALITES SUR LES TENSIOACTIFS	5
1- Introduction.....	5
2- Classification des tensioactifs.....	6
3- Tensioactifs non-ioniques	7
4- Propriétés des tensioactifs non-ioniques.....	8
5- Morphologie des agrégats	11
V. APPLICATION DE LA CPE DANS L'EXTRACTION DU PHENOL	12
1- Tween 20.....	12
2- Phénol.....	13
PARTIE B : ULTRASONS	15
I- INTRODUCTION	15
II- QU'EST-CE QUE L'ULTRASON	15
III- PRINCIPE DES ULTRASONS	16
IV- CARACTERISATION PHYSIQUE DES ULTRASONS.....	15
1. Dans l'air.....	16
2. Dans un liquide	16
IV- CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES ULTRASONS.....	16
V- GENERATEUR A ULTRASONS.....	16
VI- APPLICATION DES ULTRASONS	17
PARTIE C : PLAN D'EXPERIENCES COMPLET 23	18
I- INTRODUCTION	18
II- TERMINOLOGIE	18
1- Facteur ou paramètre (quantitatif ou qualitatif)	18
2- Niveaux et domaine d'étude de chaque facteur.....	18
3- La réponse du système.....	18
4- Plan complet.....	18
III- INTERET DES PLANS D'EXPERIENCES.....	19
IV- DEMARCHE GENERALE A SUIVRE	19

V- PRINCIPE DU PLAN D'EXPERIENCES COMPLET 23.....	19
VI- LISSAGE DES POINTS	20
MATERIELS ET METHODES	22
I. INTRODUCTION	22
II. MATERIELS.....	22
1- Produits chimiques	22
2- Instruments	23
III. PREPARATION DES SOLUTIONS	25
IV. CARACTERISATION DU PHENOL	26
1- Etude par spectrophotométrie UV-Visible.....	26
2- Etude de l'effet de pH sur le phénol	26
3- Etude de l'effet de la température sur le phénol.....	26
4-Etude de l'effet de l'ultrason sur le phénol.....	28
V. ETUDE DE POINT DE TROUBLE	27
VI. PROCEDURE GENERALE D'EXTRACTION PAR COACERVAT DU PHENOL	28
VII. DOSAGE SPECTROPHOTOMETRIQUE UV-VISIBLE DU PHENOL.....	29
1- Principe de la spectrophotométrie UV-visible	29
2- Dosage spectrophotométrique UV-visible du phénol.....	29
RESULTATS ET DISCUSSION	31
I- PROBLEMATIQUE	31
II- ETUDE SUR LE PHENOL.....	31
1- Détermination de la longueur d'onde maximale (λ_{max})	31
2- Etablissement de la courbe d'étalonnage	32
3- Influence du pH sur le phénol	32
4- Influence de la température sur le phénol	34
5- Influence de l'ultrason sur le phénol	
III- ETUDE DU POINT DE TROUBLE.....	35
1- Effet du taux du TWEEN 20 sur la température du point de trouble.....	35
2- Effet de la concentration du phénol sur la température du point de trouble	36
3- Effet de la force ionique sur la température du point de trouble	36
4- Effet des ondes ultrasonores sur la température du point de trouble	40
IV- EXTRACTION DU PHENOL PAR COACERVAT	41
V- MODELISATION DE L'EXTRACTION PAR PLAN D'EXPERIENCES 2 ³	41

1- Introduction.....	41
2- Facteurs et domaine d'étude	42
3- Variables réduites.....	42
4- Réponse du système : efficacité de l'extraction (Eff).....	43
5- Détermination des coefficients du modèle mathématique.....	43
6- Lissage des points.....	44
CONCLUSION GENERALE	47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	48

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le phénol est un composé aromatique hydrosoluble. Il est principalement utilisé en industrie (chimique, pharmaceutique, plastique), en agriculture (pesticides, herbicides), en médecine, ... [1] Il est défini par US-EPA (United States Environmental Protection Agency) comme un contaminant prioritaire en raison de sa toxicité et de sa présence dans l'eau. Il est classé comme mutagène par l'union européenne [2]. Ce qui nécessite sa neutralisation et son élimination du milieu aquatique.

A cet effet, plusieurs travaux de recherche se sont penchés sur l'élimination du phénol en utilisant diverses techniques de séparation et de purification telles que l'extraction par membrane [3], l'oxydation [4], l'extraction par solvant [5], phytoremédiation [6], l'extraction par coacervat [7] sur laquelle repose ce présent travail.

En fait, l'extraction par coacervat permet la séparation et la pré-concentration de polluants grâce à la déshydratation des surfactants non ioniques (alcools polyéthoxylés) suite à l'augmentation de température qui engendre la formation d'agrégats micellaires [8].

Ainsi, nous nous intéressons, dans ce mémoire, à l'extraction par coacervat du phénol, assistée par ultrason et réalisée à température ambiante. Pour ce faire, nous avons établi, en premier lieu, des diagrammes binaires issus de l'étude de point de trouble. Ensuite, nous avons optimisé et modélisé ce procédé par le biais d'un plan d'expériences complet, type 2³.

Enfin, nous avons choisi d'articuler ce manuscrit autour de trois grands chapitres. Le premier est une synthèse bibliographique où nous avons mis l'accent sur l'essentiel de l'extraction par coacervat et la modélisation par plan d'expériences. Le deuxième chapitre décrit tout le matériel utilisé ainsi toutes les opérations réalisées pour arriver à notre objectif. Le dernier chapitre est consacré à l'exposition des résultats obtenus avec des interprétations logiques des phénomènes observés.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

PARTIE A : EXTRACTION PAR COACERVAT

I. INTRODUCTION

L'extraction par coacervat, nommée également extraction par point de trouble(CPE) ou extraction à deux phases aqueuses, est une technique d'extraction liquide-liquide qui se base sur la séparation des constituants d'un mélange aqueux par le biais d'emploi des agents tensioactifs de types non ioniques ou zwitterioniques. Elle trouve un large domaine d'applications industrielles surtout ces dernières années. Elle est utilisée dans le secteur d'hydrometallurgie [9], nucléaire [10], biomédical [11], protection de l'environnement [12],...

II. INTERET DE LA METHODE

L'utilisation de systèmes micellaires comme une alternative de séparation présente les avantages suivants [13]:

- ✓ Les tensioactifs non ioniques sont moins dangereux que les solvants organiques employés généralement dans l'extraction liquide-liquide. Ils ne sont ni volatils, ni inflammables. Ils sont biodégradables, ce qui permet de classer la CPE parmi les procédés de chimie verte ;
- ✓ Les surfactifs utilisés sont bon marché. Leurs prix sur le marché sont raisonnables ;
- ✓ Ils possèdent une ample capacité de concentrer une grande variété d'analytes de natures diverses et à de faibles concentrations même à l'échelle de traces ;
- ✓ La CPE nécessite une quantité minimale de tensioactif (en général quelques milligrammes) ;
- ✓ Le caractère hydrophobe du tensioactif (TA) influe sur le rendement de la séparation. Il doit être plus ou moins grand par rapport à celui de la substance à analyser ;
- ✓ La basse température du point de trouble pour certains tensioactifs permet la séparation ou la pré-concentration des molécules thermosensibles d'intérêt biologique ou environnemental ;
- ✓ La mise au point expérimentale du procédé de séparation et / ou de pré-concentration est très simple à réaliser et il a été décrit par différents chercheurs.

III. PRINCIPE DE LA METHODE

L'extraction par coacervat est une méthode physico-chimique qui permet la séparation d'un ou plusieurs constituants organiques ou inorganiques d'un mélange aqueux en se basant sur les phénomènes d'agrégation micellaire caractérisant les surfactifs non ioniques utilisés [14,15].

De ce fait, l'opération d'extraction repose sur les étapes suivantes (figure 1) :

- 1^{ère} étape : solubilisation d'analyte dans les agrégats micellaires formés ;
- 2^{ème} étape : apparition du trouble (sous l'effet de température) ;
- 3^{ème} étape : séparation de phase pour analyse (une phase coacervat dense et riche en TA et une autre phase dite diluée pauvre en TA)

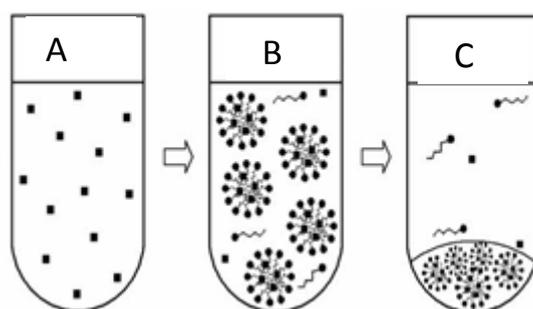


Figure I-1: Principe de l'extraction par point de trouble.

(A) Solution en polluant organique ; (B): Piégeage du polluant par les micelles ; (C): séparation de phases suite à l'élévation de la température [14].

IV- GENERALITES SUR LES TENSIOACTIFS

1- Introduction

Les tensioactifs; appelées aussi agents de surface ou surfactants, sont des molécules organiques amphiphiles qui contiennent une partie polaire (hydrophile) présentant une forte affinité pour les molécules d'eau et une partie apolaire (lipophile) qui n'a donc pas d'affinité avec l'eau.

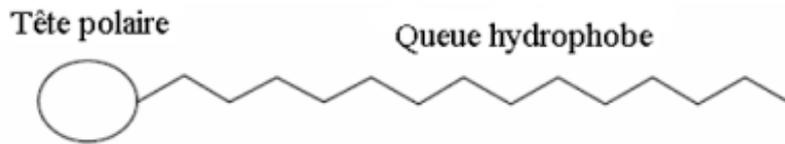


Figure I-2: Représentation de la structure d'un tensioactif

2- Classification des tensioactifs

a- Selon la structure du tensioactif

Le tableau 1 englobe les différentes familles de tensioactifs classées selon la structure des deux parties hydrophile et lipophile

Tableau I-1 :Différentes structures de tensioactifs [16]

CLASSE DU TENSIOACTIF	STRUCTURE
<p>•Monocaténaire : Des tensioactifs comportant une tête hydrophile et une chaîne hydrophobe.</p>	
<p>• Bi-caténaire : Ils possèdent deux chaînes hydrophobes greffées sur la même tête hydrophile.</p>	
<p>•Tri-caténaire : Ils possèdent trois chaînes hydrophobes greffées sur la même tête hydrophile.</p>	
<p>•Bolaforme simple chaîne</p> <p>•Bolaforme double chaîne</p> <p style="text-align: center;">Des tensioactifs possédant plusieurs chaînes hydrophobes</p>	
<p>•Géminés</p>	

b- Selon la nature de la tête hydrophile du tensioactif

On distingue quatre types de tensioactifs (figure 3) :

- **Tensioactifs anioniques** : La tête hydrophile est un groupe anionique et la queue hydrophobe est généralement de faible polarité. C'est le cas des ions carboxylates -COO^- et des ions sulfonates R(ou Ar)-SO_3^- .
- **Tensioactifs cationiques** : La tête hydrophile est un groupe cationique et la queue hydrophobe est de faible polarité. C'est le cas des amines protonées ou des ammoniums quaternaires.
- **Tensioactifs amphotères** : Contiennent des groupes de tête anioniques et cationiques tels que les acides aminés. Bétaïnes, phospholipides (lécithines par exemple). En milieu basique, ces molécules se comportent comme des anions et en milieu acide comme des cations.
- **Tensioactifs non ioniques** : Ils constituent la classe la plus recherchée des surfactants. Et ceci grâce à leurs bonnes biodégradabilités et leurs efficacités dans la formation d'émulsions et de mousses [17].

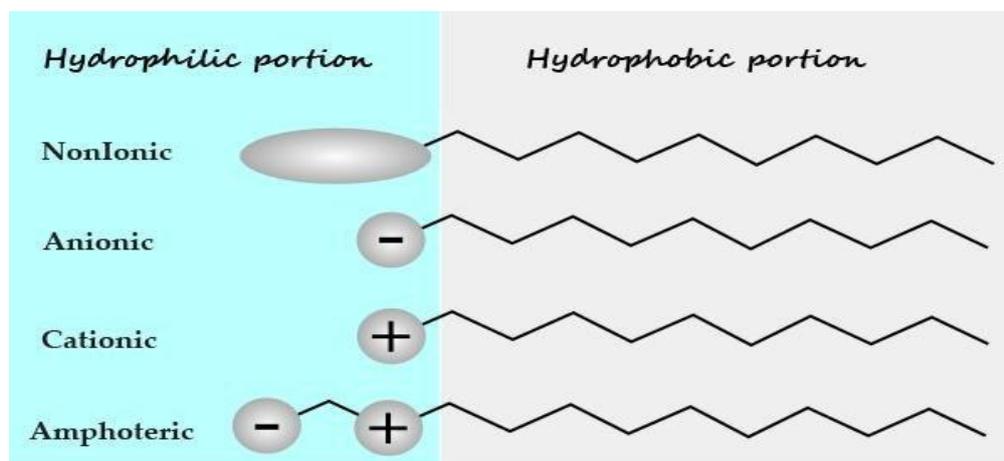


Figure I-3 : Classification des surfactants selon la nature de la tête hydrophile [17]

3- Tensioactifs non-ioniques

La partie hydrophile de la molécule se présente sous forme d'un enchainement d'oxyde éthylène $\text{-(CH}_2\text{-CH}_2\text{O)}_m\text{-}$. La partie lipophile quant à elle, est le plus souvent sous forme d'une chaîne hydrocarbonée $\text{-CH}_3\text{-(CH}_2)_n\text{-}$. A cet effet, on peut trouver dans cette classe, des substances très lipophiles et d'autres très hydrophile, ainsi que tous les intermédiaires possibles.

4- Propriétés des tensioactifs non-ioniques

a- Adsorption aux interfaces

Un surfactant est un composé chimique qui possède la propriété de s'adsorber aux interfaces des liquides. Cette adsorption conduit d'une part, à la diminution d'une ou plusieurs forces de liaisons aux interfaces du système, et d'autre part, à la stabilisation des interfaces par formation de couches adsorbées. Ces deux facteurs provoquent un abaissement de la tension superficielle du solvant (figure 4) [18].

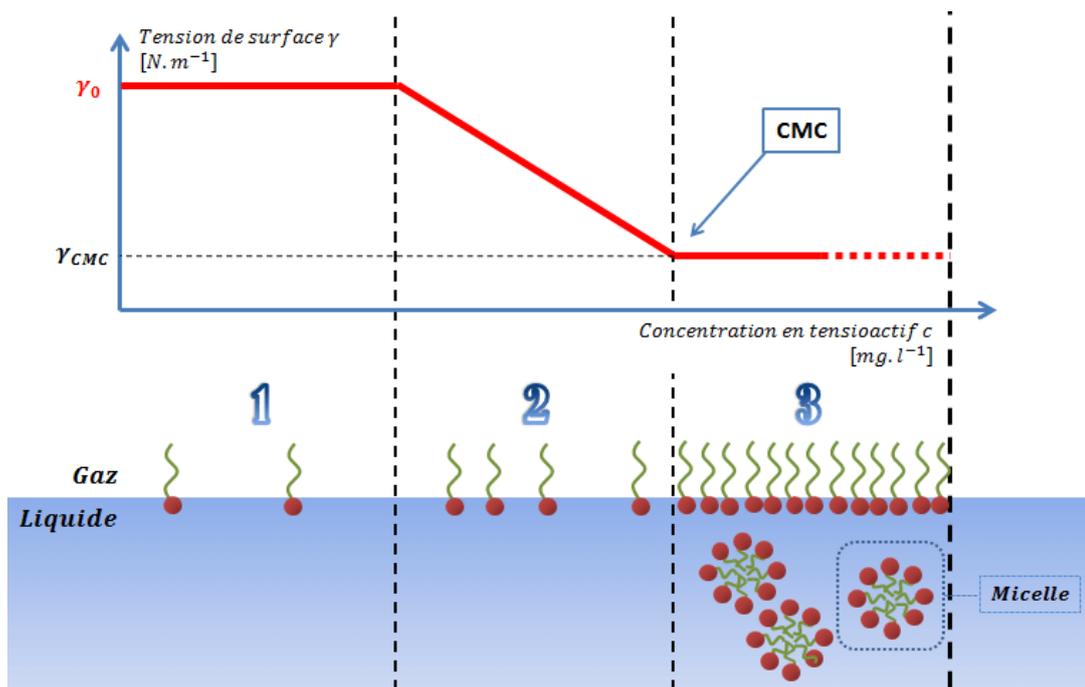


Figure I-4 : Comportement d'un tensioactif en milieu aqueux et évolution de la tension superficielle en fonction de la concentration [19]

b- Concentration micellaire critique (CMC)

Au-delà d'une certaine concentration appelée Concentration Agrégative Critique (CAC), les molécules de tensioactifs non-ioniques s'organisent et forment une couche mono-moléculaire d'adsorption aux interfaces et commencent à s'agréger en formant des micelles. On parle alors de Concentration Micellaire Critique (CMC). Elle est déterminée expérimentalement par le point d'inflexion de la droite établie pour une propriété physique de la solution en fonction de la concentration en tensioactif [20].

c- Point de trouble (TPT)

Typiquement à la figure 5, les surfactants non-ioniques deviennent troubles lorsqu'ils sont chauffés à une température qui s'appelle « la température du trouble ». Au-dessus de

cette dernière, la solution micellaire se sépare en deux phases ; l'une est riche en TA et s'appelle «coacervat» et l'autre «diluée», elle possède une concentration en TA au voisinage de la CMC avec un volume plus important [21].

Par ailleurs, il est connu que la formule chimique des tensioactifs non ioniques a une influence assez importante sur le point de trouble. Signalons également que cette température est très sensible aux agents externes, tels que, l'ajout des électrolytes, la présence des alcools, les additifs organiques et la présence des autres tensioactifs ioniques [18].

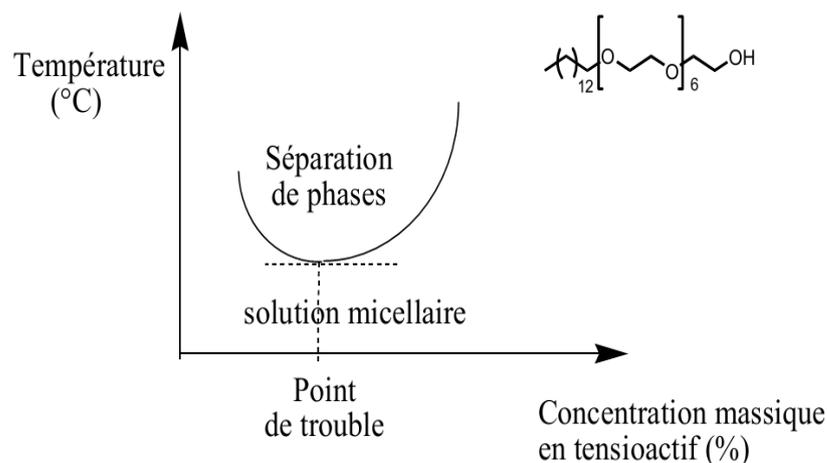


Figure I-5 : Diagramme de phase du tétradécylhexaoxyéthylène glycol dans l'eau[22]

d- Balance hydrophile – lipophile (HLB)

Le concept HLB permet de formuler de manière particulièrement rationnelle, des émulsions stables. Cette méthode est basée sur la classification des tensioactifs par hydrophilie croissante. Ça correspond au rapport entre la longueur de la chaîne lipophile, ayant une affinité pour les huiles et les groupes hydrophile, ayant une affinité pour l'eau [23]. C'est une échelle arbitraire comprise entre 0 et 20 qui exprime numériquement la taille et la force de la proportion polaire par rapport à la proportion monopolaire de la molécule. Or, il est à noter que la HLB des émulsifiants est classée selon l'échelle de Davies (figure 6).

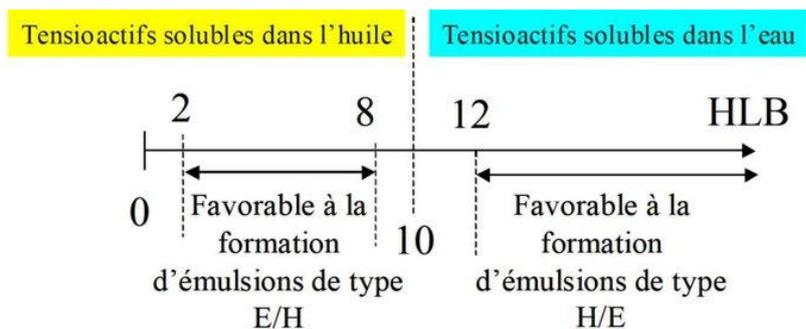


Figure I-6: Propriété du tensioactif en fonction de sa HLB avec E/H émulsion d'eau dans l'huile et H/E émulsion d'huile dans l'eau [24]

En outre, elle permet de comparer différents types chimiques de tensioactifs, elle fournit une méthode systématique de sélection de mélanges d'agents émulsifiants pour produire des émulsions stables sur le plan physique. Plus la valeur du HLB du tensioactif est élevée, plus l'émulsion est hydrophile, et plus la valeur du HLB du tensioactif est faible, plus l'émulsion est lipophile [25].

e- Solubilisation

Elle consiste en une dissolution spontanée d'un composé (*solubilisât*) dans les agrégats micellaires. Cette dissolution est régie par des interactions physiques réversibles (électrostatique, agrégation hydrophobe-hydrophobe, hydrophile-hydrophile ou par formation de liaisons hydrogène) qui peuvent avoir lieu entre le solubilisât et les micelles de l'alcool polyéthoxylé utilisé [26].

En outre, beaucoup de travaux de recherches [27,28] ont permis la localisation des 5 sites de solubilisations de la micelle. En effet, selon la nature et la polarité du solubilisât, on peut distinguer les quatre sites illustrés dans la figure 7.

- **Site (I)** : l'adsorption à la surface des micelles peut se produire avec des solubilisâts (métalliques ou organiques) dans les micelles ioniques ou mixtes ;
- **Site (II)** : les solubilisâts comme le phénol et l'o-nitroaniline sont incorporés (généralement par des liaisons hydrogène) entre les chaînes d'oxyde d'éthylène des tensioactifs polyéthoxylés ;
- **Site (III)** : certains solubilisâts comme le benzène et le naphthalène sont orientés de manière radicale dans la micelle entre les parties hydrophiles et hydrophobes ;
- **Site (IV)** : les solubilisâts non polaire comme les hydrocarbures aliphatiques sont solubilisés dans le cœur hydrocarboné des micelles.

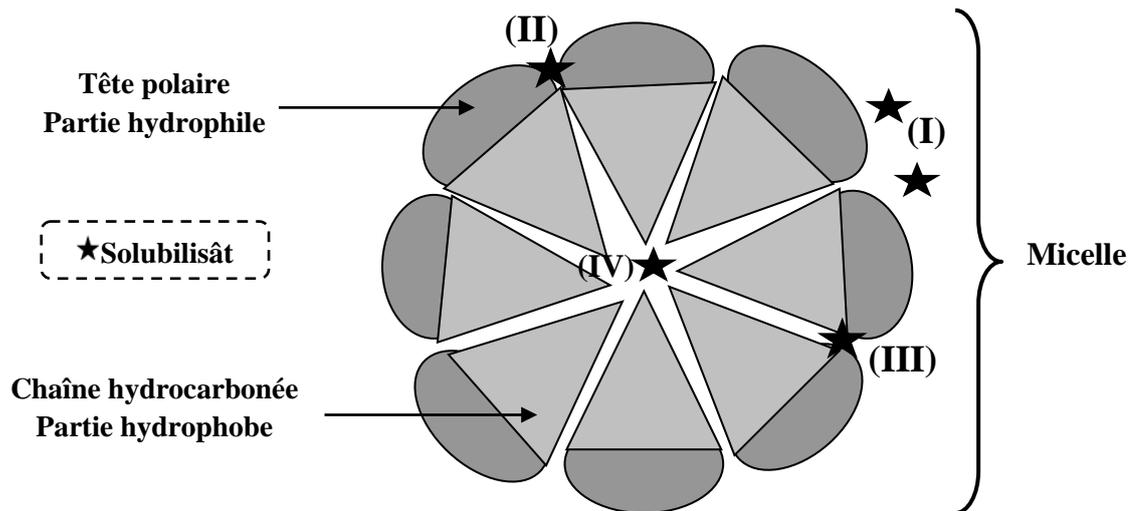


Figure I-7: Sites d'incorporation des solubilisés dans la micelle [28]

5- Morphologie des agrégats

En jouant sur la structure des chaînes hydrophobe et hydrophile ainsi que la concentration du tensioactif, la nature du solvant, la concentration d'un sel ou d'un cotensioactif ajouté, et enfin la température, on obtient des agrégats de structures très variées (figure 8) : micelles directes sphéroïdales, cylindriques, micelles inverses, vésicules, cristaux liquides lyotropes cubiques, hexagonaux ou lamellaires [29].

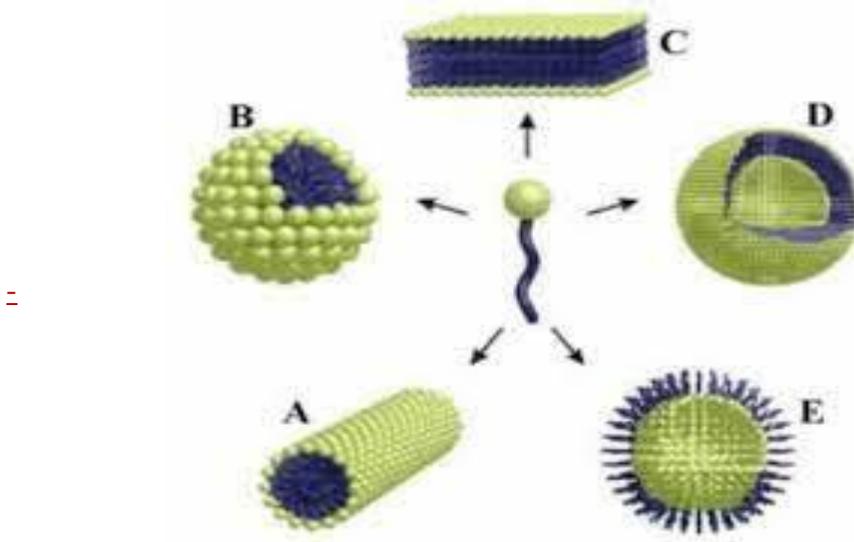


Figure I-8: Types de morphologie d'agrégats de tensioactif. (A): Micelle cylindrique. (B): micelle sphérique directe. (C): Structure lamellaire. (D) : vésicule. (E) : Micelle inverse [18]

V. APPLICATION DE LA CPE DANS L'EXTRACTION DU PHENOL

Le surfactant non ionique utilisé dans ce présente mémoire est le Tween 20. Il est utilisé pour l'extraction et la pré-concentration du polluant organique qui est dans notre travail le phénol.

1- Tween 20

Le tween 20, nommé également **polysorbate 20** ou **polyoxyéthylène 20**, se compose de sorbitol d'oxyde d'éthylène et d'acide laurique. Sa structure chimique ainsi que ses propriétés physico-chimiques sont représentées dans la figure 9 et le tableau 2 respectivement.

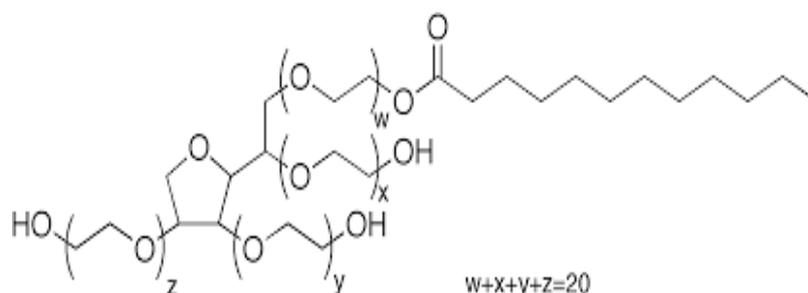


Figure I-9: Structure chimique du Tween 20

Tableau I-2 : Propriétés physico-chimique du TWEEN 20 [30].

APPARENCE	Liquide visqueux
COULEUR	Jaune / Jaune à vert
FORMULE CHIMIQUE	$C_{58}H_{114}O_{26}$
MASSE MOLAIRE (g/mol)	1227,54
DENSITE A 25°C	1,095
INDICE DE REFRACTION	1,4685
CONCENTRATION MICELLAIRE CRITIQUE (mg/L)	60
HLB	16,7
TEMPERATURE DE FUSION (°C)	110
TEMPERATURE D'EBULLITION (°C) A 760mmHg	695,8

Par ailleurs, le Tween 20 trouve un vaste domaine d'application en raison de sa stabilité et sa non-toxicité relative. Il est utilisé dans :

- ✚ Industries : chimique, pharmaceutique, biologique, alimentaire et textile.
- ✚ Restauration et conservation.
- ✚ Industries des élastomères.

2- Phénol

Le phénol, un solide cristallin blanc et incolore à température ambiante, également connu sous le nom d'acide carboxylique et d'acide phénique, est un composé organique présent dans la nature. il a tendance à s'oxyder légèrement au contact de l'air pour donner des traces de [quinones](#) qui le colorent en rose, puis en rouge.

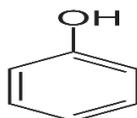


Figure I-10 : Structure chimique du phénol

Tableau I-3 : Propriétés physiques du phénol [31].

PHENOL	PROPRIETES
  	Formule : C_6H_6O
	Masse molaire : 94,11 g/mol
	Point de fusion : 40,9 °C
	Point d'ébullition : 181,8 °C
	Densité : 1,07
	Densité gaz/vapeur : 3,24
	Viscosité : 3,44 mPa.s
	Température d'auto-inflammation : 715 °C
	Masse volumique : 1,07 g/cm ³
	Constante Cryscopique: 6,84°C.Kg/mol

a- Impact du phénol sur l'être humain

Le phénol et ses vapeurs sont irritants, corrosifs et nuisibles pour les yeux, la peau et les voies respiratoires. A des concentrations de vapeur de phénol comprises entre 1,6 et 5,2 ppm et au bout de 6 heures, l'absorption est estimée à 70 – 80 % [32]. En effet, il est très toxique pour les neurones. S'il est injecté dans le sang, il peut entraîner une mort instantanée en bloquant le système de transmission neuronale (dépression du système nerveux central).

Il provoque également l'érythème, la pigmentation de la peau et dans les cas les plus graves, la nécrose.



Figure I-11 : Impact du phénol sur l'être humain

b- Impact du phénol sur l'environnement

Le phénol est présent dans l'air, l'eau et le sol. Les sources de pollution sont généralement associées aux émissions provenant de la fabrication ou de l'utilisation du phénol et de ses dérivés. En Algérie, les sources de pollution par le phénol et ses dérivés sont largement réparties (industries pétrochimiques et mécaniques, papeteries, ...) [33]. Les raffineries de pétrole sont une source majeure de cette pollution.



Figure I-12 : Impact du phénol sur l'environnement

c- Application

Le phénol a été largement utilisé comme antiseptique et anesthésique dans les pastilles contre les maux de gorge, et aussi comme précurseur polyvalent d'une grande variété de médicaments, notamment l'aspirine et de nombreux herbicides.

Il est également employé dans les laboratoires de chimie, ainsi que dans la fabrication de plastiques, d'engrais, de peintures, de caoutchouc, d'adhésifs, de papier et de savon [34].

PARTIE B : ULTRASONS

I- INTRODUCTION

Le son est une onde (vibration) mécanique produite par tout corps solide, liquide, ou gazeux qui se propage dans un milieu avant de se transmettre à l'oreille. De toutes les ondes acoustiques, seules certaines peuvent être audibles (perçues par l'oreille). Il s'agit des ondes dont la fréquence est comprise entre 20 Hz et 20 000 Hz. En dessous de 20 Hz, on parle des infrasons et au-delà de 20 000 Hz, on parle des ultrasons.

II- QU'EST-CE QUE L'ULTRASON

Le terme ultrasons désigne les vibrations acoustiques dont la fréquence dépasse la limite supérieure de la perception humaine (> 20.000 Hz). Ces ondes sonores se propagent de proche en proche par compression et décompression des molécules dans un milieu matériel.

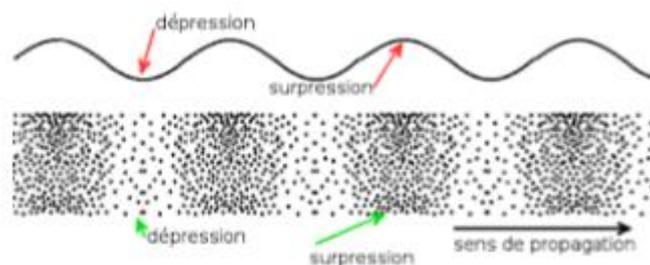


Figure I-13 : Onde acoustique longitudinale

Par ailleurs, les ultrasons de haute amplitude sont parfois appelés soniques tandis que les hypersons se rapportent aux ondes sonores dont la fréquence dépasse 10^{13} Hz.

III- PRINCIPE DES ULTRASONS

1. Dans l'air

Un émetteur à ultrasons émet à intervalles réguliers de courtes impulsions sonores à haute fréquence (figure 11). Ces impulsions se propagent à la vitesse du son. Lorsqu'elles rencontrent un objet, elles se réfléchissent et reviennent sous forme d'écho au récepteur. Celui-ci calcule la distance le séparant de la cible sur la base du temps écoulé entre l'émission du signal et la réception de l'écho [35].

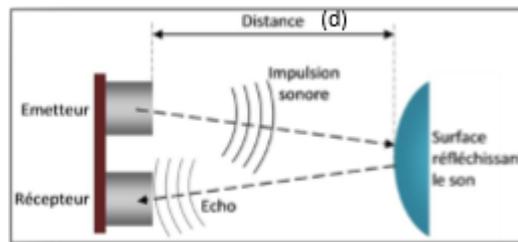


Figure I-14 : Principe d'ultrason

2. Dans un liquide

Sous l'effet des ultrasons, il se forme des microbulles. C'est l'effet de cavitation. Ces microbulles, mises en pulsion par les ondes ultrasonores, vont grandir jusqu'à leur taille maximale et imploser. Elles restituent alors, lors de cet effondrement, leur énergie sous forme d'onde de choc (et d'un dégagement de chaleur). C'est cet effet d'onde de choc qui va être utilisé avec les bains de nettoyage ou les désintégrateurs [36].

IV- CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES ULTRASONS

- Fréquence f (Hz) : 20 kHz et 100 MHz
- Période T (s) : $T=1/f = \lambda / c$
- Longueur d'onde λ (m) : $\lambda = c / f = c \cdot T$
- Célérité c : vitesse (m/s) : $c = f \cdot \lambda = \lambda / T$
- Intensité I (Watt/cm²) = Energie Transportée par unité de surface : $I = P c^2 / 2 \rho c$
- Le niveau sonore L (dB) entre deux ondes ultrasonore (I_1 et I_2) : $L = D = 10 \log (I_2 / I_1)$

V- GENERATEUR A ULTRASONS

Il existe deux grands procédés pour générer les ondes acoustiques de très haute fréquence :

- 1- Le premier utilise les propriétés de piézo-électricité d'un monocristal de quartz ou de certaines céramiques;

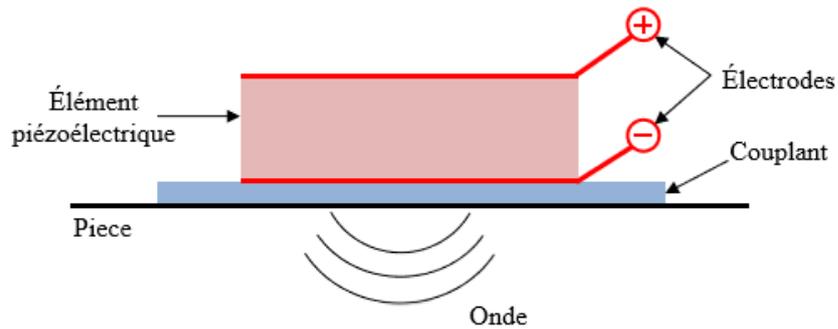


Figure I-15: Schéma de principe d'une sonde piézoélectrique

- 2- Le second procédé exploite la magnétostriction (découverte par Joules), due à la dilatation ou à la contraction d'un corps sous l'action d'un champ magnétique.

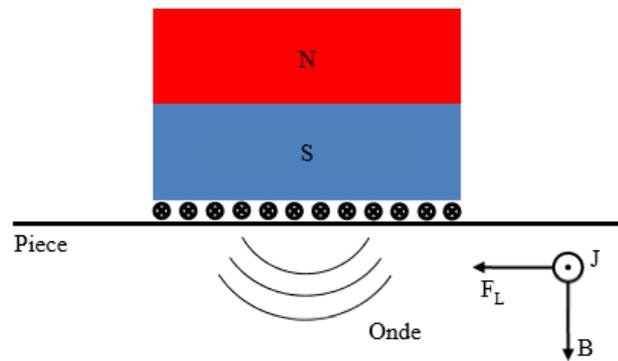


Figure I-16 : Principe d'une sonde sonore électromagnétique

Ces deux types de générateurs (piézo-électrique et magnétostrictif) transforment l'énergie électrique en vibrations sonores. Ils sont réversibles et peuvent délivrer de l'énergie électrique à partir d'oscillations mécaniques qui leur sont appliquées.

VI- APPLICATION DES ULTRASONS

- En métallurgie, les ultrasons sont largement utilisés pour la solidification des métaux, ainsi que pour leur précipitation, agglomération, émulsion et dispersion. Les ultrasons de 1,6 KHz et de 1000 impulsions/seconde sont employés pour détecter les défauts éventuels des barres d'acier et pour mesurer l'épaisseur des tôles.
- Le Sonar (Sound Navigation and Ranging) sert à mesurer la profondeur de l'eau dans la cartographie des fonds marins, à détecter les objets immergés (sous-marins, mines) et à localiser les bancs de poissons, Ces appareils fonctionnent à des fréquences de 5.000 à 50.000 Hz.

- Le contrôle du trafic routier, le nettoyage industriel, le vieillissement des vins, la prise du ciment, l'enregistrement des entrées et sorties, la dispersion du brouillard et le microscope à ultrasons.
- En médecine : échographie,...

PARTIE C : PLAN D'EXPERIENCES COMPLET 2³

I- INTRODUCTION

Le plan d'expériences constitue une méthodologie de planification et de modélisation qui a pour objectif d'obtenir des conclusions adéquates de manière efficace, rapide et économique grâce à une analyse et à une interprétation statistique relativement simple des résultats [36].

II- TERMINOLOGIE

1- Facteur ou paramètre (quantitatif ou qualitatif)

Il peut être toute variable obligatoirement contrôlable, pouvant influencer sur la réponse observée. Les facteurs peuvent être : quantitatifs, qualitatifs, continus ou discontinus.

2- Niveaux et domaine d'étude de chaque facteur

En plans d'expériences, lorsque nous étudions l'influence d'un facteur, en général, nous limitons sa variation entre deux bornes appelées respectivement : niveau bas (-1) et niveau haut (+1) qui définissent le domaine d'étude de ce facteur.

3- La réponse du système

C'est le résultat mesuré d'une étude, Sachant que chaque point du domaine d'étude correspond à une réponse. La valeur d'une réponse ne peut être modifiée que de manière indirecte en faisant varier les facteurs.

4- Plan complet

L'étude d'un plan complet consiste à examiner toutes les combinaisons possibles des facteurs pris en considération dans l'expérience. On note ce plan X^k ce qui signifie que cette expérimentation concerne un système comportant k facteurs à X niveaux. Le nombre d'essais nécessaires pour l'ensemble des combinaisons est assez facile à calculer.

Exemple : un plan complet à 2 niveaux et avec 4 facteurs nécessite $2^4 = 16$ expériences à réaliser.

III- INTERET DES PLANS D'EXPERIENCES

Nous pouvons résumer les principaux avantages de cette méthode par rapport aux méthodes traditionnelles d'expérimentation comme suit :

- Diminution du nombre d'essais ;
- Possibilité d'étudier un très grand nombre de facteurs ;
- Détection des éventuelles interactions entre facteurs ;
- Modélisation très aisée des résultats ;
- Détermination des résultats avec une bonne précision.

IV- DEMARCHE GENERALE A SUIVRE

Afin d'étudier un phénomène quelconque et en tirer les conclusions nécessaires, il faut suivre la démarche suivante :

- 1- Identifier le problème et déterminer l'objectif à atteindre ;
- 2- Définir les paramètres et les interactions qui semblent plus influentes ;
- 3- Construire la matrice du plan envisagé ;
- 4- Réaliser les expériences et estimer les réponses ;
- 5- Analyser les résultats : analyses graphiques et analyses statistiques ;
- 6- Conclure.

V- PRINCIPE DU PLAN D'EXPERIENCES COMPLET 2³

Ayant trois facteurs prenant chacun deux niveaux, il convient de choisir un plan d'expériences factoriel complet type 2³ caractérisée par la matrice illustrée dans le tableau 4. Il s'agit donc de réaliser 8 expériences. Ces dernières représentent les sommets du cube élémentaire de la figure 17.

Tableau I-4 : Matrice du plan factoriel 2³

Numéro de l'expérience	X1	X2	X3	Réponse (Y)
1	+1	+1	+1	Y1
2	+1	+1	-1	Y2
3	+1	-1	+1	Y3
4	+1	-1	-1	Y4
5	-1	+1	+1	Y5
6	-1	+1	-1	Y6
7	-1	-1	+1	Y7
8	-1	-1	-1	Y8

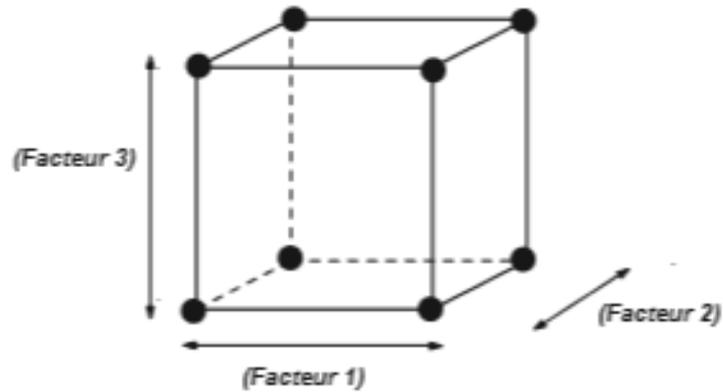


Figure I-17 : Plan d'expériences complet 2^3 en trois dimensions

Or, chaque point expérimental apporte une valeur de la réponse, qui est par la suite modélisée par un polynôme (équation (1)) dont les coefficients sont les inconnus qu'il faut déterminer.

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{23}X_2X_3 + a_{123}X_1X_2X_3 \dots\dots\dots$$

eq(1) Où:

- Y est la réponse ;
- X_1, X_2, X_3 : variables réduites attribuées aux facteurs ;
- $a_0, a_1, a_2, a_3, a_{12}, a_{13}, a_{23}, a_{123}$: coefficients du modèle mathématique.

VI- LISSAGE DES POINTS

La validité du modèle mathématique établi nécessite la vérification du lissage. Ce dernier consiste à tracer le graphique représentant les réponses trouvées expérimentalement avec celles calculées par le modèle.

MATERIELS ET METHODES

MATERIELS ET METHODES**I. INTRODUCTION**

Ce chapitre est dédié à la présentation du matériel utilisé, accompagnée d'une description de toutes les opérations effectuées au cours de ce présent travail.

II. MATERIELS**1- Produits chimiques**

Les composés chimiques, organiques ou minéraux, utilisés dans notre recherche sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Tableau II-1 : Produits chimiques utilisés

PRODUITS CHIMIQUES	FORMULES CHIMIQUES	FOURNISSEUR
TWEEN 20	$C_{58}H_{114}O_{26}$	SIGMA – ALDRICH
PHENOL	C_6H_5OH	RIEDEL-DE HAËN
SULFATE DE SODIUM	Na_2SO_4	CARLO ERBA REAGENTS
ACETATE DE SODIUM	CH_3COONa	RIEDEL-DE HAËN
CHLORURE DE POTASSIUM	KCl	RIEDEL-DE HAËN
CHLORURE DE SODIUM	NaCl	PROLABO
ACIDE SULFURIQUE	H_2SO_4	VWR CHEMICALS PROLABO
HYDROXYDE DE SODIUM	NaOH	BIO CHEM

2- Instruments

Les différents instruments utilisés dans notre travail sont mentionnés dans le tableau 2.

Tableau II-2 : Liste des instruments utilisés

INSTRUMENT	TYPE	EMPLOI
 <p>Balance analytique</p>	OHAUS Carat Series	<p>Mesure de masses avec haute précision</p> <p>($\Delta m = \pm 0,0001 \text{ g}$)</p>
 <p>Agitateur magnétique chauffant</p>	VELP SCIENTIFICA	<p>Agitation magnétique et / ou chauffage de mélange</p>
 <p>pH-mètre</p>	<p>Multi paramètre analyser Consort C5010</p>	<p>Mesure du pH de solutions</p>
 <p>Bain thermostaté</p>	<p>THERMO-CIRCULATOR (LabTech Daihan Co)</p>	<p>Chauffage dans un bain marie avec contrôle automatique de la température.</p>

Tableau II-2 : Liste des instruments utilisés (suite)

 Spectrophotomètre UV- visible	HACH LANGE	Analyse qualitative et quantitative de l'espèce à doser.
 Centrifugeuse	SIGMA	Séparation par décantation des différents constituants d'un mélange liquide ou colloïdal.
 Bain à ultrason	DAIHAN Scientific UltrasonicCleaner	Production d'ondes ultrasonores de fréquences allant de 20KHz à 400 KHz.
Distillateur	YOUNG LIN	Production d'eau distillée
Micropipettes (100 et 1000 μ L)	ACCUMAX	Prélèvement de volumes
Verrerie	Tubes à essais gradués de 15 mL	Expériences d'extraction
	Fioles jaugées de 50, 100 et 250 mL	Préparation de solutions

III. PREPARATION DES SOLUTIONS

- 1^{ère} étape : On calcule le volume ou la masse nécessaire pour préparer la solution souhaitée de concentration déterminée (tableau 3).

Tableau II-3 : Grandeurs à respecter en préparation de solutions

SOLUTION	CONCENTRATION (mol/L)	VOLUME TOTAL (mL)	MASSE OU VOLUME A MESURER	CALCUL DE LA MASSE OU DU VOLUME
PHENOL	10^{-3}	250	0,024 g	$m = C \cdot V \cdot M$ $m = 10^{-3} \cdot 250 \cdot 10^{-3} \cdot 94,11 = 0,024 \text{ g}$
NaOH	0,75	100	3 g	$m = C \cdot V \cdot M$ $m = 0,75 \cdot 100 \cdot 10^{-3} \cdot 40 = 3 \text{ g}$
H ₂ SO ₄	0,75	100	4,20 mL	$C_1 V_1 = C_2 V_2$ $V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{0,75 \cdot 100 \cdot 10}{17,82} = 4,20 \text{ mL}$

- 2^{ème} étape : Dans une fiole jaugée contenant une petite quantité d'eau distillée, on introduit une masse (m) ou un volume (V) de soluté. Puis, on agite jusqu'à dissolution totale du soluté. Ensuite, on ajuste le volume avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. On bouchonne puis on homogénéise la solution. Enfin, on fixe une étiquette portant le nom de la solution.

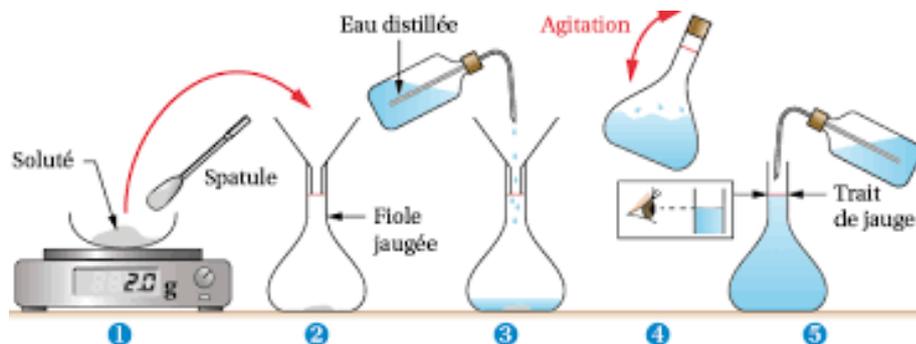


Figure II-1 : Schéma descriptif de la procédure générale de préparation des solutions

IV. CARACTERISATION DU PHENOL

1- Etude par spectrophotométrie UV-Visible

a- Détermination de la longueur d'onde maximale

Pour se faire, on réalise un balayage de longueur d'onde de 200 à 400 nm sur une solution aqueuse de phénol à 10^{-3} mol/L. Le spectre obtenu (absorbance (A) en fonction de la longueur d'onde (λ)) donne un maximum d'absorption à une longueur d'onde déterminée. Cette dernière correspond à λ_{\max} .

b- Etablissement de la courbe d'étalonnage

La courbe d'étalonnage est le tracé de l'absorbance (A) en fonction de la concentration (C) du phénol. Pour l'établir, on prépare une série de solutions filles de 10 mL de volume et à de concentrations $5 \cdot 10^{-4}$, 10^{-4} , $5 \cdot 10^{-5}$, 10^{-5} mol/L. Et ceci à partir d'une solution mère de phénol 10^{-3} mol/L (tableau 4).

Tableau II-4 : Volumes (V_1) à prélever de phénol.

CONCENTRATIONS DES SOLUTIONS FILLES (mol/L)	$5 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	$2 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
V_1 (ml)	0,5	1	2	3

Exemple de calcul :

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = (C_2 V_2) / C_1 \rightarrow V_1 = (5 \cdot 10^{-5}) * 10 / 10^{-3} \rightarrow V_1 = 0,5 \text{ mL}$$

2- Etude de l'effet de pH sur le phénol

A l'aide d'un pH-mètre et de solutions aqueuses molaires de H_2SO_4 et de NaOH, on ajuste le pH des solutions phénoliques ($5 \cdot 10^{-4}$ M) à pH = 2, 4, 7, 10 et 12. Ensuite, on tire le spectre UV-Visible de chaque solution.

3- Etude de l'effet de la température sur le phénol

On chauffe plusieurs solutions phénoliques ($5 \cdot 10^{-4}$ M) à différentes températures allant de 25°C à 85°C avec un pas de 5°C pendant 15 mn. Ensuite, on suit l'effet de chaque température par spectroscopie UV-Visible.

4-Etude de l'effet de l'ultrason sur le phénol

Dans un bain à ultrason, on introduit 5 tubes de solution du phénol à 5.10^{-4} M ; à des temps différents en minutes [1-5-15-20-30] et différents pourcentages de puissances [0-20-40-60-80] , qui seront doser par la suite par spectrophotométrie UV.

V. ETUDE DE POINT DE TROUBLE

L'étude de l'influence de certains paramètres clés sur le point de trouble du tween 20 est primordiale surtout si on vise par la suite de faire la modélisation de l'extraction par plans d'expériences. En effet, on étudie l'effet de ces paramètres un par un. Ce qui nous emmène à examiner les systèmes Tween 20 / H₂O / paramètre clé. Ensuite on trace les diagrammes binaires : température du point de trouble en fonction du paramètre clé. La figure 2 mentionne les différentes étapes de cet étude.

Ainsi, les paramètres clés envisagés sont :

- ❖ Taux de Tween 20 : 0,2 – 1 – 2 – 4 – 5 – 6 – 8 – 10 – 12 – 14% (% w/w) ;
- ❖ Force ionique : KCl, NaCl , Na₂SO₄ , CH₃COONa : 0,1 – 1 – 2 – 4 – 6 – 8 – 10 – 12 – 14 – 16 – 18 – 20 % (% w/w) ;
- ❖ Concentration du phénol : [Phénol] = 10^{-3} – 5.10^{-4} – 10^{-4} – 5.10^{-5} – 10^{-5} mol/L;
- ❖ Ondes ultrasonores
 - Variation de la température : 25 – 30 – 35 – – 80 – 85°C un pas de 5°C ;
 - Variation du temps d'exposition : 1 – 5 – 15 – 20 – 30 min ;
 - Variation de la puissance : 20% – 40% – 60% – 80%

Calculons les puissances en Watt des fréquences utilisées (%) :

Sur l'appareil est mentionné la puissance maximale qui est 425 watt :

Exemple de calcul : $P = (20 \cdot 425) / 100 \longrightarrow P = 85 \text{ watts}$

{	20%	→ 85 Watts
	40%	→ 170 Watts
	60%	→ 255 Watts
	80%	→ 340 Watts

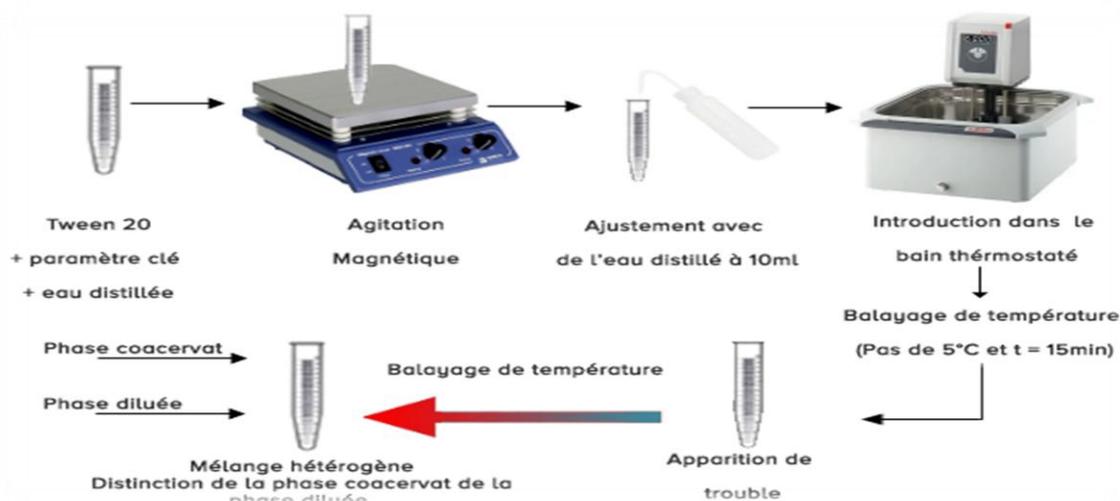


Figure II-2: Différentes étapes de l'étude du point de trouble

VI. PROCEDURE GENERALE D'EXTRACTION PAR COACERVAT DU PHENOL

L'extraction du phénol a été réalisée selon la figure 3 dans des tubes gradués de 15 mL, contenant, en proportions bien déterminées, le tensioactif non ionique (Tween 20), le sel (sulfate de sodium) et le phénol en solution de concentration 10^{-3} M, ajusté par le pH choisi (2-7-4,5]. On agite le mélange jusqu'à dissolution complète puis on ajuste le volume total à 15 mL par la même solution du phénol. On laisse reposer les tubes pendant 24 heures à température ambiante.

Après écoulement du temps, une séparation de phase se produit. La phase diluée est séparée de la phase coacervat, puis dosée par spectrophotométrie UV.

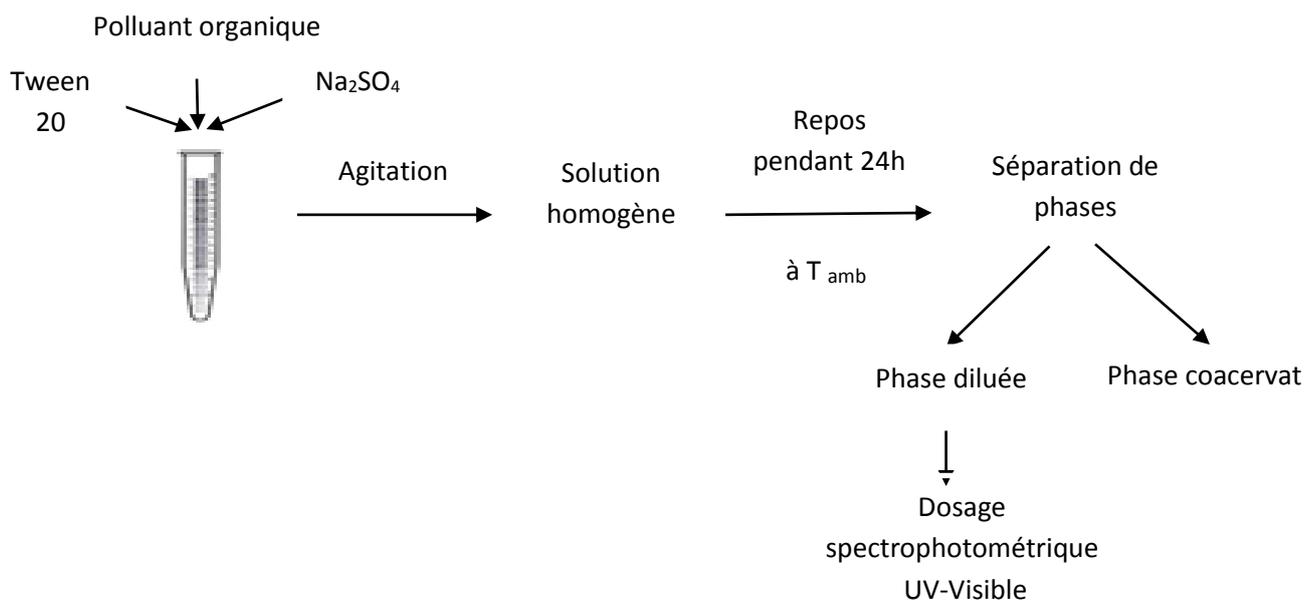


Figure II-3 : Schéma descriptif de la procédure générale d'extraction

VII. DOSAGE SPECTROPHOTOMETRIQUE UV-VISIBLE DU PHENOL

1- Principe de la spectrophotométrie UV-visible

La spectrophotométrie est une méthode analytique qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée en solution. Plus cette espèce est concentrée plus elle absorbe la lumière dans les limites de proportionnalités énoncées par la loi de Beer-Lambert $A = \epsilon I C d$ où l'absorbance est une valeur positive adimensionnelle qui est d'autant plus grande lorsque l'intensité transmise est faible

Par ailleurs, le spectrophotomètre peut être utilisé pour mesurer de manière instantanée une absorbance à une longueur d'onde donnée ou pour produire un spectre d'absorbance (spectrophotomètre à balayage). Son principe de fonctionnement est décrit par la figure 4.

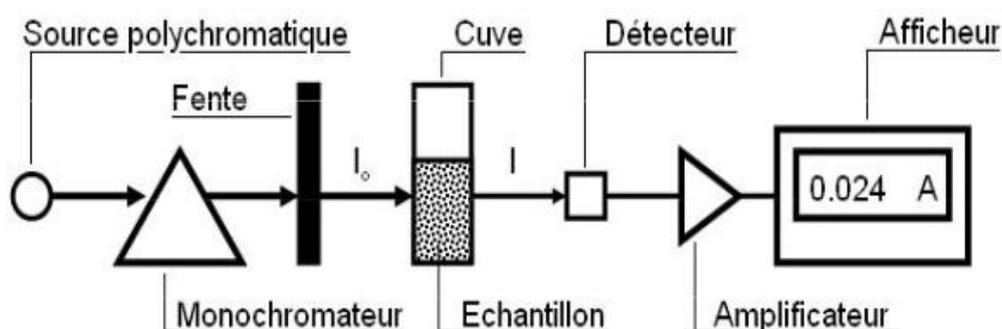


Figure II-4 : Principe de fonctionnement d'un spectrophotomètre UV-Visible

2- Dosage spectrophotométrique UV-visible du phénol

L'échantillon phénolique aqueux est dosé directement sans ajout d'agent chromophore. Ainsi, l'absorbance du phénol est lue à $\lambda_{\max} = 270 \text{ nm}$.

Par ailleurs et dans le cas des absorbances supérieures à l'unité, des dilutions d'un dixième ($\frac{1}{10}$) sont appliquées en prenant $200 \mu\text{L}$ de la solution phénolique et $1800 \mu\text{L}$ d'eau distillée.

RESULTATS ET DISCUSSION

RESULTATS ET DISCUSSION

I- PROBLEMATIQUE

L'extraction par coacervat, assistée par ultrason, à température ambiante est une alternative intéressante pour extraire le phénol à une concentration 300 fois supérieure à celle admissible par l'organisation mondiale de la santé (OMS) qui est de l'ordre de 0,3 mg/L [31].

Pour ce faire, nous avons opté d'utiliser le système composé de phénol (polluant), TWEEN 20 (tensioactif non ionique), sel (KCl, NaCl, Na₂SO₄ ou CH₃COONa) et des ondes ultrasonores.

En effet, des diagrammes binaires, illustrant les effets des paramètres cités auparavant sur la température du point de trouble du TWEEN 20, ont été établis afin de cerner les différents facteurs qui régissent cette extraction.

Enfin, l'extraction du phénol est examinée et modélisée par un plan d'expériences complet à deux niveaux et avec trois facteurs, type 2³.

II- ETUDE SUR LE PHENOL

1- Détermination de la longueur d'onde maximale (λ_{max})

La figure 1 représente le spectre UV de la solution aqueuse incolore de phénol à 5.10^{-4} mol/L. Il est obtenu suite à un balayage de la longueur d'onde de 200 nm jusqu'à 400 nm.

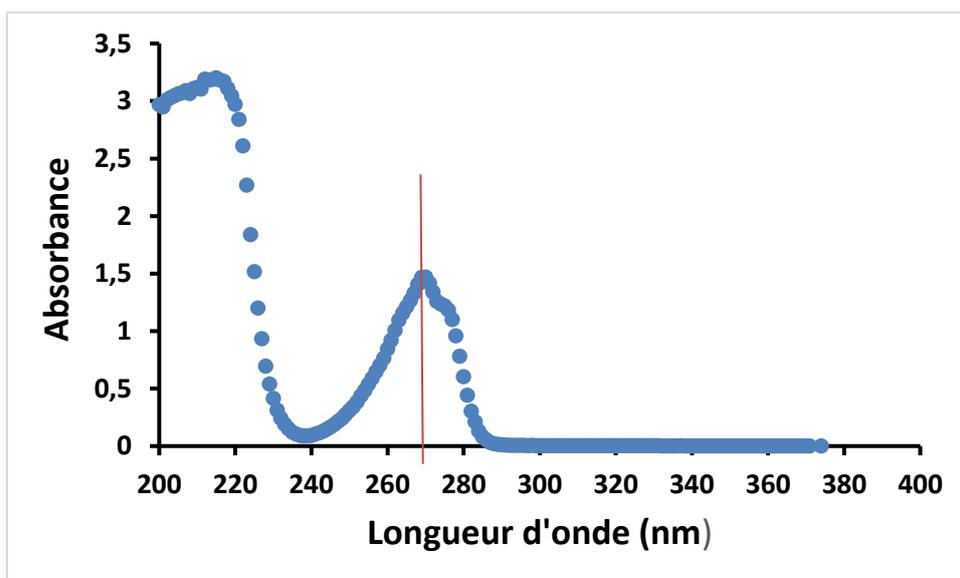


Figure III-1 : Spectre spectrophotométrique UV du phénol à 10^{-3} mol/L

2- Etablissement de la courbe d'étalonnage

La courbe d'étalonnage est le tracé de l'absorbance (mesurée à $\lambda_{\max} = 270$ nm) à différentes concentrations en phénol. Ainsi, la figure 2 montre une droite d'étalonnage dont la formule est indiquée par l'équation (eq (1)). Elle est caractérisée par un coefficient de régression R^2 égal à **0,998**.

$$A = 1666,8.C + 0,0089 \dots\dots\dots \text{eq}(1)$$

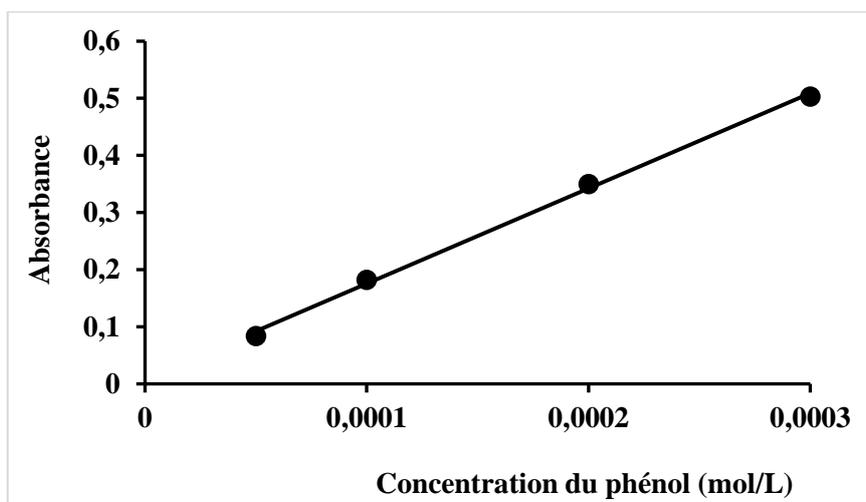


Figure III-2 : Courbe d'étalonnage du phénol

3-Influence du pH sur le phénol

Le phénol (C_6H_5-OH) possède une bande d'absorption centrée dans l'ultraviolet à 270 nm. En milieu basique, il est transformé quantitativement en sa base conjuguée qui est en occurrence l'ion phénolate ($C_6H_5-O^-$). La déprotonation et le passage du phénol à l'ion phénolate provoquent un effet bathochrome. Ce dernier résulte du déplacement (shift) de la bande d'absorption vers les longueurs d'onde élevées.

En effet, l'analyse de la figure 3 montre ce shift de longueur d'onde. Il est clairement observé à pH égal à 10 et 12. On peut donc conclure que :

→ **pH > 10** : la forme phénolate qui prédomine.

→ **$2 \leq \text{pH} \leq 7$** : la forme phénol qui règne.

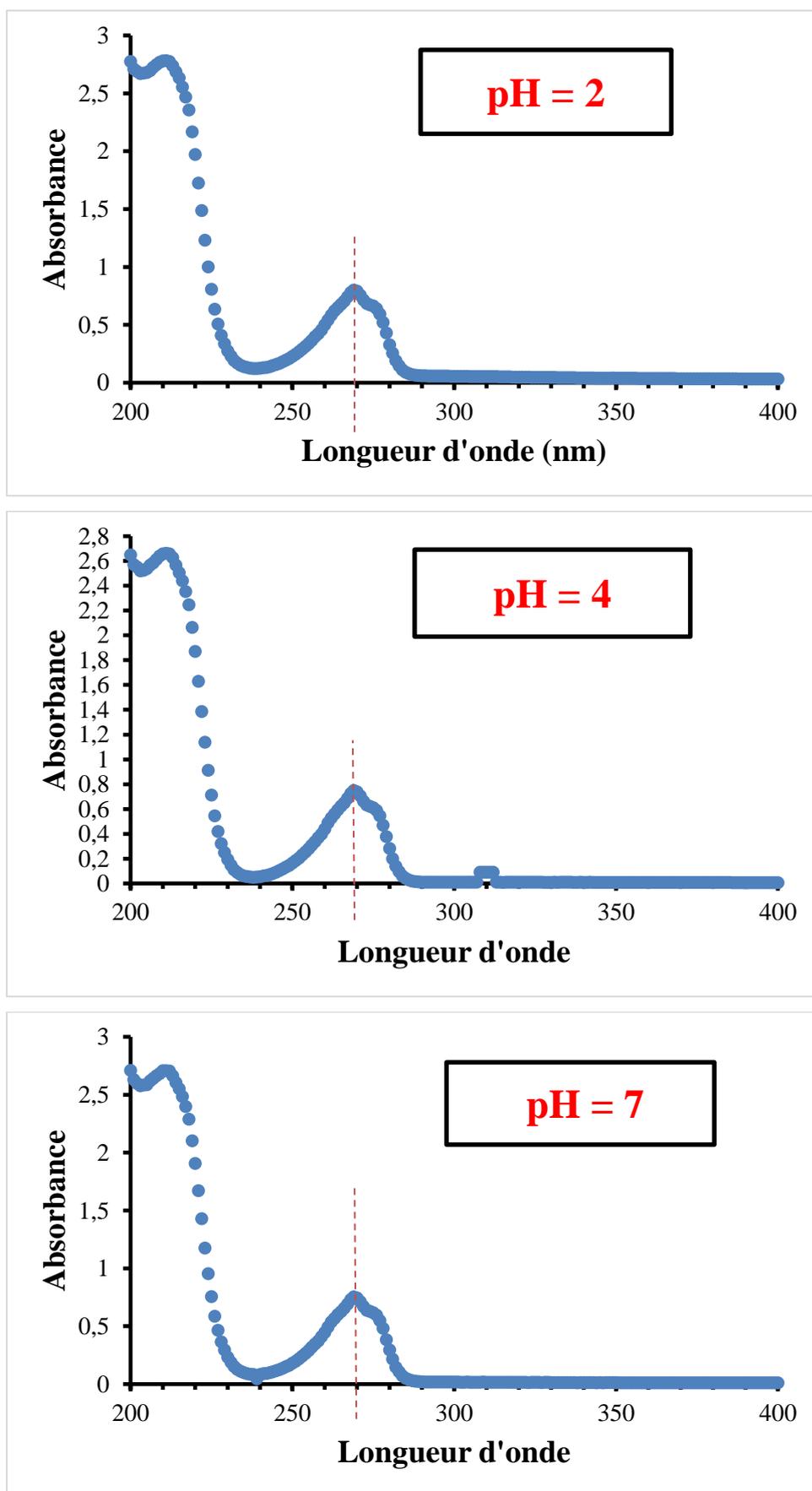


Figure III-3 : Effet du pH sur le phénol à 5.10^{-4} mol/L

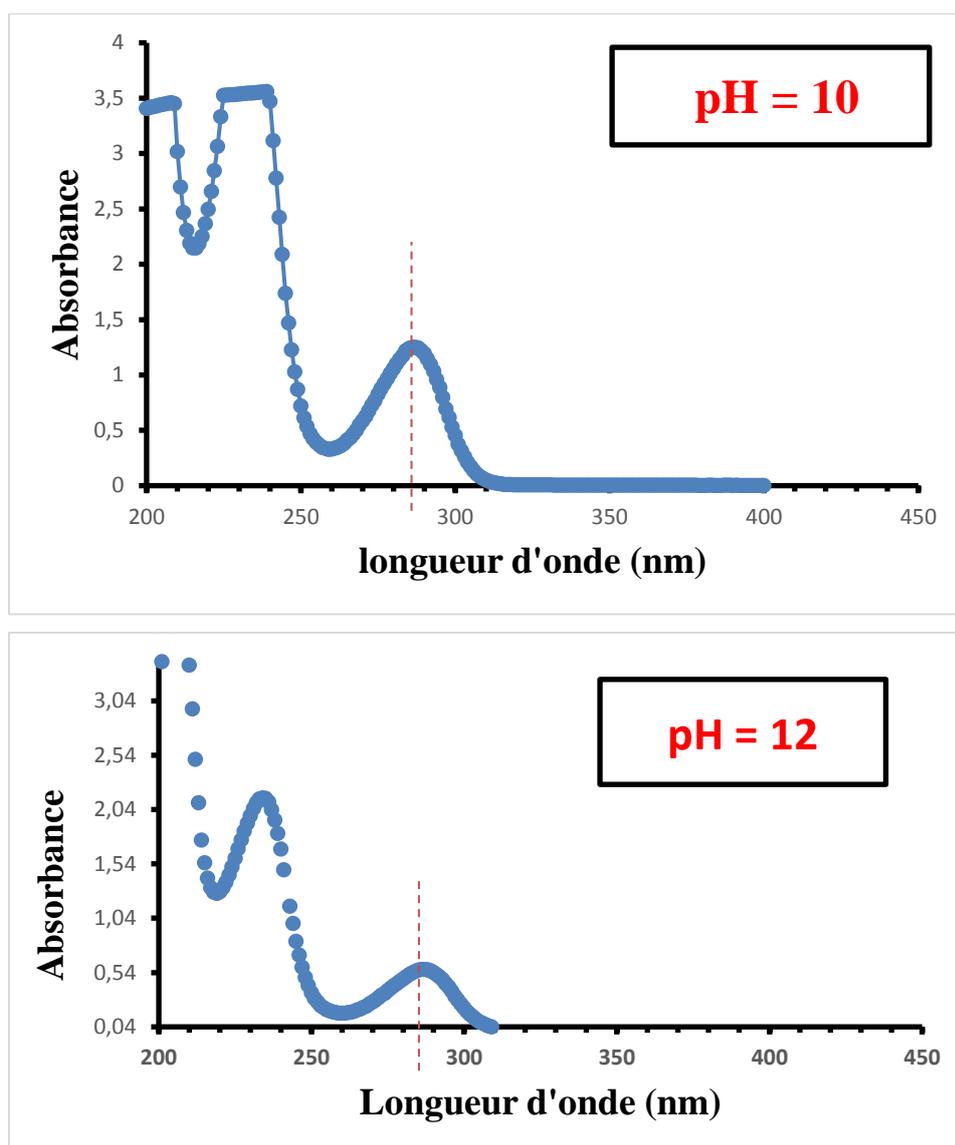


Figure III-3 : Effet du pH sur le phénol à $5 \cdot 10^{-4}$ mol/L (suite)

4- Influence de la température sur le phénol

L'influence de la température a été examinée sur une série de solutions aqueuses de phénol à $5 \cdot 10^{-4}$ M, chauffées de 25°C jusqu'à 85°C avec un pas de 5°C. Cette étude a été suivie par spectrophotométrie UV.

Les résultats ont montrés que la température n'a aucun effet sur le phénol. Le suivi par spectrophotométrie UV n'a pas signalé d'anomalie. On retrouve le même spectre UV de départ (figure 1).

5- Influence de l'ultrason sur le phénol

La figure ci-dessous montre qu'il n'y a aucun effet d'ultrason sur le phénol (pas de variations de longueur d'onde).

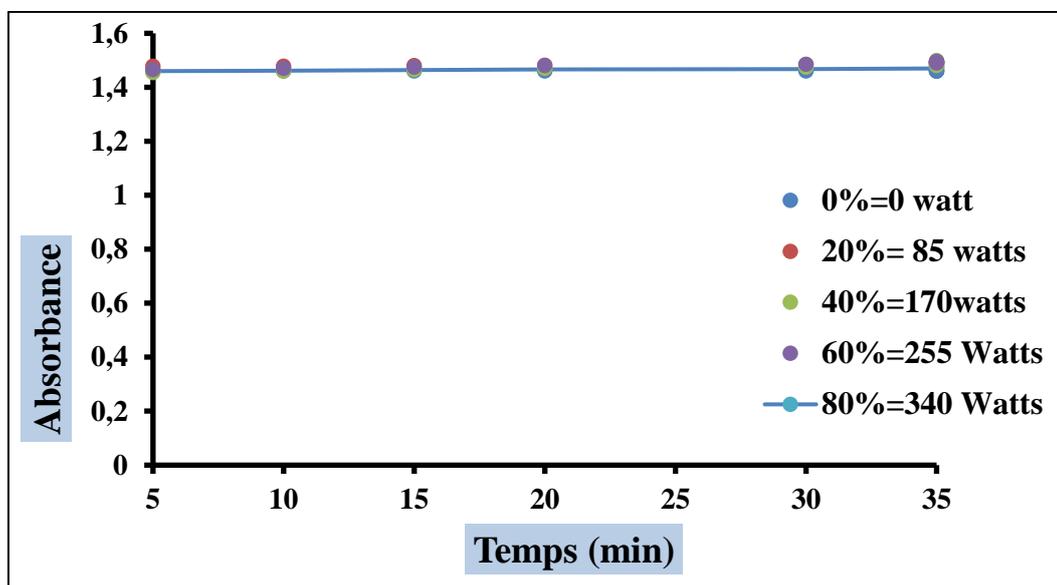


Figure III-4 : Effet de l'ultrason sur le phénol $5.10^{-4} M$

III- ETUDE DU POINT DE TROUBLE

1- Effet du taux du TWEEN 20 sur la température du point de trouble

Le surfactant non ionique choisi est le TWEEN 20. Son point de trouble a été étudié en variant le taux de Tween utilisé de 1 à 5 % (% w/w) dans un volume total aqueux de 10 mL. La détermination de la température du point de trouble est effectuée par l'établissement de la courbe de la figure 4. Cette dernière indique que le point de trouble (TPT) du TWEEN 20 n'apparaît pas quelque soit la quantité de surfactant utilisé. Ce résultat n'est pas en accord avec la littérature.



Figure III-5 : Effet de taux de tween sur le point trouble

2- Effet de la concentration du phénol sur la température du point de trouble

L'étude de l'influence du phénol sur la température de point de trouble (TPT) est réalisée en variant la concentration du polluant de 10^{-5} jusqu'à 5.10^{-4} mol.L⁻¹. Les résultats ont montré l'absence du trouble et par conséquent, il n'y a pas de séparation de phases. Ceci est probablement dû à la formation de micelles mixtes entre le phénol et le TWEEN 20.

3- Effet de la force ionique sur la température du point de trouble

Afin de mieux comprendre l'effet de la force ionique sur le point de trouble, plusieurs expériences ont été effectuées en ajoutant à des solutions aqueuses de TWEEN20 de taux massique fixe égal à 1% les sels suivants :NaCl, KCl, Na₂SO₄, CH₃COONa. Ces derniers ont été étudiés dans un intervalle de concentration allant de 0,1 jusqu'à 20%.

a- Effet de chlorure de sodium (NaCl)

La figure 5 illustre la variation des températures de point de trouble et de séparation en fonction du taux massique de NaCl employé. On remarque que:

- A des taux inférieurs à 6% de NaCl, il n'y a ni trouble ni séparation de phases.
- Au-delà de 6% c'est-à-dire dans l'intervalle allant de 6 à 20% de sel, le trouble apparait et sa température diminue de 80 jusqu'à 55 °C.
- Malgré l'apparition du trouble à 6%, la séparation de phase n'apparait qu'à partir de 10% de NaCl. On note l'existence d'un palier à 85°C entre 10 et 14% de sel. A partir de 14%, la température de séparation (TS) de phase diminue jusqu'à atteindre 70° .

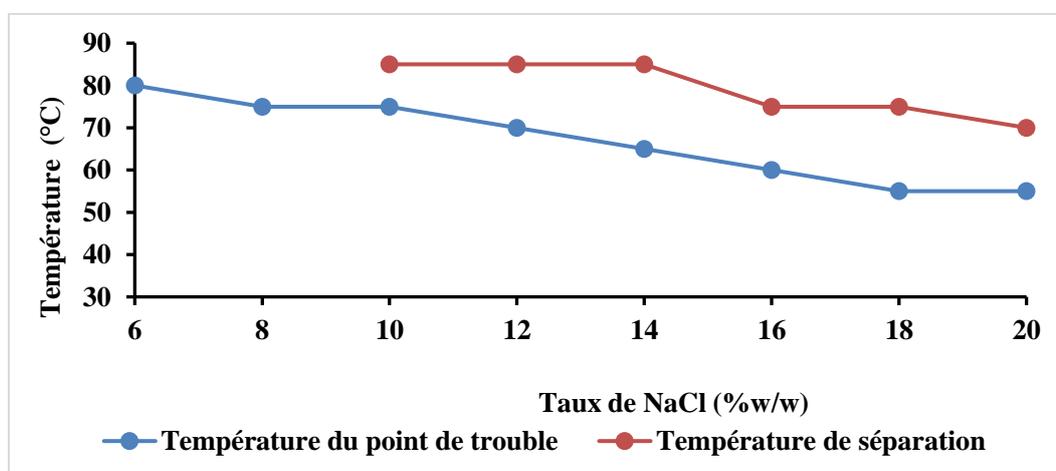
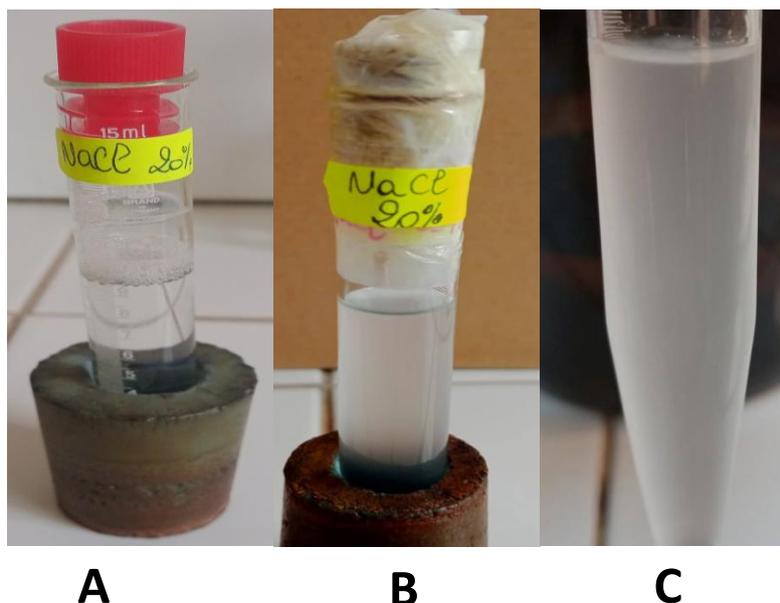


Figure III-6 : Effet du taux de NaCl sur le point de trouble et la température de séparation de phases.



A **B** **C**
 Figure III-7 : Processus de séparation de phase du NaCl
 A : solution Initiale ; B : apparition du trouble ; C : séparation en deux phases

b- Effet du chlorure de potassium (KCl)

L'effet du chlorure de potassium est décrit par la figure 6. On signale l'absence de trouble à des taux inférieurs à 6%. Or à 6%, il commence à apparaître. La température du point de trouble décroît de 85 à 55°C entre 6% et 20% de sel.

D'autre part, la séparation de phases n'a lieu qu'à partir de 10% où la température est égale à 85°C. Elle commence à diminuer au-delà de 12%. Elle passe de 85 à 70°C.

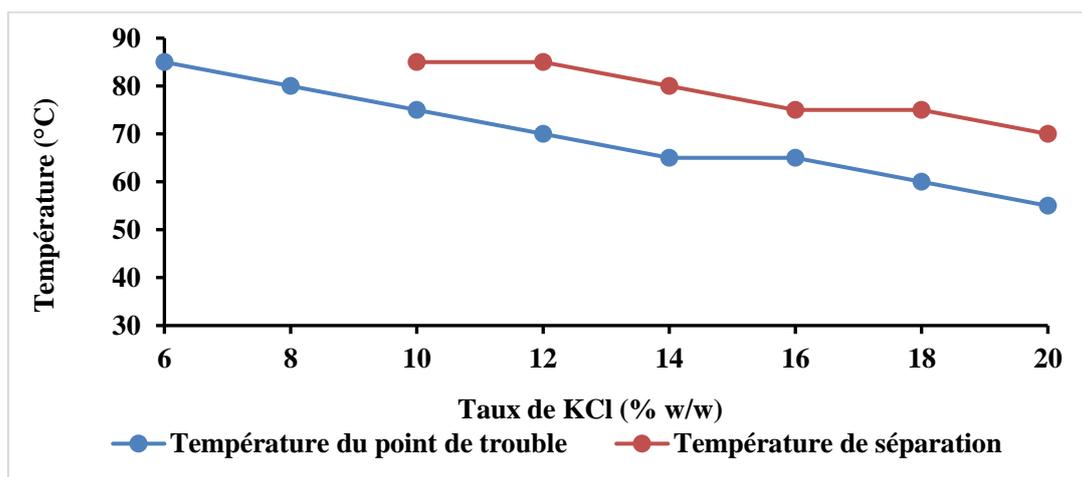


Figure III-8 : Effet du taux de KCl sur le point de trouble et la température de séparation de phases.

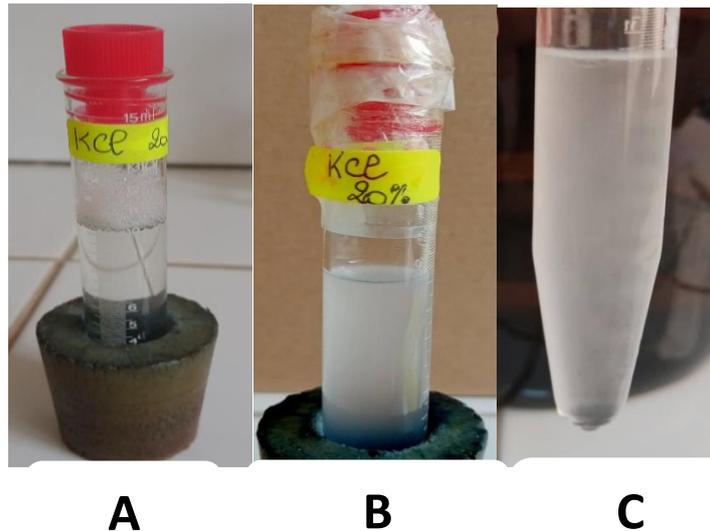


Figure III-9 :Principe de séparation de phases du KCl

A : solution Initiale , B : apparition du trouble , C : séparation en deux phases

c- Effet d'acétate de sodium (CH_3COONa)

L'acétate de sodium est un sel organique. Il agit presque de la même manière que les sels précédents. On observe :

- Absence de trouble à des taux inférieurs à 6%.
- Apparition de trouble à des taux supérieurs à 6%
- Diminution de TPT de 80 à 50°C dans un intervalle de taux compris entre 6 et 20%.
- Formation d'un mélange hétérogène à 80°C à partir de 16% de CH_3COONa .
- Décroissance de la température de séparation de 80 à 75°C.

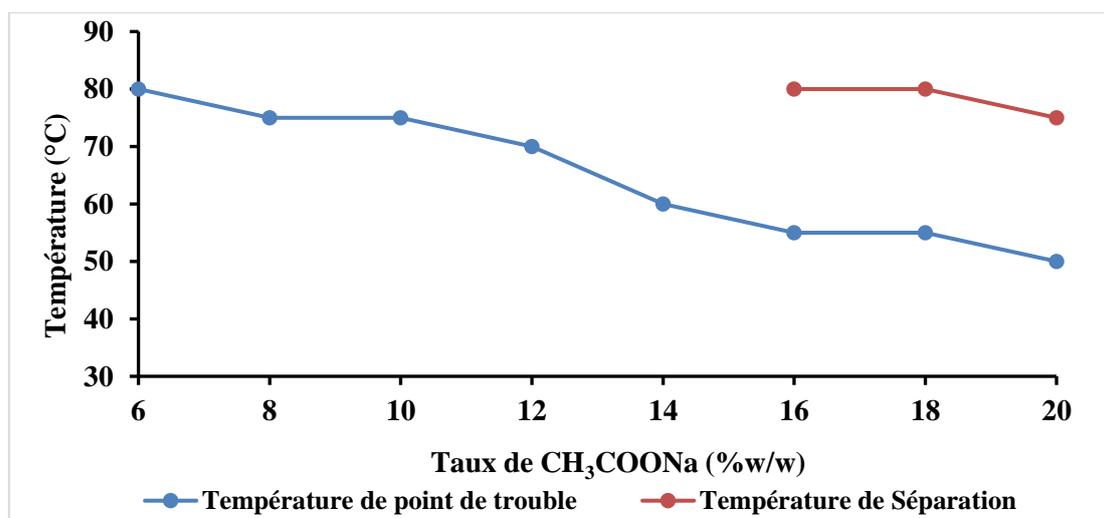


Figure III-10: Effet du taux de CH_3COONa sur TPT et TS

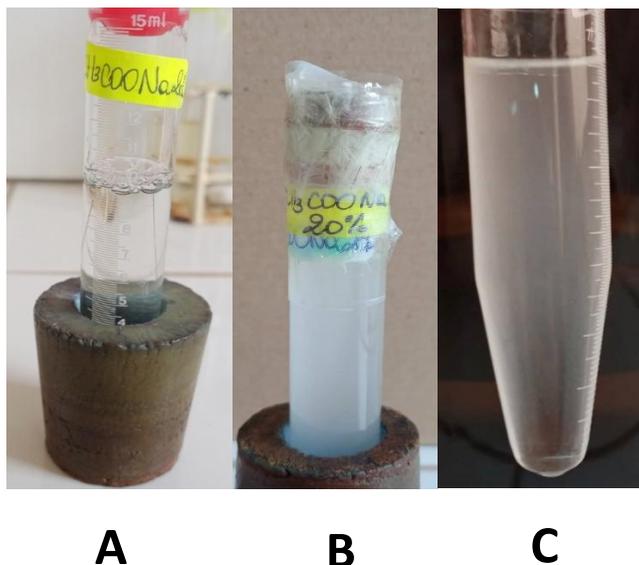


Figure III-11 : processus de séparation de phases du CH_3COONa
 A : solution Initiale ; B : apparition du trouble ; C : séparation en deux phases

La figure 8 décrit l'influence du taux de sulfate de sodium sur TPT et TS. On constate que:

- Le sulfate de sodium possède un effet remarquable sur TPT et TS contrairement aux autres sels.
- Le trouble commence à apparaître à partir de 4% tandis que la séparation de phase débute à 6%.
- TPT décroît de 45 à 20°C et TS de 85 à 25°C pour des taux massiques supérieurs à 60%.

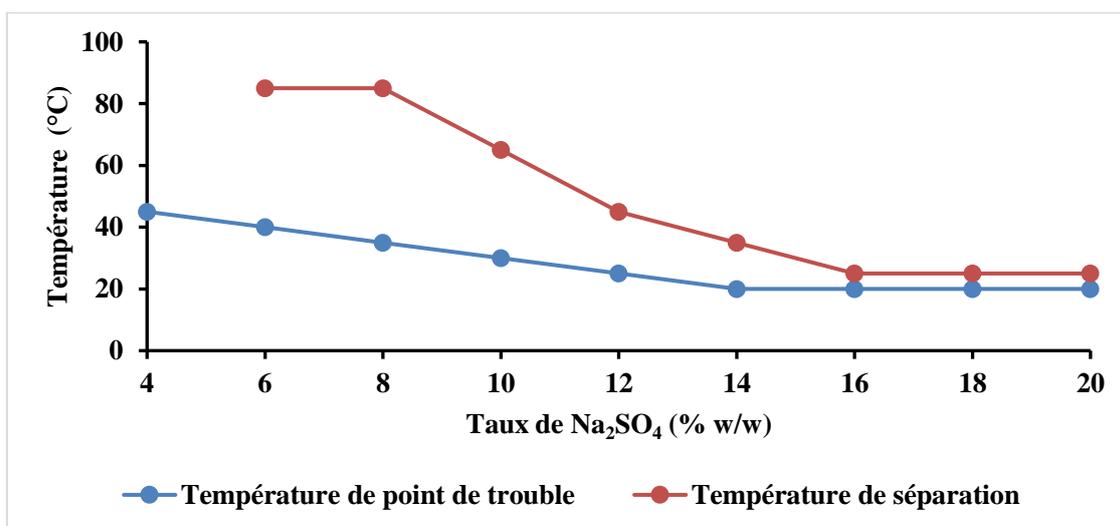


Figure III-12: Effet du taux de Na_2SO_4 sur le point de trouble et la température de séparation de phase.

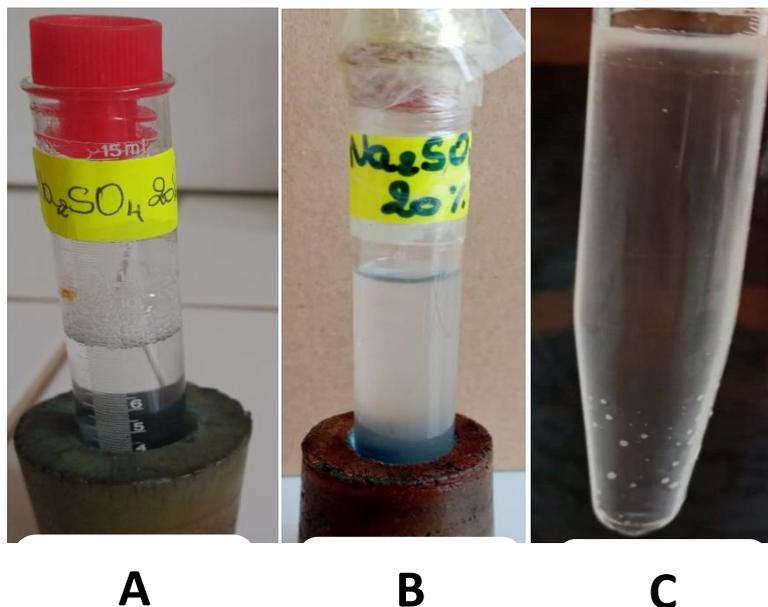


Figure III-13 :A :processus de séparation de phase du Na_2SO_4
A : solution Initiale ; B : apparition du trouble ; C : séparation en deux phases

Le point de trouble est pratiquement insensible à tous les sels étudiés quand ils sont ajoutés en faible quantité (moins de 6%) abaisse le point de trouble de ce dernier. On remarque sur les courbes précédentes comment l'addition de 20% de sels peut abaisser la température de trouble d'une solution à 1% de tween 20 de 45°C à 20°C dans le cas du sulfate de sodium qui a pour effet abaisser de façon notable les point de trouble ce qui est en accord avec de nombreux travaux évoqués dans la littérature dont notamment ceux de H.Schott et coll.

Par une simple maîtrise des concentrations de tensioactif et de sel, il est donc possible d'ajuster le point de trouble à la température désirée.

Il est par exemple possible d'avoir une séparation de phase à température ambiante. Cela peut avoir une application à l'extraction de produits sensibles à la chaleur et contribuer à la réduction des coûts énergétiques pour un procédé à grande échelle.

4- Effet des ondes ultrasonores sur la température du point de trouble

L'effet des radiations ultrasonores sur le TPT et par la suite sur TS, est étudié en exposant une série de solution de TWEEN 20 à 1% sous différentes vibrations ultrasonores à des puissances allant de 20, 40, 60 et 80% durant 1, 5, 10, 15 et 30 mn. Cette étude est réalisée dans un bain à ultrason à température ambiante.

Les résultats montrent que quelle que soit la puissance appliquée et la durée d'exposition aux radiations, les solutions aqueuses de TWEEN 20 sont incolores et limpides. Il n'y a ni trouble ni séparation de phase. Ce qui nous entraîne à conclure que l'ultrason, dans ces conditions opératoires, favorise la solubilisation du surfactant dans l'eau et non pas le phénomène inverse (pas de synergie).

Par conséquent, une révision du plan d'action est obligatoire. On va donc continuer notre travail mais sans avoir recours à l'ultrason. En d'autre terme, on extrait le phénol par coacervat et à température ambiante en présence uniquement des facteurs suivants :

- Taux massique du TWEEN 20 ;
- Taux massique de Na₂SO₄ ;
- pH du mélange.

IV- EXTRACTION DU PHENOL PAR COACERVAT

Le phénol est extrait à température ambiante (sans apport de chaleur) et dans un milieu sulfate laisser préalablement au repos pendant 24 H . La procédure consiste à ajouter le phénol aqueux, le sulfate de sodium au TWEEN 20 en quantités bien déterminées. Cet ordre d'ajout est respecté dans toutes les expériences d'extraction.

Une fois en contact avec le surfactant et grâce aux agrégations hydrophile/ hydrophile et hydrophobe/hydrophobe qui se produisent, le phénol forme des micelles mixtes avec le tween 20 et quitte, par conséquent, la phase aqueuse de départ vers une phase lipophile riche en tensioactif. De ce fait, deux phases immiscibles apparaissent. La phase inférieure représente la phase diluée (pauvre en surfactant). Tandis que la phase supérieure est définie comme étant la phase coacervat (riche en surfactant).

V- MODELISATION DE L'EXTRACTION PAR PLAN D'EXPERIENCES 2³

1- Introduction

La modélisation de l'extraction du phénol est effectuée à l'aide d'un plan d'expériences complet, à deux niveaux et avec trois facteurs, type 2³, décrit par l'équation eq(2). Ce dernier permet, d'une part, d'avoir un minimum d'expériences à réaliser tout en conservant la meilleure précision possible sur les réponses calculées par le modèle. Et d'autre part, d'optimiser les paramètres régissant le procédé en question.

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{23}X_2X_3 + a_{123}X_1X_2X_3 \dots \text{eq}(2)$$

2- Facteurs et domaine d'étude

La préparation de l'expérimentation consiste d'abord à rechercher tous les facteurs pouvant influencer sur le procédé étudié, puis les domaines d'étude de chacun de ces facteurs. Cette étape est réalisée à l'aide des travaux préliminaires portant sur le point de trouble (diagrammes binaires). De ce fait, les facteurs qui semblent être dominants sont:

- Le taux massique initial du tensioactif non ionique (TWEEN 20) ;
- Le taux massique du sulfate de sodium (Na_2SO_4) ;
- pH du mélange.

En outre, chacun d'entre eux est étudié dans son propre domaine d'influence comme indiqué dans le tableau 1. De plus, il est indispensable de noter que toutes les expériences de ce plan factoriel (2^3) sont effectuées à température ambiante.

Tableau III-1 : Paramètres retenus et domaine d'étude.

PARAMETRE	DESIGNATION	DOMAINE D'ETUDE
Taux de TWEEN 20 (% w/w)	T	1 – 5
Taux de sulfate de sodium (% w/w)	S	10 – 20
pH du mélange	pH	2 – 7

3- Variables réduites

Les variables réelles T, S et pH sont transformées, respectivement, en variables réduites X_1 , X_2 et X_3 selon les relations de conversion eq (3), eq (4), et eq (5) :

$$X_1 = \frac{T - (T_{\max} + T_{\min}) / 2}{(T_{\max} - T_{\min}) / 2} \dots \dots \dots \text{eq}(3)$$

$$X_2 = \frac{S - (S_{(\max)} + S_{(\min)}) / 2}{(S_{(\max)} - S_{(\min)}) / 2} \dots \dots \dots \text{eq}(4)$$

$$X_3 = \frac{\text{pH} - (\text{pH}_{(\max)} + \text{pH}_{(\min)}) / 2}{(\text{pH}_{(\max)} - \text{pH}_{(\min)}) / 2} \dots \dots \dots \text{eq}(5)$$

Avec : T_{max} , T_{min} , S_{max} , S_{min} , pH_{max} et pH_{min} sont les valeurs extrêmes (maximum et minimum) entre lesquelles chaque paramètre doit varier. Donc, chaque variable réduite X peut prendre soit une valeur maximale (+1) ou bien une valeur minimale (-1).

En outre et afin d'avoir plus d'information sur ce type d'extraction, trois expériences complémentaires sur le point du milieu sont ajoutées. Ce qui conduit à réaliser 11 essais au total. Le point du milieu, noté (0), représente, pour chaque paramètre, la moyenne du domaine d'étude correspondant.

4- Réponse du système : efficacité de l'extraction (Eff)

Le calcul de l'efficacité d'extraction est réalisé par l'équation eq(6), où C_i et C_d sont les concentrations du phénol présent dans la solution initiale (avant extraction) et dans la phase diluée respectivement. Les résultats sont illustrés dans le tableau suivant.

$$\text{Eff (\%)} = [(C_i - C_d)/C_i] \times 100 \dots \dots \dots \text{eq(6)}$$

Tableau III-2: Plan d'expériences sur le phénol

Tube	X_1	X_2	X_3	% TWEEN (% w/w)	% Na ₂ SO ₄ (% w/w)	pH	Efficacité(%)
1	+1	+1	+1	5	20	7	80,03
2	+1	+1	-1	5	20	2	89,58
3	+1	-1	+1	5	10	7	0,00
4	+1	-1	-1	5	10	2	0,00
5	-1	+1	+1	1	20	7	76,76
6	-1	+1	-1	1	20	2	34,91
7	-1	-1	+1	1	10	7	0,00
8	-1	-1	-1	1	10	2	0,71
9	0	0	0	3	15	4,5	75,85
10	0	0	0	3	15	4,5	78,64
11	0	0	0	3	15	4,5	75,92

5- Détermination des coefficients du modèle mathématique

L'estimation des coefficients a_i (effets principaux) et a_{ij} , a_{ijk} , a_{ijkl} (interactions) a été faite par NEMROD 2017 (Version essai). Les résultats sont représentés dans la figure 9.

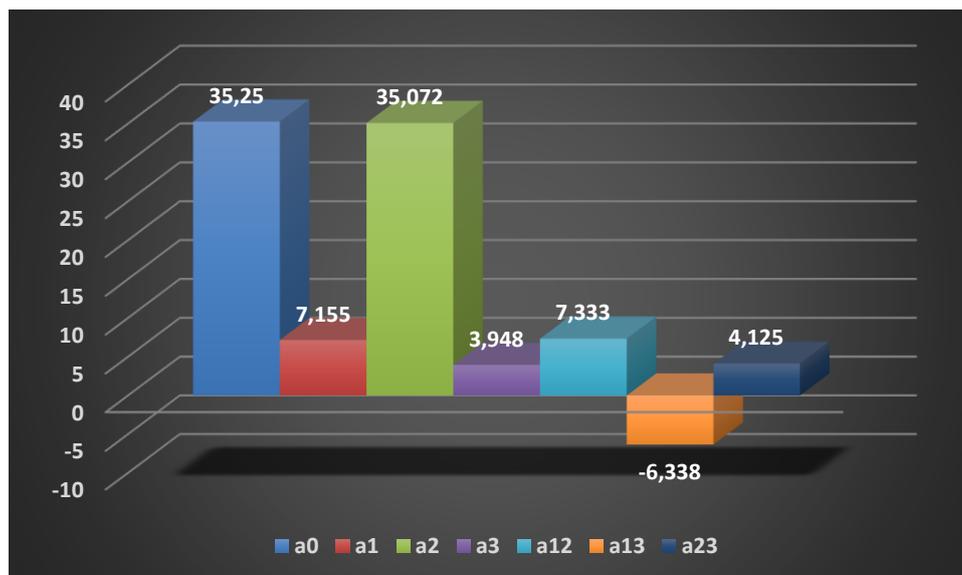


Figure III-14: Présentation graphique des coefficients du modèle mathématique

Alors, l'équation (2) devient :

$$\text{Eff}(\%) = 35,250 + 7,155X_1 + 35,072X_2 + 3,948X_3 + 7,333X_1X_2 - 6,338X_1X_3 + 4,125X_2X_3 \dots \text{eq (7)}$$

Ainsi, le modèle mathématique s'écrit en fonction des variables réelles (T, S et pH) comme suit :

$$\text{Eff} = -49,644 - 171,78.T + 332,955.S + 0,432.pH + 7333.ST - 126,75.TpH + 33.pHS \dots \text{eq (8)}$$

6- Lissage des points

Afin de démontrer la validité de ce modèle mathématique et sa capacité à décrire l'extraction du phénol par coacervat à température ambiante, en milieu sulfate et en présence de TWEEN 20, il est intéressant de vérifier le lissage des points. Ce dernier permet de s'assurer que les efficacités d'extraction calculées ($\text{Eff}_{(\text{théo})}$) par l'équation (8) et celles trouvées expérimentalement ($\text{Eff}_{(\text{exp})}$) sont du même ordre. En effet, la figure 10 représente la variation de $\text{Eff}_{(\text{théo})}$ en fonction de $\text{Eff}_{(\text{exp})}$. On remarque que le tracé de la courbe est une droite de formule $\text{Eff}_{(\text{théo})} = 0,9337.\text{Eff}_{(\text{exp})} + 3,8786$.

D'après la valeur de R^2 ($R^2 = 0,982$), on conclue que le modèle établi semble être adéquat pour expliquer l'extraction étudiée dans ce présent travail.

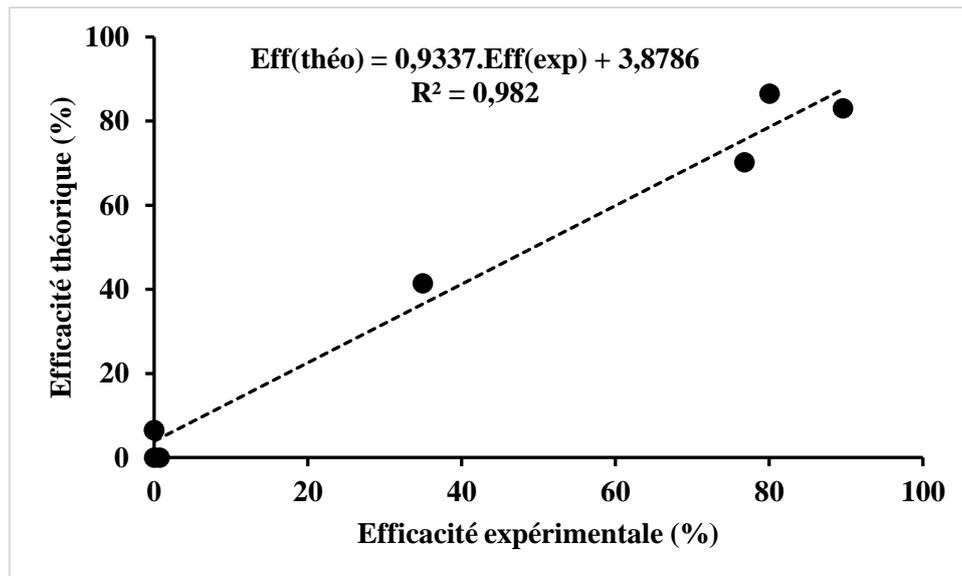


Figure III-15: Comparaison des réponses mesurées et calculées par l'équation (8)

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'extraction par coacervat est une technique qui permet d'extraire aisément des polluants de nature variée (minérale ou organique). Elle repose sur la propriété qu'une solution aqueuse de tensioactif non ionique forme des micelles et devient trouble à une température connue sous le nom de température du point de trouble (TPT) et se sépare, par la suite, en deux phases au-dessus de cette température.

Nous nous sommes intéressés, dans ce travail, à l'extraction par coacervat du phénol à température ambiante assistée par ultrasons. Pour cela, nous avons établi des diagrammes binaires illustrant l'influence des différents paramètres tels que l'ultrason, force ionique, concentration du phénol sur TPT. Les résultats préliminaires ont montré que les radiations ultrasons athermiques n'ont aucun effet sur TPT et par conséquent sur la séparation de phase. Ce qui nous a poussés à changer la méthode d'extraction tout en maintenant notre objectif de départ. Ainsi, nous avons opté pour l'extraction par coacervat du phénol à température ambiante par le biais d'un plan d'expériences complet, type 2^3 , à deux niveaux et à trois facteurs. Ces derniers sont :

- Taux massique du TWEEN 20 (T);
- Taux massique du sulfate de sodium anhydre (S) ;
- pH.

Les résultats ont montré l'obtention de rendements importants en une seule extraction et sans apport d'énergie. En plus, on peut extraire 300 fois la quantité de phénol admissible par l'organisation mondiale de la santé (OMS) avec un rendement de l'ordre de 89 %. Le modèle mathématique décrivant cette extraction est donné par l'équation suivante :

$$\text{Eff} = -49,644 - 171,78.T + 332,955.S + 0,432.pH + 7333.ST - 126,75.TpH + 33.pHS$$

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] M'HIRI Nouha (2015), Étude comparative de l'effet des méthodes d'extraction sur les phénols et l'activité antioxydante des extraits des écorces de l'orange « Maltaise demi sanguine» et exploration de l'effet inhibiteur de la corrosion de l'acier au carbone, Thèse Doctorat, Université de Carthage-Tunis / Université de Lorraine-France.
- [2] M.BISSON., S.ANDRES and M.MARLIERE (2016) , 1^{ère}édition, INERIS
- [3] S. ANDRES., M. BISSON., M. DALLET., E. BOULVERT., C. HULOT., M. MARLIERE., D. OBERSON-GENESTE (2018), Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques , INERIS.
- [4] H. Debellefontaine., P. Striolo., M. Chakchouk., J. N. Foussard., J. Besombes-Vailhe (2005). Nouveaux procédés d'oxydation chimique pour l'élimination des rejets aqueux phénolés, Revue de science de l'eau, V 5, 555-572.
- [5] CHEURFA Sylia, BENAMARA Sylia (2017). Etude de l'élimination de phénol du milieu aqueux par extraction liquide-liquide en utilisant le liquide ionique hexafluorophosphate de 1-éthyl-3- méthylimidazolium, Mémoire master, Université A.Mra – Bejaia.
- [6] Paola S.G., Cristian E.C., Horacio A.T., Silvia R.M., Elizabeth.A (2006). Phytoremediation of phenol from wastewater, by peroxidases of tomato hairy root cultures Enzyme and Microbial Technology V 39, 647-653.
- [7] HOUARIA BENKHEDJA (2015), Extraction au point de trouble des substances organiques et d'électrolytes à l'aide de mélangeurs décanteurs, Thèse doctorat, Université Toulouse – France.
- [8] BENABDALLAH Nabil (2021), Extraction à deux phases aqueuses du nickel(II) par des systèmes micellaires mixtes à partir de milieu chlorure concentré, Thèse doctorat, Université USTOMB – Oran.
- [9] Bosch Ojeda C., F., Rojas.S. (2012). Separation and pre-concentration by a cloud point extraction procedure for determination of ions: recent trends and applications, Anal Bioanal Chem, V 177, 1-21.

[10] Labrecque C., Whitty-Léveillé L., Larivière D. (2013). Cloud point extraction of plutonium in environmental matrices coupled to ICPMS and α spectrometry in highly acidic conditions, *Anal. Chem*, v 85:21, 10549–10555.

[11]. Gabriel A. et coll. (2015). Cloud point extraction for analysis of antiretrovirals in human plasma by UFLC/ESI-MS/MS, *Analytical Chemistry Research*, V 6, 1–8.

[12]. Gürkana R., Yılmaz Ö. (2014). Cloud point extraction of trace cyanide from environmental waters for indirect flame atomic absorption spectrometric determination, *Toxicological and Environmental Chemistry*, V 95, 1455-1469.

[13] Paleologos E. K., Giokas D. L., Karayannis M. I. (2005). Micelle-mediated separation and cloud point extraction, *Trends in Analytical Chemistry*, V 24:5, 426-436.

[14] Bezerra M. A., Arruda M. A. Z., Costa Ferre S. L. (2005). Cloud Point Extraction as a Procedure of separation and pre-concentration for metal determination using spectroanalytical techniques, *Applied Spectroscopy Reviews*, V 40, 269-299.

[15] Silva M. F., Cerutti E. S., Martinez L. D. (2006). Coupling cloud point extraction to instrumental detection systems for metal analysis, *Microchimica Acta*, V 155, 349-364.

[16] V. Neto (2007), Nouvelles méthodes d'élaboration de tensioactifs glycosylés par métathèse croisée et cycloaddition 1,3-dipolaire, Thèse doctorat, Université Limoges-France.

[17] Tejas J., Nikunj D. (2017). Concise Review on Surfactants and Its Significance, V 13, 663-672

[18] MAMERI YAZID (2010), phototransformation de tensioactif anionique induite par un oxyhydroxyde de fer(III) (Goetite) en solution aqueuse, Mémoire de magister, Université Mentourié constantine-Algérie.

[19] L. Nogueira Duarte (2005), Extraction à deux phases aqueuses à l'aide d'alcools polyéthoxylés en vue de l'élimination de polluants organiques et d'ions métalliques, Thèse doctorat, Institut National Polytechnique.

- [20] Samson Gabriel (2015), synthèse et propriétés de mousses minérales, thèse doctorat, Université de Rennes- France
- [21] (bicouches), microémulsions (Rosen, Da hanayake, 2000 ; Holmberg, 2002 ; Holmberg et coll., 2003
- [22] Briant J. (1989). Phénomènes d'interface : agent de surface (principe, et mode d'action), Edition Technip.
- [23] KARA amarbeddekmeriem (2017), Mise au point d'un système dispersé stable à usage cosmétique, mémoire master, Université Mouloud Meammeri-Tizi OUZOU-Algérie.
- [24] Guillaume Malcourrone (2015), Transesterification of glycerol with fatty alcohols. Physico-chemical study of the miscibility of reactive in presence of solid catalysts, thèse doctorat, Ecole normale supérieure, Lyon-France
- [25] Beiraghi A., Shirkhani A. R., Halimehjani A. Z. (2019). Separation, Preconcentration and determination of Hg (II) Ion in Water Samples by Cloud Point Extraction Technique Coupled with UV-VIS Spectrophotometry using a New Complexing Agent, p. 15.
- [26] Samaddar P., Sen K. (2014). Cloud point extraction : A sustainable method of elemental preconcentration and speciation, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 20, 1209-1219.
- [27] Wang Z. (2007). The potential of cloud point system as a novel two-phase partitioning system for biotransformation, Appl Microbiol Biotechnol, V 75, 1-10.
- [28]. NOGUEIRA DUARTE L.J (2005) , Extraction à deux phases aqueuses à l'aide d'alcool polyéthoxylés en vue de l'élimination de polluants organiques et d'ions métalliques, Thèse doctorat , Institut national polytechnique, Toulouse-France.
- [29] Hagarová., Ingrid., Urík., Martin. (2016). New Approaches to the Cloud Point Extraction : Utilizable for Separation and Preconcentration of Trace Metals, Current Analytical Chemistry, V12, 87-97
- [30] Helenius A ., McCaslin D R ., Fries E ., Tanford C. (1979). Properties of Detergents. Methods in Enzymology, 56, 734-749.

[31] Jacques M. (2022). PHÉNOLS, *Encyclopædia Universalis* [en ligne], Université France.

[32] Moamer EHTASH (2011), Purification des eaux polluées par du phénol dans un pertracteur a disques tournants, Thèse doctorat, Institut national des sciences appliquées de Rouen.

[33] Chafika HEBBAR (2005), Surveillance de la qualité bactériologique des eaux de baignade- cas des plages d'Ain-Franin et de Kristel, Mémoire magister, Université d'oran- ES SENIA.

[34] MERALET Fatima Zohra (2020), conception et réalisation d'une canne intelligente

[35] BRUNO R.(2004) , les ultrasons, technique et application au laboratoire, n 93.

[36- 37] Jacques G. Creighton L (2006) ;3^{ème} édition, Dunod

Résumé

Le phénol est une substance chimique nocive pour l'ensemble des écosystèmes et par conséquent, pour la santé humaine. Il peut engendrer un ou plusieurs effets néfastes, d'où la nécessité de l'éliminer de l'environnement.

De ce fait, l'extraction par coacervat (CPE) du phénol a été réalisée sur la base du piégeage par les micelles formées. Dans cette optique, nous avons montré l'efficacité de cette méthode à extraire 300 fois la norme de phénol admissible dans les rejets liquides ; en une seule opération et par le biais d'un système micellaire composé de Tween 20, Na₂SO₄ anhydre et pH du mélange. Or, l'efficacité est décrite par un polynôme mathématique suite à un plan d'expériences 2³ ;

Enfin, la CPE s'avère être efficace et qui peut atteindre une efficacité de plus de 80 %.

Mots clés : phénol, extraction par coacervat, tween 20, température ambiante, plan d'expériences 2³

Abstract

Phenol is a chemical substance that is harmful to all ecosystems and therefore to human health. It can cause one or more adverse effects, hence the need to remove it from the environment.

Therefore, the coacervate extraction (CPE) of phenol was performed based on the scavenging by the formed micelles. To this end, we have shown the efficiency of this method to extract 300 times the allowable standard of phenol in liquid discharges; in a single operation and through a micellar system composed of Tween 20, anhydrous Na₂SO₄ and mixture pH. However, the efficiency is described by a mathematical polynomial following a design of experiments 2³.

Finally, CPE has been shown to be effective and which can reach an efficiency of more than 80%.

Keywords: phenol, coacervate extraction, tween 20, ambient temperature, 2³ experimental design

المخلص

الفينول مادة كيميائية ضارة بجميع النظم البيئية وبالتالي على صحة الإنسان. يمكن أن يتسبب في واحد أو أكثر من الآثار الضارة ، ومن هنا تأتي الحاجة إلى إزالته من البيئة.

لذلك ، تم إجراء استخلاص الفينول (CPE) على أساس الاصطياد بواسطة المذيلات المتكونة. مع أخذ ذلك في الاعتبار ، أظهرنا فعالية هذه الطريقة في استخراج 300 مرة من معيار الفينول المقبول في التصريفات السائلة ؛ في عملية واحدة ومن خلال نظام micellar يتكون من Tween 20 ، Na₂SO₄ اللامائي ودرجة حموضة الخليط. ومع ذلك ، يتم وصف الكفاءة بواسطة كثير الحدود الرياضي بعد تصميم التجارب 2³.

أخيراً ، ثبت أن CPE فعال ويمكن أن يصل إلى كفاءة تزيد عن 80 %.

الكلمات المفتاحية: الفينول ، استخلاص المحار ، توين 20 ، درجة حرارة الغرفة ، تصميم التجارب 2³