



DEPOLUTION DES REJETS CONTAMINEES PAR LE BENZENE PAR EXTRACTION A DEUX PHASE AQUEUSES: SYSTEME EAU/BENZENE/TENSIOACTIF POLYETHOXYLES.

H. Ghouas^a, B. Haddou^b, H. Bouabdesselam^a, Z. Derriche^b

^a) E. N. S. E. T Oran, BP 1523, M'Nouar, Oran, Algérie.

^b) U. S. T. Oran, Faculté des Sciences, Département de Chimie BP 1505, M'Nouar, Oran, Algérie.

Reçu le : 13/05/2009

Accepté le : 12/08/2010

Résumé : Le but de ce travail est l'extraction par coacervat du benzène (représentant une pollution d'hydrocarbure) en solution aqueuse à 0,15% massique. Les tensioactifs utilisés sont du type alcool polyéthoxylé (Lutensol ON 30 : $n-C_{10}E_3$) et alkylphénol polyéthoxylé (TX-114). Des diagrammes de phases binaires eau/tensioactif et pseudo-binaires (en présence de soluté) ont été tracés. Les résultats d'extraction en fonction du % mass. du tensioactif et de la température sont exprimés par les quatre grandeurs suivantes : pourcentage de soluté extrait E , concentrations résiduelles de soluté et de tensioactif dans la phase diluée ($X_{s,w}$ et $X_{t,w}$ respectivement) et fraction volumique de coacervat à l'équilibre (ϕ_c). Pour chacun des paramètres, dont les valeurs sont déterminées par un plan d'expériences, ces résultats font l'objet d'un lissage empirique en trois dimensions. Il s'agit de trouver le meilleur compromis entre E , qui peut être supérieur à 95 %, et ϕ_c , que l'on cherche à réduire. Une comparaison entre valeurs expérimentales et calculées a permis la validation des modèles proposés. L'effet de l'ajout de sulfate de sodium sur les paramètres d'extraction a été traité à la fin de ce travail.

Mots clefs : extraction, benzène, tensioactif, coacervat, point de trouble

Abstract: The goal of this work was the coacervate extraction of benzene (as hydrocarbon pollution) from aqueous solution at 0.15 wt. %. Polyethoxylate fatty alcohol (Lutensol ON 30: $n-C_{12}E_4$) and polyethoxylate alkylphenol (TX-114) surfactants were used. The phase diagrams of binary water/surfactants systems and pseudo-binary (in the presence of solute) systems were drawn. The extraction results The experimental results, with respect to surfactant wt % and temperature were expressed with the four responses: the solute extraction extent (E), residual concentrations of solute and surfactant in the dilute phase ($X_{s,w}$ and $X_{t,w}$ respectively) and the volume fraction of coacervate (ϕ_c) at the equilibrium. The best compromise found between (E), which can be higher than 95 %, and with (ϕ_c) kept to a minimum. The results obtained for each parameter which were also represented on three dimensional diagrams using an empirical smoothing method were in agreement with the experimental ones. Finally the effect of sodium sulphate addition on the extraction parameters was studied.

Keywords: extraction, benzene, surfactant, coacervate, cloud point

1. INTRODUCTION

Le benzène est une des molécules qui sont à la base de la chimie organique. C'est donc un intermédiaire pour une très grande gamme de produits organiques de base. Il passe dans les eaux souterraines à partir des Minerais pétrolières, et dans l'air à partir des volcans, des feux de forêt et des rejets de produits chimiques volatils émanant des plantes [1-2-3] L'importance des émissions des sources naturelles est inconnue, mais, en se basant sur les concentrations mesurées dans des régions

rurales, on croit que celles-ci sont généralement faibles par rapport aux sources anthropiques [4]. Il peut y avoir rejet de benzène dans l'environnement à partir de toute étape de la production, du stockage, de l'utilisation et du transport de benzène purifié. Face à des contraintes réglementaires de plus en plus sévères, la lutte contre la pollution industrielle s'est intensifiée pour satisfaire aux normes de rejet édictées par la législation., les industries sont obligées de dépolluer leurs



effluents en utilisant des techniques efficaces mais avant tout économiquement avantageuses. Il existe plusieurs procédures utilisées pour éliminer le benzène telle que l'adsorption sur charbon actif, l'oxydation, le stripage à l'air et la filtration sur membrane.

Ce travail qui concerne l'extraction du benzène (représentant une pollution dissoute) d'une solution aqueuse fait appel au pouvoir solubilisant des solutions aqueuses des tensioactifs non ionique. Au-dessus d'une ligne de démixtion à point critique inférieur de tels systèmes définissent une série de "points de trouble", « t_c », les solutions aqueuses de la plupart des tensioactifs non ioniques polyéthoxylés (ou de polyéthylène glycol en présence d'électrolyte) forment deux phases : le coacervat, riche en tensio-actif, et la phase diluée, de concentration en tensio-actif proche de sa cmc. Les solutés hydrophobes (comme le benzène), amphiphiles ou fortement adsorbables sur les micelles se partagent entre ces dernières et la pseudophase continue au profit des agrégats (solubilisation). Par élévation de la température au-dessus de t_c ces composés se concentrent donc dans le coacervat. Ce processus d'extraction à deux phases aqueuses, appliqué initialement au cas d'ions métalliques en présence de chélatant [5], a été appliqué par la suite à de nombreuses espèces chimiques : ions métalliques divers, petites molécules organiques, molécules d'intérêt biologique [6-7]. Cette technique permet de s'orienter vers une chimie "verte", laquelle consiste à concevoir des procédés non polluants et peu coûteux en énergie. Cette technique, utilisable dans des opérations de dépollution d'effluents industriels, ou de séparation de produits de la chimie fine, se présente donc comme une alternative aux systèmes conventionnels d'extraction liquide-liquide [8-10] car elle offre l'énorme avantage d'exclure totalement l'intervention de solvants organiques. C'est dans cet esprit que notre laboratoire s'est fixé comme objectif de développer une technique de dépollution par extraction simple, comme une technique alternative qui s'avère intéressante performante par rapport aux autres procédés en terme de productivité et de pureté

[11] et qui est performante et respectueuse de l'environnement on utilisant des tensioactifs non ioniques possédant en outre des propriétés toxicologiques et écotoxicologiques satisfaisantes.

2. MATERIELS ET METHODE

L'extraction par coacervat, traitée dans ce travail, repose sur l'utilisation de deux tensioactifs non ioniques biodégradables : Un octylphénols polyéthoxylés, connu par le « Triton X-114 » fourni par PROLABO et possédant la formule $(CH_3)_3C-CH_2-C(CH_3)_2-\Phi-(OCH_2-CH_2)_{7,5}OH$ (abrégée en $C_8\Phi E_{7,5}$), appartenant à la famille des alkylphénol éthoxylés (APE) et un alcool polyéthoxylés (AE) connu par le Lutensol ON 30, équivalant au $C_{10}H_{21}(OCH_2-CH_2)_3OH$ fournit par la société BASF. Ces tensioactifs justifient les nombreuses recherches effectuées, tant sur le plan théorique [12, 13] que sur le plan expérimental [14-17] et qui ont également un coût modéré et d'excellentes performances en extraction. La détermination du point de trouble a été effectuée par appréciation visuelle du trouble engendré par le chauffage des solutions aqueuse de tensioactif. Pour les essais d'extraction, 10 mL de solution contenant le tensioactif (à des concentrations de 1%, 2%, 3%, 4% ou 5% massique) et le soluté (benzène à 0,15% massique) dans de l'eau déminéralisée sont chauffés dans une étuve de précision pendant 2 heures. Les volumes des deux phases sont alors notés. La phase diluée et la concentration du TX-114 son analysée par CLHP a polarités de phase inversées. L'appareil est muni d'une pompe (VARIAN Modèle 9002), d'un détecteur UV (VARIAN Modèle 9050), d'un injecteur (PN-7725I) et d'une colonne C18. Longueur d'onde du détecteur UV : 260 nm, la Composition de la phase mobile : Eau/ Acétonitrile/ Méthanol (42,5/50,0/7,5 v/v), le Débit : 1ml/min, la Température de la colonne : 25°C, la Pression : 145 bar. Cependant l'analyse du Lutensol ON 30 (molécule qui absorbe peu le rayonnement UV) a été effectuée par spectrophotométrie [ROD 78].



$\lambda = 260$ nm. Cependant l'analyse du Lutensol ON 30 (molécule qui absorbe peu le rayonnement UV) a été effectuée par spectrophotométrie [18].

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Diagramme des phases

L'influence de plusieurs facteurs, tels que le nombre d'unité d'oxyde d'éthylène dans les molécules de tensioactif, les additifs, les électrolytes et les composés organiques sur le point de trouble ont été étudiées par plusieurs chercheurs [14, 19-24]. Les figures 1 et 2, montrent l'effet du benzène sur la courbe de point de trouble du Lutensol ON 30 et du Triton X-114, ce dernier abaisse le point de trouble des deux tensioactifs : cet effet est moins marqué à faible concentration en tensioactif dans le cas du Lutensol ON 30 (Fig 1) et augmente quand le rapport benzène/Lutensol ON 30 et benzène/Triton X-114 s'élève. Donc l'interaction du benzène (composé hydrophobe) semble plus prononcée avec la chaîne lipophile qu'avec la tête polaire des tensioactifs. Le benzène permet d'augmenter le caractère hydrophobe du tensioactif ce qui provoque une diminution de la solubilité de ce dernier dans l'eau et par conséquent une diminution du point de trouble [24, 25]

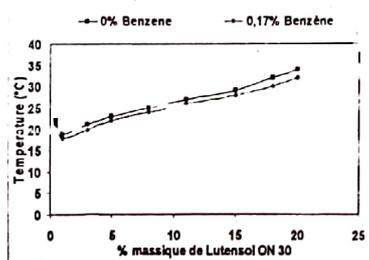


Figure 1 : Effet du benzène sur la courbe de point de trouble du Lutensol ON 30.

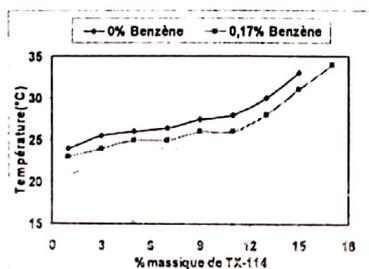


Figure 2: Effet du benzène sur la

Courbe de point de trouble du TX-114

4. MODELISATION DES ESSAIS D'EXTRACTION PAR PLANS D'EXPERIENCES

La méthode des plans d'expériences sert à optimiser l'organisation des essais expérimentaux pour obtenir le maximum de renseignements avec le minimum d'expériences tout en conservant la meilleure précision possible sur les réponses calculées. La préparation de l'expérimentation consiste d'abord à rechercher tous les facteurs pouvant influencer sur le processus étudié, puis les domaines d'étude de chacun des facteurs [26]. Dans le cas de l'extraction par coacervat, les facteurs dominants semblent être la concentration initiale en tensioactif et la température. Signalons que nous étudierons un plan d'expériences à deux variables (X): concentration initial de tensioactif (X_{TA}) et la température (T) avec un polynôme souvent quadratique postulé qui donne généralement les meilleurs résultats, comporte 6 coefficients ; il faut donc au minimum 6 équations pour les estimer.

$$Y = a_0 + a_1 X_i + a_2 T + a_{12} X_i T + a_{11} X_i^2 + a_{22} T^2 \quad (1)$$

Les propriétés mesurées, ou réponses (Y), sont :

- le pourcentage massique de soluté extrait (E) ;
- la concentration de soluté restant dans la phase diluée après extraction ($X_{s,w}$) ;
- la concentration de tensioactif restant dans la phase diluée après extraction ($X_{t,w}$) ;
- la fraction volumique de la phase coacervat (ϕ_c).

$$E \% (TX-114) = 82,2125 + 7,4513 X_i - 0,7712 T - 0,2813 X_i T + 0,68 X_i^2 + 0,0287 T^2 \quad (2)$$

$$E \% (ON 30) = 24,2889 + 5,69 X_i + 3,2722 T - 0,11 X_i T - 0,08 X_i^2 - 0,0411 T^2 \quad (3)$$

$$X_{s,w} (TX-114) = 1,0839 + 0,2432 X_i - 0,0496 T - 0,0072 X_i T + 0,004 X_i^2 + 0,0007 T^2 \quad (4)$$

$$X_{s,w} (ON30) = 0,8693 - 0,1167 X_i - 0,0221 T + 0,0027 X_i T - 0,0007 X_i^2 - 0,0007 T^2 \quad (5)$$



$$\Phi_c(\text{TX-114}) = 0,5681 + 0,1481 X_1 - 0,0295 T - 0,0031 X_1 T + 0,005 X^2 + 0,0004 T^2$$

(6)

$$\Phi_c(\text{ON30}) = 0,2939 + 0,0009 X_1 - 0,0136 T - 0,002 X_1 T - 0,0054 X^2 - 0,0006 T^2$$

(7)

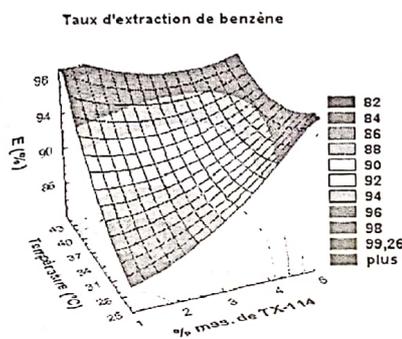
$$X_{\text{TX-114}} = 34,5539 + 1,9438 X_1 - 1,4703 T - 0,0437 X_1 T + 0,1 X^2 + 0,0164 T^2$$

(8)

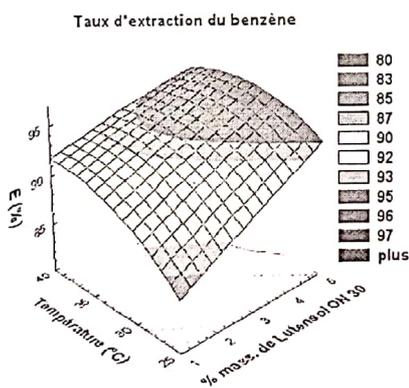
$$X_{\text{ON30}} = 29,4744 + 0,0931 X_1 - 1,5478 T + 0,0127 X_1 T - 0,0217 X^2 + 0,0210 T^2$$

(9)

4.1 Le rendement d'extraction (E%)



a)



b)

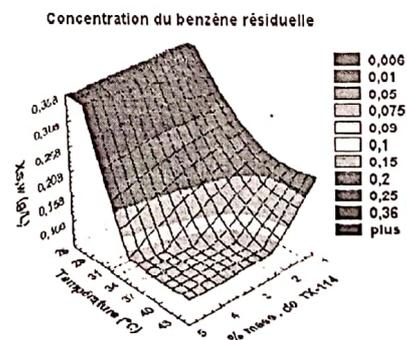
Figure 3 : Courbes d'iso-réponse tridimensionnelles $E(\%) = f(X_1, T)$ calculées par le modèle quadratique (éqs. 2 et 3) pour les systèmes : a) $\text{H}_2\text{O}/\text{TX-114}/\text{C}_6\text{H}_6$; b) $\text{H}_2\text{O}/\text{Lutensol ON 30}/\text{C}_6\text{H}_6$

Nous constatons sur les **Figures 3 (a) et (b)** que $(E\%)$ augmente considérablement lorsque X_{TA} s'élève. Cette tendance a également été observée par [14, 23, 25, 27] sur d'autres systèmes d'extraction. La région

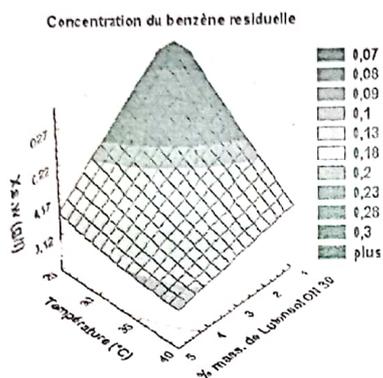
d'extraction la plus favorable est donc la région de plus grande concentration en tensioactif. On remarque que le pouvoir d'extraction obtenu avec le TX-114 est légèrement supérieur à celui obtenu en utilisant le Lutensol ON 30, cette différence est certainement due à la présence d'un cycle benzénique dans la partie hydrophobe du TX-114, qui solubilise le benzène (par affinité hydrophobe) au centre des micelles. Cependant, à ce stade de l'étude, il est encore trop tôt pour tirer de conclusions plus précises sur la performance du procédé en fonction de (Xt) ; il est ainsi préférable d'attendre l'analyse des autres paramètres. D'autre part, nous pouvons voir aussi un accroissement de l'affinité du soluté pour les agrégats micellaires avec l'élévation de (T) . En effet, l'apport thermique provoque des effets simultanés et inverses : il augmente la concentration de soluté dans les agrégats micellaires en raison de la diminution de la (Φ_c) [14].

4.2 Concentration résiduelle du benzène (X_s, w)

Selon les conditions expérimentales, un seul contact entre le tensioactif et la solution polluée sous l'effet de la température nous a permis d'avoir des réductions considérables de la teneur en benzène dans la phase diluée après extraction (de l'ordre 29 et 24 fois dans les régions de forte concentration en TX-114 et Lutensol ON 30 respectivement).



a)



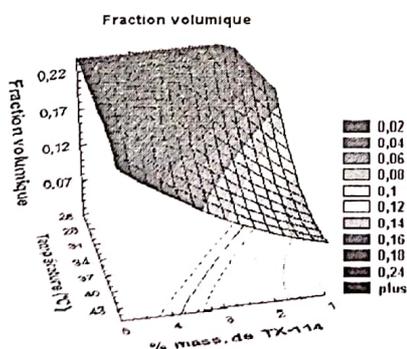
b)

Figure 4 : Courbes d'iso-réponse tridimensionnelles $X_{s,w} = f(X_t, T)$ calculées par le modèle quadratique (éqs. 4 et 5) pour les systèmes : a) $H_2O/TX-114/C_6H_6$; b) $H_2O/Lutensol\ ON\ 30/C_6H_6$.

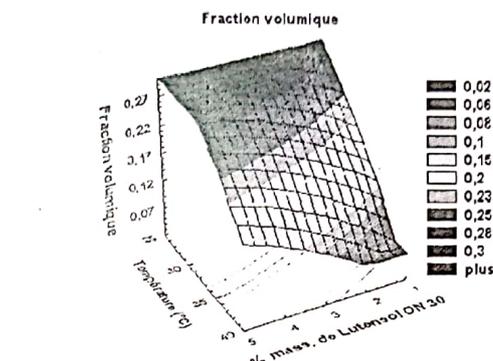
On remarque sur les figures 4 (a) et (b) que $(X_{s,w})$ diminue dans le sens de l'augmentation de (X_t) et de (T) . Donc une élévation de (T) et de (X_t) ont des effets positives sur l'extraction par coacervat.

4. 3 Fraction volumique de la phase coacervat (Φ_c)

La (Φ_c) est un paramètre très important en extraction liquide-liquide. Dans un futur procédé d'extraction par point de trouble, on cherche à avoir une faible fraction volumique (Φ_c) pour augmenter la quantité d'effluent traité. Les valeurs mesurées de (Φ_c) dans les conditions expérimentales sont indiquées sur la figure 5.



a)



b)

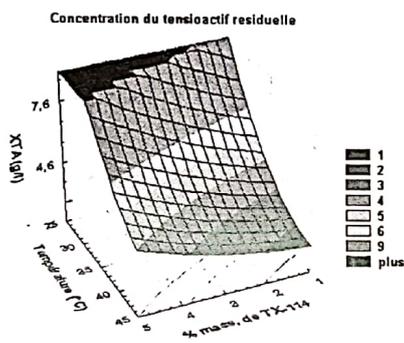
Figure 5 : Courbes d'iso-réponse tridimensionnelles $\Phi_c = f(X_t, T)$ calculées par le modèle quadratique (éqs. 6 et 7) pour les systèmes a) $H_2O/TX-114/C_6H_6$; b) $H_2O/Lutensol\ ON\ 30/C_6H_6$.

Les figures 5 (a) et (b) représentent les courbes d'iso-réponse de (Φ_c) en fonction de (X_t) , et de (T) . On remarque que (Φ_c) est proportionnelle au (X_t) ; nous pouvons observer également que l'élévation de (T) abaisse (Φ_c) , ce dernier devenant de plus en plus concentré en tensioactif. En effet, l'apport thermique tend à éliminer les molécules d'eau d'hydratation retenues dans le coacervat par des liaisons hydrogène avec la tête polaire de tensioactif (déshydratation). D'autre part, lorsque (X_t) augmente, (Φ_c) croît linéairement en raison de l'enrichissement progressif du coacervat en micelles. Notons également que l'augmentation de volume du coacervat est associée aussi à la rétention des molécules d'eau par les groupes hydrophiles de TX-114 et le ON 30. Il convient de signaler que cette remarque a aussi été notée dans les études réalisées par [14, 25, 27, 28] sur d'autres systèmes micellaires. Cela étant confirmé, on a donc intérêt à utiliser moins de tensioactif afin d'avoir un volume moindre de coacervat. Il serait ainsi intéressant de travailler dans des conditions opératoires qui puissent fournir des valeurs de (Φ_c) inférieures à 15 %, ce qui a pour but d'obtenir un volume minimal de solution polluée. Désormais, il faudra impérativement s'intéresser aux valeurs de (Φ_c) car ce paramètre joue un rôle décisif lors de la mise en oeuvre du procédé et de son déroulement. D'après les résultats obtenus la (Φ_c) optimale pour les couples Triten X-114/Benzène et ON 30/Benzène est 0,02 à une température de 45°C et 40°C respectivement.

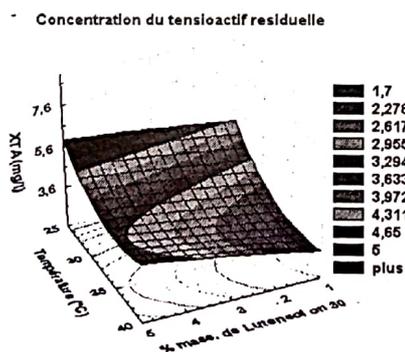


4.4 Concentration du tensioactif résiduelle (X_{TA})

Le contrôle de (X_{TA}) est également un paramètre très important. Si la perte de tensioactif est assez élevée la Fiabilité du procédé devient compromise. La présence d'un autre polluant dans la phase diluée suffit pour que le procédé perde tout intérêt. Même si les tensioactifs utilisés sont réputés pour leurs bonnes propriétés de biodégradabilité, il serait préjudiciable tant du point de vue environnemental que du point de vue économique de les gaspiller dans la phase diluée.



a)



b)

Figure 6 : Courbes d'iso-réponse tridimensionnelles $X_{TA} = f(X_i, T)$ calculées par le modèle quadratique (éqs. 8 et 9) pour les systèmes : a) $H_2O/TX-114/C_6H_6$; b) $H_2O/ Lutensol ON 30/C_6H_6$.

Les Figures 6 (a) et (b) montrent l'évolution de (X_{TA}) en fonction de (T) et de (X_i). Ces figures nous révèlent que la concentration résiduelle en tensioactif dans la phase diluée est moins importante à concentration en tensioactif plus faible et à (T) élevé. En effet, l'apport thermique désolvate progressivement les groupes hydrophiles des tensioactifs, ce qui diminue le caractère l'hydrophile du tensioactif. Classiquement, l'énergie de désolvatation d'une molécule tensioactive est associée à son énergie de transfert d'un milieu hydrophile (solution aqueuse) vers un milieu hydrophobe (coeur micellaire). D'autre part, on constate que (X_{TA}) augmente progressivement lorsque (X_i) s'élève. Ces résultats sont en bon accord avec les études sur les alkylphénols polyéthoxylés [7, 25] ainsi que sur d'autres alcools polyéthoxylés [14]. La concentration du TX-114 restant dans la phase diluée après extraction est plus importante que celle du Lutensol ON 30, cela peut être expliqué par le fait que la cmc du TX-114 est plus élevé que celle du Lutensol ON 30. Autrement dit, le TX-114 s'auto associe à une concentration supérieure, il est donc plus soluble dans l'eau que le Lutensol ON 30.

5. ETUDE DES FACTEURS INFLUENT SUR LES PARAMÈTRES D'EXTRACTION

5.1 Effet de l'ajout de Na_2SO_4 sur ($E\%$)

La présence des électrolytes provoque une diminution de la solubilité d'un composé organique dans l'eau par le phénomène de relargage (*salting-out*). Sur les figures 7 et 8 nous pouvons constater nettement que l'électrolyte augmente ($E\%$). La présence rend le tensioactif plus hydrophobe en réduisant au même temps la (cmc) et (T_c) du tensioactif. D'après [19], l'addition d'électrolyte aux solutions de tensioactifs non ioniques augmente leurs capacités de solubilisation du benzène et par conséquent améliorer l'efficacité de son extraction au coacervat (Figs. 7 et 8).

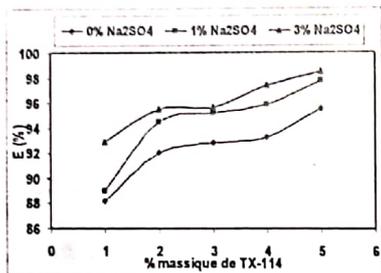


Figure 7 : Effet de l'ajout de Na_2SO_4 sur ($E\%$); système: $\text{H}_2\text{O}/\text{TX-114}/\text{C}_6\text{H}_6$ à 34°C .

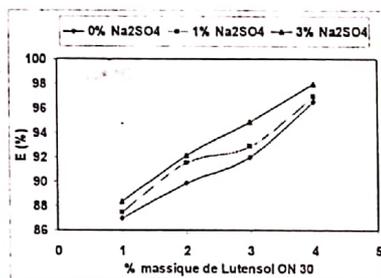


Figure 8 : Effet de l'ajout de Na_2SO_4 sur ($E\%$); système: $\text{H}_2\text{O}/\text{Lutensol ON 30}/\text{C}_6\text{H}_6$ à 34°C .

5.2 Effet de l'ajout de Na_2SO_4 sur ($X_{s,w}$)

L'effet de relargage provoqué par l'électrolyte solvate est lié à l'affaiblissement des liaisons hydrogène entre la molécule d'eau et la tête polaire du tensioactif et aussi entre la molécule d'eau et le benzène : ainsi le benzène et le tensioactif sont moins solubles dans l'eau. On obtient donc, à 1 % et 3 % de Na_2SO_4 , un coacervat plus concentré en tensioactif et en benzène solubilisé dans les micelles que celui obtenu en l'absence de Na_2SO_4 et une phase diluée à très faible concentration en benzène (Figs. 9 et 10).

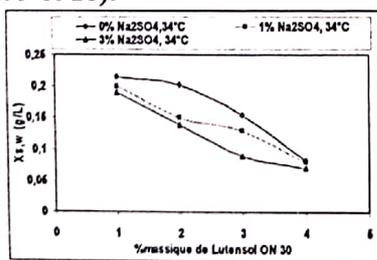


Figure 9 : Effet de l'ajout de Na_2SO_4 sur ($X_{s,w}$); système : $\text{H}_2\text{O}/\text{Lutensol ON 30}/\text{C}_6\text{H}_6$ à 34°C

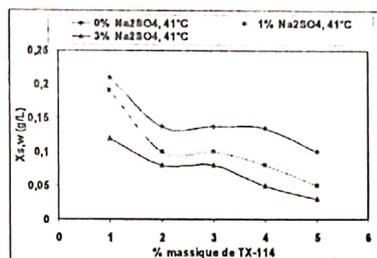


Figure 10 : Effet de l'ajout de Na_2SO_4 sur ($X_{s,w}$); système : $\text{H}_2\text{O}/\text{TX-114}/\text{C}_6\text{H}_6$ à 41°C

5.3 Effet de l'ajout de Na_2SO_4 sur (Φ_c)

Les figures 11 et 12 montrent l'influence de sulfate de sodium sur (Φ_c) les systèmes : $\text{H}_2\text{O}/\text{Lutensol ON 30}/\text{C}_6\text{H}_6$ à 41°C et $\text{H}_2\text{O}/\text{TX-114}/\text{C}_6\text{H}_6$ à 34°C . Le sulfate de sodium provoque alors une réduction de (Φ_c), en raison de l'abaissement du (T_c) de la solution de tensioactif, la présence de Na_2SO_4 éloigne la partie droite de la courbe de démixtion qui représente la concentration de la phase coacervat du point représentant la composition globale du mélange : on a ainsi un volume de coacervat plus petit et un coacervat plus concentré en tensioactif.

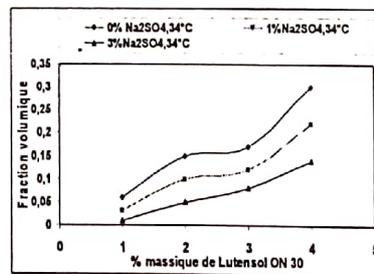


Figure 11 : Effet de l'ajout de Na_2SO_4 sur (Φ_c); système : $\text{H}_2\text{O}/\text{Lutensol ON 30}/\text{C}_6\text{H}_6$ à 34°C .

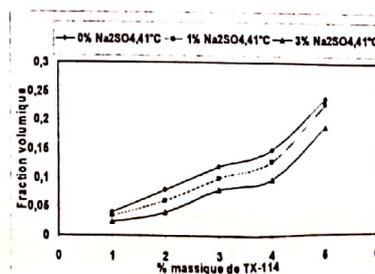


Figure 12: Effet de l'ajout de Na_2SO_4 sur (Φ_c); système : $\text{H}_2\text{O}/\text{TX-114}/\text{C}_6\text{H}_6$ à 41°C .



IV.5.4 Effet de l'ajout de Na_2SO_4 sur X_{TA} :

D'après les figures 13 et 14 à (T) constante (X_{TA}) diminue avec l'augmentation de la concentration du Na_2SO_4 , cela est expliqué par l'affaiblissement des liaisons hydrogène entre la molécule d'eau et la tête polaire du tensioactif qui rend le tensioactif moins soluble dans l'eau [14].

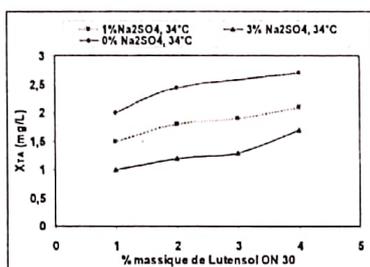


Figure 13: Effet de l'ajout de Na_2SO_4 sur (X_{TA}); Système : H_2O / Lutensol ON 30/ C_6H_6 à 34°C .

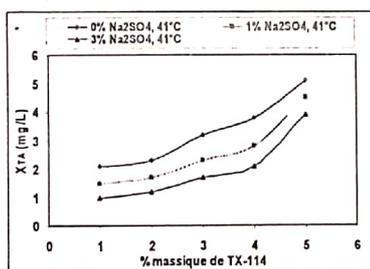


Figure 14: Effet de l'ajout de Na_2SO_4 sur (X_{TA}); système : H_2O / TX-114/ C_6H_6 à 41°C

6 CONCLUSION

L'application d'extraction par coacervat en vue de l'élimination du benzène nous a confirmé, d'après les résultats obtenus, que cette technique est capable d'enlever des polluants solubles à partir d'effluent industriel. Dans le but d'optimiser le fonctionnement d'un procédé d'extraction par coacervat nous avons analysé les paramètres qui contrôlent l'efficacité de cette technique c'est le cas du : ($E\%$), ($X_{s,w}$), (Φ_c), et (X_{TA}) en fonction des conditions opératoires. D'autre part, on peut suggérer que le choix des conditions optimales nécessite un compromis entre tous ces paramètres. Une analyse attentive des surfaces

d'iso-réponses, nous amène à conseiller comme conditions opératoires les plus favorables une température d'extraction entre 41°C et 45°C et une concentration initiale en tensioactif qui ne dépasse pas les 1 % massique, ces conditions nous ont permis d'avoir un ($E\%$) de l'ordre de 98,5% utilisant le TX-114 et 90,16% dans le cas du Lutensol ON 30 avec une (Φ_c) très convenable ($\approx 0,02$). L'ajout du sel (Na_2SO_4) au système Eau/Tensioactif/Benzène permet d'augmenter le ($E\%$), réduire d'avantage ($X_{s,w}$) et (X_{TA}) et diminué (Φ_c). Cependant, une salinité excessive de la phase diluée après extraction peut être un inconvénient d'un point de vue environnemental.

Symboles

| | |
|---------------|---|
| ($E\%$) | rendement d'extraction |
| ($X_{s,w}$) | la concentration du benzène résiduelle en g/L, |
| (Φ_c) | La fraction volumique de la phase coacervat |
| (X_{TA}) | la concentration du tensioactif résiduelle en g/L |
| (X_t) | La concentration du tensioactif initial (%) |
| (T) | La température ($^\circ\text{C}$). |
| (T_c) | La température de trouble ($^\circ\text{C}$). |
| (C_{mc}) | concentration micellaire critique |

Bibliographies

[1] T. C. Graedel; 1978, *Chemical compounds in the atmosphere*. Academic press, New York.
 [2] J.K. Whelan, M.E. Tarafa et J.M. Hunt; 1982; *Volatile C1-C8 Organic Compounds in Macroalgae, Nature*, vol 299. p 50.
 [3] R.A Rasmussen., M. A. K. Khalif; 1983; *Atmospheric Benzene and Toluene, Geophys. Res. Lett.*, 10 (11).
 [4] D. D. Slaine, J.F. Barker; 1990, *The detection of naturally occurring BTX During a hydrogeologic Investigation*, *Ground Water Monit. Rev.*, (Spring 1990): p89.
 [5] H. Watanabe, H. Tanaka; 1978, *A Non-ionic Surfactant as a New Solvent for Liquid-liquid Extraction of Zinc(II) with 1-(2-Pyridylazo)-2-naphtho*, *Talanta* (1978) 25 : p585.



- [6] Bordier C;1981,*Phase Separation of Integral Membrane Proteins in Triton X-114 Solutions*, Biol. Chem. (1981), 256 : p1604.
- [7]W.Kimchuwanit ,S.Osuwan,J.F.Scamehorn. , J.H .Harwell, K.J. Haller; 2000,*Use of a Micellar-Rich Coacervate Phase to Extract Trichloroethylene from Water*.Sep. Sci.Technol., **35 (13)**, p1991.
- [8] W. L. Hinze, E .Pramauro ; 1993, *A critical Review of Surfactant-Mediated Phase Séparation (Cloud Point Extraction) :Theory and Application*,Crit.Rev.Anal.Chem., **24 (2)**, p 133.
- [9] F. H .Quina, W. L. Hinze; 1999,*Surfactant mediated Cloud Point Extraction: an environmentally bening alternative separation approach*,Ind.Eng.Chem.Res, **Vol. 38**, p 4150.
- [10] Z. S. Ferrera, C.P.Sanz, C.M .Santana, J.J.S .Rodriguez;2004,*The use of micellar systems in the extraction and pre-concentration of organic pollutants in environmental samples*. Trends Anal. Chem, **23(7)**, p 479.
- [11] R. W. Cusack, D. J. Glatz; 1996, *Apply liquid-liquid Extraction to today's Problems*,Chem Eng 1996,July:p 94.
- [12] E. H. Crook, D. B. Fordyce, G. F. Trebbi ; 1963, *Molecular weight distribution of nonionic surfactants. III. Foam, wetting, detergency, emulsification, and solubility properties of normal distribution and homogeneous-*ter*-cylphenoxyethoxyethanols*. J. Am. Oil Chemists' Soc, **Vol. 41**, p 231.
- [13] R. Ashoka, G. Nemethy ; 1971, *A difference spectrophotometric method for the determination of critical micelle concentrations*, J. Phys. Chem, **Vol. 175**, p 805.
- [14] W. L. Hinze; 1992,*Cloud Point Extraction and preconcentration procedures for organic and related pollutants of states concern*. Water Resour.Res.Inst.Univ.N.C , p 269.
- [15] B. Haddou, J.P. Canselier et C. Gourdon, 2006, *Cloud point extraction of Phenol and Benzyl Alcohol from Aqueous Stream, Separation and Purification Technology*, **Vol 50**.
- [16] C.C.Ruiz, J.A. Molina-bolivar, J .aguair ; 2001, *Thermodynamic and structural studies of Triton X-100 micelles in ethylene glycol-water mixed solvents*, Langmuir, **vol. 17**, p 6831.
- [17] Z. Talbi, B. Haddou, Z. Bouberka, Z.Derriche;2009,*Simultaneous elimination of dissolved and dispersed pollution from cutting oil wastes using two aqueous phase extraction methods*, Journal of hazardous material,**163(2-3)**, 748-755, 2009
- [18] J. Rodier; 1978,*L'analyse de l'eau*, 6 éme Edition, Dunod, Bordas, Paris, p563.
- [19] H. Saito , K.Shinoda; 1967, *The Solubilization of Hydrocarbons in Aqueous Solution of Nonionic Surfactants*, J. Colloid Interface Sci,**Vol. 24**, p 10.
- [20] H. Schott; 1998, *Comparing the surface chemical proprieties and the effect of salts on the cloud point of a conventional non-ionic surfactant, Octoxynol 9 (Triton X-100), and of its oligomer, Tyloxapol (Triton WR-1339)*. J. Colloid interface Sci, **Vol. 205**, p 496.
- [21] K.V.Schubert, R .Strey, M.Kahlweit ; 1991,*A new purification technique for alkyl polyglycol ethers and miscibility gaps for water* CiEjJ.Colloid Interface Sci, **Vol.141**,p 21.
- [22] H. Schott et S.K.Han; 1975, *Effect of Inorganic Additive on Solutions of Nonionic Surfactants II*, J.Pharm.Sci, 64(4), p 658.
- [23] S. Akita, H.Takeuchi; 1995,*Cloud point extraction of Organic compound from. Aqueous solution with non-ionic surfactants*.Sep. Sci. Technol, **Vol 30**, p 833.
- [24] B .Haddou, J.P .Canselier, C .Gourdon, 2003, *Purification of effluents by two-aqueous phase extraction*. IChemE, Englend, 181(A), p 1184.
- [25] E. Lins de Barros Neto ; 1999, *Extraction liquide liquide a deux phase aqueuses : Système Phénol/Tensioactif polyéthoxylés*,Thèse de doctorat, INP Toulouse.
- [26] G.Box, N.Draper;1987,*Empirical Model Building and Response Surfaces*, John Wiley & Sons, New York.
- [27] K. Materna, J. Szymanowski; 2002, *Separation of Phenols from Aqueous Micellar Solutions by Cloud Point Extraction*. J. Colloid Interface Sci, **Vol. 255**, p 195.
- [28] N. D .Gullickson, J.F.Scamehorn, J.H .Harwell; 1989, *Liquid-Coacervate Extraction, in Surfactant-Based Separation Processes*, Surfactant Science Series, **Vol. 33**, Marcel Dekker, New York, p139.