

# CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

---

SESSION DE 2010

---

## CHIMIE DE LABORATOIRE ET DES PROCÉDÉS INDUSTRIELS

Classes de Terminales STL

### PREMIÈRE PARTIE

Durée : 6 heures

---

Si au cours de l'épreuve un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale dans sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

Le sujet comporte trois parties : **chimie inorganique** (partie A), **chimie organique** (partie B) et **génie chimique** (partie C). Les candidats doivent rédiger chacune des trois parties (A, B et C), indépendantes les unes des autres, sur trois documents-réponses (un jaune pour la partie A, un bleu pour la partie B et un rose pour la partie C), lesquels seront ensuite insérés dans le cahier-réponses.

Il est souhaitable qu'un futur lauréat du concours général montre sa maîtrise dans les différents domaines de la chimie et du génie chimique. Il doit donc aborder toutes les parties et le plus grand nombre de questions possibles dans chacune d'elles.

### Thème général : Traitement des eaux et développement durable

Selon la définition proposée en 1987 par la Commission mondiale sur l'environnement, le développement durable est « un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». La raréfaction des ressources naturelles, les changements climatiques, les atteintes à la biodiversité imposent dorénavant de prendre en compte les aspects environnementaux et sociétaux du développement économique.

La chimie a un rôle important à jouer dans cette problématique du développement durable, en utilisant des ressources renouvelables comme matières premières ou en mettant en œuvre des synthèses respectueuses de l'environnement. Elle contribue également à réduire l'impact des activités humaines sur la nature, par exemple en traitant des eaux usées pour les rendre propres à la consommation.

Ce sujet est constitué de trois parties :

- **Partie A Chimie inorganique** : Traitement des usées – contrôle qualité.
- **Partie B Chimie organique** : Etude d'une pollution de l'eau.
- **Partie C Génie chimique** : Production d'eau destinée à la consommation humaine à partir d'une eau de rivière.

### PARTIE A CHIMIE INORGANIQUE

## TRAITEMENT DES EAUX USÉES CONTRÔLE QUALITÉ

Tout comme le pétrole et le gaz naturel, les réserves en eau potable sont limitées. Certes l'eau se renouvelle, mais de manière imparfaite. Le réchauffement climatique entraîne également une plus grande évaporation et le cycle de l'eau se modifie progressivement. La répartition de plus en plus inégale dans le monde des réserves en eau peut entraîner à court terme des conflits mondiaux. La pollution de l'eau est aujourd'hui d'origine urbaine, industrielle et agricole. L'eau polluée est le premier facteur de mortalité sur terre. Afin de préserver ces réserves et de contrôler la pollution, les techniques de purification se doivent être d'autant plus efficaces et les contrôles de potabilité d'autant plus stricts.

Le sujet de chimie inorganique comporte **deux parties indépendantes** consacrées au traitement des eaux usées puis à l'analyse de certains paramètres de qualité.

Données à 298 K :

*Constante de formation globale de complexes, log $\beta$  :*

[Al(OH) <sub>4</sub> ] <sup>-</sup> (aq)	[CaY] <sup>2-</sup> (aq)	[MgY] <sup>2-</sup> (aq)	[MgIn] <sup>-</sup> (aq)	[CaInd] <sup>-</sup> (aq)
33,3	10,7	8,6	5,7	5,3

*Produit de solubilité, pK<sub>S</sub> :*

Al(OH) <sub>3</sub> (s)	CaCO <sub>3</sub> (s)	MgCO <sub>3</sub> (s)	Mg(OH) <sub>2</sub> (s)	Ca(OH) <sub>2</sub> (s)
33,5	8,4	4,4	10,8	5,26

*pK<sub>A</sub> de différents couples acido-basiques :*

Acide hypochloreux / ion hypochlorite	Calmagite		Calcon	
HOCl/ClO <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> In <sup>-</sup> / HIn <sup>2-</sup>	HIn <sup>2-</sup> /In <sup>3-</sup>	H <sub>2</sub> Ind <sup>-</sup> / HInd <sup>2-</sup> rouge / bleu	HInd <sup>2-</sup> /Ind <sup>3-</sup> bleu / orange
7,5	8,1	12,4	7,0	13,5

Couples d'oxydo-réduction : Al<sup>3+</sup>(aq)/Al(s)      O<sub>2</sub>(g)/H<sub>2</sub>O(l)      H<sub>2</sub>O(l)/H<sub>2</sub>(g)

*Potentiels standard à pH = 0 :*

Couple	Cl <sub>2</sub> (aq)/Cl <sup>-</sup> (aq)	HOCl(aq)/Cl <sub>2</sub> (aq)
E° (V)	1,40	1,62

Energie de dissociation de liaison : D(O-O) = 157 kJ.mol<sup>-1</sup>      D(O=O) = 494 kJ.mol<sup>-1</sup>

Constante de Planck : h = 6,62 × 10<sup>-34</sup> J.s      Constante d'Avogadro : N<sub>A</sub> = 6,02 × 10<sup>23</sup> mol<sup>-1</sup>

Célérité de la lumière dans le vide : c = 3,00 × 10<sup>8</sup> m.s<sup>-1</sup>

Élément	Hydrogène	Carbone	Oxygène	Fluor	Magnésium	Calcium
Symbole	H	C	O	F	Mg	Ca
Masse molaire (g.mol <sup>-1</sup> )	1,01	12,0	16,0	19,0	24,3	40,1
Numéro atomique	1	6	8	9	12	20

**Le sujet comporte de nombreuses questions pouvant être traitées indépendamment les unes des autres.**

**Première partie : Station de traitement des eaux usées**

Avant d'être rejetées dans le milieu naturel ou d'être distribuées aux consommateurs, les eaux usées sont soumises à une succession de traitements.

Dans un premier temps, les eaux usées passent au travers d'une grille qui retient les plus gros déchets, il s'agit du « *dégrillage* », puis au travers de grilles plus fines, c'est le « *tamissage* ». Par la suite, l'eau est envoyée dans des bassins où les sables s'y décantent, c'est le « *dessablage* ». La quatrième étape est le « *déshuilage* » où les graisses non miscibles à l'eau sont éliminées à la surface.

Les étapes suivantes vont être développées ci-dessous.

## 1. Traitement physico-chimique et décantation

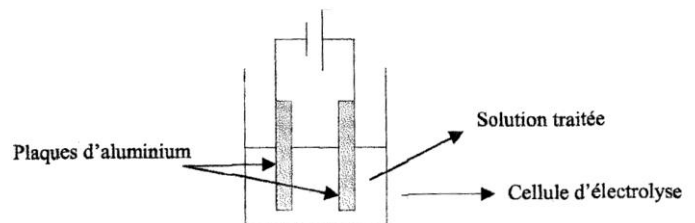
La première technique utilisée fut la « *floculation* ». Elle consiste à agglomérer les particules restantes en ajoutant des sels d'alumine, de fer ou de la chaux puis de les éliminer par décantation ou sur filtre à sable. Celles-ci sont ensuite déshydratées pour être éventuellement utilisées dans l'agriculture.

Plus récemment, une nouvelle technique a été développée, il s'agit de « *l'électrofloculation* ». Cette méthode électrochimique consiste à réaliser une électrolyse à électrode soluble. Comme pour la floculation, la formation d'hydroxydes métalliques sous forme de floccs va piéger par adsorption des espèces chimiques polluantes : cations métalliques, molécules organiques, graisses, protéines... qui seront éliminées par filtration. Cette technique s'accompagne de dégagement de gaz, ce qui la rend plus efficace : les bulles vont se fixer sur les floccs, les rendant ainsi moins denses donc plus facilement filtrables. Elle présente, en outre, les avantages de consommer moins de réactifs chimiques et de rejeter moins de boues.

### *Principe simplifié de l'électrofloculation :*

Une différence de potentiel est imposée à l'aide d'un générateur de courant continu entre deux électrodes métalliques (fer ou aluminium) placées dans la solution à traiter.

Le schéma ci-contre est réalisé (on prendra l'exemple de deux électrodes d'aluminium) :



**1.1.** Donner la définition d'une anode.

**1.2.** Donner la définition d'une cathode.

**1.3.** Reproduire le schéma ci-dessus en faisant figurer la polarité de la pile, le sens conventionnel du courant, le sens de circulation des électrons, l'anode et la cathode en justifiant la réponse.

**1.4.** En faisant un bilan des espèces présentes, écrire les équations des réactions pouvant se dérouler à l'anode puis à la cathode.

**1.5.** On observe la formation d'un précipité blanc. Donner son nom ainsi que sa formule chimique.

**1.6.** Le rendement de cette opération est optimal pour un pH compris entre 5 et 8. Le pH est ainsi ajusté à l'aide d'une solution de soude ou d'acide sulfurique à  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ .

A l'aide des données en début de texte, expliquer pourquoi le précipité blanc ne se forme que si le milieu n'est ni trop acide, ni trop basique.

## 2. Traitement oxydant

Pour des plans d'eau peu profonds, des micro-organismes sont utilisés : ils se nourrissent des matières organiques polluantes ; on parle de « *traitement biologique* » des eaux usées. Les derniers produits polluants sont éliminés par des traitements oxydants chimiques développés ci-après.

### 2.1. Purification par traitement à l'ozone

La molécule d'ozone est formée dans un ozoniseur où circule un courant de dioxygène entre deux électrodes soumises à une différence de potentiel.

**2.1.1.** Donner la formule de la molécule d'ozone.

**2.1.2.** Donner la structure de Lewis de la molécule d'ozone.

**2.1.3.** En déduire sa géométrie en justifiant la réponse.

**2.1.4.** Ecrire l'équation de la réaction de formation de l'ozone.

Ce traitement, économiquement assez cher mais peu polluant, est souvent combiné à un post-traitement au dichlore. En effet, la molécule d'ozone se dissocie facilement et sa durée d'action est par conséquent assez faible.

### 2.2. Purification par traitement au dichlore

L'eau peut être désinfectée par du dichlore, espèce qui se dismute dans l'eau.

**2.2.1.** À l'aide des données, écrire l'équation de la réaction de dismutation du dichlore en justifiant le terme de dismutation.

**2.2.2.** À partir des potentiels standard à pH = 0 des couples  $\text{Cl}_2(\text{aq})/\text{Cl}^-(\text{aq})$  et  $\text{HOCl}(\text{aq})/\text{Cl}_2(\text{aq})$ , calculer la constante  $K^\circ(T)$  de la réaction de dismutation du dichlore. Cette réaction est-elle favorisée thermodynamiquement ? Justifier qualitativement l'influence du pH sur la position de l'équilibre.

**2.2.3.** L'ion hypochlorite présente un pouvoir bactéricide assez faible contrairement à l'acide hypochloreux qui franchit plus efficacement la membrane cytoplasmique et bloque certaines activités enzymatiques de la cellule. Dans quel domaine de pH serait-il judicieux de travailler ? Justifier la réponse à l'aide d'un diagramme de prédominance.

**2.2.4.** En réalité, l'efficacité maximale du traitement est obtenue pour un pH voisin de 5,5. Justifier cette valeur à l'aide des informations précédentes.

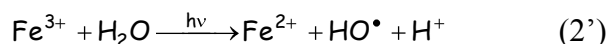
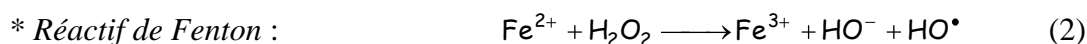
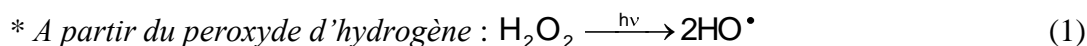
La chloration est certes une technique efficace et rentable mais elle a l'inconvénient de générer des substances de toxicité rémanente comme les PCB (polychlorobiphényles), les trihalométhanes, les chloroamines... Une autre voie de purification a été développée par utilisation de radicaux libres.

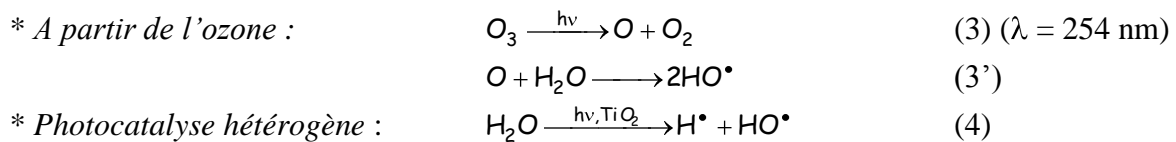
### 2.3. Rayonnement UV

Les rayonnements éliminent entre autres des micropolluants bio-récalcitrants comme les ions ammonium, les ions nitrite, les métaux, les pesticides...

Il s'agit de générer des radicaux, composés très réactifs capables d'oxyder les polluants.

Le radical hydroxyle  $\text{HO}^\bullet$  permet d'amorcer la dégradation oxydante. Il peut être produit de plusieurs façons :





**2.3.1.** Donner la structure de Lewis du peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée).

**2.3.2.** Connaissant l'énergie de dissociation de la liaison peroxy O-O, déterminer la longueur d'onde maximale du rayonnement à utiliser pour la réaction (1).

**2.3.3.** Quel est le rôle de l'étape (2') ?

**2.3.4.** Comparer la longueur d'onde du rayonnement utilisé dans la réaction (3) à celle de la réaction (1). Interpréter.

**2.3.5.** Justifier le terme de « *photocatalyse hétérogène* ».

L'étape (4) semble, actuellement, la plus efficace et surtout la moins dangereuse pour l'environnement. Elle permet de minéraliser (d'oxyder) certaines molécules organiques comme la propanone ou le 1,1,2-trichloroéthène en eau, dioxyde de carbone et chlorure d'hydrogène, molécules présentant moins de risques potentiels.

**2.3.6.** Écrire, en les ajustant, les équations des réactions de minéralisation des deux molécules organiques citées ci-dessus.

### 3- Adoucissement des eaux

La *dureté* quantifie la quantité d'ions calcium et magnésium présents dans une eau. Ces cations *précipitent avec les savons et les détergents*, les rendant ainsi moins efficaces. Cela entraîne une *augmentation de leur consommation* et un supplément de rejets polluants dans l'environnement. Par ailleurs, ces ions *précipitent* en présence d'ions *carbonate*, formant des dépôts qui entarrent les canalisations destinées au chauffage, entraînant *une augmentation de la consommation d'énergie*.

Il est recommandé d'utiliser des *adoucisseurs* d'eau constitués en général de *résines échangeuses d'ions*. Il s'agit de solides (les polymères synthétiques ont remplacé les zéolithes) insolubles qui, mis au contact d'une solution aqueuse, échangent les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  au profit d'ions de même signe, le plus souvent des ions sodium.

**3.1.1.** Écrire l'équation de la réaction de formation du précipité de carbonate de calcium.

**3.1.2.** Donner l'expression littérale de la solubilité du carbonate de calcium en fonction du produit de solubilité. Faire l'application numérique.

**3.2.1.** Écrire l'équation de la réaction de formation du précipité de carbonate de magnésium.

**3.2.2.** Donner l'expression littérale de la solubilité du carbonate de magnésium en fonction du produit de solubilité. Faire l'application numérique.

**3.3.1.** Écrire l'équation de la réaction de formation du précipité de carbonate de sodium.

**3.3.2.** Comparer la solubilité du carbonate de sodium, qui vaut  $2,0 \text{ mol.L}^{-1}$ , à celle du carbonate de magnésium. Les dépôts présents dans les canalisations sont-ils davantage constitués de carbonate de sodium ou de carbonate de magnésium ?

**3.4.** Pourquoi avoir choisi l'ion sodium dans les adoucisseurs ? Justifier.

Les résines cationiques sont constituées d'un copolymère de styrène et de vinylbenzène et d'un groupe actif de type sulfonate :  $\text{RSO}_3^-$ , phosphate :  $\text{RPO}_4^{2-}$  ou carboxylate :  $\text{RCOO}^-$ , où R représente une chaîne carbonée.

**3.5.1.** Les résines sont commercialisées sous leur forme acide. Écrire la forme acide correspondant à la résine de type sulfonate.

**3.5.2.** On plonge cette résine dans une solution de chlorure de sodium. Écrire l'équation de la réaction se produisant entre la solution et la résine sous sa forme acide.

**3.5.3.** La solution d'eau dure est engagée dans la résine. Écrire l'équation de la réaction se produisant entre la résine saturée d'ions sodium et les ions calcium de la solution.

**3.5.4.** La résine est régénérée à l'aide d'un excès d'une solution concentrée de chlorure de sodium. Justifier que la réaction d'échange de cations puisse être inversée.

Cependant, une eau trop douce n'est pas souhaitable. On doit alors procéder parfois à une reminéralisation en ajoutant le calcium manquant sous forme d'eau de chaux.

**3.6.1.** Quels sont les ions contenus dans l'eau de chaux ?

**3.6.2.** Quels sont les inconvénients d'une eau trop douce ? Justifier.

## Deuxième partie : Analyse de la qualité de l'eau distribuée

### 1. Détection de la matière organique

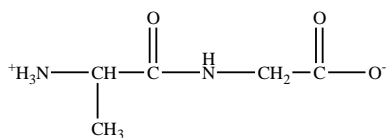
Le carbone organique total ou COT est un paramètre global intégrant la contribution de nombreux composés organiques. Il ne constitue pas un indicateur de risque sanitaire mais de l'efficacité de l'usine de traitement d'eau potable. À valeur élevée, le COT peut être à l'origine d'une dégradation de la qualité de l'eau distribuée (goût, odeur, dépôt).

Les protéines constituent 30 % de la matière organique dissoute et peuvent être un marqueur des eaux naturelles. Des biocapteurs de protéines ont été développés afin de quantifier cette matière organique. Il s'agit de transducteurs conductimétriques sur lesquels est déposée une membrane enzymatique à base de protéinase K.

**1.1.** Quelles fonctions chimiques contient une protéine ?

**1.2.** Quelle famille de molécules obtient-on après hydrolyse enzymatique d'une protéine ?

**1.3.** Donner les produits de la réaction d'hydrolyse sur l'exemple suivant :



Il s'agit de l'alanylglycine, notée Ala-Gly.

Il existe une relation linéaire entre la réponse du biocapteur et la concentration en carbone organique total (COT). Le graphe est donné en annexe 1.

**1.4.1.** Quelle est la grandeur mesurée sur l'axe des ordonnées ?

**1.4.2.** Sachant que le COT doit être compris entre 1,40 et 3,40 mg.L<sup>-1</sup>, quel est l'encadrement correspondant pour la réponse du biocapteur ?

### 2. Dureté de l'eau

La *dureté de l'eau* ou *titre hydrométrique* permet de quantifier la concentration en cations métalliques à l'exception des alcalins et de l'ion hydronium. Elle se mesure en degré français.

On distingue la *dureté calcique*, où 1°F correspond à 10 mg de carbonate de calcium par litre, de la *dureté magnésienne* où 1°F correspond à 10 mg de carbonate de magnésium par litre. La *dureté totale* représente la somme des duretés calcique et magnésienne.

## 2.1. Dosage de la concentration totale en ions calcium et magnésium par spectrophotométrie

Le dosage est suivi par spectrophotométrie, en présence de calmagite. Selon le pH de la solution, la calmagite peut prendre plusieurs formes acido-basique :  $H_2In^-$  est rouge,  $HIn^{2-}$  est bleu et  $In^{3-}$  est orange. Les ions magnésium forment un complexe de couleur rose  $[MgIn]^-$  avec la calmagite.

**2.1.1.** Un spectre d'absorption est enregistré afin de déterminer la longueur d'onde de travail. A l'aide du spectre donné en annexe 2, déterminer la longueur d'onde de travail en justifiant la réponse.

*Mode opératoire :*

Une prise d'essai  $E = 10,0$  mL d'eau à doser est placée dans un erlenmeyer avec quelques gouttes de calmagite et 10 mL de tampon ammoniacque/chlorure d'ammonium afin de maintenir un pH égal à 10. Une solution étalon d'EDTA à la concentration molaire de  $C = 8,00 \times 10^{-3}$  mol.L<sup>-1</sup> est placée dans la burette. L'absorbance de la solution contenue dans l'erlenmeyer est mesurée après chaque addition de la solution titrante (environ tous les 0,01 mL). On obtient le graphe figurant en annexe 3.

L'EDTA, noté communément  $Y^{4-}$ , revêt plusieurs formes acido-basiques selon le pH de la solution à laquelle il appartient ; on donne les  $pK_A$  successifs du tétraacide  $H_4Y$  : 2,0 ; 2,7 ; 6,2 ; 10,2. La concentration de l'EDTA donnée est celle de l'ensemble des espèces acido-basiques en équilibre dans la solution titrante.

**2.1.2.** Déterminer à l'aide du graphe obtenu le volume à l'équivalence,  $V_E$ , en justifiant la réponse.

**2.1.3.** Écrire l'équation de la réaction se produisant entre les ions magnésium et la calmagite avant le dosage, en prenant en compte la condition de travail portant sur le pH de la solution à doser.

**2.1.4.** Sous quelle(s) forme(s) se présente l'EDTA dans la solution de dosage étudiée ? Écrire l'équation de la (des) réaction(s) se produisant lors du dosage des ions calcium en prenant en compte la condition de travail portant sur le pH de la solution à doser. Justifier qu'il s'agit du cation dosé en premier.

**2.1.5.** Écrire l'équation de la (des) réaction(s) se produisant lors du dosage des ions magnésium en prenant en compte la condition de travail portant sur le pH de la solution à doser.

**2.1.6.** Écrire l'équation de la (des) réaction(s) témoignant du virage de l'indicateur coloré à l'équivalence en prenant en compte la condition de travail portant sur le pH de la solution à doser. Préciser les couleurs de la solution avant et après le virage. Justifier qualitativement le changement de couleur en discutant sur la stabilité des formes complexées en cause dans cette (ces) réaction(s).

**2.1.7.** En déduire la formule littérale de la concentration molaire des ions calcium et magnésium notée  $C_{(Ca+Mg)}$  en fonction de  $E$ ,  $C$  et  $V_E$ .

**2.1.8.** Faire l'application numérique.

## 2.2. Dosage des ions calcium

*Mode opératoire :*

Une prise d'essai  $E = 20,0$  mL d'eau à doser est placée dans un erlenmeyer avec quelques gouttes de bleu ériochrome SE (ou calcon) comme indicateur coloré. Le calcon noté communément  $H_2Ind^-$ , revêt plusieurs formes acido-basiques en fonction du pH de la solution à laquelle il appartient.

Les ions calcium forment un complexe de couleur rouge  $[CaInd]^-$  avec le calcon.

Afin de doser uniquement les ions calcium, le pH est ajusté entre 12,2 et 12,8 avec une solution de soude à  $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$ . Dans ces conditions, seuls les ions magnésium précipitent sous forme d'hydroxyde.

Une solution étalon d'EDTA, de concentration molaire  $C = 8,00 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ , est placée dans la burette.

On observe un virage de la solution pour un volume versé d'EDTA  $V_{E'} = 2,5 \text{ mL}$ .

**2.2.1.** Écrire l'équation de la réaction entre les ions calcium et le calcon en tenant compte du pH de travail.

**2.2.2.** Sous quelle forme se présente l'EDTA étant donné le choix du pH de travail ? Ecrire l'équation de la réaction se produisant lors du dosage des ions calcium.

**2.2.3.** Préciser la couleur de la solution avant et après le virage. Justifier en explicitant l'équation de la réaction du virage et en commentant sommairement la stabilité des complexes mis en jeu dans cette réaction.

**2.2.4.** En déduire la formule littérale de la concentration molaire des ions calcium,  $C_{Ca}$ , en fonction de  $E$ ,  $C$  et  $V_{E'}$ .

**2.2.5.** Faire l'application numérique.

**2.2.6.** En déduire la concentration molaire des ions magnésium,  $C_{Mg}$ .

**2.2.7.** Déterminer la dureté calcique, magnésienne puis totale de l'eau analysée.

**2.2.8.** Sachant que la dureté totale de l'eau doit être comprise entre 9 et 20 °F, conclure sur la qualité de l'eau analysée.

### 3. Dosage des ions fluorure

Pour tenir compte des risques de fluorose dentaire (traces sur l'émail des dents), la teneur limite en ions fluorure est fixée à  $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$ . A dose modérée, le fluor est bénéfique pour la santé en terme de prévention des caries dentaires.

Afin de déterminer la teneur en ion fluorure de l'eau à analyser, il est possible d'utiliser une électrode spécifique à fluorure. Il s'agit d'une électrode à membrane constituée d'un monocristal de fluorure de lanthane  $\text{LaF}_3$ . Lorsque l'on plonge cette électrode dans une solution contenant des ions fluorure, il apparaît une différence de potentiel ( $\Delta E$ ) entre cette électrode et une électrode de référence. Les mesures se font dans une solution molaire de chlorure de sodium, donc en excès par rapport aux ions fluorure, pour fixer « l'atmosphère ionique ». Dans ces conditions, on définit, comme pour le pH la grandeur  $\text{pF} = -\log [\text{F}^-]$ .

L'électrode a été étalonnée avec des solutions de fluorure de sodium dont les concentrations molaires varient de  $10^{-1}$  à  $10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}$  dans une solution de chlorure de sodium molaire.

La courbe ainsi obtenue figure en annexe 4.

On procède ensuite à la mesure de la différence de potentiel dans la solution d'eau à analyser à laquelle ont été introduits 1,2 g de chlorure de sodium pour se trouver dans les mêmes conditions « d'atmosphère ionique » que précédemment.

La différence de potentiel mesurée est  $\Delta E = 250 \text{ mV}$ .

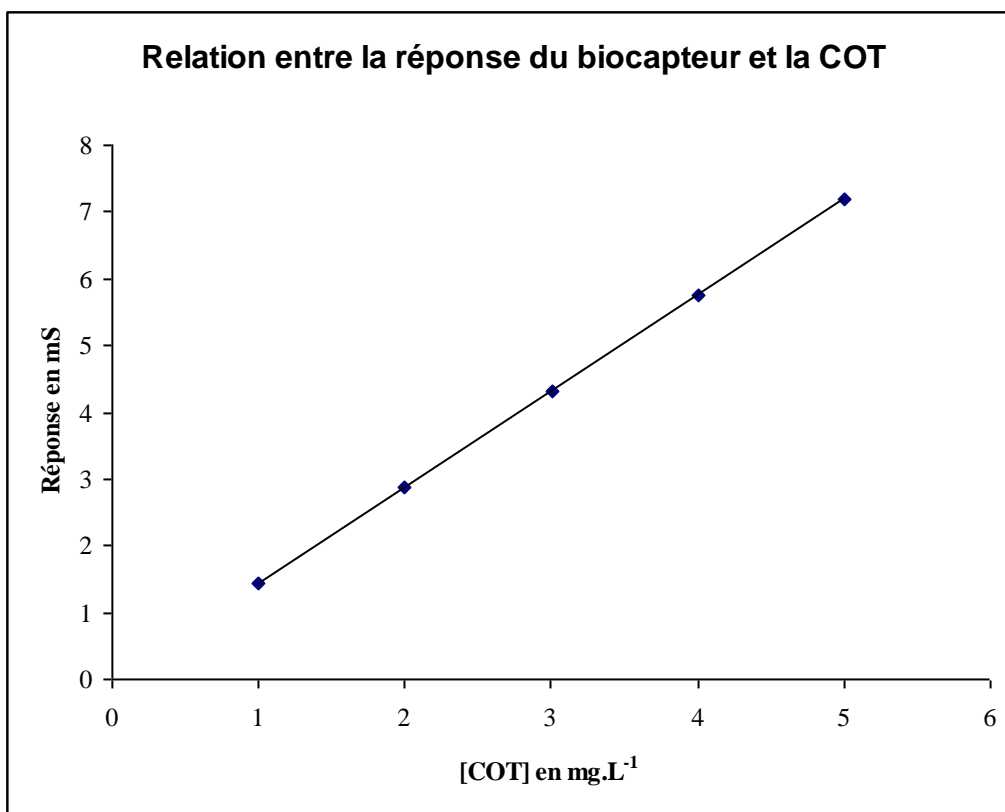
**3.1.** Donner un exemple d'électrode de référence.

**3.2.** Déterminer graphiquement la valeur du pF de la solution analysée, puis calculer la concentration molaire en ions fluorure.

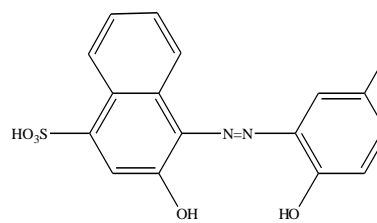
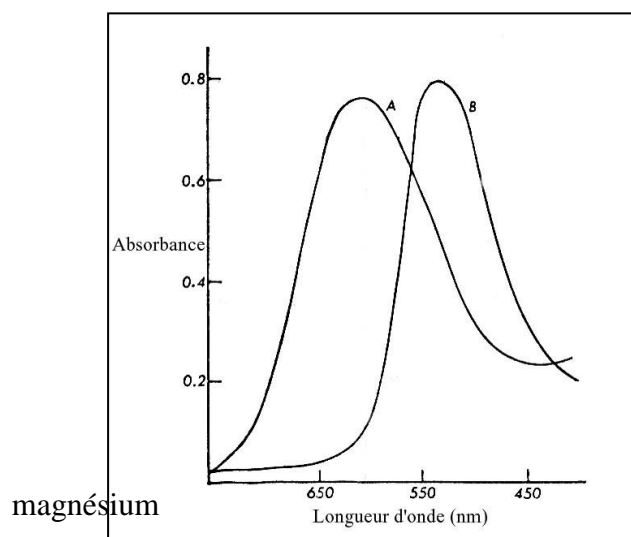
**3.3.** Calculer la concentration massique en ion fluorure en  $\text{mg.L}^{-1}$ . Comparer ce résultat à la teneur réglementaire.



## ANNEXE 1



## ANNEXE 2



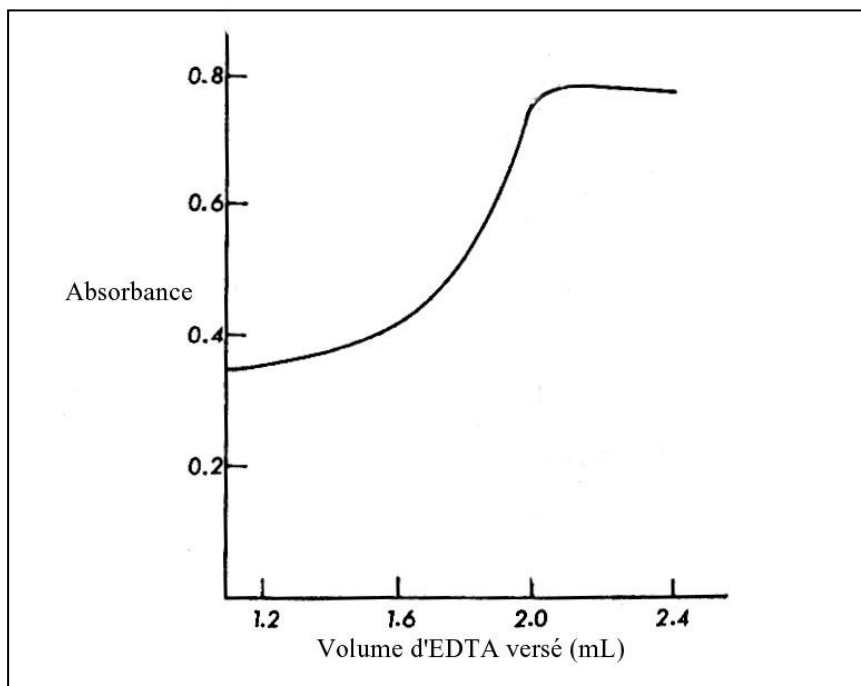
*Calmagite*

*Spectre (A)* : calmagite à  $3,3 \times 10^{-5}$  mol.L<sup>-1</sup>  
à pH = 10

*Spectre (B)* : calmagite à  $3,3 \times 10^{-5}$  mol.L<sup>-1</sup>  
en présence d'un excès d'ions

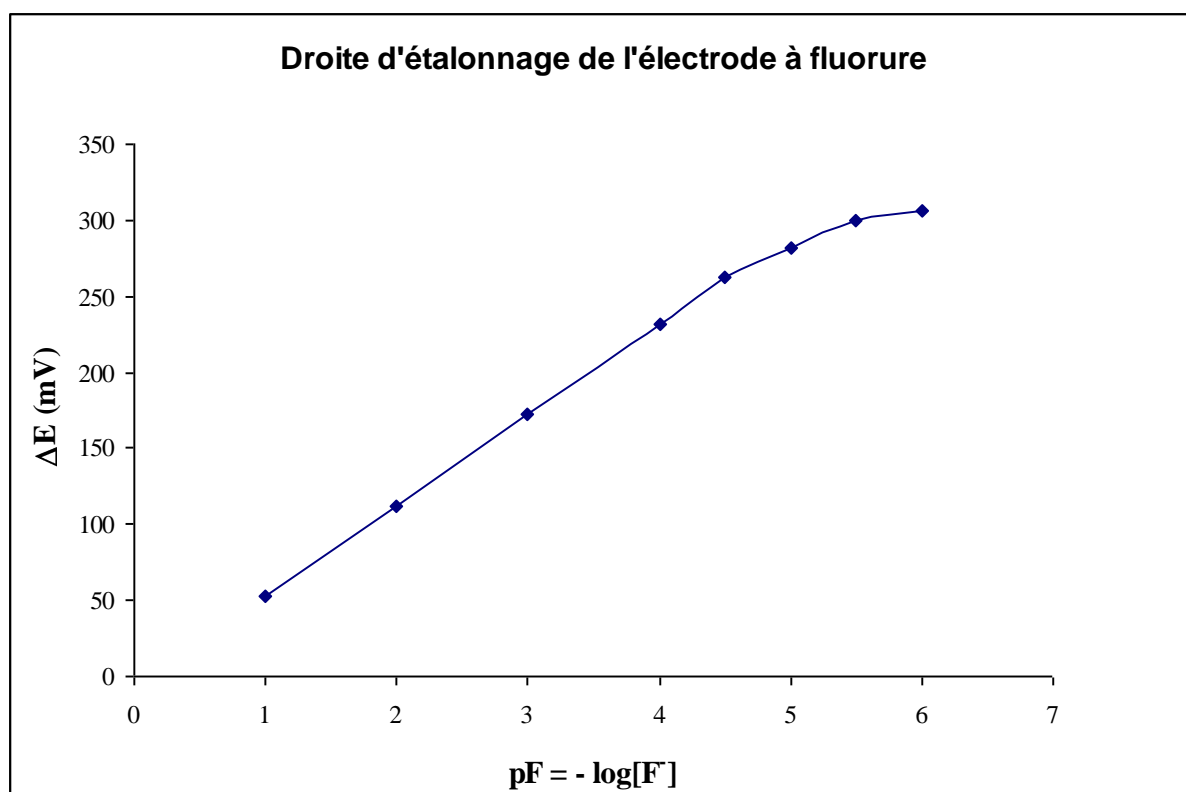
à pH = 10

### ANNEXE 3



Dosage d'un échantillon d'eau par une solution d'EDTA par spectrophotométrie

### ANNEXE 4



## **PARTIE B**

### **CHIMIE ORGANIQUE**

#### **ETUDE D'UNE POLLUTION DE L'EAU**

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique ou biologique de ses qualités naturelles, provoquée par l'homme et par ses activités. Elle perturbe les conditions de vie et l'équilibre du milieu aquatique, compromettant ainsi ses utilisations.

*On distingue plusieurs types de pollutions, qui peuvent avoir une origine domestique, agricole ou industrielle.*

La **pollution physique** altère la transparence de l'eau (présence de matières en suspension) ou agit sur sa température (pollution thermique) ou sa radioactivité.

La **pollution chimique** provient de la présence de substances chimiques indésirables (nitrates, phosphates, pesticides, produits rejetés par les industries chimiques). Elle provoque un profond déséquilibre chimique ayant des effets biologiques.

La **pollution microbiologique** introduit dans l'eau des micro-organismes, dont certains sont des germes pathogènes (virus, bactéries).

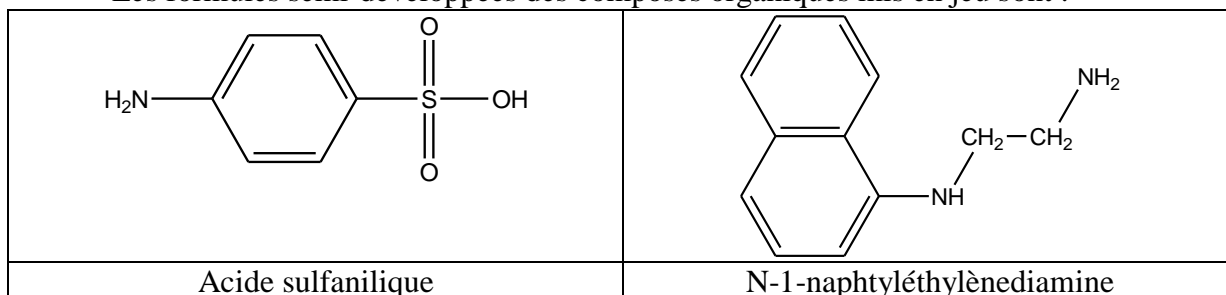
**Le sujet est constitué de quatre parties indépendantes : la seconde partie est la plus longue.**

**1. Étude de la méthode permettant la détermination de la teneur en ions nitrite dans les eaux**

On se propose d'étudier le test chimique permettant de déterminer la teneur en ions nitrite dans l'eau sortant des stations d'épuration.

L'échantillon d'eau à analyser est placé dans un tube à essai puis un mélange d'acide sulfanilique et de N-1-naphtyléthylènediamine (en excès par rapport aux ions nitrite) dissous dans l'acide éthanoïque est ajouté. Une coloration apparaît.

Les formules semi-développées des composés organiques mis en jeu sont :



L'acide sulfanilique forme un sel de diazonium avec les ions nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) en milieu acide (acide éthanoïque). L'ajout de N-1-naphtyléthylènediamine conduit à la formation d'un composé diazoïque coloré selon une réaction de couplage diazoïque.

Le dosage du composé coloré par spectrophotométrie est donc possible dans le visible ; il est effectué à la longueur d'onde de 543 nm.

**1.1.** Identifier les fonctions chimiques présentes dans la molécule d'acide sulfanilique.

En milieu acide, l'acide sulfanilique se transforme en un sel de diazonium, noté **(A)**, par réaction avec les ions nitrite.

**1.2.** Écrire la formule semi-développée de **(A)**.

**1.3.** Expliquer pourquoi **(A)** est relativement instable.

Le sel de diazonium **(A)** réagit avec la N-1-naphtyléthylènediamine pour former un composé coloré, noté **(B)**, dont le maximum d'absorption se situe à 543 nm.

**1.4.** Donner la formule semi-développée du composé coloré **(B)** sachant que c'est la position située en para de l'atome d'azote qui est le siège de la réaction avec le sel de diazonium.

**1.5.** Indiquer la couleur que possède ce composé sachant qu'il absorbe à 543 nm. Justifier la réponse.

**1.6.** Expliquer comment on peut déterminer la concentration en composé coloré **(B)**. Justifier la réponse en donnant la loi utilisée. Comment calcule-t-on alors la concentration des ions nitrite ? Expliquer brièvement le raisonnement effectué.

## 2. Pollution chimique par les pesticides

Les pesticides regroupent les insecticides, les herbicides, les fongicides et les raticides qui détruisent respectivement les insectes, les mauvaises herbes, les champignons et les petits mammifères. Ces composés sont répandus dans les champs et on les retrouve en plus ou moins grande quantité dans les cours d'eau et les nappes phréatiques. Parmi les résultats quantitatifs obtenus dans les eaux superficielles ou souterraines, on peut citer les valeurs suivantes (valeurs ramenées par kilogrammes d'eau et par jours) :

- *simazine*® : 5 µg/kg d'eau.jour.
- *metolachlore*® : 150 µg/kg.jour.

### 2.1. Structure chimique de la simazine®

La simazine® un herbicide très employé pour le désherbage du maïs car il est très sélectif c'est-à-dire qu'il détruit le chiendent alors qu'il n'affecte pas le maïs. Un précurseur (C) de la simazine® est synthétisé à partir de dichlore et de cyanure de sodium (NaCN) :



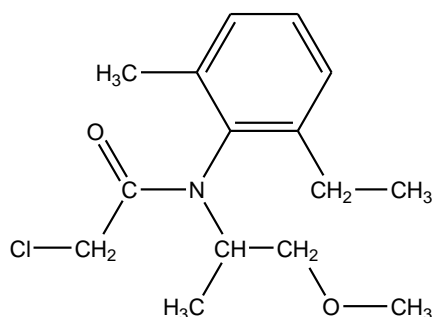
2.1.1. Le composé (C) est-il aromatique ? Justifier la réponse.

Les liaisons C—Cl peuvent subir des réactions de substitution. Une mole de composé (C) est traitée par deux moles d'éthylamine à 25 °C. Après traitement du milieu réactionnel, on isole la simazine®.

2.1.2. Donner la formule semi-développée de la simazine®.

### 2.2. Étude stéréochimique de la molécule de metolachlore®.

Le metolachlore® possède la formule semi-développée suivante :



2.2.1. Identifier le(s) atome(s) de carbone asymétrique(s) présent(s) dans cette molécule.

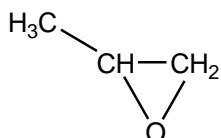
2.2.2. Représenter et nommer les deux configurations possibles du(des) atome(s) de carbone asymétrique.

**2.2.3.** Un autre atome présent dans la molécule est asymétrique : identifier cet atome.

**2.2.4.** Pour autant, on ne peut pas séparer à température ambiante les deux configurations possibles autour de cet atome. Expliquer pourquoi.

### **2.3. Étude d'une synthèse de la molécule de metolachlore®**

L'époxypropane, dont la formule est donnée ci-dessous, est traité par du méthanolate de sodium dans le méthanol. Après hydrolyse acide, on obtient majoritairement le 1-méthoxypropan-2-ol, noté **(D)**.



Époxypropane

**2.3.1.** Proposer une méthode d'obtention du méthanolate de sodium à partir du méthanol. Écrire l'équation de la réaction.

**2.3.2.** Donner la formule semi-développée de **(D)**.

**2.3.3.** Proposer un mécanisme pour cette réaction sachant que le méthanolate de sodium réagit de la même manière qu'un organomagnésien sur l'époxyde.

**2.3.4.** Donner la formule semi-développée du produit isomère de **(D)** obtenu en même temps que lui. Expliquer pourquoi **(D)** est obtenu majoritairement.

Le 1-méthoxypropan-2-ol **(D)** réagit avec l'acide chlorhydrique pour former le composé **(E)**.

**2.3.5.** Écrire la formule semi-développée de **(E)**.

On traite maintenant de l'aniline (phénylamine) par de l'anhydride éthanoïque : on obtient **(F)**. **(F)** réagit ensuite avec l'acide sulfurique concentré et on isole le produit de monosulfonation **(G)**.

**(G)** subit deux réactions d'alkylation de Friedel et Crafts successives :

- la première se fait avec le chlorométhane en présence de chlorure d'aluminium ;
- la deuxième se fait avec le chloroéthane en présence de chlorure d'aluminium.

Le composé **(H)** ainsi obtenu est hydrolysé en milieu acide. Après retour à un pH voisin de 7, la 2-éthyl-6-méthylaniline est obtenue.

**2.3.6.** Donner les formules semi-développées de **(F)**, **(G)**, **(H)** ainsi que de la 2-éthyl-6-méthylaniline.

**2.3.7.** Écrire l'équation de la réaction de l'aniline avec l'anhydride éthanoïque.

**2.3.8.** Justifier la régiosélectivité de la réaction **(F)** → **(G)**.

**2.3.9.** Expliquer l'intérêt d'effectuer une sulfonation du noyau aromatique pour effectuer la dialkylation de (**F**).

**2.3.10.** Donner le nom des deux réactions qui se produisent lors de l'hydrolyse acide de (**H**).

La 2-éthyl-6-méthylaniline réagit avec le composé (**E**) obtenu précédemment. On obtient alors (**I**), de formule brute  $C_{13}H_{21}NO$ .

**2.3.11.** Écrire la formule semi-développée du composé (**I**).

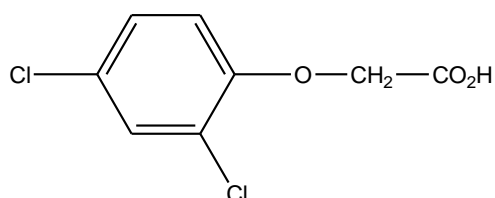
**2.3.12.** Dans les conditions d'obtention de (**I**), la 2-éthyl-6-méthylaniline est placée en large excès. Expliquer pourquoi.

L'acide 2-chloroéthanoïque réagit avec le chlorure de thionyle  $SOCl_2$ . Le composé (**J**) obtenu réagit par la suite avec (**I**) afin de former la molécule de metalochlore®.

**2.3.13.** Écrire l'équation de la réaction de l'acide 2-chloroéthanoïque avec le chlorure de thionyle.

#### 2.4. Formulation d'un herbicide : le 2,4-D

Le 2,4-D est un herbicide systémique : il est répandu sur les feuilles des herbes à tuer puis pénètre par les feuilles avant de migrer vers les racines.



2,4-D

La paroi des feuilles est constituée d'une bicouche lipidique très lipophile.

**2.4.1.** Expliquer ce que signifie le terme lipophile.

**2.4.2.** Le 2,4-D est partiellement ionisé lorsqu'il est dissous dans l'eau. Écrire l'équation de la réaction du 2,4-D avec l'eau.

**2.4.3.** Identifier la partie de la molécule ionisée qui n'est pas lipophile. Expliquer alors pourquoi le 2,4-D est très faiblement absorbé par les plantes lorsqu'il est sous cette forme chimique.

Si le 2,4-D reste sous cette forme, il est peu absorbé par les herbes et reste adsorbé sur le sol. Avec le temps, on le retrouve alors en plus ou moins grande quantité dans les nappes phréatiques.

Afin d'améliorer la pénétration du 2,4-D par les feuilles des herbes à détruire, le 2,4-D est traité par du méthanol en excès en présence d'acide. Après chauffage, on isole un composé (**K**).

**2.4.4.** Donner la formule semi-développée de (**K**).

**2.4.5.** Expliquer l'intérêt d'avoir effectué cette transformation.

(**K**) conserve le même pouvoir herbicide que le 2,4 D car une fois qu'il a pénétré par les feuilles, il est hydrolysé en 2,4-D grâce aux enzymes présentes dans la sève des herbes.

### **3. Pollution chimique par des produits de rejet d'industries chimiques :**

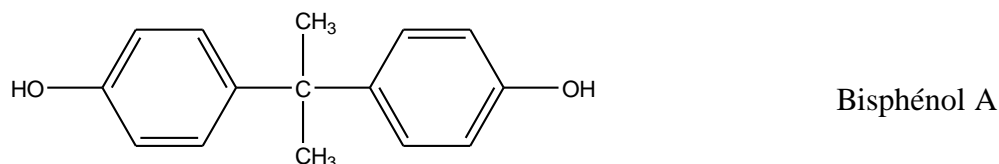
*Lors de tests réalisés sur des familles de différents pays de l'Union Européenne, des produits d'origine industrielle ont été retrouvés sur trois générations consécutives :*

- **PCB (polychlorobiphényles)** utilisés dans les appareils électriques jusqu'en 1985 ;
- **retardateurs de flamme bromés (PBDE, HBCD, TBBP-A)** des meubles, tapis, matériaux d'isolation, télévision... ;
- **PFC (composés perfluorés)** des poêles anti-adhésives et traitement anti-taches ;
- **BPA (bisphénol-A)** présent dans les boîtes de conserve, les bouteilles et même certaines tétines de biberon ;
- **phthalates provenant** des jouets, encres d'impression, produits pharmaceutiques et cosmétiques ;
- **muscs synthétiques** servant pour les désodorisants, parfums d'ambiance, etc...

*Or, des études ont montré la relation entre la présence de ces produits dans l'organisme et le développement de certaines pathologies (asthme, allergies, cancers, perturbations hormonales, troubles neurologiques).*

#### **3.1. Étude d'un retardateur de flamme :**

*Le TBBP-A est un dérivé bromé du bisphénol-A ont la formule est donnée ci-dessous :*



*L'utilisation principale du TBBP-A est son effet retardateur de flamme utilisé dans les résines époxy de cartes de circuits imprimés.*

*Le TBBPA est trouvé en oligo-concentration dans l'atmosphère, l'hydrosphère et le sol.*

*La plupart des produits commerciaux TBBP-A sont d'une pureté relativement faible : ils contiennent en fait un mélange de produits bromés à des degrés divers. Le mélange résultant de la bromation du bisphénol-A n'est en fait pas purifié, ce qui permet un plus faible coût du produit.*



**3.1.1.** En supposant que la bromation ne peut affecter que les positions en ortho des groupes -OH, représenter les formules semi-développées des différents isomères qui peuvent se former par bromation du bisphénol-A.

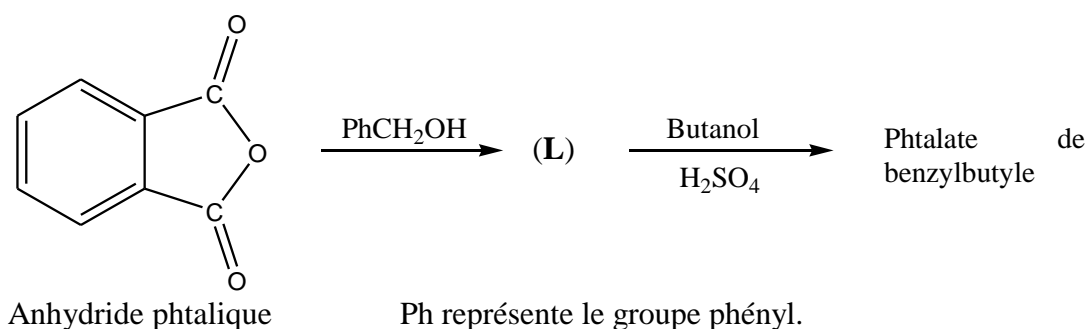
Le mélange de ces différents isomères constitue le TBBP-A.

**3.1.2.** Afin d'effectuer la bromation du benzène, l'utilisation d'un catalyseur est nécessaire. Expliquer pourquoi la bromation du bisphénol-A se fait même sans catalyseur.

### 3.2. Les phtalates

*Dans l'environnement, les phtalates sont biodégradables mais peuvent persister plus longtemps dans certains milieux comme le milieu aquatique où ils vont se mélanger aux sédiments, ce qui rendra plus difficile leur dégradation.*

Le phtalate de benzylbutyle est utilisé dans les adhésifs et les colles. Il peut être synthétisé à partir de l'anhydride phtalique :



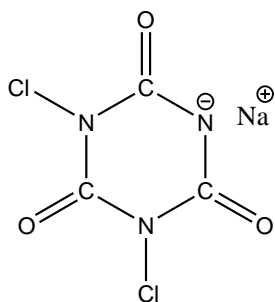
**3.2.1.** Nommer la fonction chimique présente dans l'anhydride phtalique.

**3.2.2.** Donner les formules semi-développées du composé (L) et du phtalate de benzylbutyle.

**3.2.3.** Au cours de la dernière étape de la synthèse, on élimine l'eau du milieu réactionnel. Expliquer pourquoi.

#### 4. Protection des eaux de piscine contre la pollution biologique

Le dichloroisocyanurate de sodium est une source stable de chlore libre. Il est utilisé comme désinfectant industriel. Il constitue également le « chlore choc » utilisé pour la désinfection de l'eau des piscines.



Dichloroisocyanurate de sodium

Ce composé réagit avec l'eau pour se décomposer en acide hypochloreux (qui sert de désinfectant) et en cyanurate de sodium, qui joue un rôle de stabilisant en protégeant l'acide hypochloreux HOCl d'une décomposition par les rayons ultra-violets.

**4.1.** Recopier la molécule de dichloroisocyanurate de sodium sur la copie ; ajouter les doublets non liants.

**4.2.** Donner la formule de Lewis de l'acide hypochloreux HOCl.

Élément	H	O	Cl
Numéro atomique	1	8	17

**4.3.** Écrire l'équation de la réaction du dichloroisocyanurate de sodium avec l'eau sachant qu'il se forme de l'acide hypochloreux et du cyanurate de sodium de formule brute (C<sub>3</sub>H<sub>2</sub>N<sub>3</sub>O<sub>3</sub>Na).

**4.4.** Proposer une formule semi-développée pour le cyanurate de sodium sachant que c'est un composé aromatique qui absorbe les rayons ultra-violets.

# PARTIE C

## GENIE CHIMIQUE

### Production d'eau destinée à la consommation humaine à partir d'une eau de rivière.

Une usine de production d'eau potable utilise une eau de rivière (eau brute) présentant une concentration en ions nitrate supérieure à la limite autorisée par la réglementation officielle. L'installation décrite en annexe 1 comporte donc, en complément des prétraitements et du traitement physico-chimique (élimination des matières en suspension), une étape de dénitrification par bioréacteur. L'eau est ensuite dirigée vers un dispositif d'ozonation, suivi d'une étape d'ultrafiltration en présence de charbon actif en poudre. Les traitements complémentaires consistent en une injection de dichlore gazeux suivie d'un ajout d'une solution de soude. L'eau potable stockée dans un réservoir est ensuite reprise par plusieurs pompes.

**NB : les parties 1, 2, 3 et 4 sont indépendantes.**

#### 1- ÉTUDE DES BIORÉACTEURS DE DÉNITRIFICATION

##### 1-1 Principe

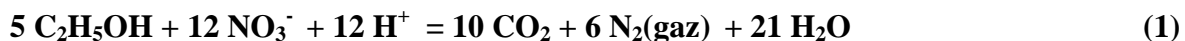
Le procédé utilisé est appelé dénitrification biologique hétérotrophe. Il fait appel aux bactéries qui requièrent, pour leur croissance, des substances organiques.

Les organismes utilisent, en l'absence de dioxygène dissous, les ions nitrate pour oxyder un substrat carboné organique : l'éthanol. Cette transformation s'effectue par l'intermédiaire d'une chaîne de type respiratoire et fournit de l'énergie.

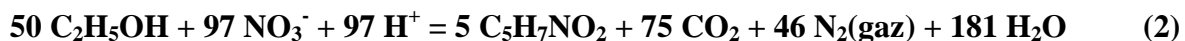
Un apport de phosphore est souvent nécessaire pour assurer un bon fonctionnement de la biomasse.

Deux réactions interviennent dans cette transformation.

La première réaction correspond à la production d'énergie, elle consomme 75 % des ions nitrate éliminés. Elle est traduite par l'équation (1) :



La deuxième réaction correspond à la synthèse des bactéries (biomasse), elle consomme 25 % des ions nitrate. Elle est traduite par l'équation (2) :



$\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$  est une représentation chimique de la matière cellulaire.

##### 1-2 Mise en œuvre

Le bioréacteur est constitué d'une cuve partiellement remplie d'un garnissage constitué de grains d'argile expansée, ces grains servant de support à la biomasse. Il s'agit d'un système de bio-filtration : l'eau à traiter alimente ici les bio-filtres par le bas (filtration ascendante). Les filtres qui s'encrassent (croissance de la biomasse) doivent être périodiquement lavés ; on consomme donc une partie de l'eau produite pour les lavages.

Le débit d'eau à traiter est de  $1,6 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  réparti sur six bio-filtres. Le traitement est prévu pour éliminer  $30 \text{ mg/L}$  d'ions nitrate.

### 1-3 Bilans sur l'installation

#### 1-3-1

En tenant compte des indications ci-dessus et des équations des réactions (1) et (2), calculer le débit volumique d'éthanol à 95 % en masse à injecter pour traiter l'eau.

Masses molaires ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) :  $\text{NO}_3^-$  : 62       $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  : 46

Densité de l'éthanol à 95 % : 0,812

#### 1-3-2

Il faut respecter, pour assurer une croissance optimale de la biomasse, un rapport massique P/N égal à 0,05.

Calculer le débit volumique de la solution d'acide phosphorique à 10 % en masse à injecter pour obtenir le rapport massique P/N souhaité.

Masses molaires ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) : P : 31     $\text{H}_3\text{PO}_4$  : 98    N : 14

Densité de la solution de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  à 10 % en masse : 1,042

#### 1-3-3

Indiquer le type de pompe à utiliser pour les injections des solutions d'éthanol et d'acide phosphorique.

#### 1-3-4

Calculer le débit volumique (en  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , mesuré sous  $P = 1,013 \text{ bar}$  et  $T = 293 \text{ K}$ ) de diazote produit par chaque bio-filtre.

Loi des gaz parfaits :  $PV = nRT$  ( $P$  en Pa,  $V$  en  $\text{m}^3$ ,  $T$  en K,  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ).

#### 1-3-5

Justifier le mode de filtration ascendante utilisé sur les bio-filtres.

#### 1-3-6

Décrire brièvement un autre traitement d'élimination des ions nitrate qui pourrait être utilisé en remplacement des bioréacteurs.

## 2-OZONATION

Le traitement à l'ozone permet de détruire certains composés indésirables et également de désinfecter l'eau.

### 2-1 Fonctionnement des ozoneurs

L'ozone est produit à partir du dioxygène contenu dans l'air par effet couronne. L'air est comprimé puis refroidi ; il est ensuite séché par adsorption sur alumine activée ou sur zéolithe. Le point de rosée doit être inférieur à  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$ . L'air alimente ensuite l'ozoneur qui comporte des tubes en verre portés à un potentiel négatif de plusieurs dizaines de kV, la carcasse de l'appareil étant mise à la terre. L'air est ionisé, et par une suite de réactions, on produit de l'ozone  $\text{O}_3$  à partir du dioxygène de l'air. Le rendement est assez faible (environ 5 %).

### 2-2 Bilans thermiques sur un ozoneur

Le débit d'air sec d'alimentation d'un ozoneur est de  $55 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  (sous une pression de **2,0 bar** à **20 °C**).

La concentration en ozone dans l'air sortant est de  $15 \text{ g} \cdot \text{par Nm}^3$  ( $\text{Nm}^3$  : notation industrielle correspondant à  $1 \text{ m}^3$  de gaz mesuré sous une pression de **1,013 bar** à **0 °C**)

La quantité de chaleur dégagée dans l'ozoneur est de  $50 \text{ kJ}$  par g d'ozone produit.

### 2-2-1

Calculer le débit d'air sous  $P = 1,013 \text{ bar}$  à  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 2-2-2

Calculer la puissance thermique dégagée dans l'ozoneur.

Déterminer la température de sortie de l'air si l'ozoneur n'est pas refroidi.

Capacité thermique molaire moyenne de l'air :  $30 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ .

### 2-2-3

La température calculée au 2-2-2 est trop élevée : il est nécessaire de refroidir l'ozoneur par circulation d'eau.

Calculer le débit massique horaire de l'eau de refroidissement pour obtenir une température de sortie de l'air de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Capacité thermique massique de l'eau :  $4,18 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ .

L'augmentation de température de l'eau est de  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## 2-3 Bilans matière sur la tour d'ozonation

La masse d'ozone injecté est de  $2 \text{ g}$  par  $\text{m}^3$  d'eau.

Le débit d'eau est égal à  $1500 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$

### 2-3-1

Calculer le débit d'air ozoné qui alimente la tour d'ozonation (en  $\text{Nm}^3.\text{h}^{-1}$ )

### 2-3-2

La concentration massique en ozone dans l'air sortant de la tour est égale à  $1,0 \text{ g.Nm}^{-3}$

La concentration en ozone dans l'eau est de  $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$

Calculer le débit massique d'ozone consommé dans la tour d'ozonation.

## 3-ULTRAFILTRATION

L'ultrafiltration est combinée à un traitement au charbon actif en poudre (CAP). Le but de ce traitement est d'éliminer des micropolluants tels que les pesticides, il permet également d'éliminer virus et bactéries.

### 3-1 Étude du charbon actif

#### 3-1-1

L'adsorption de micropolluants par le CAP peut être décrite par la relation de Freundlich :

$$\frac{X}{m} = K.C^n$$

Pour un volume d'eau donné (1 L par exemple) :

X : masse de polluant adsorbé (en g)

m : masse de CAP utilisé (en g)

C : concentration en polluant à l'équilibre (en  $\text{g.L}^{-1}$ )

K et n sont des constantes liées au charbon actif utilisé.

Des essais préliminaires ont permis de déterminer pour le CAP utilisé :  $K = 47$  et  $n = 0,6$ .

La concentration en micropolluant avant traitement est de  $50 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ .

Calculer la masse de CAP à utiliser pour traiter  $1,0 \text{ m}^3$  d'eau si on souhaite une concentration en micropolluant qui ne dépasse pas  $1 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ .

### 3-1-2

Le CAP est injecté sous forme d'une suspension dans l'eau à  $50 \text{ g.L}^{-1}$ , Calculer le débit de suspension pour traiter  $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  d'eau sachant que la masse de CAP introduit est de  $5 \text{ g}$  par  $\text{m}^3$  d'eau.

### 3-2- Ultrafiltration

Le dispositif d'ultrafiltration utilise des fibres creuses à l'intérieur desquelles circule l'eau traitée par le CAP. La filtration est tangentielle et nécessite une recirculation du rejet (partie non filtrée). Il faut, par ailleurs, procéder périodiquement au rétro lavage du filtre.

Cette partie de l'installation est constituée de 10 blocs de 20 modules ; chaque module comporte 15 000 fibres creuses de 1,3 m de long pour 1 mm de diamètre interne (l'eau traitée au CAP circule à l'intérieur des fibres). Le volume de la boucle de recirculation est de 100 L pour chaque bloc.

Il est nécessaire de procéder au lavage des blocs de modules lorsque la concentration en CAP dans la boucle de recirculation et dans les fibres est de  $1,5 \text{ g.L}^{-1}$ .

Calculer la durée de fonctionnement des blocs entre chaque période de lavage.

## 4-POMPAGE DE L'EAU TRAITÉE

La station de pompage comporte quatre pompes montées en parallèle dont trois fonctionnent (la quatrième est en secours). Dans ce type de montage on suppose que la HMT de la pompe est égale à la HMT du circuit.

La longueur de la canalisation de refoulement est égale à  $2,5 \times 10^3 \text{ m}$  pour un diamètre de 40 cm. La perte de charge due aux accidents représente 10 % de la perte de charge par friction.

Le niveau dans la cuve de stockage est constant.

La différence de cotes entre le niveau dans la cuve de stockage et l'extrémité de la canalisation de refoulement est de 25 m.

Le débit dans la canalisation de refoulement est de  $1,5 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

### 4-1

Calculer la perte de charge totale du circuit, sachant que la perte de charge par friction peut

être calculée par la relation :  $J = \lambda \frac{Lu^2}{2gD}$

L : longueur de canalisation

D : diamètre moyen de la canalisation

u : vitesse moyenne du fluide

g : accélération de la pesanteur

On prend :  $\lambda = \frac{0,32}{\text{Re}^{0,25}}$

$\text{Re}$  : nombre de Reynolds, avec  $\text{Re} = \frac{\rho u D}{\eta}$

$\rho$  : masse volumique du fluide, avec  $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

$\eta$  : viscosité dynamique du fluide, avec  $\eta = 1,0 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$

### 4-2

Calculer la hauteur manométrique totale du circuit sachant que la cuve d'aspiration et le réservoir de refoulement sont à la pression atmosphérique.

Pour un circuit AB comportant une pompe, la relation de Bernoulli donne :

$$\frac{P_A}{\rho \cdot g} + \frac{u_A^2}{2 \cdot g} + z_A + \text{HMT} = \frac{P_B}{\rho \cdot g} + \frac{u_B^2}{2 \cdot g} + z_B + J_t$$

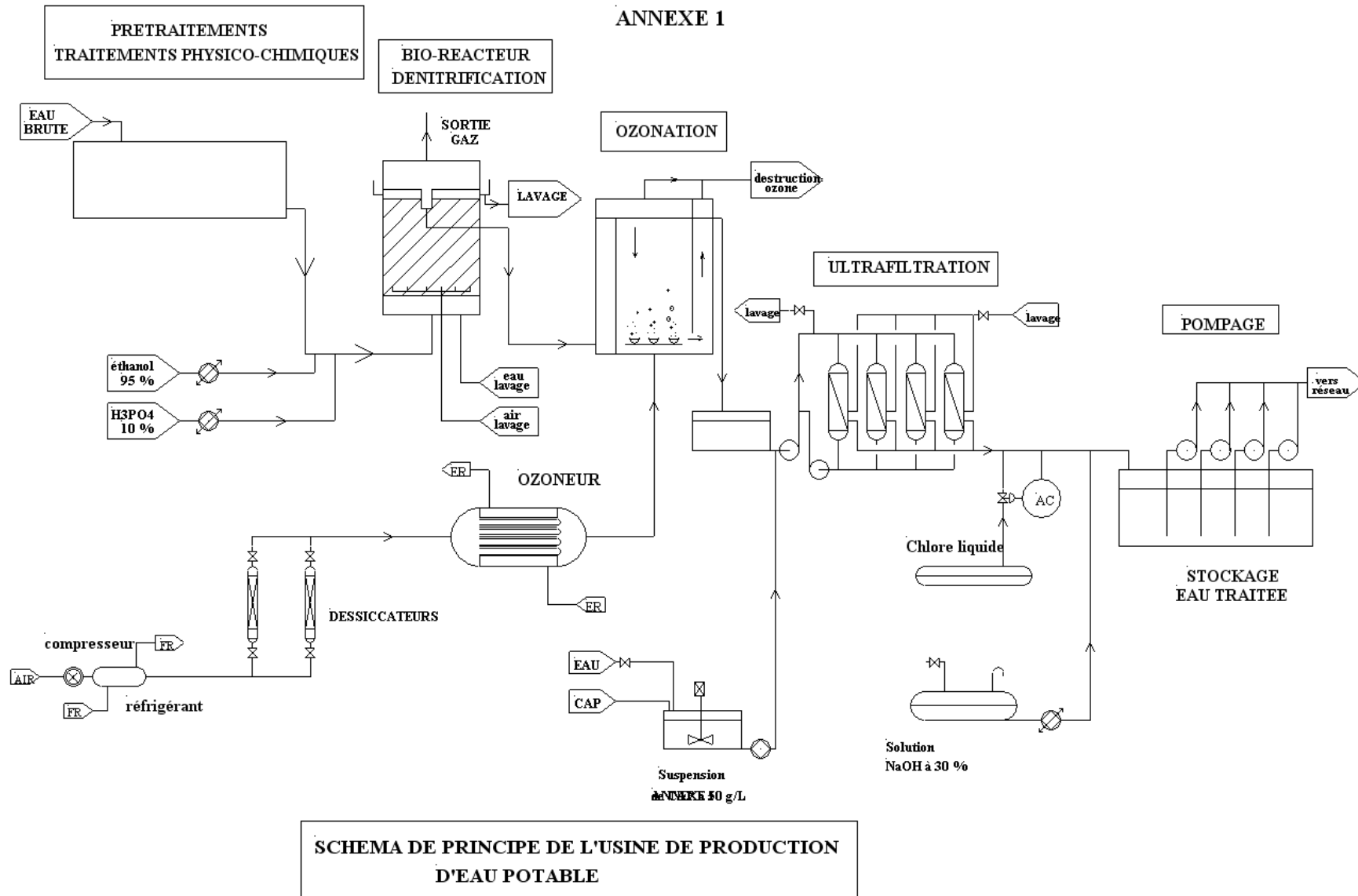
#### 4-3

Calculer la puissance électrique installée pour l'ensemble des trois pompes sachant que le rendement global est de 66 %.

#### 4-4

Déterminer à l'aide de l'annexe 2 la pompe la mieux adaptée.

ANNEXE 1



SCHEMA DE PRINCIPE DE L'USINE DE PRODUCTION D'EAU POTABLE



**ANNEXE 2**

