

Chimie des solutions, ondes

Extrait de l'entête des sujets de la banque PT :

« La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la **clarté et la précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans l'**appréciation des copies**. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs. »

Problème 1 : Nettoyage par électrolyse d'une piscine (extrait CCP, TSI, 2017)

Dans cette partie, on s'intéresse à un système de désinfection de l'eau de piscine par électrolyse au sel.

Document 5 - Électrolyse de sel

« L'électrolyse de sel » est un système de désinfection de l'eau de piscine dont le principe est de fabriquer du « chlore actif » à partir du sel préalablement dissous dans l'eau de la piscine. Une petite quantité de chlore est libérée de façon permanente, ce qui assure la désinfection de l'eau. Conseil : adjoindre à l'électrolyseur une régulation de pH automatique car le procédé d'électrolyse fait monter le pH de l'eau.

D'après <http://www.piscine-clic.com/>

Document 6 - Fonctionnement de « l'électrolyse de sel »

Du sel est mis directement dans la piscine (environ $4,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ - la mer étant 9 fois plus salée). Dès que le système de filtration est en marche, le cycle de transformation en 3 étapes peut commencer :

1. Formation de « chlore actif »

Une cellule d'électrolyseur, munie d'électrodes en titane, est placée sur le circuit de filtration, en aval, sur le circuit « retour piscine ».

Ces électrodes sont polarisées par un courant continu à basse tension (4 à 7 V).

Quand l'eau passe entre les électrodes, il se produit :

- sur l'électrode positive (+) l'oxydation des ions chlorure qui aboutit à la formation de dichlore ;
- sur l'électrode négative (-) la réduction des molécules d'eau qui donne, entre autres espèces, des ions HO^- ;
- en réagissant sur les ions HO^- , le dichlore se transforme en ion hypochlorite.

2. Action désinfectante du « chlore actif »

Comme le dichlore, l'ion hypochlorite ClO^- en solution aqueuse est un puissant désinfectant qui élimine les micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, algues...) avec une grande efficacité.

3. Régénération des ions chlorure

Une fois sa mission désinfectante accomplie et sous l'effet des UV, les ions hypochlorite sont à nouveau transformés sous forme d'ions chlorure. C'est pourquoi on n'a jamais cette sensation désagréable de chlore dans la piscine.

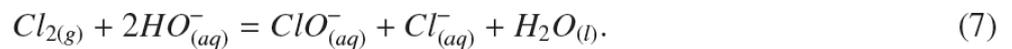
- Q45.** Les ions chlorure, la molécule de dichlore... correspondent à l'élément chlore. Qu'est-ce qui caractérise l'élément chlore ?
- Q46.** Donner la définition d'un oxydant.
- Q47.** Écrire la demi-équation d'oxydoréduction se produisant à l'électrode positive de l'électrolyseur.
- Q48.** Écrire la demi-équation d'oxydoréduction se produisant à l'électrode négative en milieu basique sachant qu'il s'y produit aussi un dégagement de dihydrogène gazeux.
- Q49.** Écrire l'équation bilan de l'électrolyse.

(6)

La tension aux bornes de la cellule d'électrolyse est de 7,0 V et l'intensité du courant est de 15 A. La réaction de la cellule d'électrolyseur se peut lire : la production de dichlore : 10 g/h .

Q50. Déterminer la masse de dichlore produite pendant une heure.

Les ions hydroxyde et le dichlore formés sont consommés lors d'une nouvelle transformation chimique, supposée rapide et totale, dont l'équation est :



Q51. Déterminer les nombres d'oxydation du chlore dans Cl_2 , ClO^- et Cl^- .

Q52. En déduire le nom donné à la réaction (7).

La régulation du pH est essentielle dans le traitement de l'eau des piscines.

En s'assurant que le pH de l'eau est proche de 7,4 (valeur du pH du liquide lacrymal), il est notamment possible de réduire la sensation de picotement des yeux. Un écart de 0,2 par rapport à cette valeur est acceptable.

On réalise un contrôle de pH de l'eau de la piscine. On mesure la valeur pH = 8,2.

On dispose de deux produits en granulés pour piscines appelés pH-plus[®], pour augmenter le pH de l'eau et pH-moins[®], pour diminuer le pH de l'eau.

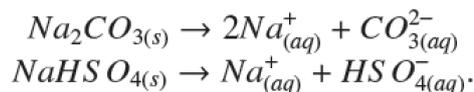


Figure 4 – Étiquettes des produits

Malheureusement, l'étiquette des produits n'est plus totalement lisible (**figure 4**).

Q53. Donner la signification du pictogramme situé sur l'étiquette de gauche (granulés de Na_2CO_3) et en déduire les précautions à prendre lors de l'utilisation du produit.

On donne les équations de dissolution des composés ioniques Na_2CO_3 et $NaHSO_4$:



Q54. En justifiant précisément la réponse, déterminer le produit à utiliser pour retrouver un pH optimal et en déduire les espèces chimiques présentes dans les granulés « pH-moins » et « pH-plus ».

Données	
$1 \mathcal{F} = 96\,500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$	
Couples rédox : $Cl_{2(g)}/Cl_{(aq)}^-$; $H_{(aq)}^+/H_{2(g)}$	
Couples acido-basiques : $HSO_{4(aq)}^-/SO_{4(aq)}^{2-}$; $H_3O_{(aq)}^+/H_2O_{(l)}$; $HCO_{3(aq)}^-/CO_{3(aq)}^{2-}$	
Masses molaires atomiques (en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$) : $M(O) = 16,0$; $M(Na) = 23,0$; $M(Cl) = 35,5$	
Vitesse de la lumière : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	
Perméabilité du vide : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$	
Permittivité du vide : $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$	
Relation entre c , ϵ_0 et μ_0 : $c^2 \mu_0 \epsilon_0 = 1$	
Pour un vecteur \vec{Z} , on a la formule	
$\overrightarrow{\text{rot}}(\overrightarrow{\text{rot}}(\vec{Z})) = \overrightarrow{\text{grad}}(\text{div}(\vec{Z})) - \Delta(\vec{Z})$	
avec $\Delta(\vec{Z})$, le laplacien du vecteur \vec{Z}	
Aides au calcul	
$\pi^2 \simeq 10$	$71/96\,500 \simeq 7,4 \cdot 10^{-4}$
$\sqrt{17} \simeq 4,1$	$71 \times 96\,500 \simeq 6,9 \cdot 10^6$
$\ln 10^4 \simeq 9,1$	$96\,500/71 \simeq 1,4 \cdot 10^3$

Problème 2 : Mirages acoustiques (extrait CCP, TSI, 2016)

« En choisissant leur profondeur de plongée, les baleines parviennent à se faire entendre à des milliers de kilomètres et les sous-marinières à se dissimuler des sonars. Les cétacés, comme les sous-marins, exploitent pour cela l'équivalent acoustique des mirages lumineux. Pour expliquer comment, nous allons d'abord décrire la propagation du son, puis nous montrerons que les mirages acoustiques sont une des multiples manifestations d'un même phénomène : la déviation des ondes sonores vers les zones où leur vitesse de propagation est la plus faible. »

Les parties **I.1.** à **I.3.** sont indépendantes et peuvent être traitées séparément.

I.1. La propagation du son

« Lorsque nous parlons, nos cordes vocales mettent en mouvement l'air qui les entoure. L'air étant élastique, chaque couche d'air se comporte comme un ressort. La couche d'air comprimé se détend, et ce faisant comprime la couche qui la suit dans le sens de propagation du son, etc. »

I.1.a. Définir une onde ; expliquer en quoi la propagation d'une onde est un phénomène à la fois spatial et temporel. Quelle(s) grandeur(s) physique(s) peut-on associer à une onde acoustique ?

I.1.b. Le son est une onde mécanique. Que peut-on alors dire de son milieu de propagation ? Donner deux autres exemples d'ondes mécaniques (mais non acoustiques).

I.1.c. À quel intervalle de fréquences correspond le domaine des ondes sonores audibles par l'homme ? Qu'appelle-t-on « ultrasons » ? Expliquer un des usages **autres que dans les sonars** que l'homme peut faire des ultrasons.

I.1.d. Pendant un orage, on peut grossièrement évaluer la distance à laquelle est tombée la foudre. Si on divise par trois la durée (en secondes) entre l'éclair et le tonnerre, on obtient la distance cherchée (en kilomètres).

À partir de cette observation, estimer approximativement la valeur numérique de la vitesse c_{air} du son dans l'air, par temps orageux. La réponse sera justifiée.

I.2. Principe du sonar

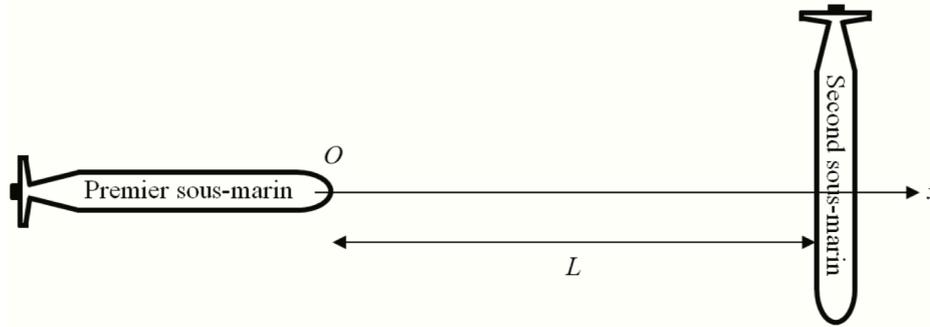


FIGURE 1 – Les sous-marins, vus du dessus

Un sonar (« SOund NAvigation and Ranging ») est un dispositif de détection utilisant les ondes acoustiques comme signal détectant. Il permet aux marins de naviguer correctement (mesure de la profondeur)

ou aux sous-mariniens de repérer les obstacles et les autres navires. Certains animaux (chauve-souris, dauphins...) utilisent des systèmes similaires au sonar pour repérer leurs proies ou des obstacles.

On suppose dans cette partie que la mer est un milieu homogène dans lequel le son se propage rectilignement. À 20 °C, la vitesse du son dans l'eau de mer est $c_{\text{mer}} = 1,50 \text{ km.s}^{-1}$.

L'avant d'un sous-marin est équipé d'un sonar lui permettant d'éviter d'entrer en collision avec un autre sous-marin. Le sonar est constitué d'un émetteur d'ondes sonores et d'un récepteur capable d'identifier l'écho de l'onde précédemment émise.

On note O l'avant du sous-marin équipé du sonar et (Ox) l'axe du sous-marin, correspondant à l'axe de propagation de l'onde sonore. Un second sous-marin est à la distance L du premier, dans la configuration représentée sur la figure 1 (page 2).

I.2.a. Expliquer le principe de fonctionnement d'un sonar.

I.2.b. L'émetteur produit une très brève impulsion sonore. Le récepteur en reçoit l'écho au bout d'une durée $\Delta t_e = 38,8 \text{ ms}$. En déduire la distance L à laquelle se situe le second sous-marin ; faire l'application numérique.

À partir de l'instant $t = 0$, le sonar émet l'impulsion sonore sinusoïdale de la figure 2, pendant une durée $\Delta t_i = 800 \mu\text{s}$.

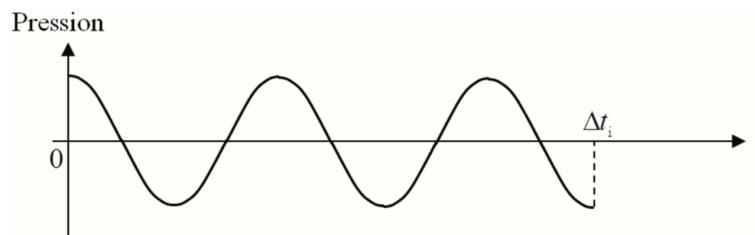


FIGURE 2 – Impulsion sinusoïdale correspondant au signal envoyé par le sonar

I.2.c. Déterminer, en justifiant, la valeur numérique de la fréquence f de l'onde émise par le sonar.

On s'intéresse à la propagation spatiale de l'impulsion sonore : on la représente alors dans le système d'axes de la figure 3.



FIGURE 3 – Propagation spatiale

I.2.d. Exprimer et calculer numériquement la longueur spatiale Δx de l'impulsion.

I.2.e. Reproduire sur la copie le système d'axes de la figure 3 et y représenter l'impulsion sonore à l'instant $t = 12,0$ ms ; calculer numériquement, en justifiant précisément, les positions du début (ou front) de l'impulsion et de sa fin.

Un détecteur d'ondes sonores est placé sur le second sous-marin, sur l'axe (Ox) .

I.2.f. Représenter sur la copie l'évolution de l'amplitude enregistrée par ce détecteur au cours du temps. Calculer numériquement, en justifiant précisément, les instants auxquels le détecteur reçoit le début et la fin de l'impulsion et on repérera ces instants sur l'axe horizontal qu'on graduera.

I.3. Son et température

Dans le cas où on assimile l'air à un gaz parfait, la vitesse du son dans l'air est donnée par la formule

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (1)$$

où $\gamma = 1,41$ est le rapport des capacités thermiques à pression et volume constants, $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ est la constante des gaz parfaits, T est la température et $M = 29,0 \text{ g.mol}^{-1}$ est la masse molaire de l'air.

« Le son est dévié dans un milieu où sa vitesse de propagation n'est pas uniforme : les trajectoires des ondes sonores s'incurvent vers les zones où la vitesse de propagation est la plus faible. (...) La vitesse du son croît d'environ 0,6 mètre par seconde et par degré Celsius : elle dépend de l'altitude puisque la température change avec cette dernière. »

I.3.a. Calculer numériquement la vitesse c_0 du son à la température $T_0 = 298 \text{ K}$.

I.3.b. Montrer que, pour une variation $\Delta T = 1,00 \text{ K}$ de la température de l'air par rapport à T_0 , la variation Δc de la vitesse du son peut s'écrire, de façon approchée :

$$\Delta c \approx c_0 \frac{\Delta T}{2T_0} . \quad (2)$$

Faire l'application numérique et commenter.

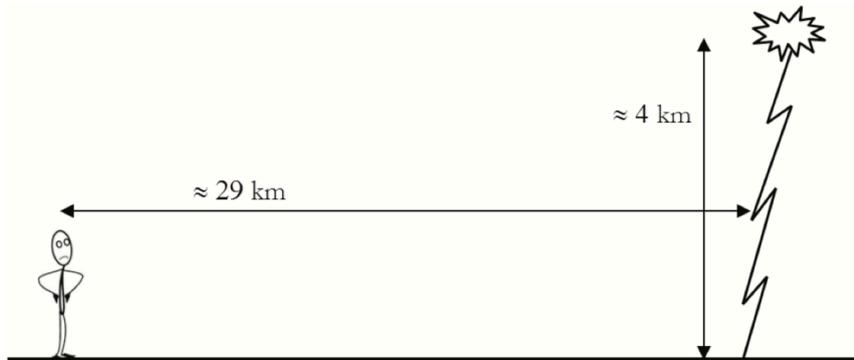


FIGURE 4 – Un orage silencieux

La déviation des ondes sonores dans l'air dépend du gradient de température. « Cet effet est amplifié en cas d'orage où l'air au voisinage du sol est très chaud, la température diminuant fortement avec l'altitude. » La déviation « est alors si importante que l'on n'entend pas le tonnerre d'orages qui éclatent à seulement quelques kilomètres de distance : tout se passe comme si l'on se trouvait dans une zone d'« ombre sonore ». » Ainsi, il se peut qu'on aperçoive un éclair, produit à environ 4 km d'altitude, sans entendre le tonnerre si on est au-delà d'environ 29 km de distance.

I.3.c. Reproduire sur la copie la figure 4 (page 4) et y représenter l'allure de la trajectoire du son du tonnerre, dans le cas où il est à la limite d'être perçu par l'homme. Par analogie avec un mirage optique, justifier le nom de « mirage acoustique » donné au phénomène décrit. Sur la figure 4 reproduite, repérer la zone d'« ombre sonore », correspondant aux lieux où le tonnerre n'est pas perceptible.

E15. (I) Un chariot de 3,2 kg se déplaçant initialement à 5 m/s et à une hauteur de 4 m rencontre une élévation de hauteur 5 m (figure 8.29). Plus loin se

trouve un ressort horizontal ($k = 120 \text{ N/m}$) à une hauteur de 2 m. (a) Le chariot va-t-il atteindre le ressort ? (b) Si oui, quelle est la compression maximale du ressort ? On néglige les pertes par frottement et l'énergie associée à la rotation des roues.

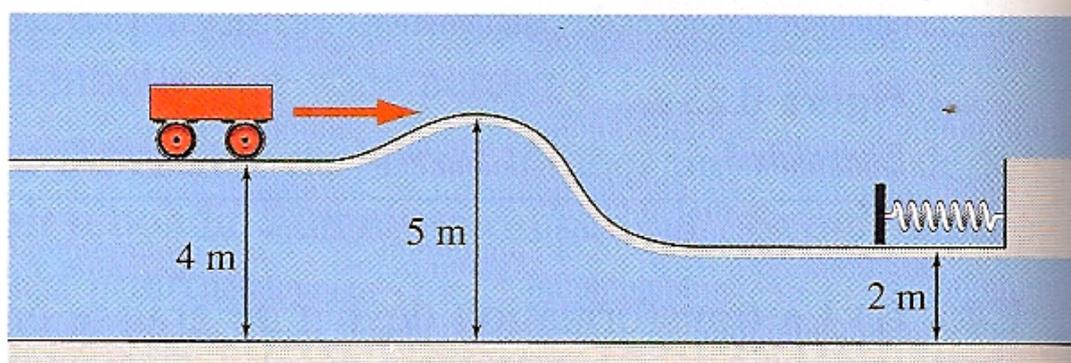


Figure 8.29 ▲

Exercice 15.