



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

**UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCEM**

# MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE CHIMIE

Pour l'obtention du diplôme de :

**MASTER EN CHIMIE**

Spécialité : Chimie analytique

Par :

**Mlle FEDDANE Souad**

Sur le thème

---

## **Extraction par coacervat des colorants industriels**

---

Soutenu publiquement le .. Octobre 2020 à Tlemcen devant le jury composé de :

Mr DIDI Mohamed Amine	Professeur	Université de Tlemcen	Président
Mr OUKEBDANE Khalil	MCA	Université de Tlemcen	Examineur
Mr BELKHOUCHE Nasr Eddine	Professeur	Université de Tlemcen	Examineur
Mme REKKAB-AMARA Afaf	MCA	C.U de Maghnia	Directrice de mémoire

*Année Universitaire : 2019 ~ 2020*



## Dédicace

*A ma mère ; source de tendresse*

*A la mémoire de celui qui me manquera pour toujours ; mon père*

*A mes deux chers frères ; Youcef et Fethallah*

*A ma superviseure M<sup>ME</sup> REKKAB AMARA Afaf*

*A toute ma famille en particulier mes cousines*

*A mes amies*

*A mes collègues d'études*

*Avec toute mon affection*

FEDDANE SOUAD

## Remerciements

Nombreuses sont les personnes que je souhaite remercier pour m'avoir aidé et soutenu pour la réalisation de ce modeste travail.

J'offre premièrement mes sincères et chaleureux remerciements à mon encadrant ; **M<sup>me</sup> RAKKEB AMARA Afaf** ; maitre de conférences A au centre universitaire de Maghnia, elle a été d'un soutien et d'une attention exceptionnels, merci pour vos précieux conseils scientifiques, le temps et la confiance que vous avez sus m'accorder, votre disponibilité sans limite, vos encouragements et votre qualité d'écoute. Votre gout profond pour une science claire et rigoureuse restera pour moi un exemple.

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire des technologies de séparation et de purification « LTSP » de l'université ABOU-BAKR BELKAID -Tlemcen-

Je tiens à remercier particulièrement **M<sup>r</sup> DIDI Mohamed Amine**, directeur du laboratoire « LTSP » de nous avoir accueilli au sein de son laboratoire et de nous a permis de mener ce travail dans les meilleures conditions, ainsi de m'avoir fait un grand honneur en acceptant de présider le jury ; Hommage respectueux.

Mes remerciements s'adressent également à **M<sup>r</sup> OUKEBDANE Khalil** maitre de conférences A à université de Tlemcen, et à **M<sup>r</sup> BELKHOUCHE Nasr Eddine** professeur à l'université de Tlemcen qui ont accepté d'examiner ce travail ; vifs remerciements.

J'aimerais remercier tous les enseignants et les enseignantes de mon cursus primaire, CEM, lycée ou universitaire qui ont contribué à ma formation et qui m'ont poussé de donner le meilleur de moi-même.

Je tiens à remercier sincèrement l'ensemble des membres du laboratoire « LTSP » pour leur accueil chaleureux et leur bonne humeur. Je remercie bien évidemment les doctorants(es) du laboratoire en particulier **M<sup>r</sup> DJEBBARI Noureddine** ainsi **M<sup>lle</sup> Aoufi Bouthayna** pour leur aide quotidienne, leur gentillesse et leurs conseils précieux.

Un grand merci à ma famille pour toute leur aide, leur amour et leur formidable soutien. Je n'en serais jamais arrivé à ce stade sans vous !

## Abréviations

$\varepsilon$	: Coefficient d'extinction molaire de la substance absorbante (en $\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ )
A	: L'absorbance de la solution
BBP	: Bleu de Bromophénol
C	: Concentration de la solution absorbante
$C_0$	: Concentration initiale du soluté
$C_c$	: Concentration du soluté dans la phase coacervat
$C_d$	: Concentration du soluté dans la phase diluée
CMC	: Concentration micellaire critique
CPE	: Extraction par coacervat ( <i>cloud point extraction</i> )
CT	: Température de trouble
F	: Fraction volumique du coacervat
FC	: Facteur de concentration
l	: Longueur du trajet optique
LI	: Liquide ionique
P	: Coefficient de partage
R	: Rendement d'extraction
TA	: Tensioactif
$V_c$	: Volume de la phase coacervat
$V_d$	: Volume de la phase diluée
$V_t$	: Volume total

## Liste des figures

- Figure I.1 : Les différentes formes du BBP à des pH variés
- Figure I.2 : Principe de l'extraction par coacervat
- Figure I.3 : Représentation schématique d'une molécule de tensioactif
- Figure I.4 : Les différentes classes des tensioactifs
- Figure I.5 : La diminution de la tension superficielle par l'addition d'un tensioactif
- Figure I.6 : Comportement des surfactants en milieu aqueux
- Figure I.7 : Exemples de structures formées par des molécules de tensioactif  
A) micelle cylindrique, B) micelle directe, C) bicouche, D) vésicule, E) micelle inverse
- Figure I.8 : Diagramme de phases d'un système eau-TA non ionique
- Figure I.9 : Structure chimique du Triton X100
- Figure I.10 : Structure chimique de l'Aliquat336
- Figure II.1 : Solution mère du BBP à  $10^{-4}$  mol/L
- Figure II.2 : Le principe de la spectrophotométrie
- Figure II.3 : Les solutions filles avec des concentrations qui appartiennent à l'intervalle de validité de la loi de Beer Lambert
- Figure II.4 : Schéma explicatif de la procédure générale d'extraction du BBP par coacervat
- Figure II.5 : Extraction du BBP par coacervat
- Figure II.6 : Montage d'ajustement de pH
- Figure II.7 : La solution mère du BBP à des pH différents
- Figure III.1 : La courbe d'étalonnage des solutions du BBP avec différentes concentrations
- Figure III.2 : Exemples de micelles mixtes
- Figure III.3 : Mécanisme d'extraction du colorant par les micelles mixtes
- Figure III.4 : L'évolution du rendement d'extraction du BBP en fonction de pH
- Figure III.5 : L'évolution de la fraction volumique de la phase coacervat en fonction de pH
- Figure III.6 : L'évolution du coefficient de partage du BBP en fonction de pH

- Figure III.7 : L'évolution du facteur de concentration du BBP en fonction de pH
- Figure III.8 : L'évolution du rendement d'extraction en fonction du pourcentage en TA
- Figure III.9 : L'évolution de la fraction volumique en fonction du pourcentage en TA
- Figure III.10 : L'évolution du coefficient de partage en fonction du pourcentage en TA
- Figure III.11 : L'évolution du facteur de concentration en fonction du pourcentage en TA

## Liste des tableaux

- Tableau I.1 : Propriétés physicochimiques du BBP
- Tableau I.2 : Les Différents produits chimiques utilisés dans CPE
- Tableau I.3 : Propriétés physico-chimiques du Triton X100
- Tableau II.1 : Liste des produits chimiques utilisés
- Tableau II.2 : Les volumes à prélever pour préparer les solutions filles
- Tableau II.3 : Les masses du Triton X100 à peser
- Tableau II.4 : Les masses d'Aliquat 336 à peser
- Tableau III.1 : L'évolution de l'Absorbance en fonction des concentrations
- Tableau III.2 : L'évolution du rendement, coefficient de partage, facteur de concentration et la fraction volumique de l'extraction du BBP
- Tableau III.3 : L'évolution du rendement, coefficient de partage, facteur de concentration et la fraction volumique de l'extraction du BBP

# Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Eléments bibliographiques .....	4
I.1 Introduction :.....	4
I.2 Les colorants :.....	4
I.2.1 Définition :.....	4
I.2.2 Classification : .....	4
Les colorants naturels :.....	4
Les colorants synthétiques : .....	4
I.2.2.1 Selon la structure chimique :.....	5
I.2.2.2 Selon les domaines d'application : .....	5
I.2.2.3 Selon la classification tinctoriale :.....	5
I.2.3 Impact des colorants sur l'environnement :.....	5
I.3 Bleu de Bromophénol « BBP »:.....	6
I.3.1 Définition et utilisation :.....	6
I.3.2 Propriétés physico-chimiques :.....	6
I.3.3 Toxicité :.....	7
I.4 Extraction par « coacervat » : .....	7
I.4.1 Introduction :.....	7
I.4.2 Définition : .....	7
I.4.3 Principe :.....	8
I.4.3.1 Aperçu sur les agents tensioactifs (TA):.....	9
I.4.3.2 Aperçu sur les liquides ioniques « LI »: .....	16
I.4.4 Mécanisme d'extraction par coacervat : .....	18
I.4.5 Grandeurs caractéristiques :.....	18

I.4.5.1 Rendement : .....	18
I.4.5.2 Fractions volumiques : .....	19
I.4.5.2 Le coefficient de partage « P »: .....	19
I.4.5.2 facteur de concentration « FC »: .....	19
I.4.6 Les facteurs qui influent sur CPE : .....	20
I.4.7 Avantages, inconvénients et solutions de la CPE: .....	20
I.4.8 Applications d'extraction par coacervat : .....	21
I.7 Conclusion : .....	21
Chapitre II : Matériels et Méthodes.....	23
II.1 Introduction : .....	23
II.2 Réactifs et appareillages utilisés : .....	23
II.3 Préparation des solutions : .....	24
II.3.1 Préparation de la solution mère du colorant : .....	24
II.3.2 Préparation de la solution alcoolique d'aliquat 336 : .....	24
II.3.3 Préparation de la solution acide : .....	25
II.3.4 Préparation de la solution basique : .....	25
II.4 Dosage des solutions par le spectrophotomètre UV-Visible : .....	25
II.4.1 Principe et loi de Beer Lambert: .....	25
II.4.2 Etablissement de la courbe d'étalonnage : .....	26
II.4.3 Calcul des dilutions : .....	26
II.5 Procédure d'extraction du Bleu de Bromophénol : .....	28
II.5.1 Effet de pH : .....	29
II.5.2 Effet de la concentration du tensioactif non ionique (Triton X100): .....	31
II.5.3 Effet de la concentration de l'extractant (Aliquat 336) : .....	31
II.5.4 Effet de la force ionique : .....	31
II.5.5 Effet de temps de séparation : .....	32
II.6 Conclusion : .....	32

Chapitre III : Résultats et discussion.....	34
III.1 Introduction :.....	34
III.2 Courbe d'étalonnage : .....	34
III.3 Optimisation de l'extraction du Bleu de Bromophénol : .....	35
III.3.1 Effet de pH : .....	36
III.3.1.1 Rendement d'extraction : .....	39
III.3.1.2 Fraction volumique : .....	40
III.3.1.3 Le coefficient de partage :.....	42
III.3.1.4 Facteur de concentration : .....	43
III.3.2 Effet de la concentration du tensioactif non ionique (Triton X100): .....	43
III.3.2.1 Le rendement d'extraction : .....	44
III.3.2.1 La fraction volumique :.....	46
III.3.2.3 Le coefficient de partage :.....	46
III.3.2.4 Facteur de concentration : .....	48
III.4 Conclusion :.....	48
Conclusion générale .....	51

---

# Introduction générale

## Introduction générale

## Introduction générale

Lors des fouilles archéologiques, les restes teints ont montré que l'art de la teinture est aussi ancien que la civilisation [1]. Depuis l'antiquité, les couleurs ont été utilisées par les gens pour teindre et surtout pour gagner des pouvoirs magiques, ils avaient créé leurs propres traditions de la teinture en utilisant des source naturelles d'origine végétale, animales ou minérales [1].

De nos jours et avec l'avancement de la technologie et de la société, le développement rapide de la production des colorants synthétiques est conduit au remplacement presque complet des colorants naturels par les colorants synthétiques, ces derniers sont largement utilisés dans presque tous les secteurs [1].

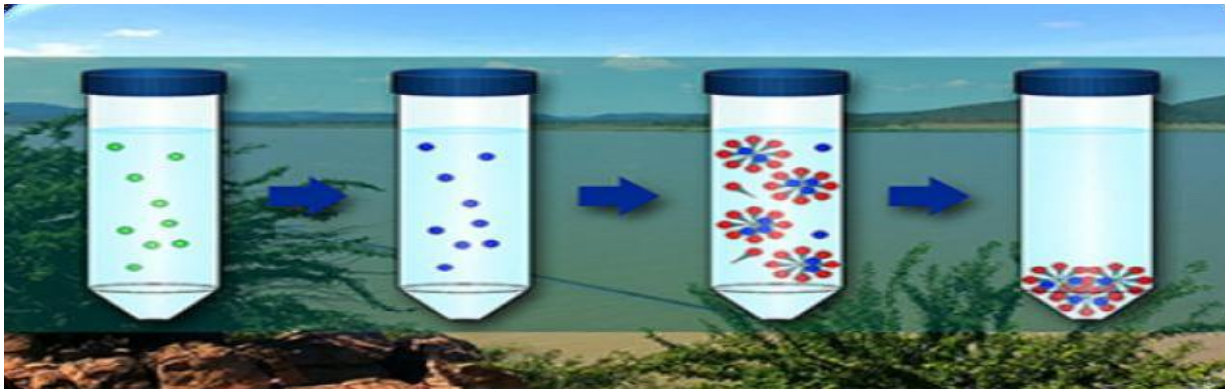
Dans l'industrie textile, le processus de la teinture comprend plus de 100 000 colorants synthétiques et plusieurs pigments et nécessite de grandes quantités d'eaux. En même temps, l'étape de lavage peut entraîner des pertes d'environ 30% jusqu'à 70% des colorants fixés qui peuvent produire des volumes d'effluents [2].

Cependant, en raison de divers réfractaires telles que : la toxicité et la non-biodégradabilité, ces colorants posent un danger réel pour l'environnement [3]. Par conséquent, il existe une demande urgente et sérieuse pour le traitement de ces rejets.

Les effets dévastateurs des colorants contaminants les effluents pourraient être éliminés par des stratégies de traitement efficaces. Pour cela et parmi les nombreuses méthodes physiques et chimiques étudiées, l'extraction liquide-liquide est couramment utilisée pour extraire les contaminations organiques d'un milieu aqueux en raison de sa haute efficacité d'élimination, cependant elle est contestée a cause d'utilisation des solvants organiques toxiques et surtout le gaspillage de ces derniers [2].

Récemment, une nouvelle méthode a fait l'objet d'une attention considérable et a suscité un large intérêt au cours de ces dernières décennies en raison de son respect d'environnement ; c'est l'extraction par coacervat à température ambiante.

L'extraction par coacervat à température ambiante est une nouvelle technique verte d'extraction efficace, elle n'exige pas de chauffage, elle utilise moins de solvant et ne nécessite qu'une petite quantité des surfactants non-toxiques [4].



L'objectif de notre travail est l'étude d'extraction d'un colorant industriel ; « le Bleu de Bromophéol » par coacervat à l'aide du Triton X100 ; un tensioactif non-ionique et l'Aliquat 336 comme extractant.

C'est pour cela, ce mémoire sera réparti en trois chapitres :

- ↳ Le premier chapitre est consacré à la définition des colorants d'une façon générale ainsi que leur toxicité en se basant sur le colorant utilisé : « le Bleu de Bromophéol » et aussi à la description détaillée de la méthode utilisée « l'extraction par coacervat » et ses utilisations.
- ↳ Le deuxième chapitre décrit le matériel, les différentes expériences réalisées et les protocoles expérimentaux suivis pour l'extraction du BBP.
- ↳ Le troisième chapitre regroupe l'ensemble des résultats avec leurs discussions.

Les résultats les plus importants et les aboutissements de ce travail sont regroupés dans la conclusion générale.



---

# Eléments bibliographiques

# Chapitre I : Eléments bibliographiques

## I.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on va aborder d'après la littérature une définition des colorants d'une façon générale ainsi que leurs utilisations, puis on détaillera les propriétés de l'un d'entre eux ; le BBP. Enfin, la méthode d'extraction ; CPE sera présentée et les raisons de son choix pour l'extraction du BBP seront détaillées.

## I.2 Les colorants :

Aujourd'hui, les colorants jouent un rôle irremplaçable, ils sont largement utilisés dans diverses industries ; alimentaire, pharmaceutique, cosmétique, pour les imprimeries, les papiers et dans l'industrie textile [5].

### I.2.1 Définition :

Outre sa couleur propre, un colorant doit posséder la propriété du teindre. Il consiste en un assemblage d'un groupe auxochrome (amino, hydroxy, alkoxy, etc..), d'une structure aromatique conjuguée et d'un groupe chromophore. Plus l'électropositivité du groupe chromophore augmente (il donne l'électron facilement) plus la couleur est intense [5].

Une matière colorante est une substance qui est capable d'absorber des rayonnements lumineux dans le spectre visible (380-750nm), cette coloration correspond aux transitions possibles après absorption de ces rayonnements entre les niveaux d'énergie propres à chaque molécule [5].

### I.2.2 Classification :

On distingue deux grandes familles de colorants :

#### *Les colorants naturels :*

La plupart de ces colorants sont de classe mordante [1] et ils sont extraits des matières naturels d'origine végétale, animale ou minérale.

#### *Les colorants synthétiques :*

La synthèse des colorants est une industrie qui constitue un capital de la chimie moderne. Aujourd'hui, les colorants synthétiques sont de plus en plus utilisés dans les industries car ils sont faciles à synthétiser, leur production est rapide en plus de leur variété de couleurs si on les compare aux colorants naturels [5].

Dans les industries, les principes de classification les plus couramment rencontrés sont [6]:

#### ***1.2.2.1 Selon la structure chimique :***

Ce mode de classification est basé sur la nature des groupes chromophores, on distingue :

- ✓ Les colorants azoïques.
- ✓ Les colorants anthraquinoniques.
- ✓ Les colorants indigoïdes.
- ✓ Les colorants xanthènes.
- ✓ Les colorants phtalocyanines [6].

#### ***1.2.2.2 Selon les domaines d'application :***

- ✓ L'industrie textile.
- ✓ L'industrie du cuir.
- ✓ L'industrie du papier.
- ✓ L'industrie alimentaire.
- ✓ Matières plastiques...etc...

#### ***1.2.2.3 Selon la classification tinctoriale :***

On distingue des différentes catégories tinctoriales définies par les groupes auxochromes :

- ✓ Les colorants cationiques.
- ✓ Les colorants anioniques.
- ✓ Les colorants à complexes métallifères.
- ✓ Les colorant de cuve...etc...) [5].

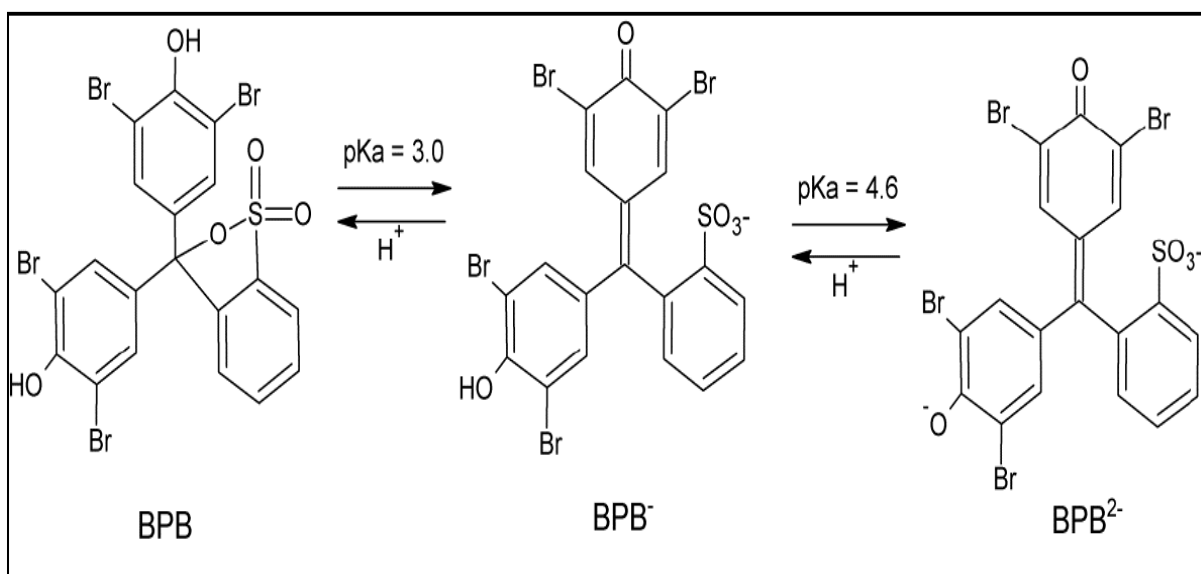
#### **1.2.3 Impact des colorants sur l'environnement :**

Les colorants organiques qui proviennent d'effluents aqueux nuisent à l'environnement. Ils inhibent les processus photosynthétiques, inhibent aussi la croissance de divers animaux dans les écosystèmes aquatiques, ils sont toxiques pour les micro-organismes en plus ils provoquent une toxicité humaine au niveau des reins, cerveau et le système nerveux central tout en causant des effets allergiques, hémorragiques et cancérigènes [2].

### I.3 Bleu de Bromophénol « BBP »:

#### I.3.1 Définition et utilisation :

Le bleu de Bromophénol (3,3,5,5-tétrabromophénolsulphonphthaléine) (illustré dans la **figure I.1**) est un colorant acide (anionique) phtaléine. Il est utilisé comme indicateur de pH avec une zone de virage du 3 à 4,6 [7] et aussi il est largement utilisé pour l'industrie alimentaire, cosmétique, les médicaments, textile, additifs, indicateurs de laboratoire et comme encre d'imprimerie [8-9].



**Figure I.1** : Les différentes formes du BBP à des pH variés [7]

#### I.3.2 Propriétés physico-chimiques :

**Tableau I.1**: Propriétés physicochimiques du BBP

Forme	Solide
Couleur et odeur	Rouge marron et inodore
Formule chimique	$C_{19}H_{10}Br_4O_5S$
Masse molaire	669,96 g/mol
Température de fusion	546 °K (273°C)
Solubilité	Il est moyennement soluble dans l'eau (3 g/L) Et très soluble dans l'éthanol.

### **I.3.3 Toxicité :**

Le BBP en tant que dérivé de triphénylméthane, il est fréquemment utilisé dans diverses industries. Cependant dans de nombreuses usines, le BBP n'a pas répandu aux normes nationales des rejets industriels en raison de la pénurie des technologies de son traitement [3].

En raison de sa solubilité et sa stabilité élevées, ce colorant est très nocif pour l'environnement ; en particulier dans l'eau. Il peut causer des risques graves pour la santé humaine et endommager les systèmes aquatiques même à de faibles concentrations [3].

Des problèmes de sécurité concernant ce colorant ont été soulevés, il est génotoxique [8] et il montre des activités cancérigènes, et des conséquences néfastes sur l'environnement [9].

## **I.4 Extraction par « coacervat » :**

### **I.4.1 Introduction :**

L'extraction par solvant aussi appelée l'extraction à phase liquide est une vénérable technique, elle restait d'actualité malgré qu'elle utilise un nombre relativement élevé des solvants organiques, volatils, toxiques et dangereux pour l'environnement et pour les opérateurs. Pour cela, ces dernières années de nouveaux solvants tels que les tensioactifs et les liquides ioniques avec ses dérivés ont supplanté progressivement les solvants organiques traditionnels utilisés dans les procédures d'extraction [10-11].

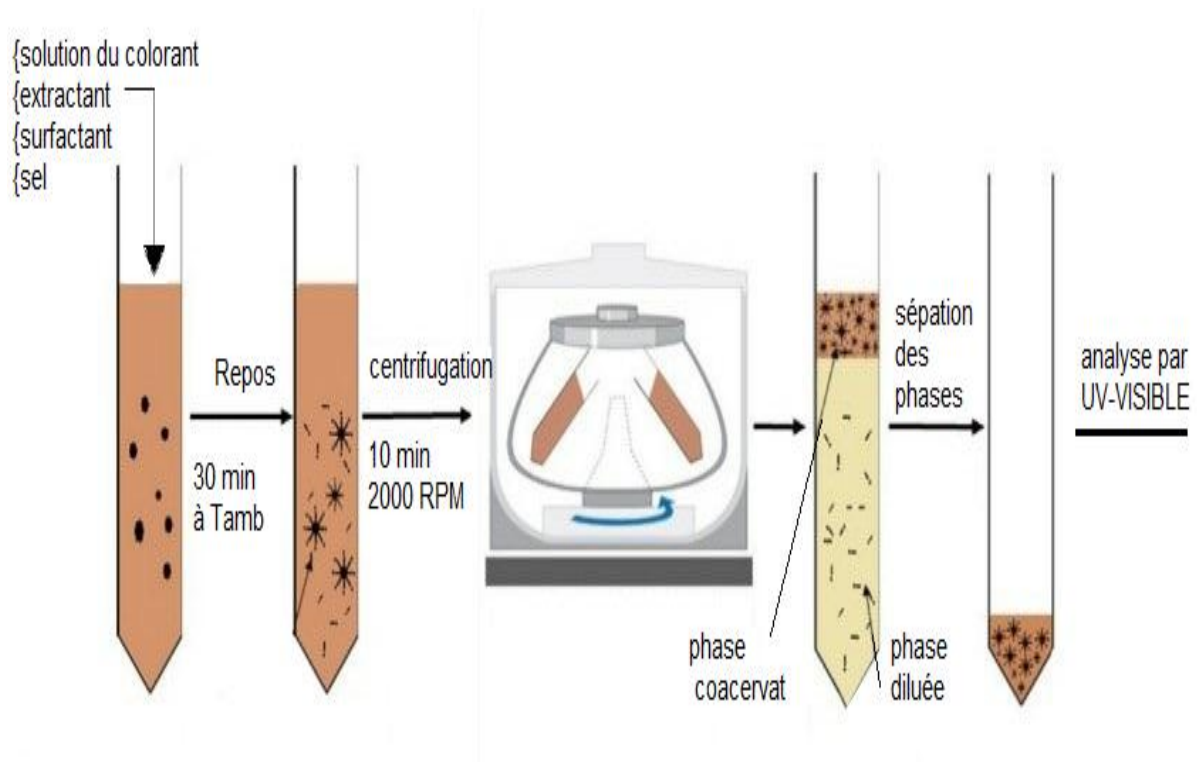
L'extraction par coacervat utilise des tensioactifs moins toxiques, a attiré une attention croissante à l'extraction liquide classique en raison de sa simplicité, haute efficacité et respect d'environnement [12].

### **I.4.2 Définition :**

L'extraction par coacervat (CPE) appelée aussi « extraction a deux phases aqueuses » ou bien « extraction par point de trouble » est une technique utilisée pour l'extraction et la pré-concentration des composés organiques ou inorganiques et d'une large gamme de produits biologiques provenant de la recherche chimique, biologique, clinique ou même des matrices environnementales en utilisant des extractants bénins comme les tensioactifs. C'est une méthode efficace, rentable, économe et respectueuse de l'environnement [10-13-14].

### I.4.3 Principe :

C'est une méthode de séparation qui implique le regroupement des monomères du tensioactif non ionique pour former un noyau hydrophobe qui piège ensuite les composés à extraire [13].



**Figure I.2:** Principe de l'extraction par coacervat

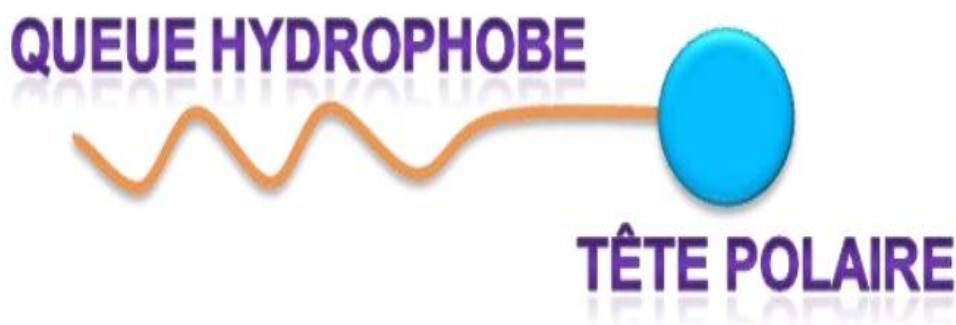
Cette technique a été développée dans les années 1950 par Albertson et col. pour la séparation des composés biologiques notamment pour les cellules et les micro-organismes, et en 1978 Tanaka et Watanabe ont introduit l'extraction des ions métalliques par point de trouble dans laquelle la phase coacervat a été séparée d'une solution micellaire contenant des tensioactifs neutres par un changement de température au-dessus de la température du point de trouble. Cette forme d'extraction reste la plus utilisée à l'aide des micelles aujourd'hui [10-11].

**Tableau I.2:** Les *Différents produits chimiques utilisés dans CPE* [13]

Produit chimique	Son rôle
Le surfactant	La formation des micelles qui jouent un rôle crucial dans l'extraction.
La solution du colorant	Elle contient le composé cible.
Le sel	Il améliore les interactions hydrophobiques des micelles et facilite également la séparation des deux phases ; coacervat et diluée.
Le co-solvant organique	La présence d'éthanol augmente la CT du système, augmente le facteur de pré-concentration et il améliore la séparation des phases. Il peut être également utilisé comme un agent de dilution de la phase coacervat.

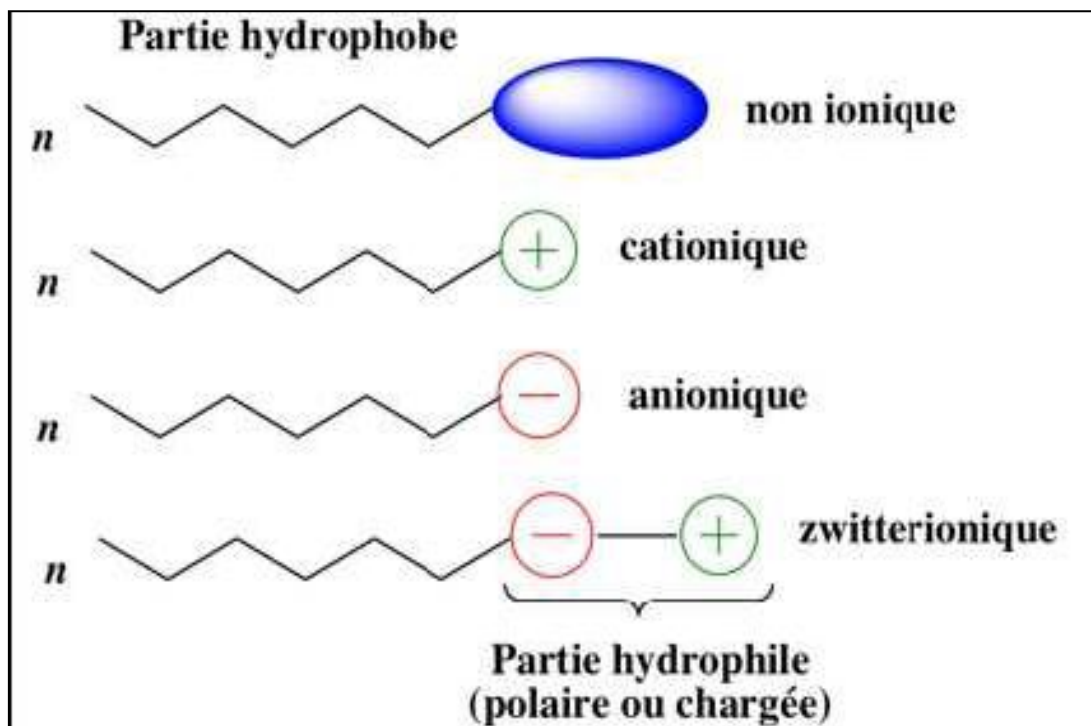
#### ***1.4.3.1 Aperçu sur les agents tensioactifs (TA):***

Les TAs aussi appelés « les agents de surface » ou bien « les surfactants » sont des composés amphiphiles ; ils sont composés d'un groupe de tête polaire hydrophile et d'un groupe de queue apolaire hydrophobe.

**Figure I.3:** Représentation schématique d'une molécule de tensioactif

Les TAs peuvent être classés en quatre classes différentes [15-10]:

- TAs anioniques : avec des groupes de têtes hydrophiles anioniques et une queue généralement de faible polarité. Ce type d'agent de surface est couramment utilisé comme agent moussant et détergent.
- TAs cationiques : avec des groupes de têtes hydrophobes cationiques et une queue de faible polarité. Les exemples typiques sont les sels d'ammonium quaternaires et les sels d'amines grasses.
- TAs zwitterioniques ou amphotères : avec des groupes de tête anioniques et cationiques tels que les acides aminés.
- TAs non-ioniques : avec des groupes de têtes hydrophiles neutres qui ne peuvent pas être ionisés dans la solution aqueuse, et ils forment des liaisons hydrogène avec l'eau [13-10].



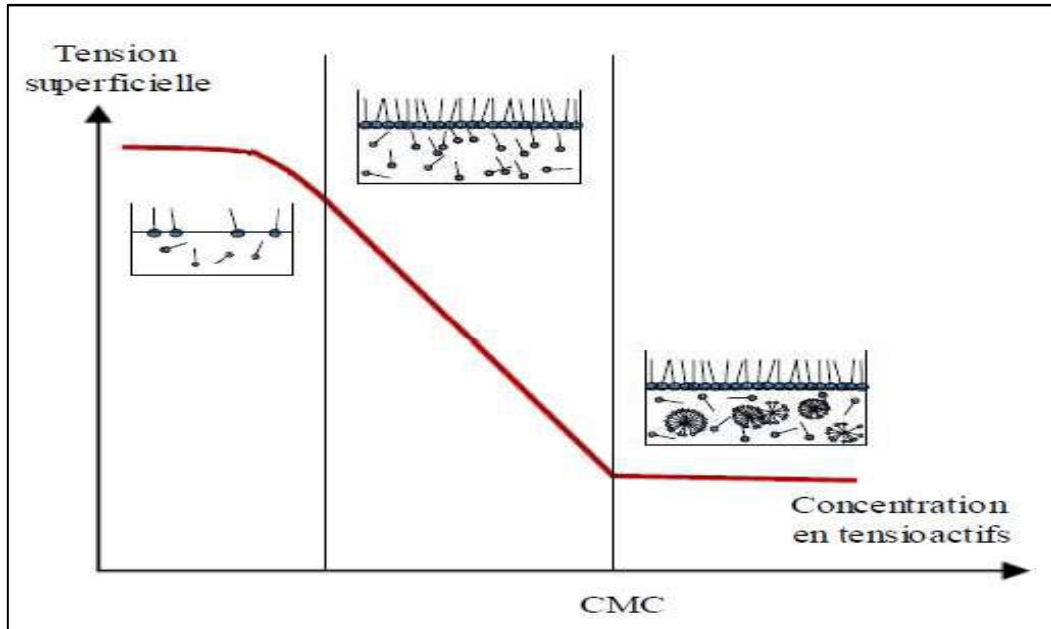
**Figure I.4:** Les différentes classes des tensioactifs [16]

En raison de leurs propriétés uniques, les TAs ont suscité beaucoup d'attention au cours des dernières décennies.

Les différentes propriétés des TAs sont :

- **L'adsorption aux interfaces** : un TA 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 [17].

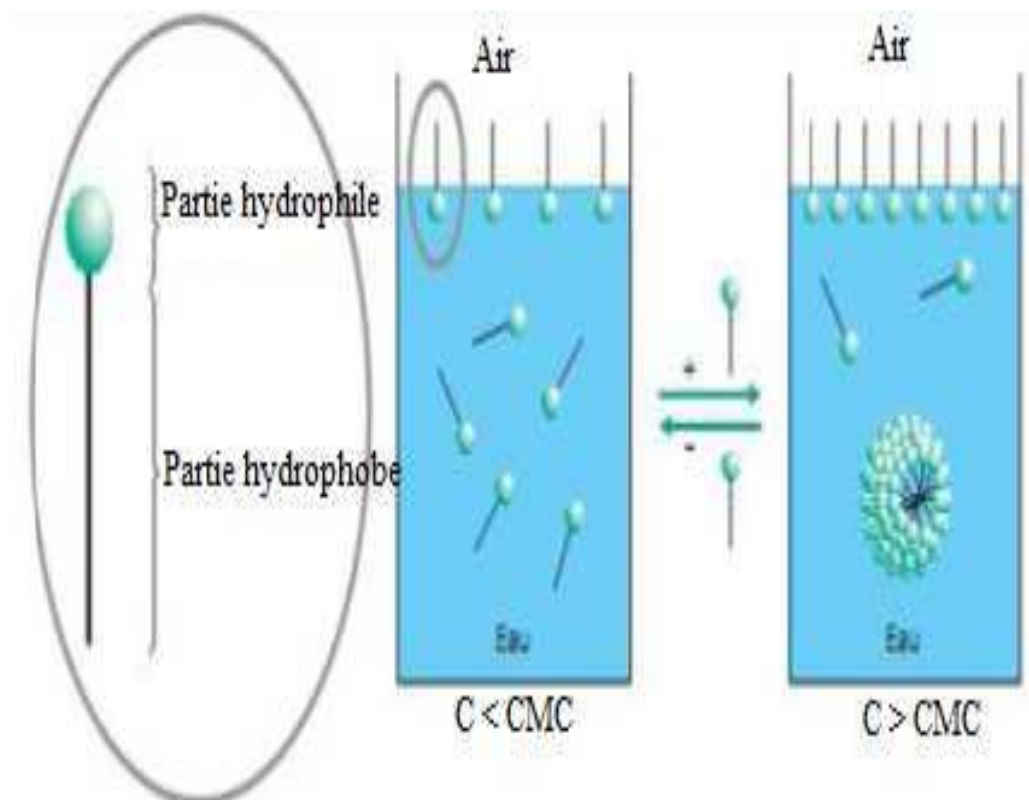


**Figure I.5:** La diminution de la tension superficielle par l'addition d'un tensioactif [16]

- **La concentration micellaire critique « CMC » :** A de faibles concentrations, les molécules de TA ont tendance à s'accumuler à l'interface « solution aqueuse-air » ou « solution aqueuse-solution organique » de telle sorte que la partie hydrophile soit toujours dirigée vers la phase aqueuse [15-13].

Lorsque la concentration augmente, davantage de molécules pénètrent dans la surface provoquant un déclin rapide dans la tension de surface. Et après avoir dépassé la concentration caractéristique du tensioactif connue sous le nom de « la concentration micellaire critique -CMC-» les molécules du TA auto-assemblent et forment des agrégats en vrac [10].

Expérimentalement, la CMC est déterminée par une rupture de la pente sur une courbe représentant la variation d'une propriété en fonction de la concentration en tensioactif comme il est illustré dans la **Figure I.5**. La connaissance de cette valeur permet donc de prévoir certains domaines d'applications pratiques de ces molécules [17].



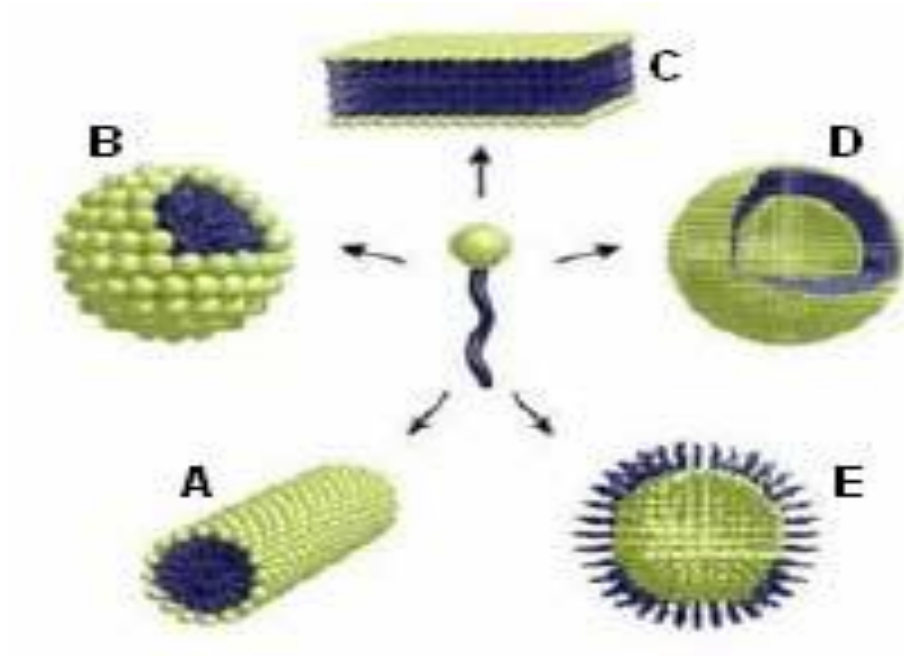
**Figure I.6:** Comportement des surfactants en milieu aqueux [16]

- **Phénomène de micellisation** : Les micelles se forment quand les têtes polaires du TA sont tournées vers la phase aqueuse et les queues apolaires sont entassées dans le noyau central. C'est pour ça, les micelles ont des propriétés d'absorption favorable pour une large gamme de composés [17-11].

D'un point de vue thermodynamique, la micellisation peut être considérée comme un mécanisme permettant de diminuer l'énergie interfaciale du tensioactif lorsque toutes les interfaces sont saturées en molécules adsorbées. Les forces majeures qui gouvernent le phénomène de micellisation des molécules tensioactives en solution sont principalement les forces hydrophobes « chaînes hydrocarbonées-eau » qui forcent les molécules à s'associer et les forces hydrophiles ; « ioniques » ou « stériques » entre les têtes hydrophiles qui forcent les molécules à demeurer en contact avec l'eau [17].

Le degré d'agrégation ainsi que la forme de ces agrégats varient en fonction de la nature du TA et des conditions de la solution. Ils peuvent prendre différentes

nanosstructures ; des bicouches, vésicules.....ect....., mais en général des micelles [10-11-13].



**Figure I.7:** Exemples de structures formées par des molécules de tensioactif [17]

A) micelle cylindrique, B) micelle directe, C) bicouche, D) vésicule, E) micelle inverse

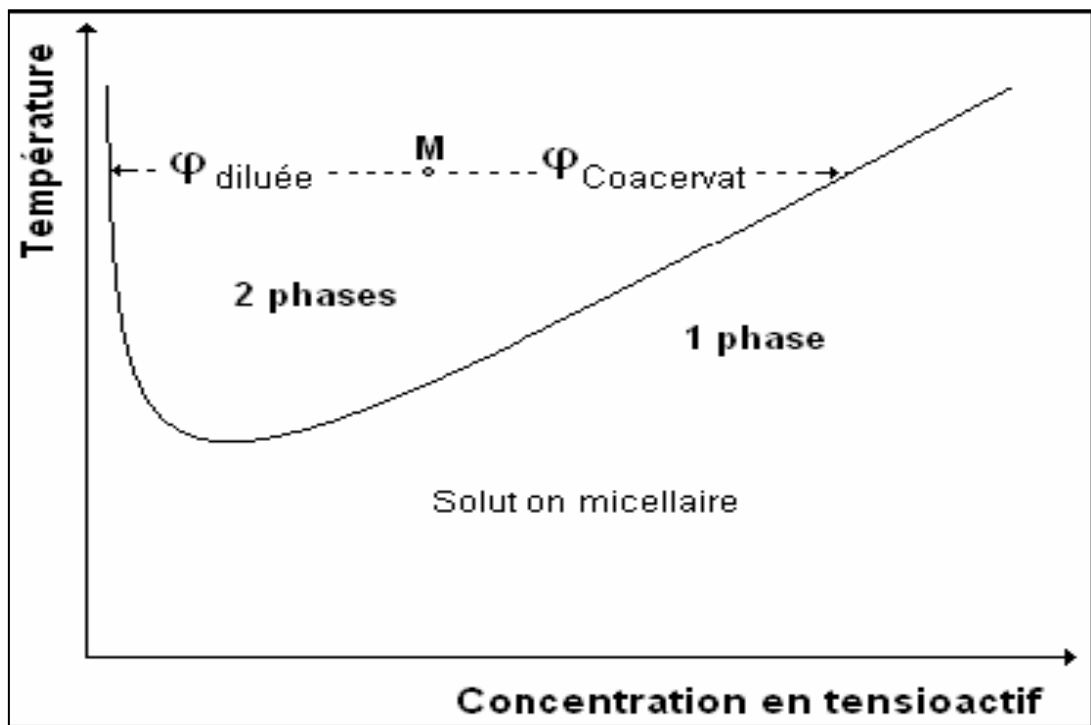
- **Le point de trouble :** le point de trouble est un paramètre caractéristique du TA non-ionique. Typiquement, les TAs non-ioniques deviennent troubles lorsqu'ils sont chauffés à une température qui s'appelle « la température du trouble ». Au-dessus de cette température, la solution micellaire se sépare en deux phases ; l'une est riche en TA qui s'appelle « coacervat » avec un petit volume et l'autre est diluée, elle possède une concentration en TA au voisinage de la CMC avec un volume plus important [18].

La force motrice de la séparation de ces deux phases est la différence entre les masses volumiques des phases diluée et coacervat. Cette séparation est réversible ; par refroidissement, à une température au-dessous de la température du trouble, le mélange redevient homogène [17].

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 [17].

La façon la plus classique d'étudier le comportement des TAs en solution aqueuse est basée sur l'analyse des diagrammes de phases (**Figure I.8**).



**Figure I.8 :** Diagramme de phases d'un système eau-TA non ionique [6]

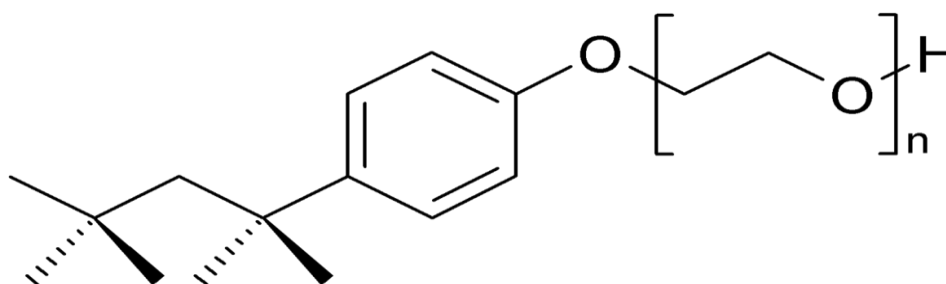
- **Biodégradabilité et toxicité:** Les tensioactifs sollicités dans des applications spécifiques doivent répondre aux critères imposés par leur domaine d'application et aux normes de législation des produits chimiques, ils doivent également répondre aux impératifs de biodégradabilité et de toxicité. Face à une telle situation, des approches sont mises en œuvre pour aboutir à une évaluation approfondie des risques encourus par l'utilisateur ainsi que par l'environnement. Ces approches concernent les analyses physico-chimiques, notamment des tests toxicologiques, écotoxicologiques et biologiques [17].

De nombreux tensioactifs non ioniques présentent un meilleur impact sur l'environnement et des propriétés toxicologiques supérieures à celles des autres types

des TAs. Leurs produits de dégradation ont un effet relativement faible sur l'environnement, ce qui est à l'origine de l'accroissement de leur utilisation [17].

**Le TA utilisé : Triton X100 :**

« Octylphénoxy polyéthoxyéthanol » ; est un TA non-ionique biodégradable, il possède un groupe hydrophile d'oxyde de polyéthylène et un groupe hydrophobe d'hydrocarbure. Il se présente sous forme d'un liquide jaunâtre visqueux, compatible avec d'autres TAs et miscible en toutes proportions avec l'eau à 25°C [16-19].



**Figure I.9 :** Structure chimique du Triton X100

**Tableau I.3 :** Propriétés physico-chimiques du Triton X100 [19]

Forme	Liquide
Couleur et odeur	Incolore à jaunâtre et de faible odeur
Formule chimique	$C_{14}H_{22}O(C_2H_4O)_n$ (n=9-10)
Masse molaire	647 g/mol
pH a 10g/L H <sub>2</sub> O (20°C)	6 _ 8
Point de solidification	6°C
Point d'ébullition	>200°C
Température de trouble	65°C
Point d'éclair	251°C
Pression de vapeur (20°C)	<0.01 hPa
Densité de valeur relative	>1
Densité (20°C)	1,07 g/cm <sup>3</sup>
Solubilité dans l'eau (20°C)	Soluble

### ***I.4.3.2 Aperçu sur les liquides ioniques « LI »:***

Le terme « liquides ioniques » regroupe les sels qui ont une température de fusion inférieure à 100°C, et en général ils sont liquides à la température ambiante. Ces sels sont constitués d'une combinaison cation-anion ou l'anion peut être de nature organique ou inorganique, tandis que le cation est souvent une molécule organique volumineuse [6].

Dans le domaine d'extraction liquide, la récupération sélective des particules consiste à trouver un agent d'extraction approprié. A cette fin, les LIs ont récemment attiré l'attention au lieu des extractants traditionnels en raison de leurs caractéristiques spécifiques et attrayantes.

Les différentes propriétés des liquides ioniques sont [16] :

- **Stabilité thermique élevée** : généralement, les LIs possèdent des températures de décomposition comprises entre 350°C et 450°C.
- **Leur nature non volatile.**
- **Densité** : la densité de certains LIs peut être au voisinage de celle de l'eau, mais la plupart ont des densités entre 1,20 et 1,50 à 25°C.
- **Des viscosités plus ou moins importantes**: Les liquides ioniques présentent des viscosités relativement importantes par rapport à celles des autres solvants utilisés en extraction classique.
- **Solubilité** : certains LIs sont miscibles avec l'eau, tandis que d'autres ne sont pas. La majorité des LIs sont solubles dans le chloroforme, l'acétonitrile, le méthanol et l'acétone.
- **Conductivité intéressante** : ils présentent une grande conductivité ionique, généralement de l'ordre de  $10^{-1}$  S.m<sup>-1</sup> et possèdent un domaine de stabilité électrochimique élevé ; compris généralement entre -3 et 3V
- **Caractère négligeable des pressions de vapeur.**

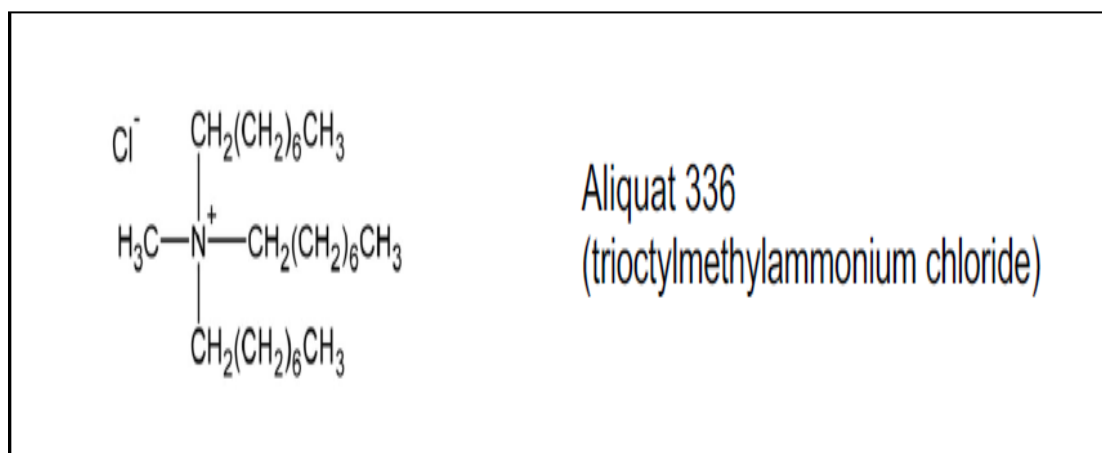
L'utilisation des liquides ioniques à l'échelle industrielle présente actuellement quelques contraintes [16]:

- **Problèmes de stabilité :** des liquides ioniques posent des difficultés de stockage. Certains réagissent violemment au contact avec l'eau, d'autres encore se détériorent en présence d'acides forts, d'autres sont instables en milieu basique.
- **Contraintes économiques :** les LI sont des solvants écologiques, mais leur coût reste une des barrières principales à leur utilisation à l'échelle industrielle.
- **Contraintes opératoires :** à cause de leur caractère hygroscopique certains LI nécessitent de travailler en l'absence d'humidité et d'autres doivent être introduits à chaud car ils sont visqueux.
- **Viscosité :** certains liquides ioniques qui sont trop visqueux ne peuvent pas être utilisés comme solvants et posent des problèmes pour les applications en électrochimie et surtout en synthèse organique.
- **Effet d'impuretés sur les liquides ioniques :** ces impuretés peuvent provenir de sous-produits de synthèse ou de dégradations dues à l'humidité.

Des étapes de purification sont nécessaires pour éliminer l'eau résiduelle présente, les composés organiques volatils, les halogénures provenant de la synthèse des liquides ioniques de première génération.

***Le liquide ionique utilisé : l'Aliquat 336 :***

«Chlorure de trioctylméthylammonium » ; est un liquide ionique et présente aussi les propriétés d'un TA cationique, il est utilisé comme un catalyseur de transfert de phase et un réactif d'extraction des métaux et des espèces anioniques en chimie industrielle et dans le domaine de la recherche [4].



**Figure I.10 :** Structure chimique de l'Aliquat 336 [6]

#### **I.4.4 Mécanisme d'extraction par coacervat :**

Bien que la CPE a été introduite il y'a plus de quatre décennies, des progrès sont encore réalisés pour la compréhension de cette méthode.

La CPE est basée sur le principe du piégeage des composés dans les micelles formées par le TA, bien que le mécanisme puisse être moins clair, le fait que les micelles ont des propriétés utiles qui facilitent l'extraction d'une large gamme de composés ne fait aucun doute.

Les micelles sont spatialement hétérogènes; la région du noyau est apolaire et anhydre tandis que la région de surface est polaire et solvatée par l'eau, Grâce à cette hétérogénéité spatiale les solutés de différentes polarités sont localisés dans différentes régions de la micelle [11]. La formation des micelles doit être accompagnée par la formation de la phase coacervat qui se sépare de la phase diluée en raison des différences de densité des deux phases ; c'est le résultat de la déshydratation efficace de la partie hydrophile des micelles avec l'augmentation de la température ou bien de d'autres phénomènes critiques [13-11].

Comme la température élevée ne peut pas être appliquée aux composés thermiquement sensibles, une nouvelle procédure d'extraction CPE rapide a été développée avec l'introduction des électrolytes de type « Sulfates et Carbonates » qui conduisent à une diminution significative de la CT jusqu'à la température ambiante. En revanche, l'ajout des sels de type « Nitrates et Thiocyanates » augmentent la CT [10-13].

Il a été noté dans de nombreux travaux que même l'ajout de substances organiques telles que : les alcools où les acides carboxyliques sont également connus pour abaisser la CT [12].

#### **I.4.5 Grandeurs caractéristiques :**

L'extraction à phase liquide est une méthode de séparation des mélanges, dont la faisabilité repose sur la différence d'affinité des solutés entre les deux phases. Les grandeurs qui vont permettre de décrire les résultats d'extraction sont alors définies comme suit.

##### ***I.4.5.1 Rendement :***

La performance de l'extraction a toujours été qualifiée par la capacité du solvant à extraire le soluté. Cette performance peut être traduite par le pourcentage suivant :

$$R = \frac{cc}{c_0} * 100 = \frac{c_0 - cd}{c_0} * 100 \quad (I.1)$$

A l'évidence, plus la valeur du pourcentage « R » est grande, plus que l'efficacité de l'extraction est meilleure ; mais cette valeur n'est significative que si la fraction volumique de la phase coacervat est suffisamment faible.

#### ***1.4.5.2 Fractions volumiques :***

Comme son nom l'indique, la fraction volumique du coacervat est le rapport entre le volume de la phase coacervat et le volume total.

$$F = \frac{vc}{vt} = \frac{vc}{vc+vd} \quad (I.2)$$

Comme en extraction liquide classique ou on cherche à minimiser la quantité du solvant, il en va de même en extraction par coacervat ou on a intérêt à ce que la phase coacervat soit la plus faible possible, donc que le coacervat soit le plus concentré possible en polluant à extraire.

#### ***1.4.5.2 Le coefficient de partage « P »:***

Le coefficient de partage est le rapport de la distribution du soluté entre les deux phases ; diluée et coacervat.

$$P = \frac{cc}{cd} = \frac{nc/vc}{cd} = \frac{(c_0*v_0 - cd*vd)/vc}{cd} = \frac{(c_0 - cd)*(vd/vc)}{cd} \quad (I.3)$$

#### ***1.4.5.2 facteur de concentration « FC »:***

Le facteur de concentration est un paramètre très important pour l'évaluation théorique de la capacité d'un système micellaire à extraire des contaminations organiques. Ce paramètre représente un moyen commode et pratique pour évaluer le procédé d'extraction. Il peut être défini comme étant le pourcentage de la concentration du soluté dans la phase coacervat par rapport à la concentration initiale.

$$FC = \frac{cc}{c_0} = \frac{nc/vc}{c_0} = \frac{(c_0*v_0 - cd*vd)/vc}{c_0} = \frac{(c_0 - cd)*(vd/vc)}{c_0} \quad (I.4)$$

Avec:  $\begin{cases} n_0 = \text{le nombre de mole totale du colorant BBP à extraire.} \\ nc = \text{le nombre de mole du BBP dans la phase coacervat.} \\ nd = \text{le nombre de mole du BBP dans la phase diluée.} \end{cases}$

$\left\{ \begin{array}{l} C_0: \text{la concentration initiale en soluté.} \\ C_c: \text{la concentration en soluté dans la phase coacervat.} \\ C_d: \text{la concentration en soluté dans la phase diluée.} \end{array} \right.$

$\left\{ \begin{array}{l} V_t: \text{le volume total.} \\ V_c: \text{le volume de la phase coacervat.} \\ V_d: \text{le volume de la phase diluée.} \end{array} \right.$

#### **I.4.6 Les facteurs qui influent sur CPE :**

Il existe plusieurs paramètres influant sur le point de trouble et par conséquent sur l'extraction par coacervat, on distingue [16] :

- pH initial de la solution du colorant.
- Concentration d'ion métallique.
- Ajout de tensioactifs ioniques : De nombreux auteurs ont montré que l'addition d'un tensioactif ionique à une solution micellaire de tensioactif non ionique augmente l'efficacité de l'extraction.
- La nature du tensioactif.
- Ajout de sel : l'introduction des électrolytes de type « Sulfates et Carbonates » conduisent à une diminution significative de la CT jusqu'à la température ambiante. En revanche, l'ajout des sels de type « Nitrates et Thiocyanates » augmentent la CT.
- Ajout des liquides organiques polaires.

#### **I.4.7 Avantages, inconvénients et solutions de la CPE:**

Par rapport à d'autres techniques, la CPE présente différents avantages [13-12]:

- C'est une méthode écologique; elle utilise des TAs verts au lieu des solvants organiques toxiques traditionnels.
  - Faible cout ; elle n'exige pas un équipement spécial et elle nécessite qu'une petite quantité des produits chimiques.
  - La probabilité d'extraction de plusieurs composés simultanément avec des conditions d'extraction douces.
  - Elle est facilement combinable avec la spectroscopie et les méthodes chromatographiques.
  - Faible possibilité de formation d'émulsion.

D'autre part, les limites de la CPE sont [11-13-12] :

- De nombreux TAs ne sont pas disponibles en tant qu'homogènes et purs.
- Moins d'efficacité pour l'extraction des composés polaires par les TAs non-ioniques.
- Mais le principal inconvénient de la CPE est le besoin de chauffage ; cela peut être facilement réglé par l'ajout d'un sel.

#### **I.4.8 Applications d'extraction par coacervat :**

Le champ d'application de la CPE est très vaste [13-16] :

- Domaine alimentaire ; la CPE peut être demandée pour l'extraction des bioactifs dans les transformations alimentaires.
- La purification des protéines.
- La dépollution des effluents aqueux.
- L'extraction des métaux lourds et des contaminations organiques.

#### **I.7 Conclusion :**

- ❖ Cette étude bibliographique a pour but d'évaluer les tendances concernant les domaines couverts par cette étude : les colorants synthétiques notamment le BBP, et la technique de son extraction par CPE.
- ❖ On a constaté que les colorants de synthèse sont souvent considérés comme toxiques, ce qui pose un danger réel pour l'environnement.
- ❖ Le BBP a été choisis pour cette étude a cause de ses utilisations dans diverses industries associées à une grande toxicité surtout dans les milieux aqueux.
- ❖ Cette étude porte aussi sur l'importance de la méthode d'extraction par coacervat et sur ses applications écologiques potentielles dans différents domaines.
- ❖ La CPE est considérée comme une technique verte ; elle utilise des TAs non-toxiques.

---

# Matériels et Méthodes

## Chapitre II : Matériels et Méthodes

### II.1 Introduction :

Ce chapitre a pour objectif de présenter tous les produits chimiques, l'appareillage utilisés, la méthode de dosage par UV-VISIBLE ainsi que les expériences réalisées et la procédure suivie pour l'extraction du BBP par point de trouble en utilisant le Triton X100 comme TA non ionique, l'Aliquat 336 comme un agent extractant et le sel de Sulfate de Sodium pour réduire la température du trouble jusqu'à la température ambiante.

### II.2 Réactifs et appareillages utilisés :

Les produits chimiques utilisés sont regroupés dans le tableau II.1.

**Tableau II.1 : Liste des produits chimiques utilisés**

Produit chimique	Formule chimique	Fournisseur
Bleu de Bromophénol	$C_{19}H_{10}Br_4O_5S$	SIGMA-ALDRICH
Triton X100	$C_{14}H_{22}O(C_2H_4O)_n$ (n=9-10)	FLUKA
Aliquat 336	$C_{25}H_{54}ClN$	ALDRICH
L'acide chlorhydrique	HCl	SIGMA-ALDRICH
L'hydroxyde de sodium	NaOH	SIGMA-ALDRICH
Sulfate de sodium	$Na_2SO_4$	SIGMA-ALDRICH
Ethanol technique 96%	$C_2H_5OH$	Chemopharma

**Remarque :** on a utilisé l'eau distillée préparée dans le laboratoire pour préparer nos solutions.

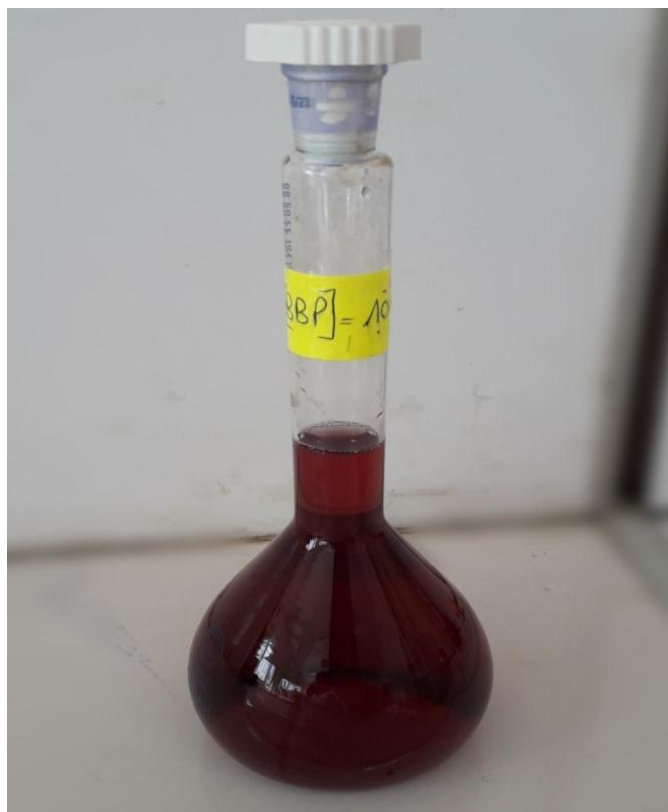
Les appareils utilisés sont :

- Spectrophotomètre UV-Visible ;
- Agitateur magnétique et agitateur vortex ;
- Balance analytique électronique ;
- PH-mètre ;
- Centrifugeuse ;
- Des tubes à essai, Bêchers, Pipettes, fioles jaugées, des micropipettes.....

### II.3 Préparation des solutions :

#### II.3.1 Préparation de la solution mère du colorant :

Une solution du BBP à  $10^{-4}$  mol/L a été préparée en solubilisant 0,033 g de BBP ( $M=669,96$  g/mol) dans une fiole de 500 mL.



**Figure II.1 :** Solution mère du BBP à  $10^{-4}$  mol/L

#### II.3.2 Préparation de la solution alcoolique d'aliquat 336 :

Une solution d'aliquat 336 à 0,12 mol/L a été préparée en solubilisant 2,42 g d'aliquat 336 commercial ( $M=404,16$  g/mol) avec l'éthanol dans une fiole de 50 mL.

### II.3.3 Préparation de la solution acide :

Une solution acide à 0,5 mol/L a été préparée en solubilisant 0,414 mL de HCl 37% ( $M=36,5$  g/mol,  $d=1,19$ ) dans une fiole de 10 mL.

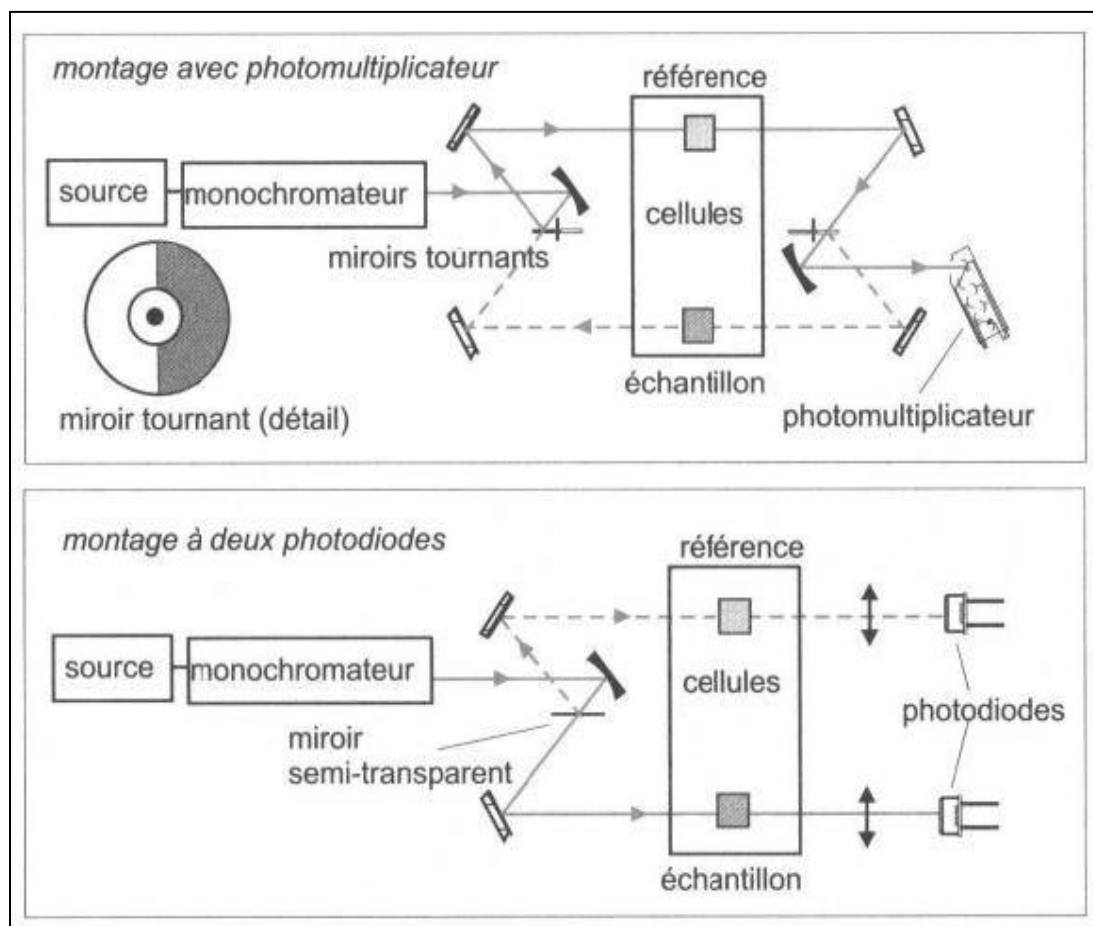
### II.3.4 Préparation de la solution basique :

Une solution basique à 0,5 mol/L a été préparée en solubilisant 0,199 g de NaOH ( $M=39,99$  g/mol) dans une fiole de 10 mL.

## II.4 Dosage des solutions par le spectrophotomètre UV-Visible :

### II.4.1 Principe et loi de Beer Lambert:

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative et qualitative qui est essentiellement basée sur le phénomène d'absorption des rayonnements lumineux.



**Figure II.2 :** Le principe de la spectrophotométrie

Lorsqu'une lumière monochromatique d'intensité  $I_0$  passe à travers une solution, une partie  $I$  de celle-ci est transmise et l'autre partie est absorbée, on définit l'absorbance par :

$$A = \text{Log} \frac{I_0}{I}$$

A une longueur d'onde donnée, l'absorbance est proportionnelle à la concentration des espèces dans la solution. La loi de Beer Lambert s'écrit alors :

$$A = \varepsilon l C \quad (\text{II.1})$$

A : l'absorbance de la solution.

$\varepsilon$ : coefficient d'extinction molaire de la substance absorbante (en  $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ).

l : la longueur du trajet optique (généralement 1cm).

C : la concentration de la solution absorbante (en mol/L).

#### II.4.2 Etablissement de la courbe d'étalonnage :

La quantification du BBP par spectrophotométrie UV-VISIBLE nécessite l'établissement d'une courbe d'étalonnage à une gamme de concentration de  $8 \cdot 10^{-5}$  mol/L à  $4 \cdot 10^{-7}$  mol/L pour laquelle la loi de Beer Lambert est respectée (obtention d'une droite en traçant  $A=f(C)$ ), et à une longueur d'onde de l'ordre de 596 nm ; c'est la longueur d'onde caractéristique du BBP.

Les mesures ont été faites par un spectrophotomètre sur des solutions filles préparées par dilution de la solution mère.

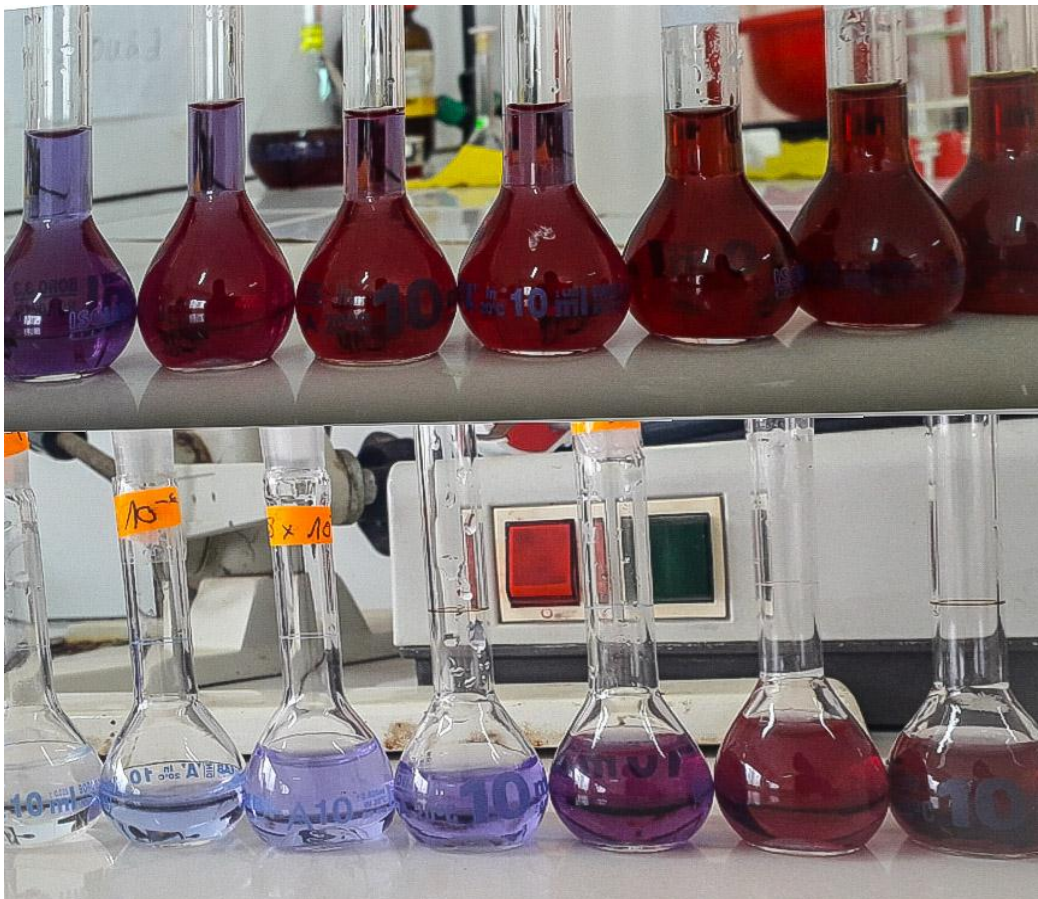
#### II.4.3 Calcul des dilutions :

En appliquant la loi de la dilution  $C_1V_1 = C_2V_2$ , on va préparer à partir de la solution mère ( $10^{-4}$  mol/L) des solutions filles de différentes concentrations qui appartiennent au domaine de validité de la loi de Beer Lambert. Une fois préparées, elles sont dosées par spectrophotométrie UV-VISIBLE.

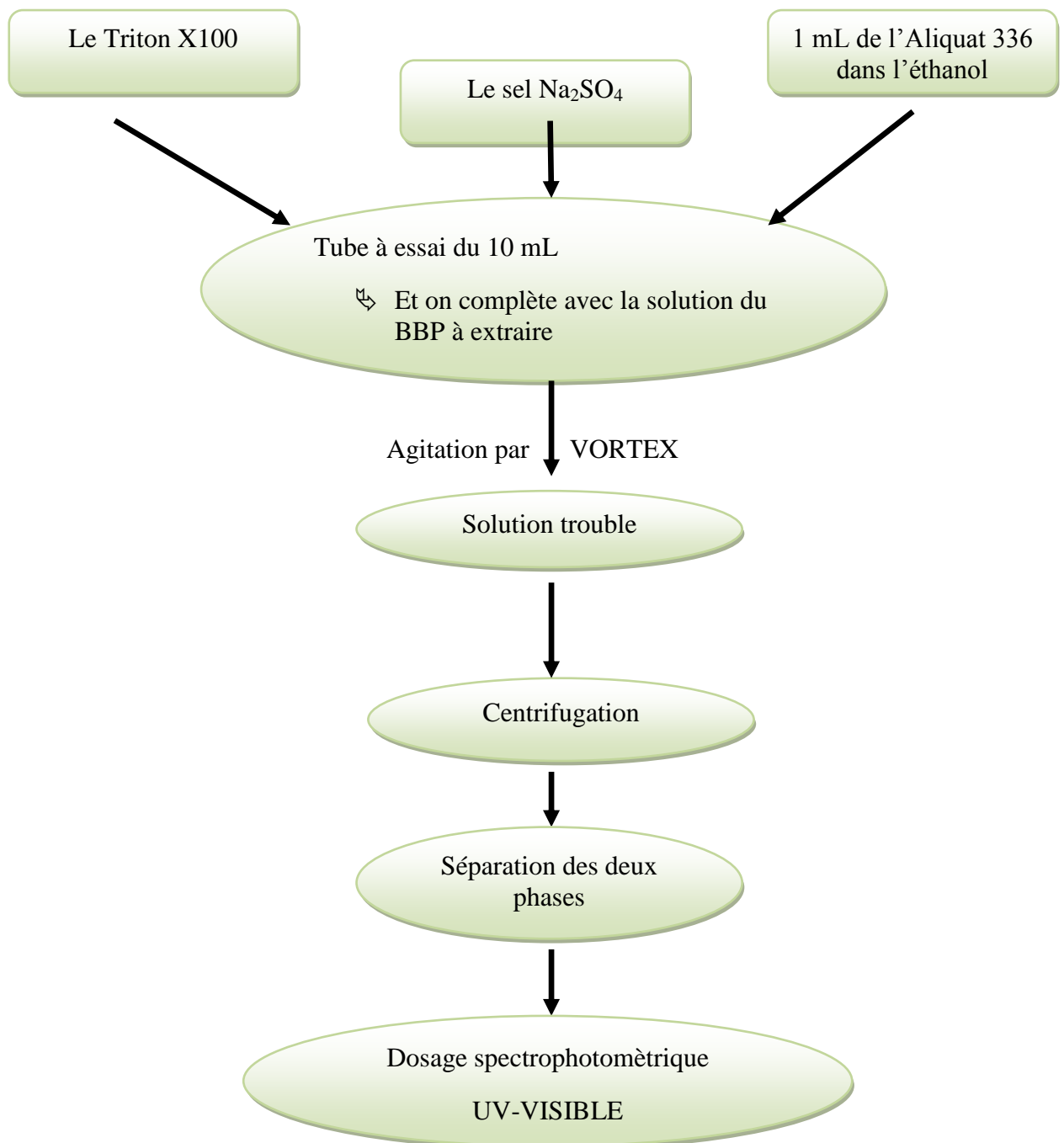
Les volumes à prélever de la solution mère pour préparer les solutions filles sont mentionnés dans le tableau suivant :

**Tableau II.2 :** Les volumes à prélever pour préparer les solutions filles

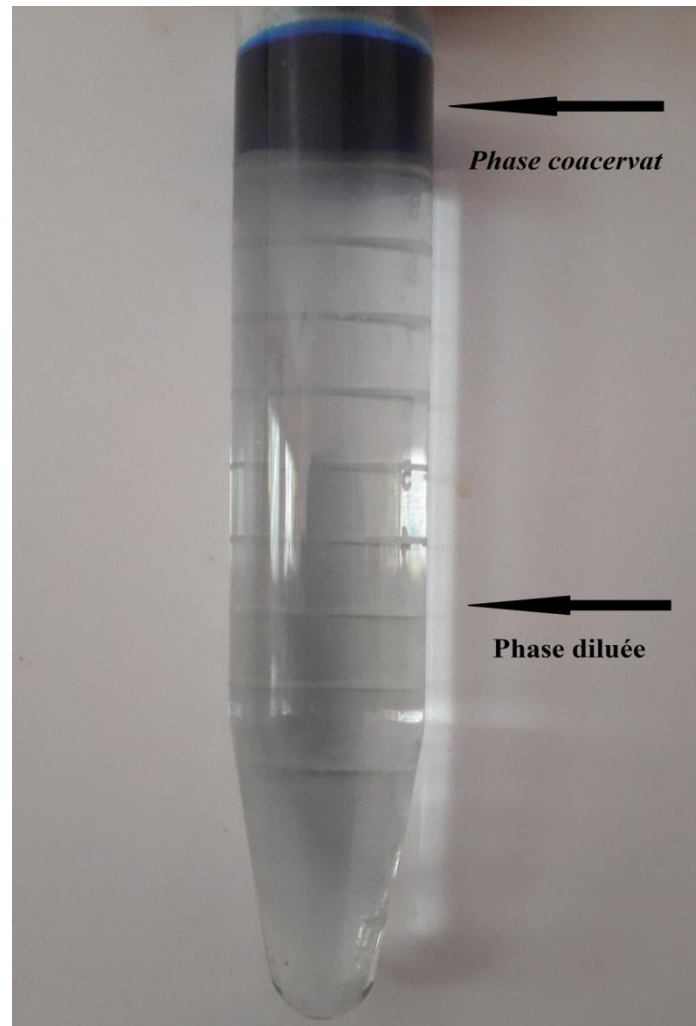
Concentration (mol/L)	$8 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-6}$
Volume à prélever (mL)	8	6	4	1	0,8
Concentration (mol/L)	$6 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-7}$
Volume à prélever (mL)	0,6	0,4	0,2	0,1	0,04

**Figure II.3 :** Les solutions filles avec des concentrations qui appartiennent à l'intervalle de validité de la loi de Beer Lambert

### II.5 Procédure d'extraction du Bleu de Bromophénol :



**Figure II.4 :** Schéma explicatif de la procédure générale d'extraction du BBP par coacervat



**Figure II.5** Extraction du BBP par coacervat

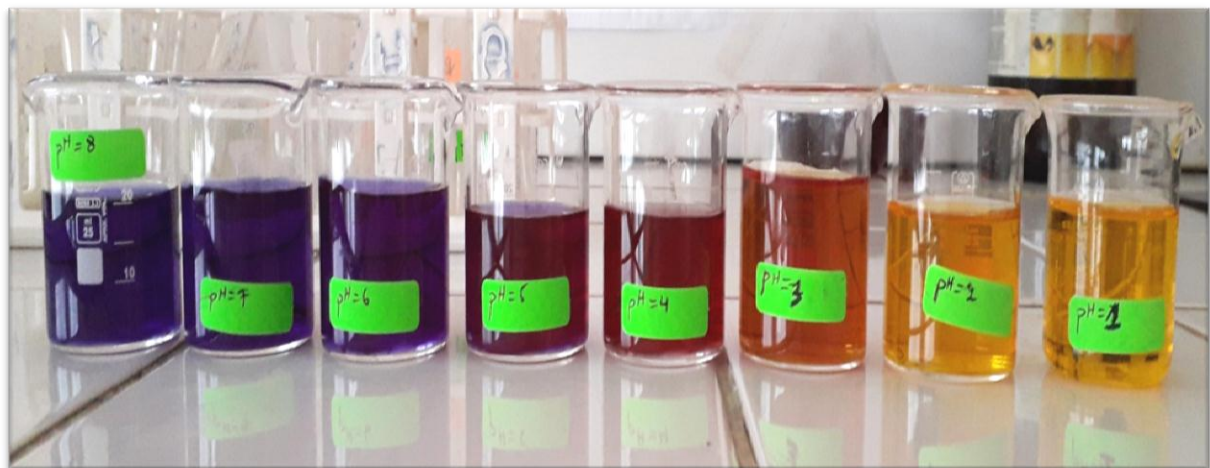
### II.5.1 Effet de pH :

Dans des tubes gradués, on a mis 2 % de Triton X100 soit 0,2 g, 5 % de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  soit 0,5 g, 1 mL de la solution alcoolique d'Aliquat 336 à 0,12 mol/L, nous l'avons dissous dans 5 mL de la solution mère du BBP puis on a complété jusqu'à 10 mL avec la même solution. On a ajusté le pH des solutions à l'aide de la solution acide HCl à 0,5 mol/L et de la solution basique NaOH à 0,5 mol/L à des pH de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8.

On a laissé les solutions en repos pendant 30 min puis on a fait une centrifugation de 2000 rpm pendant 10 minutes puis on a dosé la phase diluée par UV-VISIBLE.



**Figure II.6 :** Montage d'ajustement de pH



**Figure II.7 :** La solution mère du BBP à des pH différents

### II.5.2 Effet de la concentration du tensioactif non ionique (Triton X100):

Dans des tubes gradués, on a mis 0,1, 1, 2 % de Triton X100, 5 % de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> soit 0,5 g, 1 mL de la solution alcoolique d'Aliquat 336 à 0,12 mol/L, nous l'avons dissous dans 5 mL de la solution mère du BBP puis on a complété jusqu'à 10 mL avec la même solution. On a laissé les solutions en repos pendant 30 min puis on a fait une centrifugation de 2000 rpm pendant 10 minutes puis on a dosé la phase diluée par UV-VISIBLE.

**Tableau II.3 :** *Les masses du Triton X100 à peser*

Pourcentage	0.1 %	1 %	2 %
Masse	0,01 g	0,1 g	0,2 g

### II.5.3 Effet de la concentration de l'extractant (Aliquat 336) :

Dans des tubes gradués, on met 2 % de Triton X100, 5 % de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> soit 0,5 g et 50, 100, 200, 400, 600, 800 µL, 1.35, 1.55, 1.75 mL de la solution alcoolique d'Aliquat 336 à 0,12 mol/L, on les dissout dans 5 mL de la solution mère du BBP puis on complète jusqu'à 10 mL avec la même solution. On laisse les solutions en repos pendant 30 min puis on fait une centrifugation de 2000 rpm pendant 10 minutes puis on dose la phase diluée par UV-VISIBLE.

### II.5.4 Effet de la force ionique :

Dans des tubes gradués, on met 2 % de Triton X100 soit 0,2 g, 0,5, 0,8, 1, 2, 3, 4 % de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1 mL de la solution alcoolique d'Aliquat 336 à 0,12 mol/L, on les dissout dans 5 mL de la solution mère du BBP puis on complète jusqu'à 10 mL avec la même solution. On laisse les solutions en repos pendant 30 min puis on fait une centrifugation de 2000rpm pendant 10 minutes puis on dose la phase diluée par UV-VISIBLE.

**Tableau II.4** : Les masses d'Aliquat 336 à peser

Pourcentage	0,5 %	0,8 %	1 %	2 %	3 %	4 %
Masse	0,05 g	0,08 g	0,1g	0,2 g	0,3 g	0,4 g

**II.5.5 Effet de temps de séparation :**

Dans des tubes gradués, on met 2 % de Triton X100 soit 0,2 g, 5 % de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1 mL de la solution alcoolique d'Aliquat 336 à 0,12 mol/L, on les dissout dans 5 mL de la solution mère du BBP puis on complète jusqu'à 10 mL avec la même solution.

On laisse les solutions en repos de 1 minute jusqu'à 24 heures puis on fait une centrifugation de 2000 rpm pendant 10 minutes puis on dose la phase diluée par UV-VISIBLE.

**II.6 Conclusion :**

Ce chapitre a servi à la description du matériel utilisé et les différentes expériences nécessaires pour l'optimisation de l'extraction du BBP.

---

# Résultats et discussion

## Chapitre III : Résultats et discussion

### III.1 Introduction :

Notre travail porte sur l'extraction par coacervat du BBP à partir d'une solution aqueuse. L'étude a été réalisée dans le but de déterminer les meilleures conditions d'élimination du BBP en tant que colorant industriel en faisant varier les deux paramètres :

- ✓ Le pH initial de la solution du colorant.
- ✓ La quantité du tensioactif « Triton X100 ».

Les principaux résultats de cette étude seront présentés puis discutés.

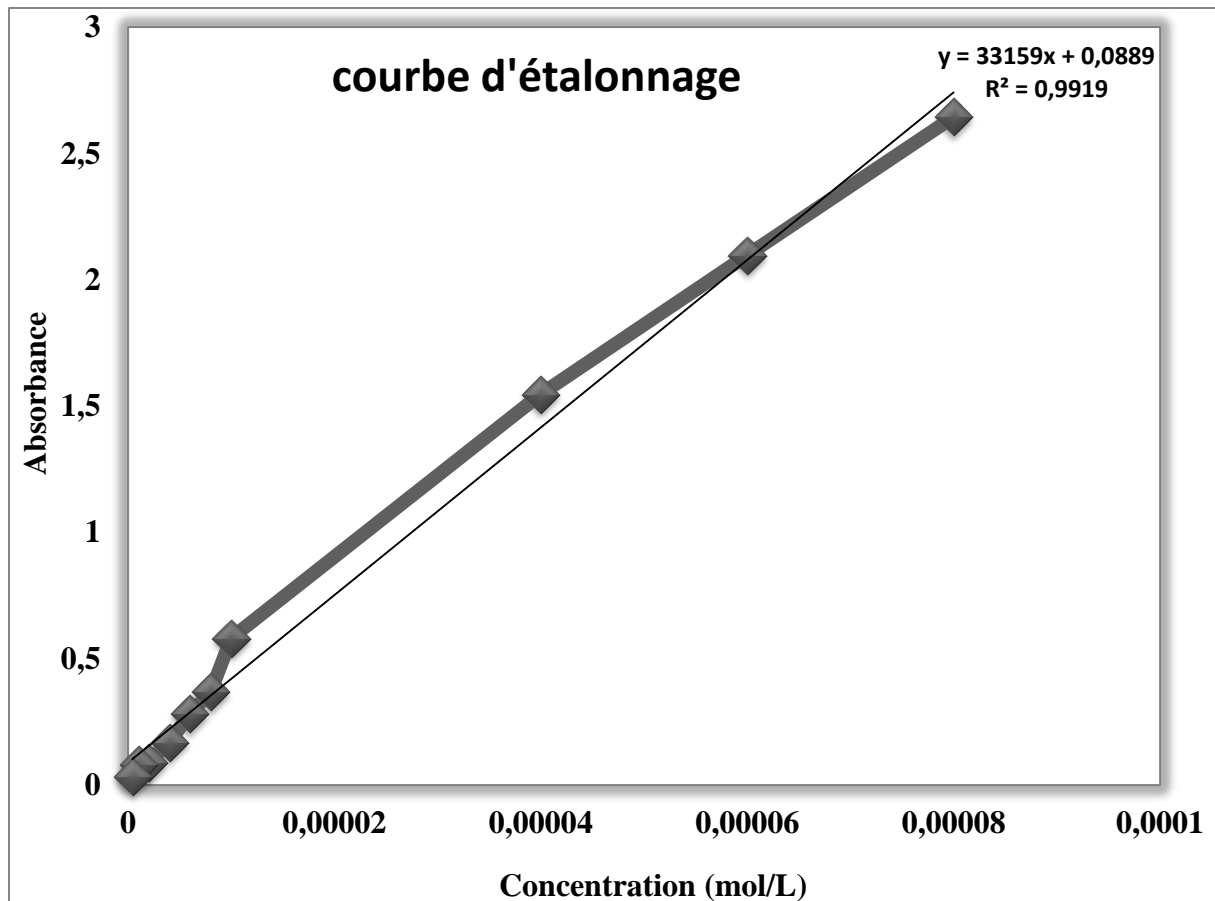
### III.2 Courbe d'étalonnage :

La courbe d'étalonnage réalisée permet la détermination de la concentration de notre polluant « BBP ».

En utilisant la spectrophotométrie UV-VISIBLE, on a réalisé un dosage des solutions à des différentes concentrations en BBP préparées avec précision ( $8 \cdot 10^{-5}$ ,  $6 \cdot 10^{-5}$ ,  $4 \cdot 10^{-5}$ ,  $1 \cdot 10^{-5}$ ,  $8 \cdot 10^{-6}$ ,  $6 \cdot 10^{-6}$ ,  $4 \cdot 10^{-6}$ ,  $2 \cdot 10^{-6}$ ,  $1 \cdot 10^{-6}$ ,  $4 \cdot 10^{-7}$  mol/L).

**Tableau III.1 :** *L'évolution de l'Absorbance en fonction des concentrations*

Concentration (mol/L)	$8 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-6}$
L'Absorbance	2,6455	2,0971	1,5474	0,5813	0,3696
Concentration (mol/L)	$6 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-7}$
L'Absorbance	0,2814	0,1704	0,0895	0,0817	0,0353



**Figure III.1 :** La courbe d'étalonnage des solutions du BBP avec différentes concentrations

Dans l'intervalle de concentration choisi, on a obtenu un graphique d'étalonnage linéaire.

L'équation de la courbe est de la forme :

$$\text{Absorbance} = 33159 \cdot [\text{BBP}] + 0,0889$$

Avec  $R^2 = 0,9919$ , elle obéit à la loi de Beer-Lambert.

L'expression des concentrations en BBP situées dans l'intervalle  $[4 \cdot 10^{-7} - 8 \cdot 10^{-5}]$  mol/L est donc :

$$[\text{BBP}] = \frac{\text{Absorbance} - 0,0889}{33159}$$

### III.3 Optimisation de l'extraction du Bleu de Bromophénol :

L'optimisation des paramètres ne pourrait pas être ignorée. Cette optimisation pourrait non seulement d'améliorer l'efficacité de l'extraction du BBP, mais également à mieux contrôler le cout.

Dans le but d'optimiser le fonctionnement d'un procédé d'extraction par coacervat, il est très important de prendre en compte le bon choix du TA et de l'extractant approprié, ces derniers devraient être les plus performants possibles. Mais aussi de bien connaître l'évolution des facteurs qui gouvernent l'efficacité de cette technique.

Et afin de déterminer les meilleures conditions d'extraction de notre colorant, notre étude a porté sur la variation des deux paramètres suivants ; l'effet de pH et l'effet de la quantité du TA non ionique (Triton X100).

### III.3.1 Effet de pH :

Comme l'on a déjà vu dans le **chapitre I**, le pH influe fortement sur l'extraction, il joue un rôle essentiel sur l'affinité des composés à extraire pour les agrégats micellaires. C'est pour ça, il est le facteur clé dans l'extraction de notre colorant, car l'extraction de ce dernier dépend fortement de sa forme ionisée et donc du PH.

Il est bien connu que les acides faibles dans les milieux aqueux existent sous la forme neutre ou ionisée suivant le pH du milieu. Ce dernier est donc le paramètre le plus important affectant la dissociation des composés. Cette dissociation sera à partir d'un certain pH équivalent au pKa ; c'est la constante d'acidité.

Et comme le BBP est un colorant diacide faible, il possède deux constantes d'acidité  $pK_{a1}= 3$  et  $pK_{a2}= 4,6$  [7].

Dans les milieux trop acides, le BBP perd son pouvoir acide et on va avoir l'apparition de sa forme neutre suivant la réaction inverse de sa dissociation.

A un pH = 3 équivalent au  $pK_{a1}$ , le BBP se déprotone suivant la réaction :

$$\text{BBP} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{BBP}^- + \text{H}_3\text{O}^+$$

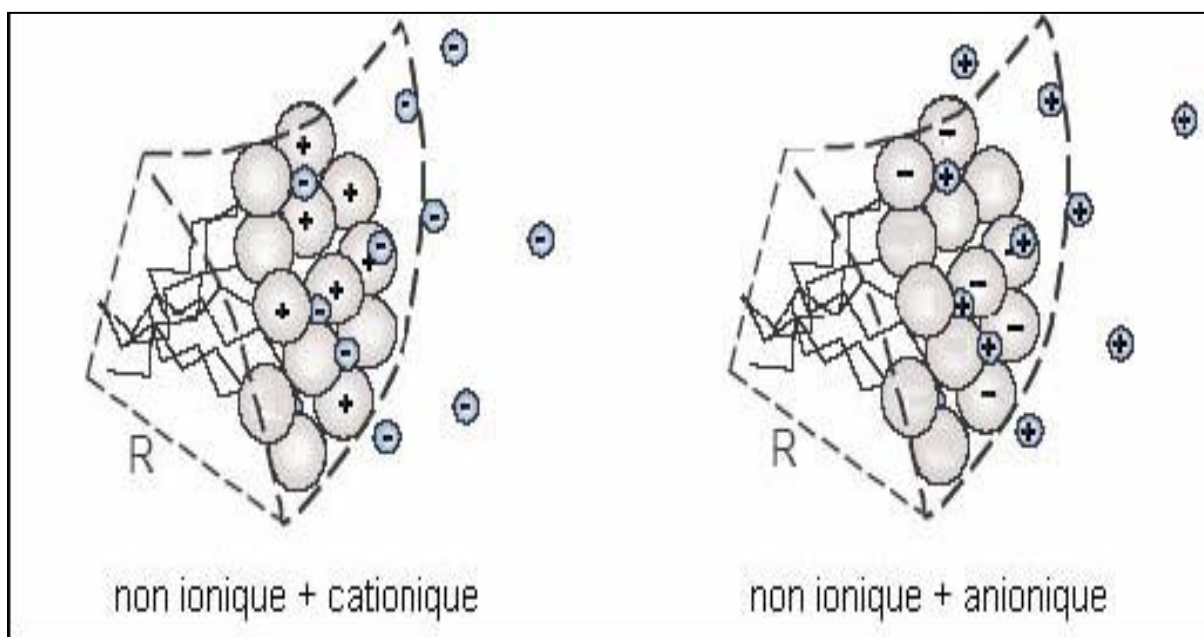
Et à un pH = 4,6 équivalent au  $pK_{a2}$ , ça engendre une deuxième déprotonation ce qui favorise l'apparition de l'anion  $\text{BBP}^{2-}$ .

### Formation des micelles mixtes :

Lorsque des TA non ioniques et ioniques coexistent dans un milieu, ces deux espèces peuvent interagir pour offrir des propriétés bénéfiques et supplémentaires au système. Cette interaction se traduit dans la majorité des cas par une association spécifique ainsi que la

formation des nouvelles structures qui peuvent aboutir à des effets synergiques. Ces micelles connues sous le nom de micelles mixtes, elles sont généralement utilisées dans des formulations industrielles de manière à tirer parti des propriétés caractéristiques individuelles de chaque TA [17].

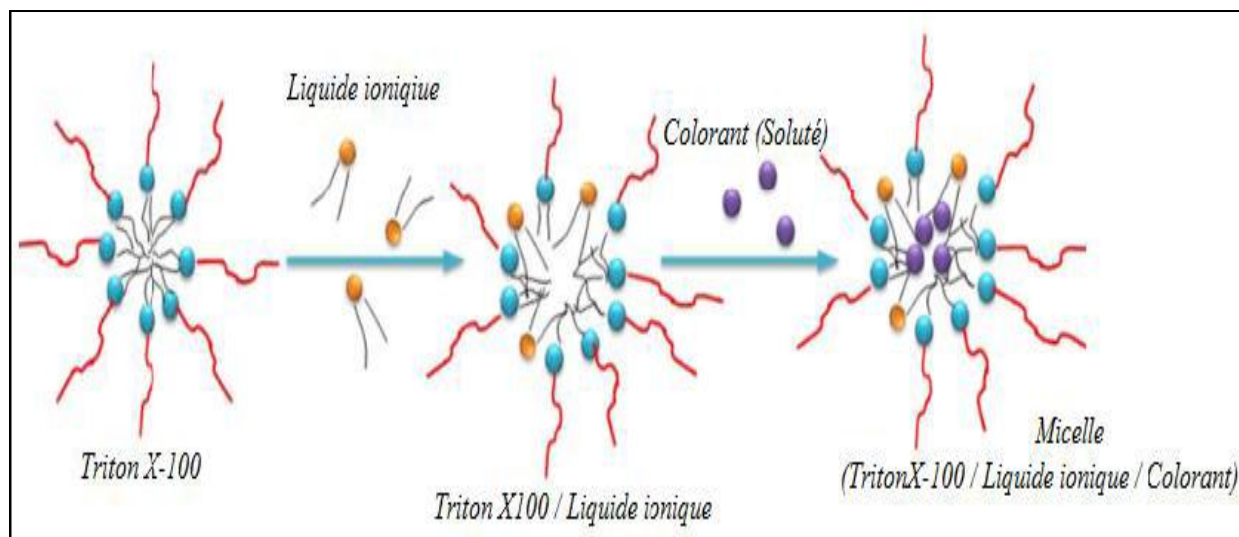
La **Figure III.2** montre que ces agrégats micellaires sont formés d'un cœur hydrophobe et d'une surface micellaire constituée à la fois de groupes polaires neutres et chargés [17].



**Figure III.2** Exemples de micelles mixtes

L'extraction du notre colorant a été assurée par la présence du TA non ionique (Triton X100) et l'introduction du LI (Aliquat 336) comme extractant. Comme ce dernier est cationique, une fois incorporé avec le Triton X100, des micelles mixtes se forment sur lesquelles des charges positives s'apparaissent. Cela augmente les forces de répulsion entre les micelles et les rend plus hydrophiles [20].

La formation de ces micelles mixtes se fait par des liaisons hydrogène entre le TA et le LI, L'extraction de BBP s'effectue donc par complexation de ce dernier avec les micelles mixtes formées (**Figure III.3**) [21].



**Figure III.3** Mécanisme d'extraction du colorant par les micelles mixtes

L'étude de l'effet de pH initial de la solution mère est réalisée par l'ajustement du pH en gardant tous les autres paramètres constants et à une température ambiante. Les résultats obtenus sont résumés et représentés dans le **Tableau III.2** et les courbes : **Figure III.4**, **Figure III.5**, **Figure III.6** et **Figure III.7**.

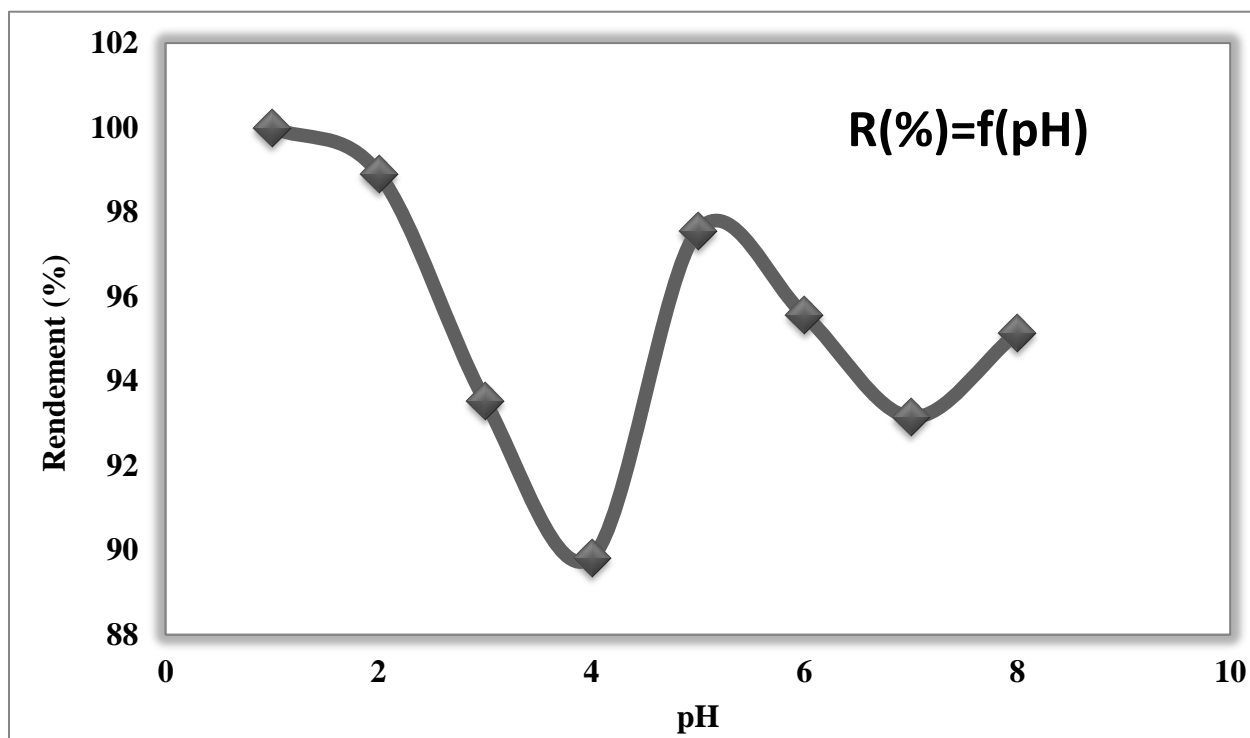
**Tableau III.2** L'évolution du rendement, coefficient de partage, facteur de concentration et la fraction volumique de l'extraction du BBP

pH	Absorbance	V	R %	P	FC	Fraction volumique
1	0	2	100	tend vers l'infini	4	0,2
2	0,0302	1	98,91	821,14	8,90	0,1
3	0,1801	1	93,53	130,20	8,41	0,1
4	0,2835	1	89,82	79,43	8,08	0,1
5	0,0678	1	97,56	360,76	8,78	0,1

6	0,1235	1	95,56	193,99	8,60	0,1
7	0,1907	1	93,15	193,99	8,38	0,1
8	0,1351	1	95,15	176,56	8,56	0,1

### III.3.1.1 Rendement d'extraction :

Pour bien expliquer l'effet du pH initial de la solution du colorant à extraire, on a fait d'abord l'étude de l'évolution du rendement de l'extraction par coacervat en fonction de différents PH (**Figure III.4**).



**Figure III.4 :** L'évolution du rendement d'extraction du BBP en fonction de pH

D'après la **Figure III.4**, nous observons qu'avec le changement du pH, on a obtenu des rendements d'extraction qui excèdent les 90% et atteint 100% à un pH = 1.

En milieu acide (pour un pH de 1 à 4) : on observe une diminution considérable du rendement d'extraction avec l'augmentation du pH (de 100% jusqu'à 89,8%). Dans cet

intervalle notre colorant est sous sa forme neutre, nous pouvons dire que son piégeage dans les agrégats micellaires formés est réalisé grâce à sa solubilisation dans la palissade micellaire avec des liaisons hydrogène entre les groupes OH du BBP et les chainons oxyde d'éthylène du TA non ionique. Ce qui a été observé aussi dans les travaux de (L.NOGUEIRA DUARTE. 2005) et (H. BENKHEDJA. 2016) sur d'autres composés organiques et dans les mêmes systèmes micellaires [17-20].

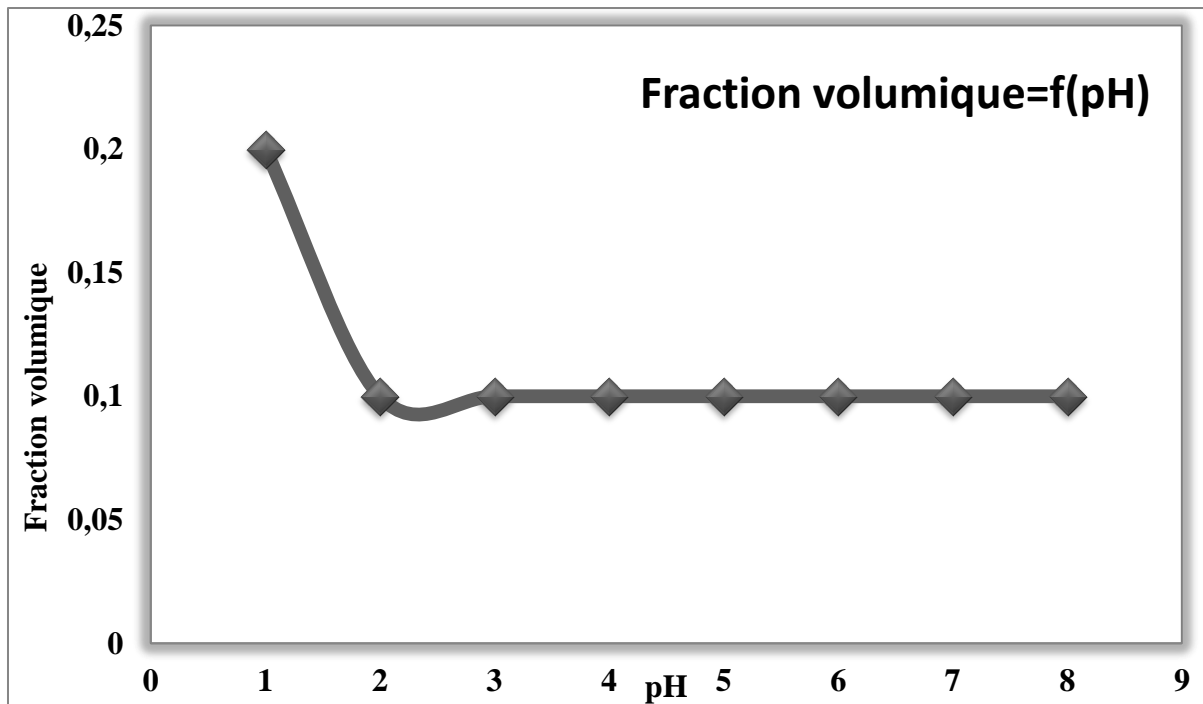
A un pH supérieur à 4, le colorant s'ionise pour former des ions  $\text{BBP}^-$  et  $\text{BBP}^{2-}$ , ces derniers possèdent une affinité avec les micelles mixtes formées par l'union du TA (Triton X100) avec le LI (Aliquat 336). Cette affinité fait augmenter le rendement d'extraction de nouveau jusqu'à ce qu'il atteigne 97,5% à un pH = 5, puis ses valeurs restent oscillent entre 93% et 95% dans un milieu neutre à moyennement basique. L'extraction de BBP s'effectue donc par fixation à la surface de ces micelles par le biais des forces électrostatiques d'attraction [22]. On observe aussi que le plus faible rendement est celui qui correspond au pH=4 ; c'est-à-dire le pH initial de la solution du colorant (sans ajustement).

Un comportement similaire a été observé aussi par (H.MAZAHERI et coll.2016) pour l'extraction du même colorant ; BBP [23].

### ***III.3.1.2 Fraction volumique :***

En extraction par coacervat, on a intérêt à avoir une fraction volumique de la phase coacervat la plus faible possible, donc que le coacervat soit le plus concentré possible en polluant à extraire.

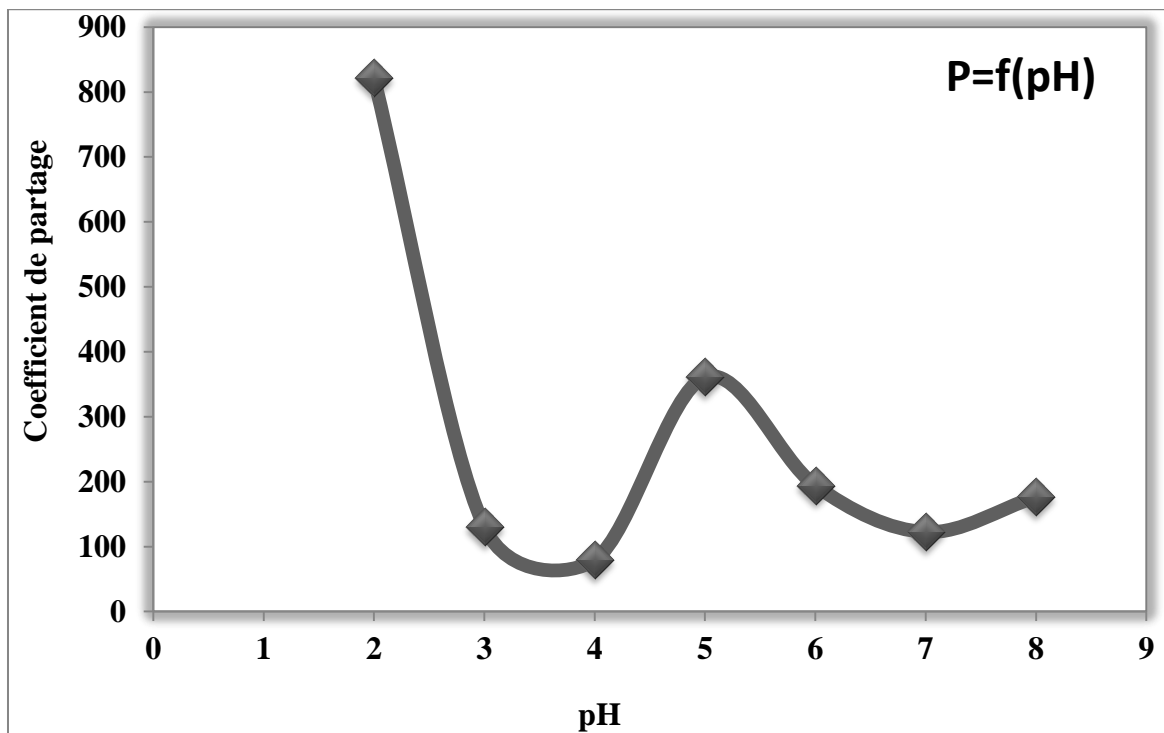
La **Figure III.5** représente l'évolution de la fraction volumique en fonction du pH de la solution initiale.



**Figure III.5 :** L'évolution de la fraction volumique de la phase coacervat en fonction de pH

Sur la **Figure III.5** nous pouvons observer que l'acidité n'a pratiquement aucun effet sur la fraction volumique du coacervat, cette dernière reste constante (0,1 soit 10%) dans un intervalle de pH de 2 jusqu'à 8. Sauf à pH=1 on observe une fraction volumique importante de 0,2 soit 20% associée à un rendement d'extraction totale de 100%.

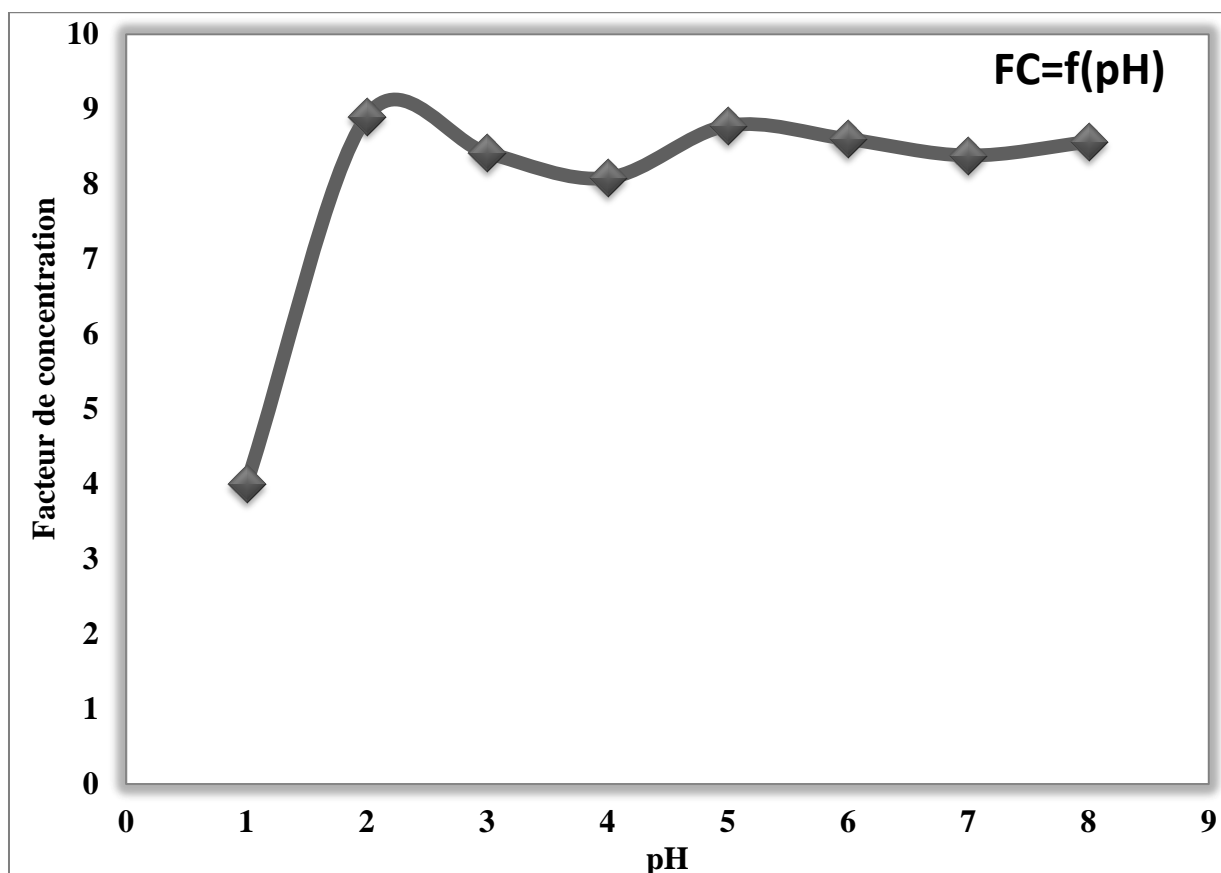
### III.3.1.3 Le coefficient de partage :



**Figure III.6 :** L'évolution du coefficient de partage du BBP en fonction de pH

Sur la **Figure III.6** qui représente l'évolution du coefficient de partage du BBP entre les deux phases ; coacervat et diluée en fonction du pH, nous observons des coefficients de partage qui excèdent les 100 en valeur à un intervalle de pH de [2-8], ce coefficient tend vers l'infini à un pH = 1. Ce qui est avantageux pour notre extraction.

### III.3.1.4 Facteur de concentration :



**Figure III.7 :** L'évolution du facteur de concentration du BBP en fonction de pH

Ainsi sur la **Figure III.7**, nous observons des valeurs en facteur de concentration qui s'approche de 9 dans une plage de pH de [2-8]. Ce facteur est égal à 4 pour un pH = 1, et ça revient au volume important de la phase coacervat pour ce pH.

### III.3.2 Effet de la concentration du tensioactif non ionique (Triton X100):

Afin d'approfondir notre connaissance sur l'extraction par coacervat, nous avons voulu faire cette étude sur l'effet de la concentration du TA sur le rendement d'extraction de notre colorant.

Cette étude nous a permis de mettre en évidence le comportement des paramètres qui gouvernent l'efficacité de notre extraction lorsqu'on change la concentration en TA non ionique, en gardant un pH = 4 de la solution du colorant à extraire (sans ajustement).

Comme nous cherchons à développer un procédé qui respecte le plus possible les conditions de la chimie verte, il est préférable de travailler avec des faibles concentrations en TA. Par conséquent, on n'a pas dépassé un pourcentage en TA de 2%.

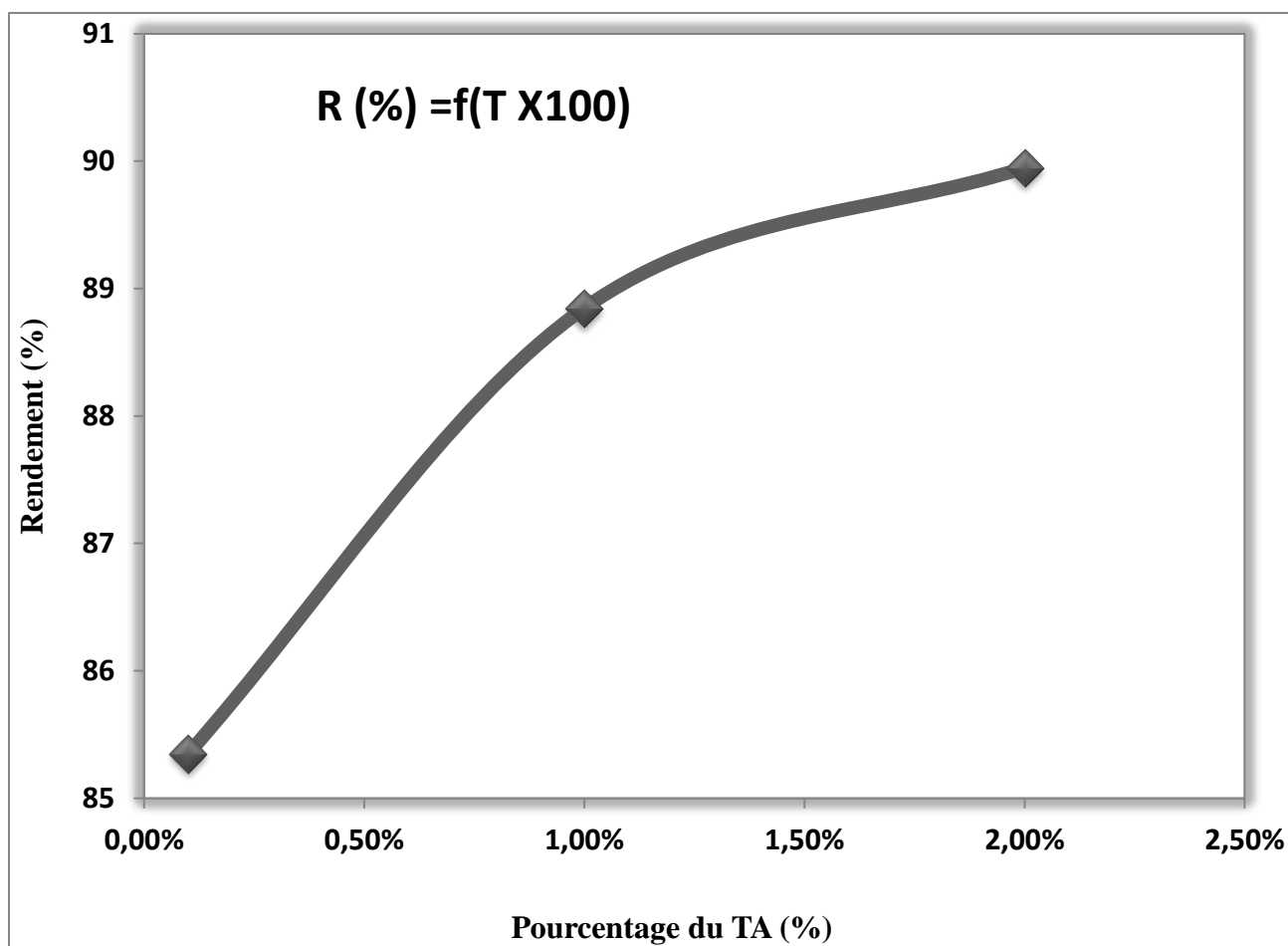
Les résultats expérimentaux obtenus en faisant varier la concentration du TA « Triton X100 » suivant le protocole déjà décrits dans la partie expérimentale sont résumés dans le **Tableau III.3**, et nous a permis de tracer les courbes suivantes : (**Figure III.8**, **Figure III.9** et **Figure III.10** et **Figure III.11**).

**Tableau III.3** : L'évolution du rendement, coefficient de partage, facteur de concentration et la fraction volumique de l'extraction du BBP

%TA	Absorbance	V	R %	P	FC	Fraction volumique
0,1	0,4081	0,5	85,34	110,68	169,84	0,05
1	0,3107	0,8	88,84	91,60	110,16	0,08
2	0,2807	1	89,94	80,53	89,04	0,1

### **III.3.2.1 Le rendement d'extraction :**

La (**Figure III.8**) présente l'évolution du rendement d'extraction en fonction du pourcentage du TA.



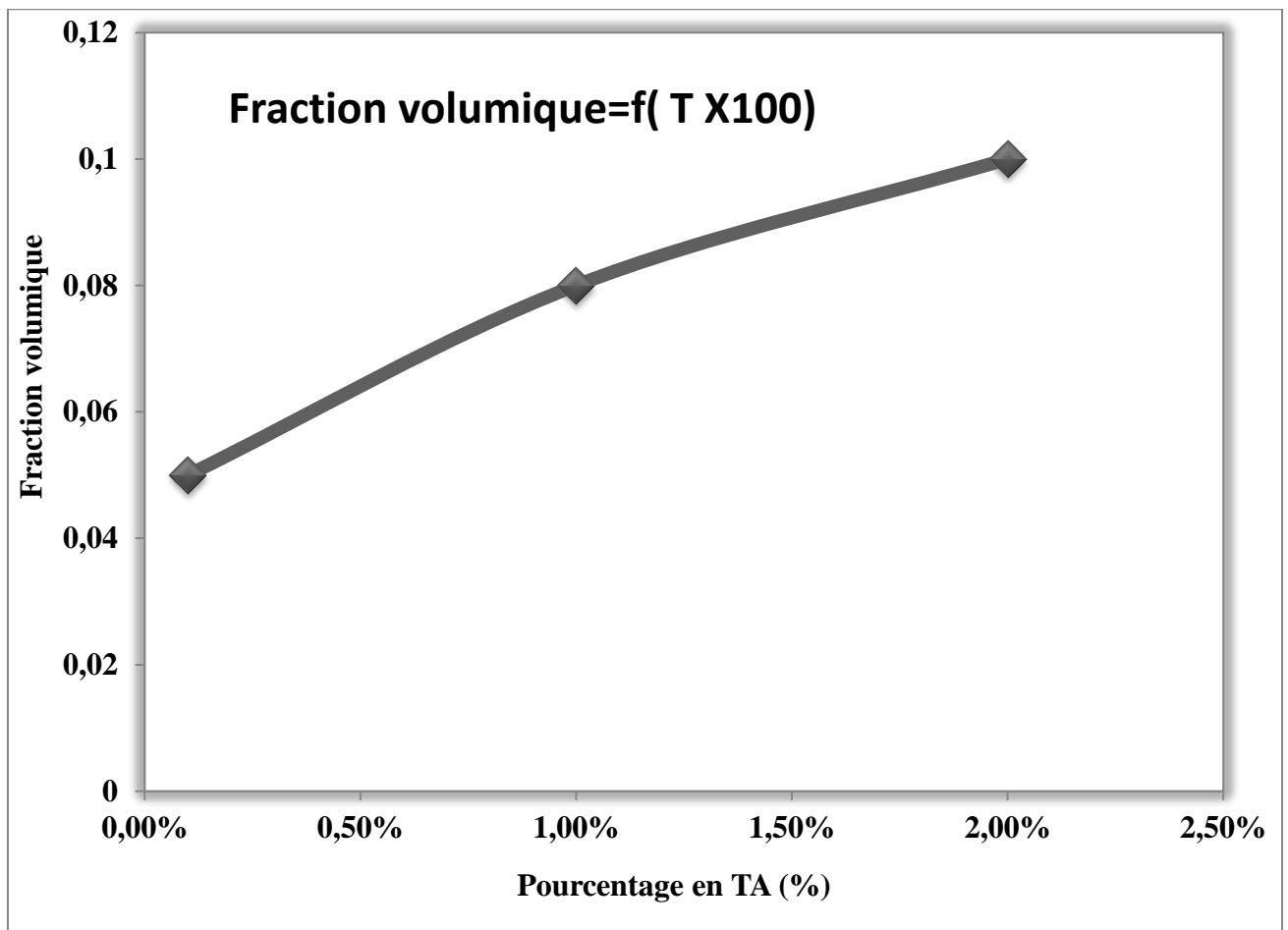
**Figure III.8** : L'évolution du rendement d'extraction en fonction du pourcentage du TA

Tout d'abord, nous pouvons constater sur la (**Figure III.8**) que le rendement d'extraction augmente lorsque le pourcentage de TA s'élève. Cette tendance a également été observée dans plusieurs études parmi elles : (L.NOGUEIRA DUARTE. 2005) [17].

Cette augmentation du rendement peut être exprimée par l'abondance des molécules du TA, donc la formation de plus de micelles qui vont piéger notre colorant. La région d'extraction la plus favorable est donc la région de la plus grande concentration en TA.

Cependant, à ce stade il est encore tôt de tirer des conclusions plus précises sur la performance du procédé d'extraction en fonction de la concentration du TA, il est préférable d'analyser les autres paramètres.

### III.3.2.1 La fraction volumique :

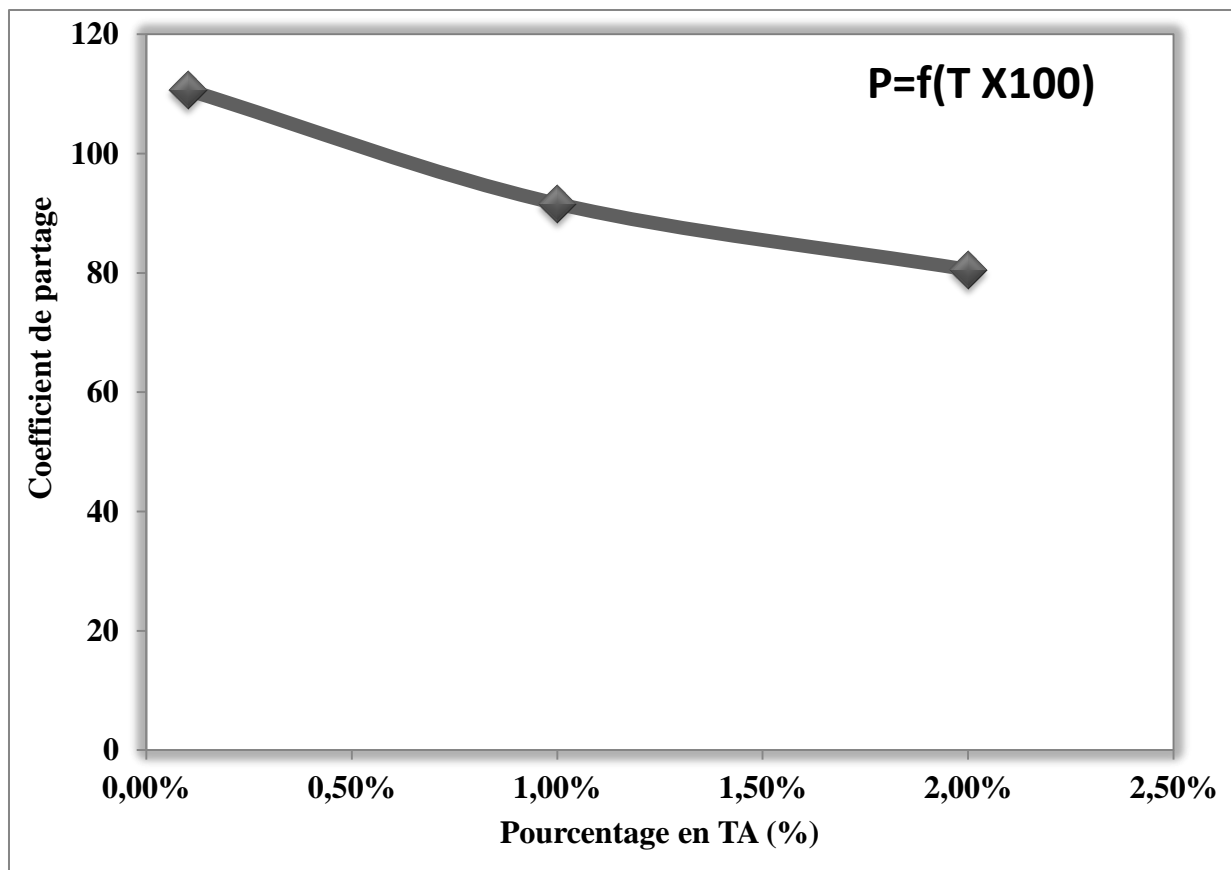


**Figure III.9 :** L'évolution de la fraction volumique en fonction du pourcentage en TA

D'après la (**Figure III.9**), on a aussi une augmentation presque linéaire de la fraction volumique avec l'augmentation de la concentration du TA en raison de l'enrichissement progressif du coacervat en micelles (ce comportement est observé aussi par R.SEMMOUD. 2016) [16].

### III.3.2.3 Le coefficient de partage :

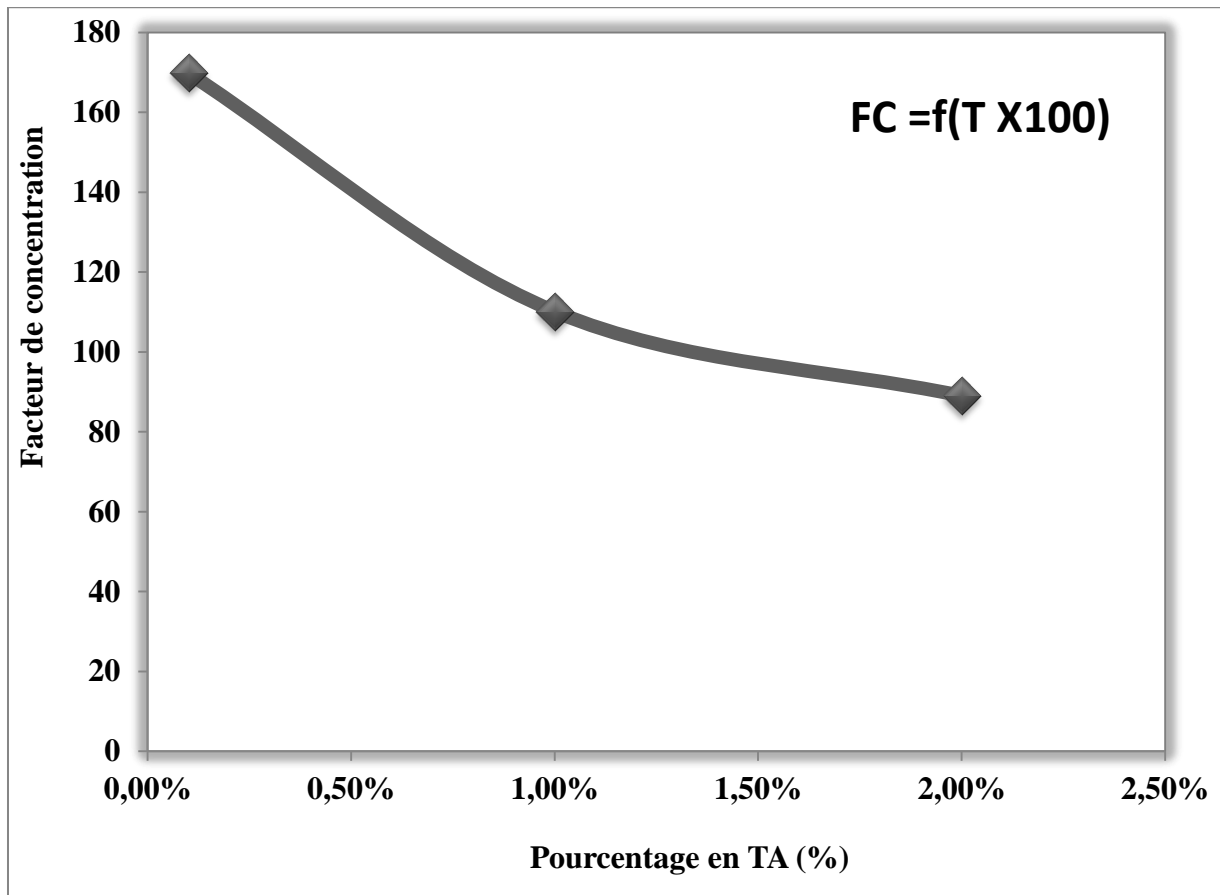
L'influence de la concentration du TA sur le coefficient de partage du colorant entre les deux phases est illustrée dans la **Figure III.10**.



**Figure III.10** : L'évolution du coefficient de partage en fonction du pourcentage en TA

Nous pouvons voir sur la **Figure III.10** que le coefficient de partage diminue légèrement avec l'augmentation de la concentration du TA. Donc nous constatons que cette dernière n'influe pratiquement pas sur le partage des molécules du colorant entre les deux phases.

### III.3.2.4 Facteur de concentration :



**Figure III.11** : L'évolution du facteur de concentration en fonction du pourcentage en TA

Nous pouvons voir nettement sur la **Figure III.11** que lorsque la concentration du TA augmente, nous avons une réduction du facteur de concentration. Donc, le facteur de concentration est plus important dans la région des concentrations de TA faibles, et ceci est en bon accord avec les remarques décrites dans le travail de (L.NOGUEIRA DUARTE. 2005) [17].

Bien évidemment, nous pouvons en déduire que les valeurs du facteur de concentration suivent l'ordre inverse des valeurs de la fraction volumique, en raison des volumes des phases ; coacervat et diluée.

### III.4 Conclusion :

Passons brièvement en revue l'ensemble des points abordés dans ce chapitre :

- L'extraction par coacervat se présente comme un procédé efficace en vue d'extraire notre colorant dont on a obtenu des rendements qui excèdent les 90%.

- Les rendements élevés sont le résultat du bon choix du TA non ionique et de l'extractant approprié ; on peut donc affirmer que ses deux derniers fournissent des meilleures performances pour l'extraction de notre colorant.
- Notre extraction est influencée par divers facteurs, parmi eux : le pH et la concentration du TA qui ont été étudiés dans ce dernier chapitre.
- Enfin, l'ensemble des résultats trouvés nous amène à chercher un compromis optimal entre les différents facteurs.
- On a trouvé aussi que la fixation du colorant se fait suivant sa forme soit par des liaisons Hydrogène, ou bien des forces de nature coulombienne.

---

# Conclusion générale

## Conclusion générale

Le domaine des systèmes micellaires ainsi que leurs différentes applications occupent actuellement un rôle de premier plan dans la recherche et cela va sans doute s'accroître dans les décennies à venir.

Dans le but de mettre en évidence certains aspects plus importants des TAs, ce travail traite un axe de développement courant dans leurs utilisations et montre un domaine potentiel pour leur exploitation future ; c'est le domaine d'extraction par coacervat à température ambiante.

Dans ce travail, on a développé la technique d'extraction par coacervat à température ambiante pour extraire l'un des polluants organiques ; BBP. Cette technique représente une approche pratique qui répond aux exigences de la chimie verte en raison d'élimination d'utilisation des solvants organiques employés dans l'extraction liquide-liquide classique pour les remplacer par les TAs biodégradables et avec un coût énergétique bas. Il est clair que cette méthode peut être exploitée dans la science séparative pour le développement de l'extraction, la purification ou la pré-concentration.

Comme point de départ de mise en œuvre de ce procédé, nous avons rappelé dans la partie des éléments bibliographiques quelques notions de base concernant les colorants notamment le BBP et le principe d'extraction par coacervat, pour présenter dans le deuxième chapitre les différentes techniques et appareillages qui ont permis cette extraction.

Par la suite et afin de mieux comprendre cette technique, nous avons étudié dans le troisième chapitre l'influence des différents facteurs qui influent notre extraction notamment le pH et la concentration en TA, on a constaté d'après les résultats trouvés que le pH influe fortement sur la forme ionisée du BBP et donc sur son extraction.

Ainsi l'augmentation de la concentration du TA fait augmenter légèrement le rendement de l'extraction, ce qui est avantageux pour notre extraction, mais en même temps ça va augmenter la fraction volumique de la phase coacervat. Donc d'un point de vue économique, on a intérêt à utiliser moins de TA afin d'avoir un volume moindre de coacervat même si le rendement d'extraction va diminuer un peu. Le choix des conditions optimales résultera donc d'un compromis entre ces paramètres.

---

# Références bibliographiques

## Références bibliographiques

**Références bibliographiques:**

- [1] A. Gürses, « Sustainable colorants », *The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology*, p. 21-55, 2019.
- [2] P. R. de Souza, T. M. do Carmo Ribeiro, A. P. Lôbo, M. S. Tokumoto, R. M. de Jesus, et I. P. Lôbo, « Removal of bromophenol blue anionic dye from water using a modified exuviae of *Hermetia illucens* larvae as biosorbent », *Environ Monit Assess*, vol. 192, n° 3, p. 197, 2020.
- [3] L. Zhang, F. Wei, Q. Zhao, X. Chen, et Y. Yao, « Electrochemical degradation of bromophenol blue on porous PbO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> composite electrodes », *Research Chemical Intermediates*, vol. 46, n° 2, p. 1389-1404, 2019.
- [4] Y.-J. Yu, G.-Y. Su, M. H. Lam, P. K. Lam, et H.-X. Yu, « Cloud Point Extraction of Bisphenol A from Water Utilizing Cationic Surfactant Aliquat 336 », *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, vol. 37, n° 12, p. 1717-1721, 2009.
- [5] H. B. Mansour, O. Boughzala, dorra Dridi, D. Barillier, L. Chekir-Ghedira, et R. Mosrati, « Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement », *journal of water science*, vol. 24, n° 3, p. 209-238, 2011.
- [6] I. Amar Bensaber, S. Bellifa, Mémoire de master, « Utilisation des liquides ioniques d'ammonium Aliquat336 [Cl] et Aliquat336 [SCN] dans l'extraction par point trouble de colorant textile « Orange de Têlon » », Université de Tlemcen, 2018.
- [7] A. Z. Dangui, V. M. S. Santos, B. S. Gomes, T. S. de Castilho, K. P. Nicolini, et J. Nicolini, « Preferential solvation bromophenol blue in water-alcohol binary mixture », *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 203, p. 333-341, 2018.
- [8] G. H. Y. Lin et D. J. Brusick, « Mutagenicity studies on two triphenylmethane dyes, bromophenol blue and tetrabromophenol blue », *Journal of Applied Toxicology*, vol. 12, n° 4, p. 267-274, 1992.
- [9] M. Rastgordani, J. Zolgharnein, et V. Mahdavi, « Derivative spectrophotometry and multivariate optimization for simultaneous removal of Titan yellow and Bromophenol blue dyes using polyaniline@SiO<sub>2</sub> nanocomposite », *Microchemical Journal*, vol. 155, p. 104717, 2020.

- [10] Y. Yamini, N. Feizi, et M. Moradi, « Surfactant-Based Extraction Systems », *Liquid-Phase Extraction*, p. 209-239, 2020.
- [11] C. F. Poole, « Milestones in the Development of Liquid-Phase Extraction Techniques », *Liquid-Phase Extraction*, p. 1-44, 2020.
- [12] D. Snigur, A. Chebotarev, K. Bulat, et V. Duboviy, « Fast room temperature cloud point extraction procedure for spectrophotometric determination of phosphate in water samples », *Analytical Biochemistry*, vol. 597, p. 113671, 2020.
- [13] S. S. Arya, A. M. Kaimal, M. Chib, S. K. Sonawane, et P. L. Show, « Novel, energy efficient and green cloud point extraction: technology and applications in food processing », *J Food Sci Technol*, vol. 56, n° 2, p. 524-534, 2019.
- [14] H. Liang, Q. Chen, C. Xu, et X. Shen, « Selective cloud point extraction of uranium from thorium and lanthanides using Cyanex 301 as extractant », *Separation and Purification Technology*, vol. 210, p. 835-842, 2019.
- [15] A. Melnyk, J. Namieśnik, et L. Wolska, « Theory and recent applications of coacervate-based extraction techniques », *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 71, p. 282-292, 2015.
- [16] R. Semmoud, Mémoire de master, « Extraction du Cuivre II par coacervat », Université de Tlemcen, 2016.
- [17] L. Nogueira Duarte, thèse de doctorat, « Extraction à deux phases aqueuses à l'aide d'alcools polyéthoxylés en vue de l'élimination de polluants organiques et d'ions métalliques », Institut National Polytechnique, 2005.
- [18] A. Beiraghi, A. R. Shirkhani, et A. Z. Halimehjani, « 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, 2019.
- [19] S. M. Hadj Ali, Mémoire de master, « Extraction par point de trouble Dysprosium (III) et du chrome (III) sous irradiation micro-onde », Université de Tlemcen, 2016.
- [20] H. Benkhedja, thèse de doctorat, « Extraction au point de trouble de substances organiques et d'électrolytes à l'aide de mélangeurs-décanteurs », Institut National Polytechnique, 2015.
- [21] R. Semmoud, thèse de doctorat, « Extraction par point de trouble de polluants sous chauffage classique et sous micro-ondes -Optimisation des procédés- », Université de Tlemcen, 2020.

- [22] S. Nait Tahar, thèse de doctorat, « Extraction par coacervat de polluants inorganiques :  $\text{UO}_2^{2+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  et  $\text{La}^{3+}$  -Optimisation de procédé- », Université de Tlemcen, 2016.
- [23] H. Mazaheri, M. Ghaedi, A. Asfaram, et S. Hajati, « Performance of CuS nanoparticle loaded on activated carbon in the adsorption of methylene blue and bromophenol blue dyes in binary aqueous solutions: Using ultrasound power and optimization by central composite design », *Journal of Molecular Liquids*, vol. 219, p. 667-676, 2016.

### Résumé :

Les colorants industriels sont des polluants dangereux pour l'environnement notamment après rejet dans les sources d'eau sans traitement adéquat. Par conséquent, l'extraction du BBP a été effectuée par CPE qui se base sur le principe du piégeage des composés dans les micelles formées. Dans ce travail, nous avons fait preuve d'une grande efficacité et rapidité du processus d'extraction par coacervat en utilisant le Triton X100 comme TA et l'Aliquat 336 comme extractant pour l'élimination de ce colorant. Il est démontré que cette extraction est un processus beaucoup plus rapide et performant que les processus traditionnels dont l'efficacité peut excéder les 90%.

### Abstract:

Industrial dyes are hazardous pollutants for the environment, especially after discharge into water sources without adequate treatment. Therefore, the extraction of BBP was carried out using CPE, which is based on the principle of trapping the compounds in the micelles formed. In this work, we have demonstrated the high efficiency and speed of the coacervate extraction process using Triton X100 as TA and Aliquat 336 as extractant for the removal of this dye. It has been shown that this extraction is a much faster and more efficient process than traditional processes whose efficiency can exceed 90%.

### الملخص:

تعتبر الأصباغ الصناعية ملوثات تشكل خطورة على البيئة، خصوصاً بعد تصريفها في المصادر المائية دون معالجة كافية. لذلك قمنا بإجراء استخلاص "BBP" (أزرق البروموفينول) بواسطة تقنية "CPE" (الاستخلاص عن طريق نقطة الضباب) التي تعتمد على مبدأ محاصرة المركبات في المذيلات المتكونة. في هذا العمل أثبتنا الكفاءة العالية و سرعة هذه التقنية، حيث قمنا باستخدام "Triton X100" كمادة فعالة غير أيونية و "Aliquat 336" كمستخلص لإزالة هذه الصبغة. ولقد ثبت أن الاستخلاص بهذه الطريقة هو أسرع وأكثر كفاءة من العمليات التقليدية حيث يمكن لكفاءتها أن تتجاوز 90%.