

## DEVOIR N°2 - P1, C1 - 2H15

### Consignes pour la rédaction

- Noter le numéro *complet* de la question très lisiblement (encadré ou en couleur)
- Changer de page au début d'un nouvel exercice.
- Le numéro de l'exercice est à noter ou à souligner en couleur.
- S'assurer de laisser une marge pour la notation.

### Ex.1 pH et aquarium (5 pts)

Un aquarium et tout ce qu'il contient forment un système complexe à l'équilibre fragile. De nombreux facteurs peuvent provoquer un déséquilibre dangereux pour la vie et la santé des poissons. En particulier, le pH de l'eau est une grandeur à mesurer régulièrement et à réguler si nécessaire. Il ne doit pas varier de plus de 0,5 unité de pH.



Un aquariophile débutant n'arrive pas à réguler le pH de son aquarium qui contient des plantes et des poissons (scalaires, néons cardinal et guppys). Le matin, le pH de l'eau est d'environ 6,7 et le soir de 7,5.

Cet exercice a pour but d'aider l'aquariophile à réguler le fonctionnement de son aquarium.

#### Paramètres optimaux de vie pour différents poissons

poisson	pH	Température (°C)
néon cardinal	5,0 à 7,0	25 à 30
scalaire	4,5 à 7,0	27 à 30
guppy	6,0 à 8,0	18 à 30

Sur les forums d'aquariophilie on peut trouver quatre techniques d'ajustement du pH :

**Technique n°1 :** Ajouter un peu d'acide sulfurique, commercialisé, par exemple, sous la dénomination « pH minus ». Il s'agit d'un acide fort, la variation du pH sera rapide et peut-être plus importante que souhaitée.

**Technique n°2 :** Injecter du dioxyde de carbone dans l'eau. Pour injecter du dioxyde de carbone dans un aquarium, le plus simple est d'utiliser un kit comprenant un bulleur, un détendeur et une bouteille pressurisée.

Ce système peut être couplé à une électrovanne programmable permettant de choisir les horaires des périodes d'injection du dioxyde de carbone. Le système peut encore être optimisé en combinant un pH-mètre à l'installation, permettant une gestion automatisée de la régulation du pH.

**Technique n°3 :** Ajouter une solution contenant des ions hydroxyde de formule HO<sup>-</sup>. L'ajout doit être modéré car si l'eau devient trop basique, les ions ammonium présents dans l'eau pourraient se transformer en ammoniac, un gaz dissous particulièrement toxique pour les poissons.

**Technique n°4 :** Ajouter de la craie dans l'eau de l'aquarium.

#### Données :

• Les craies traditionnelles sont composées presque exclusivement de carbonate de calcium, un solide ionique constitué d'ions calcium Ca<sup>2+</sup> et carbonate CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>.

• Masse molaire du carbonate de calcium :  $M(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

• Masse d'un bâton de craie : environ 10 g.

• Couples acide/base et pK<sub>a</sub>



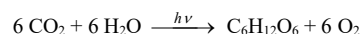
#### Consommation et production de dioxyde de carbone et de dioxygène par les plantes aquatiques et les poissons

De jour comme de nuit, les poissons respirent ; ils absorbent donc du dioxygène et rejettent du dioxyde de carbone.

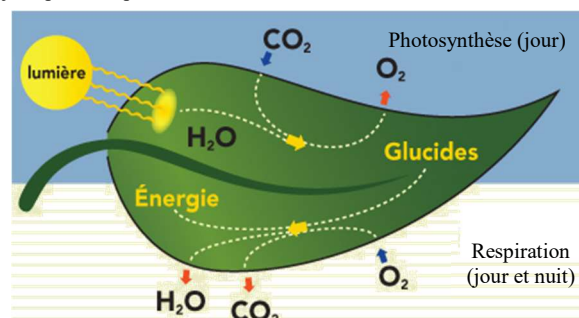
En ce qui concerne les plantes, deux phénomènes sont à prendre en compte :

- De jour comme de nuit, elles respirent.

- De jour, lorsqu'elles reçoivent de la lumière, les plantes réalisent la photosynthèse : elles captent du dioxyde de carbone et produisent du glucose. La photosynthèse est modélisée par la réaction d'équation suivante :



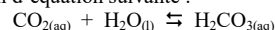
Globalement, lorsqu'elle reçoit suffisamment de lumière, une plante absorbe plus de dioxyde de carbone par la photosynthèse qu'elle n'en rejette par la respiration.



#### Questions

1. Une solution « pH minus » vendue pour faire baisser le pH dans un aquarium contient des ions H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> à la concentration de 3,0 mol·L<sup>-1</sup>. Pour mettre en œuvre une des techniques, un aquariophile conseille sur un forum de prélever de l'eau de l'aquarium dans un récipient propre afin de diluer 50 fois la solution de « pH minus » avant de l'introduire dans l'aquarium. Déterminer la valeur du pH de la solution versée dans l'aquarium.

2. Une des techniques propose d'injecter du dioxyde de carbone. Le dioxyde de carbone se dissout dans l'eau et y forme l'acide carbonique H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> selon la réaction d'équation suivante :



2.1. À l'aide des couples acide/base mis en jeu, écrire l'équation de la réaction intervenant entre l'acide carbonique et l'eau.

2.2. Quel est l'effet de cette injection de dioxyde de carbone sur la valeur du pH de l'eau de l'aquarium ? Cette injection est-elle à conseiller à l'aquariophile débutant ?

2.3. Tracer, sur un axe gradué, les domaines de prédominance des espèces acido-basiques H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. Déterminer l'espèce prédominante le matin et le soir dans l'eau de l'aquarium étudié.

3. On considère un aquarium de volume 100 L dont l'eau a une valeur de pH égale à 3,0. On se propose d'étudier l'effet de l'ajout de craie dans l'eau comme proposé dans l'une des techniques.

3.1. L'ajout d'un quart de bâton de craie permettra-t-il d'obtenir une solution neutre ?

Pour répondre à cette question, on modélisera la transformation par la réaction intervenant entre les ions carbonate CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> présents dans la craie et les ions oxonium H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> de l'aquarium formant de l'acide carbonique et de l'eau. On considèrera cette réaction comme totale.

3.2. Déterminer l'espèce prédominante après traitement. La modélisation choisie est-elle pertinente ?

4. Indiquer les numéros des techniques proposées sur Internet permettant de faire diminuer le pH, et celles permettant d'augmenter le pH.

#### 5. Synthèse

En s'appuyant, entre autres, sur les équilibres acides/bases mis en jeu, rédiger un paragraphe expliquant :

- la variation de pH de 6,7 à 7,5 observée en journée.
- laquelle des quatre techniques convient pour réguler le pH dans l'aquarium considéré.

**Ex.2 Effet Doppler et applications (6 pts)**



Christian Doppler (1803- 1853)



Christoph Buys-Ballot (1817-1890)

Christian Doppler, savant autrichien, propose en 1842 une explication de la modification de la fréquence du son perçu par un observateur immobile lorsque la source sonore est en mouvement. Buys-Ballot, scientifique hollandais, vérifie expérimentalement la théorie de Doppler en 1845, en enregistrant le décalage en fréquence d'un son provenant d'un train en mouvement et perçu par un observateur immobile.

On se propose de présenter l'effet Doppler puis de l'illustrer au travers de deux applications.

**1. Mouvement relatif d'une source sonore et d'un détecteur**

Nous nous intéressons dans un premier temps au changement de fréquence associé au mouvement relatif d'une source sonore S et d'un détecteur placé au point M (figure 1). Le référentiel d'étude est le référentiel terrestre dans lequel le détecteur est immobile. Une source S émet des « bips » sonores à intervalles de temps réguliers dont la période d'émission est notée  $T_0$ . Le signal sonore se propage à la célérité  $v_{son}$  par rapport au référentiel terrestre.

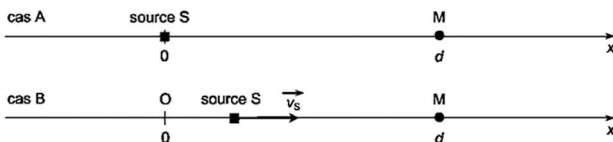


Figure 1 : Schéma représentant une source sonore immobile (cas A), puis en mouvement (cas B).

**1.1. Cas A :** la source S est immobile en  $x = 0$  et le détecteur M, situé à la distance  $d$ , perçoit chaque bip sonore avec un retard lié à la durée de propagation du signal.

**1.1.1.** Définir par une phrase, en utilisant l'expression « bips sonores », la fréquence  $f_0$  de ce signal périodique.

**1.1.2.** Comparer la période temporelle  $T$  des bips sonores perçus par le détecteur à la période d'émission  $T_0$ .

**1.2. Cas B :** la source S, initialement en  $x = 0$ , se déplace à une vitesse constante  $v_s$  suivant l'axe Ox en direction du détecteur immobile. La vitesse  $v_s$  est inférieure à la célérité  $v_{son}$ . On suppose que la source reste à gauche du détecteur.

Le détecteur perçoit alors les différents bips séparés d'une durée :

$$T' = T_0 \left( 1 - \frac{v_s}{v_{son}} \right)$$

Indiquer si la fréquence  $f'$  des bips perçus par le détecteur est inférieure ou supérieure à la fréquence  $f_0$  avec laquelle les bips sont émis par la source S. Justifier.

**2. La vélocimétrie Doppler en médecine**

La médecine fait appel à l'effet Doppler pour mesurer la vitesse d'écoulement du sang dans les vaisseaux sanguins (figure 2 ci-dessous).

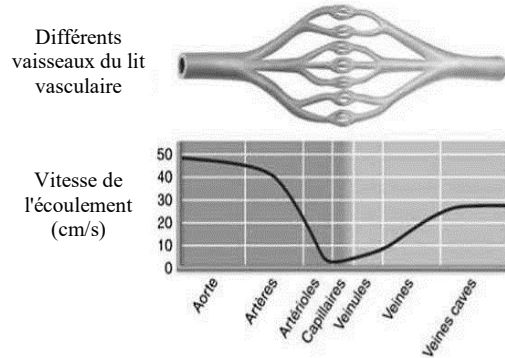


Figure 2 : Vitesse moyenne du sang dans différents vaisseaux sanguins.

Un émetteur produit des ondes ultrasonores qui traversent la paroi d'un vaisseau sanguin. Pour simplifier, on suppose que lorsque le faisceau ultrasonore traverse des tissus biologiques, il rencontre :

- des cibles fixes sur lesquelles il se réfléchit sans modification de la fréquence ;
- des cibles mobiles, comme les globules rouges du sang, sur lesquelles il se réfléchit avec une modification de la fréquence ultrasonore par effet Doppler (figure 3 ci-dessous).

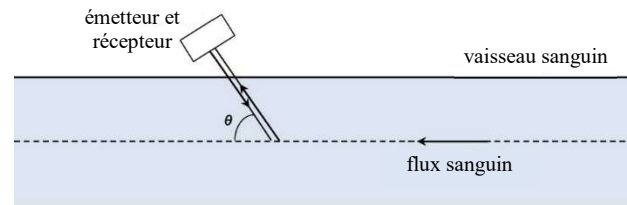


Figure 3. Principe de la mesure d'une vitesse d'écoulement sanguin par effet Doppler (échelle non respectée).

L'onde ultrasonore émise, de fréquence  $f_E = 10$  MHz, se réfléchit sur les globules rouges qui sont animés d'une vitesse  $v$ . L'onde réfléchie est ensuite détectée par le récepteur.

La vitesse  $v$  des globules rouges dans le vaisseau sanguin est donnée par la relation  $v = \frac{v_{ultrason}}{2 \cdot \cos \theta} \cdot \frac{\Delta f}{f_E}$  où  $\Delta f$  est le décalage en fréquence entre

l'onde émise et l'onde réfléchie,  $v_{ultrason}$  la célérité des ultrasons dans le sang et  $\theta$  l'angle défini sur la figure 3.

On donne  $v_{ultrason} = 1,57 \cdot 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  et  $\theta = 45^\circ$ .

**2.1.** Le décalage en fréquence mesuré par le récepteur est de 1,5 kHz. Identifier le(s) type(s) de vaisseaux sanguins dont il pourrait s'agir.

**2.2.** Pour les mêmes vaisseaux sanguins et dans les mêmes conditions de mesure, on augmente la fréquence des ultrasons émis  $f_E$ . Indiquer comment évolue le décalage en fréquence  $\Delta f$ . Justifier.

**3. Détermination de la vitesse d'un hélicoptère par effet Doppler**

On s'intéresse à un son émis par un hélicoptère et perçu par un observateur immobile. La valeur de la fréquence de l'onde sonore émise par l'hélicoptère est  $f_0 = 8,1 \cdot 10^2$  Hz. On se place dans le référentiel terrestre pour toute la suite de cette partie.

Les portions de cercles des figures 4 et 5 ci-dessous donnent les maxima d'amplitude de l'onde sonore à un instant donné. Le point A schématise l'hélicoptère. Dans le cas de la figure 4, l'hélicoptère est immobile. Dans le cas de la figure 5, il se déplace à vitesse constante le long de l'axe et vers l'observateur placé au point O. La célérité du son dans l'air est indépendante de sa fréquence.

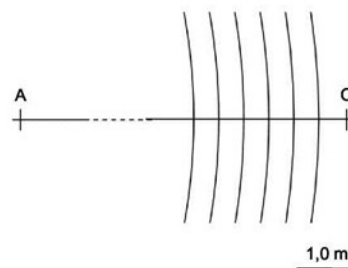


Figure 4 : L'hélicoptère est immobile.

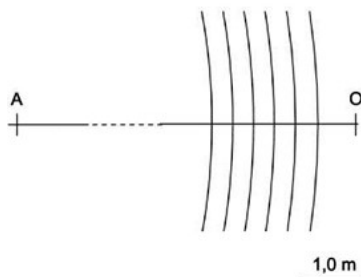


Figure 5 : L'hélicoptère est en mouvement.

3.1. Déterminer, avec un maximum de précision, la longueur d'onde  $\lambda_0$  de l'onde sonore perçue par l'observateur lorsque l'hélicoptère est immobile, puis la longueur d'onde  $\lambda'$  lorsque l'hélicoptère est en mouvement rectiligne uniforme.

3.2. En déduire une estimation de la valeur de la célérité de l'onde sonore. Commenter la valeur obtenue.

3.3. Déterminer la fréquence du son perçue par l'observateur lorsque l'hélicoptère est en mouvement. Cette valeur est-elle en accord avec le résultat de la question 1.2. ? Comment la perception du son est-elle modifiée ?

3.4. En déduire la valeur de la vitesse de l'hélicoptère. Cette valeur vous paraît-elle réaliste.

## Correction

### Ex. 1

1.  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 3/50 = 0,060 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , donc  $\text{pH} = -\log(0,06) = 1,22$  [0,5 pt]  
D si seulement formule  $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$

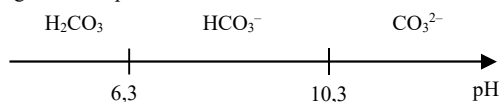
2.1.  $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$  [0,5 pt]

2.2. Production de  $\text{H}_3\text{O}^+$  donc baisse du pH. Oui, car l'acide carbonique est un acide faible, il y a moins de risque de baisse brutale du pH comparé à la 1<sup>ère</sup> méthode. De plus, le système peut être couplé à un pH-mètre et à une électrovanne pour une gestion automatisée du pH. [0,5 pt]

C si pas « production de  $\text{H}_3\text{O}^+$  »

-1 si argumentation fautive pour « conseillée aux débutants »

2.3. Diagramme de prédominance



La forme prédominante dans les deux cas est  $\text{HCO}_3^-$  ( $\text{pH} > 6,3$  et  $< 10,3$  toute la journée). [0,5 pt]

3.1.  $\frac{1}{4}$  de bâton de craie = 2,5 g de  $\text{CaCO}_3$  soit  $n = 2,5/100 = 25 \text{ mmol}$  de  $\text{CO}_3^{2-}$ .

Équation-bilan de la réaction :  $\text{CO}_3^{2-} + 2 \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$

Quantité de  $\text{H}_3\text{O}^+$  présents dans 100 L à pH 3 :  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , donc  $n(\text{H}_3\text{O}^+) = c \cdot V = 0,100 \text{ mol}$ .

À la fin de la réaction, il reste 0,05 mol de  $\text{H}_3\text{O}^+$  soit  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  et  $\text{pH} = 3,3$ .

Donc l'ajout d'un quart de bâton de craie ne permet pas d'obtenir une solution neutre. [1 pt]

1 pour calcul quantité initiale de  $\text{CO}_3^{2-}$

1 pour calcul quantité initiale de  $\text{H}_3\text{O}^+$

1 pour équation-bilan correcte

1 pour conclusion.

3.2. L'espèce prédominante est  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , donc la modélisation choisie est pertinente car elle suppose que tous les ions  $\text{CO}_3^{2-}$  sont transformés en  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . [0,5 pt]

4. Les deux premières techniques font diminuer le pH, les deux autres le font augmenter. [0,5 pt]

-2 par faute

5. Le pH de l'aquarium augmente durant la journée, car les plantes consomment alors plus de  $\text{CO}_2$  pour la synthèse qu'elles n'en produisent par leur respiration.

La technique à utiliser est la numéro 2, car elle permet de faire diminuer le pH de manière automatisée, sans risque d'une baisse excessive. [1 pt]

1 pour la technique

### Ex. 2

1.1.1.  $f_0$  est le nombre de bips émis chaque seconde. [0,5 pt]

1.1.2. Pas de mouvement de la source par rapport au détecteur  $\rightarrow T = T_0$  [0,25 pt]

1.2. Le facteur  $1 - \frac{v_s}{v_{\text{son}}}$  est inférieur à 1, donc  $T < T_0$  et  $f > f_0$ . [0,75 pt]

2.1.  $v = 0,167 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Il pourrait s'agir d'une artériole ou d'une veine. [0,75 pt]

2.2. Si  $f_E$  augmente, alors  $\Delta f$  augmente aussi car  $v$  ne change pas donc le rapport  $\Delta f / f_E$  doit rester constant. [0,5 pt]

0 si aucune justification

3.1. Échelle : 1 m dans la réalité  $\rightarrow 0,8 \text{ cm}$  sur le schéma

Pour l'hélicoptère immobile :  $5\lambda = 1,65 \text{ cm}$  sur le schéma. Donc  $5\lambda = 2,1 \text{ m}$  donc  $\lambda = 0,41 \text{ m}$ .

Pour l'hélicoptère en mouvement :  $5\lambda' = 1,4 \text{ cm}$  sur le schéma, donc  $\lambda' = 0,35 \text{ m}$ . [1 pt]

3.2.  $c = \lambda \cdot f = 334 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Cette valeur est conforme à la valeur qui doit être sue par cœur : environ  $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . [0,5 pt]

D si seulement formule

3.3.  $f' = c/\lambda' = 9,6 \cdot 10^2 \text{ Hz}$ .  $f' > f$  conformément à l'explication donnée à la question 1.2. Le son paraît plus aigu. [0,5 pt]

3.4. En utilisant l'expression donnée à la question 1.2, on obtient

l'expression :  $v_S = v_{\text{son}} \cdot \left(1 - \frac{f_0}{f'}\right) \cong 52 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  soit environ  $190 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Cette valeur semble tout à fait réaliste pour un hélicoptère. [1,25 pt]