

a) Identifier C et D et justifier la régiosélectivité observée.

b) Quel est ici le double rôle de l'hydrolyse ?

1.4/ Contrôle spectral

On donne le spectre infrarouge (Fig.5) et le spectre RMN simulé à 90 Mhz (Fig.6) de la MEA.

a) À l'aide des tables IR en annexe, retrouver les signatures d'une amine primaire aromatique.

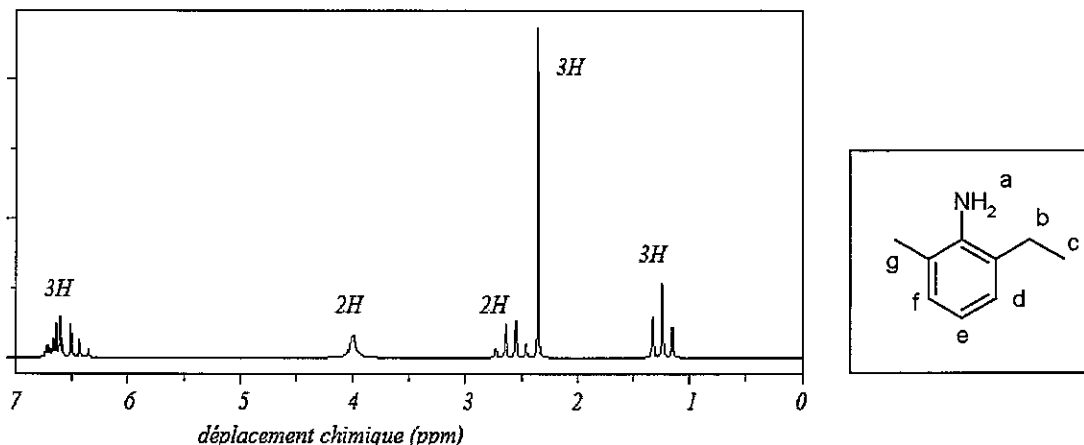


Figure 6. Spectre RMN simulé de la MEA.

b) Pour le spectre RMN, nous ne donnons pas les tables car les données lues sur les courbes d'absorption et d'intégration suffisent pour identifier les signaux. Attribuer à chaque type de proton (a, b, c, d+e+f, g) son signal correspondant en justifiant votre réponse.

2/ Synthèse du métolachlore racémique ou synthèse énantiosélective du S-métolachlore

2.1/ Le Métolachlore

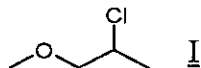
Le métolachlore est représenté sur la figure 7.

a) Identifier le carbone asymétrique responsable des deux énantiomères.

b) En justifiant votre réponse, représenter en perspective de Cram le S-métolachlore.

2.2/ Synthèse du racémique

Le propène est traité par l'acide métachloroperoxybenzoïque (MCPBA) pour conduire à un composé F. Ce dernier, soumis à l'action du méthanolate de sodium, dans le méthanol solvant, conduit à un composé G qui après hydrolyse acide donne H, lui même transformé par action du chlorure de thionyle en I, dont voici la formule topologique :



a) Identifier F, G et H.

b) Préciser le mécanisme de passage de F à G. Quel type de contrôle régit ce mécanisme ?

c) Écrire l'équation-bilan de passage de H à I.

d) Donner le nom officiel de I.

Un équivalent de MEA conduit, par action sur un équivalent de I, à J. Parallèlement, l'acide 2-chloroéthanoïque par action du chlorure de thionyle donne K. La réaction de J sur K donne le métolachlore racémique R.

e) Identifier J et K.

f) Quel solvant utilise-t-on classiquement pour le passage de J à R? Proposer un mécanisme.

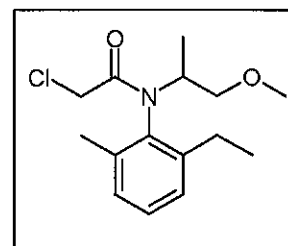


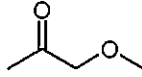
Figure 7.
Formule topologique
du métolachlore

g) Pourquoi obtient-on un racémique ? Quelle manipulation est nécessaire pour ne retenir que le *S*-métolachlore ?

2.3/ Synthèse énantiosélective du *S*-métolachlore

Une synthèse plus récente permet d'obtenir directement le *S*-métolachlore (H.U.-Blaser "The Chiral Switch of (*S*)-Metolachlor: A Personal Account of an Industrial Odyssey in Asymmetric Catalysis" *Advanced Synthesis and Catalysis* 2002, 344, 17-31).

a) L est obtenu par condensation de la MEA sur la méthoxypropanone, en milieu de pH 4 :



L'obtention de L se fait selon une réaction analogue à l'action de la 2,4-DNPH sur une fonction carbonyle. Identifier L et écrire son équation bilan de formation.

b) L est hydrogéné sur le catalyseur de Crabtree (catalyse homogène asymétrique) qui permet d'obtenir une *S*-amine M. Le catalyseur de Crabtree est un complexe à base d'iridium (cent fois plus réactif que le catalyseur de Wilkinson, complexe à base de rhodium, premier catalyseur homogène découvert). Il a la spécificité de réaliser des réactions énantiosélectives à près de 99%.

Donner la structure dans l'espace de M.

M réagit alors sur le chlorure de l'acide chloroéthanoïque (K) pour conduire au *S*-métolachlore.

Les catalyses asymétriques se développent de nos jours et permettent des économies d'atomes et des moindres rejets de produits secondaires éventuellement toxiques.

III/ Ondes de crue

On étudie la propagation d'ondes de crue dans un canal de section rectangulaire L constante (se reporter à la figure 1) et de pente caractérisée par l'angle θ (voir figure 8). Pour les cours d'eau naturels et pour de nombreux canaux, l'angle θ est très petit. On pourra confondre cet angle avec son sinus ou sa tangente et considérer que $\cos\theta \simeq 1$. On s'intéresse aux crues lentes des rivières et des fleuves plutôt qu'aux crues torrentielles plus brutales. Il est alors possible de considérer que les variations de débit, de vitesse et de profondeur de l'eau sont suffisamment lentes pour que l'écoulement soit à tout instant en équilibre : toutes les forces agissant sur le système se compensent exactement. On ne tiendra compte que de la force de pesanteur qui tend à accélérer l'écoulement et de la force de frottement sur le fond du canal qui tend à le ralentir.

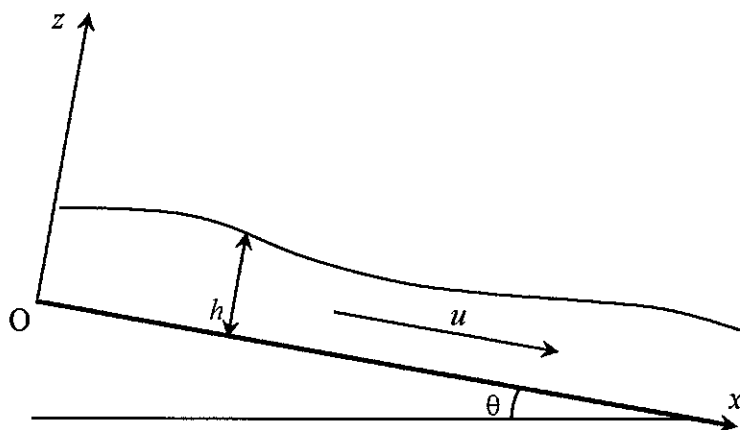


Figure 8

1/ Force de frottement

a) On cherche une expression de la force de frottement sur le fond du canal ou de la rivière par une approche dimensionnelle. Pour l'introduire dans les équations, il sera commode de chercher une *force volumique* F_V (en $\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$) s'exerçant sur l'écoulement (on n'étudie que l'écoulement moyenné sur la

profondeur). On suppose que F_V ne dépend que de la masse volumique de l'eau ρ , de la profondeur h et de la vitesse de l'écoulement u selon une loi du type :

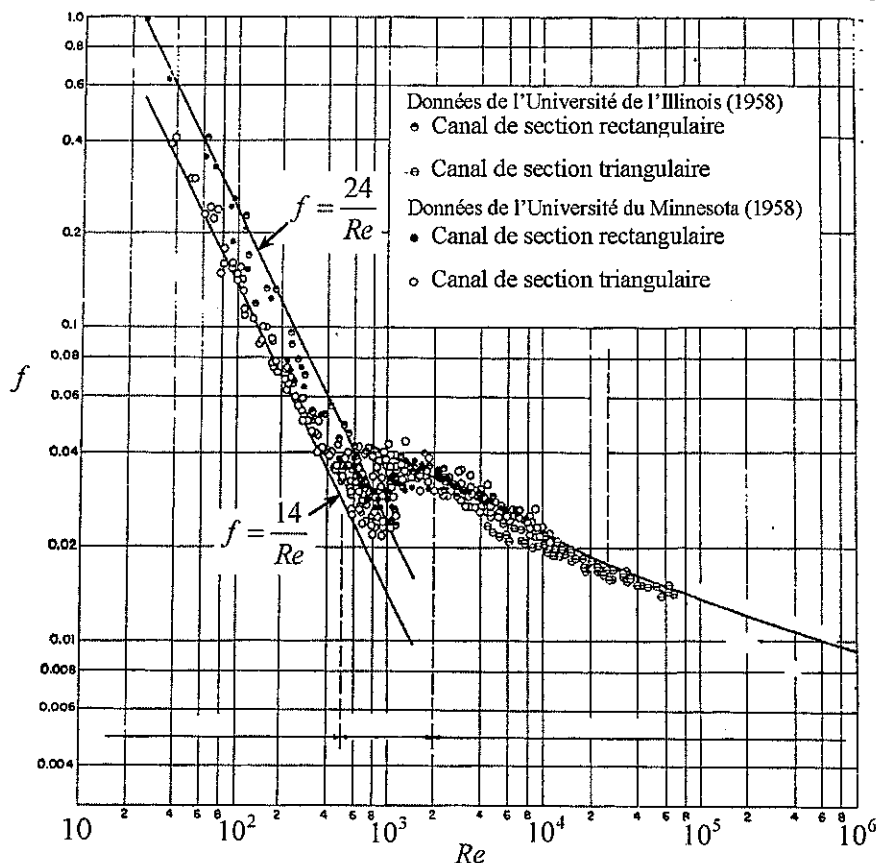
$$F_V = C_f \rho^a h^b u^d$$

où C_f est un coefficient de frottement sans dimension. Déterminer les exposants (sans dimension) a , b et d pour assurer l'homogénéité de l'expression.

b) Réécrire la relation précédente, avec le signe qui convient, pour préciser le sens de cette force volumique.

c) Au lieu du coefficient C_f , on utilise aussi le coefficient de frottement de Darcy-Weisbach f défini par $C_f = f/8$. Ce coefficient dépend du nombre de Reynolds Re et de la rugosité du fond. Le diagramme du document 4 donne la valeur de f en fonction du nombre de Reynolds, défini par $Re = q/v$ (où q est le débit volumique par unité de largeur et v la viscosité cinématique), pour des fonds lisses. On distingue trois régions (I), (II) et (III) : (I) : $Re < 500$; (II) : $500 < Re < 2000$; (III) : $Re > 2000$.

Proposer une explication physique de l'existence de ces trois régions présentant des régimes bien distincts.



Document 4

d) Montrer que, dans la région (I), la force de frottement volumique F_V est proportionnelle à la vitesse u .

e) Discuter la dépendance du coefficient de frottement vis-à-vis de la forme de la section du canal.

2/ Écoulement d'équilibre

a) Écrire l'expression de la composante de la force volumique de pesanteur selon Ox .

b) En déduire une relation à l'équilibre entre la vitesse u de l'écoulement d'équilibre et sa profondeur h . Vérifier que la profondeur h à l'équilibre peut se déduire de q par la relation

$$h = \left(\frac{C_f q^2}{g\theta} \right)^{1/3}$$

c) En déduire l'expression du nombre de Froude en fonction de l'angle θ et du coefficient de frottement C_f .

d) On considère un canal de section rectangulaire et de fond lisse dont la largeur est $L = 10$ m. Le débit volumique total vaut $Q = 6,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. La viscosité cinématique de l'eau est $\nu = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Calculer numériquement, pour un écoulement d'équilibre, la valeur du nombre de Froude, la vitesse de l'eau dans le canal et sa profondeur, dans les deux cas suivants :

$$\rightarrow \theta = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ rad} ;$$

$$\rightarrow \theta = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ rad} .$$

On pourra utiliser le document 4.

3/ Ondes de crue cinématiques

Lorsque la pente du cours d'eau n'est pas trop petite, une onde de crue est telle que la relation d'équilibre précédente est à tout instant vérifiée (les variations restent lentes). L'onde est alors qualifiée de cinématique. Elle se propage sans s'atténuer et en se déformant très peu. On pourra considérer que les grandeurs caractérisant cette onde (profondeur, vitesse, débit) sont des fonctions de la seule variable $t - x/w$.

a) Comment peut-on qualifier une telle onde ? Donner l'interprétation physique de la grandeur w .

b) Pour une onde cinématique, on montre (avec la modélisation choisie pour les frottements) que $w = 3u/2$ où u est la vitesse de l'écoulement. Cette expression est en assez bon accord avec les mesures expérimentales. Un fleuve en crue supposée de type cinématique s'écoule dans un lit de largeur $L = 1,0$ km. Sa pente est égale à $4,0 \cdot 10^{-4}$ et le débit volumique total au maximum de la crue vaut $Q = 3,0 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Le fond du fleuve étant rugueux (particulièrement dans la zone inondée), les valeurs du coefficient de frottement données au document 4 pour des fonds lisses ne s'appliquent pas. On prendra la valeur $C_f = 0,020$. Évaluer le temps mis par le maximum de la crue pour parcourir une distance de 100 km.

c) Le *lit mineur* d'une rivière est le lit ordinairement occupé par le cours d'eau. Le *lit majeur* correspond à l'espace occupé en temps de crue. Il s'agit généralement d'un *champ d'inondation*, c'est-à-dire d'une *zone de stockage* où les vitesses sont très faibles et souvent orthogonales à l'axe de la rivière. La partie du cours d'eau en crue dans laquelle les vitesses d'écoulement sont importantes et parallèles à l'axe de la rivière est appelée *lit actif*. On note L_a la largeur du lit actif et L_T la largeur totale (comprenant le lit actif et la zone de stockage). Seule la largeur du lit actif intervient dans le calcul du débit total. On pose $\alpha = L_a / L_T$. On admettra que la vitesse de l'onde est multipliée par α par rapport au cas précédent et que le débit maximal s'atténue au cours de la propagation de la crue selon une loi du type

$$Q = Q_0 \exp\left(-\frac{x}{\delta\alpha^2}\right)$$

où Q est le débit volumique total, Q_0 le débit volumique à une abscisse prise pour origine, x l'abscisse comptée le long de la rivière et δ une grandeur supposée constante homogène à une distance.

Le lit mineur de certaines rivières a été endigué pour éviter l'inondation des zones alentours. Quel inconvénient cela peut-il avoir pour les populations en aval ?

4/ Crue de la Loire

Le document 5 présente des relevés concernant la crue de la Loire de décembre 2003. Du Bec d'Allier (confluent de la Loire et de l'Allier) jusqu'à Tours, la Loire ne reçoit aucun affluent notable. Le lit de la Loire présente la particularité d'avoir été endigué depuis plusieurs siècles par des levées. Le lit endigué de la Loire est beaucoup moins large que son lit majeur. L'ordre de grandeur des largeurs des différents lits est le suivant : lit mineur : 200 m ; lit endigué : 700 m ; lit majeur : 5 km. Dans le passé, on surélevait les digues afin d'éviter l'inondation du lit majeur où se trouvent des cultures et des habitations. Lors de fortes crues, des brèches se sont ouvertes dans certaines d'entre elles provoquant de très graves inondations.

Ultérieurement, on a mis en place des déversoirs permettant d'inonder des vals lors de crues importantes (les vals servent de zone de stockage). Pendant la crue de décembre 2003, trois déversoirs ont fonctionné entre Givry et Giens inondant trois vals. De Giens à Tours, aucun déversoir ne s'est déclenché.

- Étudier numériquement la pente du lit de la Loire entre le Bec d'Allier et Tours.
- Évaluer numériquement la vitesse de l'onde de crue et son évolution au cours de la propagation de l'onde. Commenter les valeurs obtenues ainsi que l'atténuation de la crue.
- La Loire est restée enserrée entre les digues pendant la crue. Estimer l'ordre de grandeur de la vitesse de l'écoulement. Compte tenu de l'ensemble des approximations faites, cette valeur est-elle cohérente avec la valeur de la vitesse de la crue ?
- Évaluer approximativement la valeur du nombre de Froude. L'écoulement au maximum de la crue était-il torrentiel ou fluvial ?
- Estimer la valeur numérique du coefficient de frottement C_f . Des valeurs typiques sont obtenues avec la formule empirique $C_f = n^2 g h^{-1/3}$ (où h est la profondeur) avec : $n = 0,05$ pour des champs d'inondation présentant une végétation basse ; $n = 0,029$ pour un écoulement sur un fond caillouteux ; $n = 0,025$ pour un écoulement sur de la terre. Trouve-t-on une valeur du même ordre de grandeur ? Commenter le résultat obtenu.

Station de mesure	Givry	Giens	Orléans	Blois	Tours
Distance depuis le Bec d'Allier (km)	14	108	181	241	298
Débit maximal mesuré ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	3400	3350	3250	3050	3050
Date de la mesure du débit maximal	6 décembre 23h	8 décembre 2h	8 décembre 19h	9 décembre 9h	9 décembre 22h
Hauteur d'eau maximale (m)	4,90	5,03	3,75	3,78	3,45
Altitude (m)	164	121	90	66	43

Document 5

IV/ Dépollution des eaux

On dispose de deux sources : d'une part les eaux souterraines et les eaux de ruissellement qui se regroupent en cours d'eaux, d'autre part les eaux de mer qui présentent une salinité importante. Chacun de ces types nécessitent divers traitements pour obtenir de l'eau potable.

Nous ne revenons pas sur les traitements classiques mais nous nous intéressons à des procédés plus récents.

A/ Résolution de problème : à propos de membranes

On souhaite exploiter les propriétés des membranes pour éliminer les principaux polluants de l'eau.

Les méthodes de séparation membranaire utilisent une membrane permettant l'arrêt ou le passage sélectif de certaines substances dissoutes ou non dans un mélange : leur morphologie définit le type de filtration (de la simple filtration à la nanofiltration). La séparation nécessite l'action d'une force motrice de transfert de nature diverse (pression, gravité, température, champ électrique, ...).

Nous allons examiner deux types de méthodes.

1/ Potentiel chimique

On considère un corps pur liquide dans les conditions de température et de pression (T, P) .

- Rappeler la définition du potentiel chimique d'un corps pur à l'état liquide, noté $\mu_{(T,P)}^*$.

b) Etablir la relation $\mu_{(T,P)}^* = \mu_{(T)}^0 + V_m(P - P^0)$ où V_m représente le volume molaire supposé invariant. On donnera la définition de $\mu_{(T)}^0$.

c) Dans l'approximation des mélanges liquides idéaux, le potentiel chimique de tout constituant du mélange, de fraction molaire x_i , se met sous la forme $\mu_{i(T,P,x_i)} = \mu_{i(T,P)}^* + RT \ln x_i$.

Considérons le système modèle suivant : l'eau (le solvant, noté A) polluée par une impureté dissoute (le soluté, noté B). Pourquoi peut-on supposer que l'eau a un comportement idéal, quelle que soit la nature de B ?

2/ Membrane osmotique

On étudie le dispositif suivant : deux compartiments identiques soumis à la pression atmosphérique ($P_{atm} = P^0$), et de température T supposée constante, sont séparés par une membrane semi-perméable (M) ne laissant passer que les molécules d'eau solvant. Le réservoir (1) contient de l'eau pure (A) et le (2) de l'eau polluée (A souillée de B).

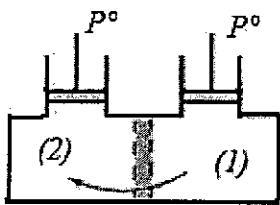


Figure 9.

Etat initial du système

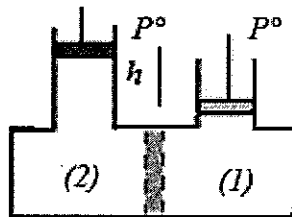


Figure 10.

Etat d'équilibre du système

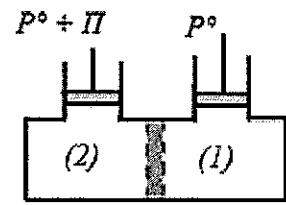


Figure 11.

Nouvel état d'équilibre du système

a) À l'état initial, les deux réservoirs sont remplis à la même hauteur (Fig.9). Exprimer le potentiel chimique de A dans les deux compartiments à une profondeur z de part et d'autre de la membrane, l'origine étant prise au niveau de la surface libre, modélisée par un piston de masse négligeable, en réalité fictif. On suppose les deux solutions de masse volumique voisine ρ . Justifier le sens spontané du déplacement.

b) Il apparaît à l'équilibre une dénivellation h entre les surfaces des deux liquides (Fig.10). On appelle pression osmotique Π la différence de pression entre deux points infiniment voisins de part et d'autre de la membrane. Etablir la relation $\Pi = \rho g h$.

c) La pression osmotique représente la surpression qu'il faut appliquer (Fig.11) pour retrouver la même hauteur dans les deux compartiments. En écrivant la condition d'équilibre pour l'eau solvant, démontrer la relation de Van't Hoff $\Pi = C_B RT$ où C_B représente la concentration de B dans (2).

d) Calculer la pression osmotique Π pour une solution aqueuse de phénol à $0,94 \text{ g.L}^{-1}$ à 298 K.
Données : masses molaires atomiques : H = 1 ; C = 12 ; O = 16 g.mol^{-1} ; R = $8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$.

3/ Osmose inverse

Le but est la purification de l'eau ce qui nécessite un déplacement inverse de celui observé précédemment. La force motrice sera donc la pression.

a) Proposer qualitativement une méthode pour réaliser l'osmose inverse.

A partir d'eaux usées, dans une station d'épuration, et en disposant de membranes performantes, l'osmose inverse permet d'éliminer 98% des ions minéraux et 99% des bactéries, colloïdes et produits organiques toxiques. De même, l'osmose inverse permet le dessalement de l'eau de mer.

b) Quels seraient, selon vous, les avantages et inconvénients ou limites de ce procédé ?

4/ Potentiel électrochimique et membrane ionique

On utilise également des membranes ioniques désormais perméables à un seul type d'ions : membrane cationique (perméable aux cations) et membrane anionique (perméable aux anions). La force motrice n'est plus désormais la pression mais un champ électrique appliqué.

a) On se place dans le modèle des solutions infiniment diluées idéales. On prendra pour un soluté le potentiel chimique sous la forme : $\mu_{i(T,P,C_i)} = \mu_{(T,P^0,C^0)}^{réf} + RT \ln \frac{C_i}{C^0}$, soit $\mu_i = \mu^{réf} + RT \ln \frac{C_i}{C^0}$. Définir le potentiel chimique de référence.

b) Deux compartiments identiques sont séparés par une membrane ne laissant passer que des cations (Fig. 12).

Pour modéliser, supposons qu'ils contiennent uniquement les cations H_3O^+ aux concentrations respectives C_1 et C_2 avec $C_1 > C_2$.

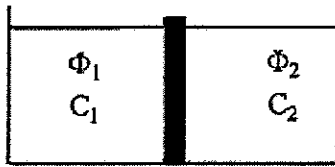


Figure 12.
Membrane ionique

Ces deux compartiments se trouvent à des potentiels électriques différents, notés Φ_1 et Φ_2 .

L'existence du travail des forces électriques lors du déplacement des charges nous conduit à définir pour un soluté ionique de potentiel chimique μ_i et de nombre algébrique de charge électrique z_i (pour l'ion Fe^{2+} : $z = +2$), dans une solution de potentiel électrique Φ , son potentiel électrochimique :

$$y_i = \mu_i + z_i F \Phi.$$

On a noté F le faraday : $F = N_A e = 96500 \text{ C.mol}^{-1}$ (cette valeur n'est pas utile ici).

Si le système est à l'équilibre électrochimique, la composition des solutions n'évolue pas. En déduire la différence de potentiel électrique à l'équilibre $\Delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$ en fonction de R , T , F , C_1 et C_2 .

Établir la relation numérique entre $\Delta\Phi$, C_1 et C_2 à 298 K. On rappelle $\frac{RT}{F} \ln 10 = 0,06 \text{ V}$.

5/ Dépollution des métaux lourds

Une membrane cationique est utilisée pour dépolluer des eaux chargées en ions métalliques. La solution à traiter (modélisée par $PbCl_2$ $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$) est placée dans une solution tampon de $pH = 3$, dans le compartiment (1) et on introduit dans (2) une solution tampon de $pH = 1$. La température est de 298 K.

a) Indiquer le sens de déplacement des cations. Calculer la différence de potentiel électrique $\Delta\Phi$ entre les deux compartiments.

b) Estimer le rapport des concentrations en ions Pb^{2+} dans les deux compartiments à l'état final.

6/ Application à l'électrodialyse

Un électrodialyseur est composé de plusieurs compartiments successifs avec des membranes alternativement anioniques et cationiques. Dans chacun des compartiments extrêmes plongent une anode et une cathode, et un générateur impose le passage du courant.

a) A partir du compartiment central, sous l'influence d'un champ électrique, expliquer qualitativement ce qui se produit. Pourquoi dans un tel procédé a-t-on alternativement des compartiments dits de dilution ou de concentration ?

b) Quels seraient, selon vous, les avantages et inconvénients ou limites de ce procédé ?

B/ Approche documentaire : L'eau supercritique

Le candidat lira le court extrait suivant (Document 6) sur les propriétés de l'eau super critique et répondra aux questions qui en découlent.

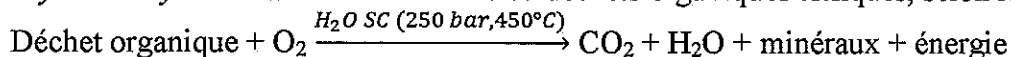
1. Représenter le diagramme d'équilibre P , T du corps pur H_2O , et préciser les divers domaines solide, liquide, gaz. Situer le domaine de l'eau supercritique.
2. Comparer l'eau solvant (25°C , 1 bar) et l'eau supercritique solvant. En déduire une technique simple d'extraction des polluants organiques.
3. Quel est le rôle de l'eau supercritique dans l'oxydation hydrothermale ?

A propos de l'eau supercritique

Cet état particulier de la matière, a été découvert en 1822 par Charles Cagniard de Latour. L'absence de discontinuité entre état liquide et état vapeur donnent au fluide supercritique des propriétés nouvelles, intermédiaires entre celles des liquides et des gaz.

L'eau supercritique (H₂O SC) est pour l'instant moins utilisée que le dioxyde de carbone supercritique car ses constantes critiques sont nettement plus élevées (374°C, 218 bar). Néanmoins, c'est dans le domaine de la chimie verte un procédé d'avenir.

Par exemple à 500 °C et 250 bar, l'eau supercritique est bien moins dense (masse volumique inférieure à 100 kg/m³) et a une constante diélectrique de 2 (équivalente à un solvant apolaire non dispersant). Elle solubilise tous les composés organiques et fait précipiter tous les composés inorganiques. Le dioxygène est très soluble dans l'eau supercritique et interagit avec la matière organique présente. On détruit alors par *oxydation hydrothermale* des solvants ou déchets organiques toxiques, selon le bilan :



Donc à terme, le but est d'obtenir de l'eau pure par traitement des effluents aqueux et même de récupérer des minéraux et de l'énergie.

Vous trouvez ci-dessous une communication du CEA, pionnier en la matière.

Conversion hydrothermale : l'eau supercritique détruit les liquides contaminés

Référence : CEA TECHNO n°86 /juillet 2007

<http://www.cea-technologies.com/articles/article/600/fr>

Comment traiter les déchets trop humides pour être incinérés efficacement ? Il existe une solution : la conversion hydrothermale, dans de l'eau supercritique. Le pilote mis au point par le CEA pour des liquides organiques radioactifs optimise ce procédé et commence à faire ses preuves sur une vaste gamme d'effluents, issus notamment des industries chimique et pharmaceutique.

Aujourd'hui encore, la plupart des déchets organiques liquides issus de l'industrie ou de la recherche sont détruits par incinération. Mais mettre un liquide dans un four est extrêmement coûteux en énergie, et toxique pour l'environnement. Pour pallier ces inconvénients à fort impact sociétal, le CEA a développé un dispositif qui permet de traiter les solvants organiques toxiques par une eau qualifiée de "supercritique", c'est-à-dire portée à certaines conditions de température et de pression (au-delà de 374°C et 221 bar). "Les fluides contaminés se solubilisent dans ce fluide, où l'eau joue le rôle d'oxydant et le déchet, de combustible", explique Bruno FOURNEL, du CEA.

Déjà mis en œuvre à l'échelle industrielle, ce procédé d'oxydation hydrothermale permet une combustion des déchets à relativement basse température, ne produit donc ni d'oxydes d'azote NOx, ni oxydes de soufre SOx comme le fait une incinération classique. En outre, comme le mélange est très homogène, la réaction d'oxydation est extrêmement rapide, et complète. Enfin, cette technique évite le dégagement d'effluents gazeux toxiques en maintenant tous les éléments oxydés dans l'effluent aqueux.

Malgré de tels atouts, l'utilisation de ce procédé se limitait jusqu'alors à la destruction de déchets contenant de l'hydrogène, du carbone, de l'oxygène et de l'azote. Dans de telles conditions de température et de pression, les sels ont en effet tendance à précipiter et à provoquer des problèmes de bouchage et de corrosion des appareils de traitement. Le pilote, mis au point par le CEA et construit sur le site de Pierrelatte, s'affranchit de ces limitations grâce à une structure adaptée : l'enveloppe externe résiste à la pression, l'enveloppe interne à la corrosion, et le mélange est agité en permanence pour éviter la précipitation des sels contenus dans le déchet.

Cette avancée ouvre d'importantes perspectives pour la destruction de déchets contenant des proportions importantes de chlore, de sels minéraux ou encore de fluor : solvants, nitrates..., mais aussi d'agents chimiques ou biologiques, de liquides organiques contaminés de l'industrie pharmaceutique, etc.

Les chercheurs du CEA travaillent également sur un réacteur à eau supercritique destiné à faire de la "gazéification de la biomasse". "Il permettrait, à partir de biomasse humide - effluents papetiers, de distillerie, et mêmes boues de station d'épuration - de produire de la chaleur et un gaz de synthèse riche en hydrogène, utilisable comme carburant."

En 2006, la Chambre de commerce et d'industrie de la Drôme a créé l'association Innovation Fluides Supercritiques (IFS). Elle regroupe le CEA et une demi-douzaine de partenaires industriels et de recherche, et encourage le transfert de ce type de technologies vers les entreprises.

ANNEXE / Spectroscopie Infrarouge : nombre d'onde en cm^{-1}

Liaison ⁽¹⁾	Nature	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité ⁽²⁾
O-H alcool libre	Valence	3580–3670	m ; fine
O-H alcool lié	Valence	3200–3400	F ; large
N-H amine primaire : 2 bandes	Valence	3100–3500	m
amine secondaire : 1 bande			
imine			
N-H amide	Valence	3100–3500	F
C _{dig} -H	Valence	3300–3310	m ou f
C _{trig} -H	Valence	3000–3100	m
C _{trig} -H (composé aromatique)	Valence	3030–3080	m
C _{tétr} -H	Valence	2800–3000	F
C _{trig} -H (aldéhyde)	Valence	2750–2900	m ; 2 bandes
O-H (acide carboxylique)	Valence	2500–3200	F à m ; large
C≡C	Valence	2100–2250	f
C≡N	Valence	2120–2260	F ou m
C=O (anhydride)	Valence	1700–1840	F ; 2 bandes
C=O (chlorure d'acide)	Valence	1770–1820	F
C=O (ester)	Valence	1700–1740	F
C=O (aldéhyde et cétone)	Valence	1650–1730 ⁽³⁾	F
C=O (acide)	Valence	1680–1710	F
C=O (amide)	Valence	1650–1700	F
C=C	Valence	1625–1685	m
C=C (aromatique)	Valence	1450–1600	variable ; 3 ou 4 bandes
N=O	Valence	1510–1580 et 1325–1365	F ; 2 bandes
C=N	Valence	1600–1680	F
N-H (amine ou amide)	<i>Déformation</i>	1560–1640	F ou m
C _{tétr} -H	<i>Déformation</i>	1415–1470	F
C _{tétr} -H (CH ₃)	<i>Déformation</i>	1365–1385	F ; 2 bandes
P=O	Valence	1250–1310	F
C-O	Valence	1050–1450	F
C-N	Valence	1020–1220	m
C-C	Valence	1000–1250	F
C-F	Valence	1000–1040	F

(1) : dig pour digonal, trig pour trigonal et tétr pour tétragonal.

(2) : F pour forte, m pour moyenne, f pour faible.