

SESSION 2024

---

**CAPLP**  
**CONCOURS EXTERNE et 3<sup>ème</sup> CONCOURS**  
**et CAFEP CORRESPONDANTS**

**SECTION : MATHÉMATIQUES – PHYSIQUE-CHIMIE**

**EPREUVE ECRITE DISCIPLINAIRE**

Durée : 5 heures

---

*Calculatrice autorisée selon les modalités de la circulaire du 17 juin 2021 publiée au BOEN du 29 juillet 2021.*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Le candidat rendra deux copies séparées pour chacune des deux parties de l'épreuve.*

*Il appartient au candidat de vérifier qu'il a reçu un sujet complet et correspondant à l'épreuve à laquelle il se présente.*

*Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier. Le fait de rendre une copie blanche est éliminatoire.**

**Tournez la page S.V.P.**

A

# **ÉPREUVE ÉCRITE DISCIPLINAIRE**

**Cette épreuve est constituée de deux parties  
à rendre sur des copies séparées**

**Première partie : mathématiques (pages 1 à 5)**

**Seconde partie : physique-chimie (pages 6 à 17)**

**Documents réponses partie physique-chimie 1, 2, 3 et 4  
à rendre avec la copie de physique-chimie (pages 18 et 19)**

**Attention : le fait de rendre une copie blanche sur la partie  
mathématiques ou la partie physique-chimie est éliminatoire**

## INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie.

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

### ► **Concours externe du CAPLP de l'enseignement public :**

Partie mathématiques

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EFE	1315J	101A	9814

Partie Physique-Chimie

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EFE	1315J	101B	0725

### ► **Concours externe du CAFEP/CAPLP de l'enseignement privé :**

Partie mathématiques

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EFF	1315J	101A	9814

Partie Physique-Chimie

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EFF	1315J	101B	0725

### ► **3<sup>ème</sup> Concours du CAPLP de l'enseignement public :**

Partie mathématiques

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EFV	1315J	101A	9814

Partie Physique-Chimie

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EFV	1315J	101B	0725

### ► **3<sup>ème</sup> Concours du CAPLP de l'enseignement privé :**

Partie mathématiques

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EFW	1315J	101A	9814

Partie Physique-Chimie

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EFW	1315J	101B	0725



## PARTIE 1 : MATHÉMATIQUES

La partie Mathématiques est constituée de deux exercices indépendants qui peuvent être traités dans un ordre quelconque.

Le premier exercice est un vrai faux avec justification.

Le deuxième exercice est constitué de cinq parties.

### Exercice 1

Pour chacune des propositions suivantes, préciser si elle est vraie ou fausse, puis justifier la réponse. Une réponse non justifiée ne rapporte aucun point.

1. Soit  $f$  une fonction continue sur  $[0 ; +\infty[$  telle que  $f(0) = 0$  et  $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = 2$ .

**Proposition :** La fonction  $f$  est croissante sur  $[0 ; +\infty[$ .

2. On propose la configuration ci-contre où  $AB = 8$ ,  $BC = 13$ ,  $AD = 8$  et  $DE = 5$ . Le quadrilatère  $ABFD$  est un carré.

**Proposition :** Les points  $E$ ,  $F$  et  $C$  sont alignés.

3. On considère la fonction  $f$  définie sur  $]0; \pi[$  par  $f(x) = \frac{\cos(x)-1}{\sin^2(x)}$ .

**Proposition :**  $\lim_{x \rightarrow 0} f(x) = -\frac{1}{2}$ .

4. Soit  $f$  la fonction définie par  $f(x) = \ln(x^2 + 2x - 3)$ .

**Proposition :** La fonction  $f$  n'est définie que pour  $x > 1$ .

5. On considère l'équation différentielle  $(E) : y'' - 2y' + y = 0$ .

**Proposition :** Toute solution de  $(E)$  sur  $\mathbb{R}$  est de la forme  $x \mapsto \lambda x e^x$ , où  $\lambda$  est un réel donné.

6. On considère la matrice  $M = \begin{pmatrix} -1 & -x \\ x & 4 \end{pmatrix}$ , où  $x$  est un réel.

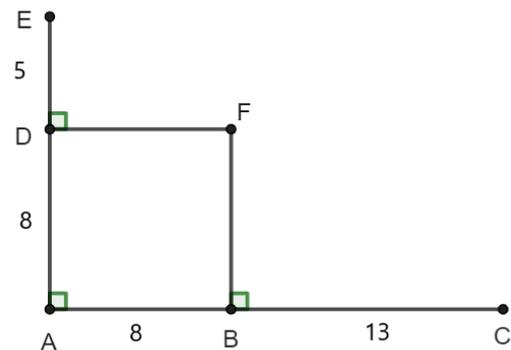
**Proposition :** Si  $x > 2$ , alors la matrice  $M$  est inversible.

7. Dans le plan complexe, on considère les points  $A(-2i)$ ,  $B(-2 + 3i)$  et  $C(3 + i)$ .

**Proposition :** Le triangle  $ABC$  est isocèle.

8. Soit  $A$  et  $B$  deux évènements d'un même univers  $\Omega$  tels que  $P(A) = 0,6$  et  $P(B) = 0,5$ .

**Proposition :** Les évènements  $A$  et  $B$  ne sont pas incompatibles.



9. Une urne contient quatre boules blanches et trois boules noires indiscernables au toucher. On tire trois boules de l'urne, successivement et sans remise.

**Proposition** : La probabilité que les deux premières boules tirées soient blanches et la troisième soit noire est  $\frac{1}{6}$ .

10. On admet que la taille d'un homme âgé de 25 ans suit la loi normale de moyenne 175 cm et d'écart type 6 cm.

**Proposition** : Parmi les hommes de 25 ans mesurant plus de 1,81 m, la proportion de ceux mesurant plus de 1,93 m est environ 1 %.

11. Dans le plan euclidien rapporté à un repère orthonormé, on considère le cercle  $\mathcal{C}$  d'équation  $(x - 7)^2 + y^2 = 25$ . Soit  $\mathcal{D}$  la tangente à  $\mathcal{C}$  au point  $A(3; -3)$ .

**Proposition** : La droite  $\mathcal{D}$  passe par l'origine du repère.

## Exercice 2

L'objectif de ce problème est de vérifier que la suite  $(v_n)$  définie pour tout entier naturel  $n$  non nul par

$$v_n = \sum_{k=1}^n \frac{(-1)^k}{k}$$

est convergente et de déterminer sa limite.

Pour tout entier naturel  $n \geq 1$ , on définit sur  $[0; +\infty[$  la fonction polynomiale  $P_n$  par :

$$P_n(x) = \sum_{k=1}^{2n} (-1)^k \frac{x^k}{k} = -x + \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{3} + \dots - \frac{x^{2n-1}}{2n-1} + \frac{x^{2n}}{2n}$$

### Partie 1 : Étude de la fonction $P_2$

On suppose dans cette partie que  $n = 2$ .

1. Déterminer  $\lim_{x \rightarrow +\infty} P_2(x)$ .
2. Démontrer que pour tout réel  $x \geq 0$ ,  $P_2'(x) = -1 + x - x^2 + x^3$ , puis que  $P_2'(x) = (x - 1)(x^2 + 1)$ .
3. Établir le tableau de variations de la fonction  $P_2$  sur l'intervalle  $[0; +\infty[$ .

### Partie 2 : Étude des fonctions $P_n$

Soit  $n$  un entier naturel tel que  $n \geq 1$ .

4. Déterminer  $\lim_{x \rightarrow +\infty} P_n(x)$ .

5. Calculer la fonction dérivée de  $P_n$  et vérifier que pour réel  $x \geq 0$ ,

$$(x + 1)P_n'(x) = x^{2n} - 1$$

6. Déterminer les variations de la fonction  $P_n$  sur l'intervalle  $[0 ; +\infty[$ .

7. En déduire que pour tout entier naturel  $n \geq 1$ ,  $P_n(1) < 0$ .

8. a. Vérifier que pour tout réel  $x \geq 0$  et pour tout entier naturel  $n \geq 1$ ,

$$P_{n+1}(x) = P_n(x) + x^{2n+1} \left( \frac{x}{2n+2} - \frac{1}{2n+1} \right)$$

b. En déduire que pour tout entier naturel  $n \geq 2$ ,  $P_n(2) > 0$ .

9. Pour tout entier naturel  $n \geq 1$ , on note  $E_n$  l'équation  $P_n(x) = 0$ , d'inconnue  $x \in [1 ; +\infty[$ .

a. Résoudre l'équation  $E_1$  sur l'intervalle  $[1 ; +\infty[$ .

b. Montrer que pour tout entier naturel  $n \geq 2$ ,  $E_n$  admet une unique solution sur l'intervalle  $[1 ; +\infty[$  notée  $x_n$  et que  $1 < x_n < 2$ .

### Partie 3 : Inégalités

10. Justifier que, pour tout réel  $x \geq 0$  et pour tout entier naturel  $n \geq 1$ ,

$$P_n(x) = \int_0^x \frac{t^{2n} - 1}{t + 1} dt$$

11. Calculer l'intégrale

$$\int_0^1 \frac{1}{t + 1} dt$$

12. En déduire que

$$\int_0^1 \frac{1 - t^{2n}}{t + 1} dt \leq \ln 2$$

13. a. Soit  $n$  un entier naturel tel que  $n \geq 1$ . Étudier les variations de la fonction  $g_n$  définie sur l'intervalle  $[1 ; +\infty[$  par  $g_n(t) = t^{2n} - 1 - n(t^2 - 1)$ .

b. En déduire que, pour tout réel  $t \geq 1$  et pour tout entier naturel  $n \geq 1$ , on a

$$t^{2n} - 1 \geq n(t^2 - 1)$$

14. En déduire que, pour tout réel  $x \geq 1$  et pour tout entier naturel  $n \geq 1$ ,

$$\int_1^x \frac{t^{2n} - 1}{t + 1} dt \geq \frac{n}{2}(x - 1)^2$$

#### Partie 4 : Limite de la suite $(x_n)$

On rappelle que la suite  $(x_n)$  est la suite définie à la partie 2, pour tout entier naturel  $n \geq 2$ , par  $P_n(x_n) = 0$ . On pose  $x_1 = 2$ .

15. Montrer en utilisant la question 10. que, pour tout entier naturel  $n \geq 1$ ,

$$\int_1^{x_n} \frac{t^{2n} - 1}{t + 1} dt = \int_0^1 \frac{1 - t^{2n}}{t + 1} dt$$

16. Justifier que, pour tout entier naturel  $n \geq 1$ ,

$$\int_1^{x_n} \frac{t^{2n} - 1}{t + 1} dt \geq \frac{n}{2}(x_n - 1)^2$$

17. Montrer en utilisant les questions 12., 15. et 16. que, pour tout entier naturel  $n \geq 1$ , on a

$$0 \leq x_n - 1 \leq \sqrt{\frac{2 \ln 2}{n}}$$

18. Conclure quant à la convergence de la suite  $(x_n)$  et à sa limite.

#### Partie 5 : Limite d'une somme

Pour tout entier naturel  $n \geq 1$ , on pose  $u_n = P_n(1)$ .

19. Démontrer que, pour tout entier naturel  $n \geq 1$ ,

$$u_n = \int_0^1 \frac{t^{2n}}{t + 1} dt - \ln 2$$

20. Démontrer que, pour tout entier naturel  $n \geq 1$ ,

$$0 \leq \int_0^1 \frac{t^{2n}}{t + 1} dt \leq \frac{1}{2n + 1}$$

21. En déduire que la suite  $(u_n)$  est convergente et préciser sa limite.

22. Soit  $(v_n)$  la suite définie pour tout entier naturel  $n$  non nul par

$$v_n = \sum_{k=1}^n \frac{(-1)^k}{k}$$

a. Exprimer  $v_{2n}$  et  $v_{2n+1}$  en fonction de  $u_n$  pour tout entier  $n \geq 1$ .

b. Déterminer  $\lim_{n \rightarrow +\infty} v_{2n}$  puis  $\lim_{n \rightarrow +\infty} v_{2n+1}$ .

c. En déduire que la suite  $(v_n)$  converge et que

$$\lim_{n \rightarrow +\infty} v_n = \lim_{n \rightarrow +\infty} \sum_{k=1}^n \frac{(-1)^k}{k} = -\ln 2$$

- d. Montrer, en utilisant les questions **19.** et **20.**, que pour tout  $n \geq 1$ ,  $0 \leq u_n + \ln 2 \leq \frac{1}{2n+1}$ .
- e. On souhaite obtenir une approximation à  $\varepsilon$  près de  $\ln 2$  à l'aide la suite  $(-u_n)$ . Écrire un algorithme en langage naturel permettant d'estimer  $\ln 2$  à une précision  $\varepsilon$  donnée.
- f. Déterminer le nombre d'itérations  $n_0$  au bout duquel on est certain que  $-u_{n_0}$  est une approximation de  $\ln 2$  à  $10^{-3}$  près.

## PARTIE 2 : PHYSIQUE-CHIMIE

### Thème d'étude : La plongée sous-marine

#### **Structure de la partie physique-chimie de l'épreuve**

La partie physique-chimie de l'épreuve est structurée autour d'un « dossier documentaire » et d'un « travail à réaliser par le candidat ». Elle doit permettre au candidat :

- de montrer sa maîtrise du corpus de savoirs disciplinaires en physique-chimie adapté à l'enseignement en lycée professionnel ;
- de montrer ses capacités à s'approprier et analyser les informations fournies ;
- de montrer sa capacité à communiquer par écrit de manière précise et adaptée, tant dans l'utilisation de la langue française que dans l'utilisation du langage scientifique (utilisation d'un vocabulaire précis et adapté, maîtrise de l'écriture des résultats numériques).

#### > Dossier documentaire (document 1 à document 4)

Le dossier documentaire est organisé en une collection de documents scientifiques et techniques liée au thème du sujet.

#### > Travail à réaliser par le candidat (question 1. à question 48.)

Le sujet de physique-chimie s'appuie sur un ensemble de questionnements structurés en différentes parties et sous-parties indépendantes les unes des autres.

Les références au « dossier documentaire » peuvent être précisées ou non dans le questionnement.

**Le cas échéant, le candidat indique dans ses réponses les références des documents sur lesquels il s'appuie.**

#### > Documents réponses partie physique-chimie (document réponse partie physique-chimie 1 à document réponse partie physique-chimie 4)

**Le candidat rend, avec son ensemble de copies relatif à cette partie de l'épreuve, les documents réponses partie physique-chimie présents en fin de sujet.**

## DOSSIER DOCUMENTAIRE

### Documentation scientifique et technique

#### Document 1 : Données utiles pour étudier la plongée

- Intensité du champ de pesanteur sur Terre :  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .
- Constante des gaz parfaits :  $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$  ;  $1 \text{ atm} = 1,013 \text{ bar}$ .

- Données relatives à la mer en zone de plongée :

- masse volumique de l'eau de mer :  $\rho = 1,02 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$  ;
- pression atmosphérique au niveau de la mer :  $P_0 = 1 \text{ atm}$  ;
- équation de la statique des fluides : dans le cas d'un axe  $(Oz)$  descendant (voir figure 1),  
$$P_B - P_A = \rho g(z_B - z_A)$$
- indice de réfraction de l'eau de mer :  
 $n = 1,33$ .

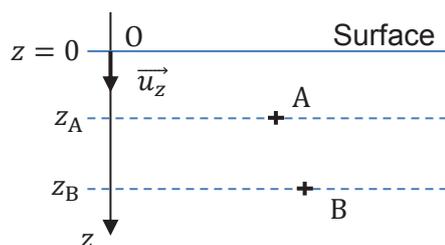


Figure 1

- Données relatives au plongeur :

- masse du plongeur :  $m = 80,0 \text{ kg}$  ;
- volume total du plongeur  $V_T(z)$  à la profondeur  $z$  : on suppose que

$$V_T(z) = V_0 + V(z)$$

avec

- $V_0$  le volume du corps sans la cage thoracique :  $V_0 = 77,0 \text{ L}$  ;
- $V(z)$  le volume de la cage thoracique, à la profondeur  $z$ , qui contient de l'air dont le volume dépend de cette profondeur ; à la surface,  $V(0) = V_M = 6,0 \text{ L}$ .

#### Document 2 : Le néoprène

Le néoprène, appelé d'abord duprène, est le nom de marque sous lequel la compagnie Du Pont de Nemours introduit dans l'industrie du caoutchouc en 1931 une famille de caoutchouc à base de polychloroprène. C'est le premier caoutchouc synthétique.

Le néoprène est un polymère fabriqué à partir du monomère chloroprène (composé diénique). L'équation de la polymérisation peut s'écrire :



La mousse de néoprène est obtenue par introduction d'un gaz comme l'azote dans le matériau sous forme de bulles microscopiques (...). Garantissant une bonne résistance thermique, elle est très utilisée dans la fabrication de combinaisons pour les sports en eau vive comme le surf ou la plongée sous-marine, même si elle n'est pas imperméable à 100 %.

D'après <https://fr.wikipedia.org/wiki/Néoprène>

**Données :**  $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Figure 2 : Masse recommandée de lest en fonction de la masse du plongeur et de la profondeur avec une combinaison en néoprène.

D'après <https://www.cabesto.com>

COMBINAISON 5MM			
Masse	Profondeur	Profondeur	Profondeur >
	0 - 7 m	7-15 m	15 m
50 kg	6 kg	4 kg	3 kg
55 kg	6 kg	4 kg	3 kg
60 kg	6 kg	5 kg	3 kg
65 kg	7 kg	5 kg	4 kg
70 kg	7 kg	6 kg	4 kg
75 kg	8 kg	6 kg	5 kg
80 kg	8 kg	6 kg	5 kg
85 kg	8 kg	7 kg	5 kg
90 kg	9 kg	7 kg	6 kg
95 kg	9 kg	8 kg	6 kg
100 kg	10 kg	8 kg	7 kg

### Document 3 : Dangers des gaz en plongée

- L'effet Paul Bert (hyperoxie aiguë) : l'organisme tolère une pression partielle de dioxygène comprise entre 0,16 bar et 1,6 bar. Si le plongeur respire un mélange gazeux dont la pression partielle en dioxygène dépasse 1,6 bar, son système nerveux est perturbé, ce qui entraîne une crise similaire à une crise épileptique et un risque de noyade.
- L'ivresse des profondeurs (narcose) : ce phénomène apparaît lorsque la pression partielle en diazote dans l'air inhalé dépasse 4 bar. La transmission du message nerveux est ralentie, ce qui entraîne une altération du raisonnement, des variations d'humeur, une perte des repères spatio-temporels et des troubles de la perception visuelle et auditive. Le risque de noyade pour le plongeur est réel et sa remontée est nécessaire.
- L'accident barotraumatique : plus la pression partielle d'un gaz est grande dans l'air inspiré, plus ce gaz se dissout dans le sang et inversement. Lors de la remontée, la pression partielle du diazote diminue, ce qui entraîne un retour à l'état gazeux d'une grande quantité de diazote qui doit être éliminée lors des expirations. C'est pour cela que le plongeur doit respecter des paliers de décompression : si sa remontée est trop rapide, les bulles de gaz qui se forment dans le sang n'ont pas le temps d'être évacuées et c'est l'accident de décompression.

### Document 4 : Principe de la détection de bulles circulantes par effet Doppler

L'appareil utilisé pour la mesure est constitué d'une sonde que l'on place sur la peau, non loin du cœur, et qui comprend un émetteur et un récepteur d'ultrasons. Alors que les structures anatomiques fixes réfléchissent les ultrasons sans changement de fréquence, les éléments mobiles de petite taille devant la longueur d'onde du signal, comme les globules du sang ou les bulles, diffusent les ultrasons dans toutes les directions avec un changement de fréquence appelé effet Doppler. Un signal, dont la fréquence correspond à la variation de fréquence  $\Delta f$  entre l'onde émise et l'onde diffusée, est constitué et écouté par une personne formée : les bulles sont détectées par le « son » qu'elles entraînent qui est différent de celui dû aux globules rouges.

D'après <http://greps.over-blog.com>

La vitesse  $v$  de l'élément mobile à l'origine du décalage Doppler  $\Delta f$  pour des ultrasons de célérité  $c$  émis à une fréquence  $f_0$  avec un angle Doppler  $\theta$  (voir figure 3) vérifie la relation

$$v = c \frac{\Delta f}{2f_0 \cos \theta}$$

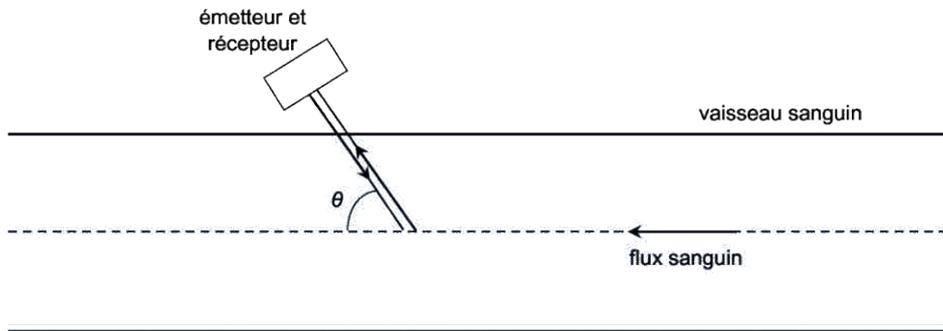


Figure 3 : Doppler veineux

<https://carnetsdescience.xyz>

## TRAVAIL À RÉALISER PAR LE CANDIDAT

La plongée sous-marine est une activité pratiquée par de nombreuses personnes à travers le monde. L'objectif de ce sujet est d'étudier différents aspects de la plongée, comme la pratique, les équipements et les observations qui peuvent être faites lors d'une séance de plongée.

### Partie A – Un exercice de plongée

Cette partie traite de l'influence de la profondeur sur la flottabilité d'un plongeur, de la profondeur limite pouvant être atteinte lorsque le plongeur utilise des bouteilles de plongée et d'une méthode pour évaluer la qualité de la décompression lors de la remontée.

Dans toute cette partie, on considère l'air comme un gaz parfait composé approximativement de 20 % de dioxygène  $O_2$  et de 80 % de diazote  $N_2$ .

#### **Partie A.1 – La plongée sans bouteille**

L'étude se fait dans le référentiel terrestre supposé galiléen. On considère un repère dont l'axe ( $Oz$ ) est vertical descendant et dont l'origine  $O$  est placée sur la surface libre de la mer (ordonnée  $z = 0$ ).

1. À l'aide des informations du **document 1**, pour une mer en zone de plongée supposée homogène et immobile, montrer que la pression à la profondeur  $z$  s'écrit :

$$P(z) = P_0 + \rho g z \quad (1)$$

2. On entend souvent dire que « la pression augmente de 1 bar lorsque la profondeur augmente de 10 m ». Vérifier cette affirmation.

À la surface, le plongeur – dont des caractéristiques sont données dans le **document 1** – gonfle ses poumons, bloque sa respiration et plonge sans relâcher d'air. On suppose que :

- pour toute profondeur  $z$  à laquelle le plongeur peut se trouver, la pression de l'air contenu dans ses poumons est identique à celle de l'eau qui l'entoure ;
- la température de l'air dans ses poumons est indépendante de la profondeur  $z$  et du temps.

3. À l'aide des informations du **document 1**, exprimer le volume  $V(z)$  de la cage thoracique du plongeur à la profondeur  $z$  en fonction de  $P_0$ ,  $V_M$ ,  $\rho$ ,  $g$  et  $z$ .

Pour rester sans effort immobile sous l'eau à une profondeur  $z$  donnée, le plongeur doit avoir une flottabilité nulle, c'est-à-dire que les forces qui modélisent les actions mécaniques qui s'appliquent sur lui doivent se compenser. Pour cela, il doit porter un lest, de masse  $m_L$  adaptée (par exemple, une ceinture de plombs placée autour de sa taille). Les frottements de l'eau ne sont pas à prendre en compte.

4. Effectuer un schéma des forces sur le système { plongeur lesté sans combinaison } supposé à l'équilibre à la profondeur  $z$ . Donner la signification physique de chacune de ces forces.
5. Exprimer chacune des forces de la question précédente en faisant intervenir les grandeurs utiles parmi les suivantes :  $g$ ,  $\rho$ ,  $m$ ,  $m_L$ ,  $V_0$  et  $V(z)$ .

6. Exprimer puis calculer la valeur de la masse  $m_L$  de lest que doit porter un plongeur sans combinaison pour observer sans se fatiguer des coraux situés à 6 m de profondeur.
7. À l'aide du **document 2**, proposer une explication de l'écart entre la valeur calculée à la question précédente et celle de la masse de lest conseillée dans le cas où le plongeur porte une combinaison en néoprène.

### Partie A.2 – La plongée avec bouteille

Pour augmenter la durée et la profondeur de la plongée, le plongeur peut utiliser une bouteille munie d'un détendeur, système qui lui permet de respirer le gaz qu'elle contient à la pression à laquelle il évolue.

Souvent, la bouteille contient de l'air, mais la toxicité des gaz qui le composent limite la profondeur de plongée.

8. À l'aide du **document 3** et de la relation (1), indiquer la valeur de la profondeur limite pouvant être atteinte lors d'une plongée avec une bouteille d'air comprimé (dite « plongée à l'air »), sans risque pour la santé.

Depuis les années 1990, certains plongeurs utilisent un mélange enrichi en dioxygène, appelé Nitrox. Sur une bouteille, on lit par exemple « Nitrox 36/64 », ce qui signifie que le mélange est composé de 36 % de dioxygène et de 64 % de diazote.

9. Donner les avantages et les inconvénients de l'utilisation d'un tel mélange. Une discussion chiffrée sera appréciée.

### Partie A.3 – L'efficacité de la décompression

Pour vérifier la bonne décompression après la remontée, il est possible d'évaluer la quantité et la taille des bulles de diazote restantes dans l'organisme du plongeur à l'aide d'un dispositif utilisant l'effet Doppler. Le principe de la mesure est détaillé dans le **document 4**.

On étudie une situation correspondant aux données suivantes :

- fréquence des ultrasons émis :  $f_0 = 5,0 \text{ MHz}$  ;
- célérité des ultrasons :  $c = 1500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- angle Doppler :  $\theta = 12^\circ$  ;
- diamètre des bulles :  $d_b = 40 \text{ } \mu\text{m}$  ;
- vitesse des bulles :  $v = 35 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ .

10. Montrer que les bulles sont bien de petite taille devant la longueur d'onde de l'onde utilisée.
11. Déterminer la valeur de la variation de fréquence  $\Delta f$  pour les bulles de la situation étudiée. Conclure sur la possibilité d'écoute, par une personne formée, d'un signal à cette fréquence comme indiqué dans le **document 4**.
12. Citer des utilisations pratiques s'appuyant sur l'effet Doppler.

## **Partie B – L'équipement du plongeur**

Dans cette partie sont évoqués quelques aspects de l'équipement du plongeur.

### **Partie B.1 – La matière usuelle des combinaisons de plongée : le néoprène**

La température de l'eau en profondeur est telle que le risque d'hypothermie n'est pas négligeable. Pour se protéger, les plongeurs portent des combinaisons, le plus souvent en néoprène (**document 2**).

13. Donner le nom du monomère en nomenclature IUPAC.
14. Le monomère est obtenu par déshydrochloration en milieu basique de la molécule de 1,2-dichlorobutan-3-ène. Donner la représentation de CRAM des stéréoisomères de cette molécule.
15. Indiquer, en justifiant, la configuration absolue du carbone asymétrique pour chacun des stéréoisomères précédents. Préciser la relation de stéréoisomérisation entre ces molécules.
16. Donner, en justifiant, la stéréochimie de la double liaison dans le motif du polymère.
17. Déterminer la valeur de la masse molaire d'un échantillon de néoprène de degré de polymérisation moyen 150.

### **Partie B.2 – Les bouteilles de plongée**

Les bouteilles de plongée sont fabriquées majoritairement en acier (alliage fer-carbone) ou en aluminium. En milieu marin, elles sont soumises à un environnement humide et salé qui favorise la corrosion due au dioxygène dissous. L'oxydation du métal par le dioxygène dissous entraîne la formation d'oxydes de fer (rouille) et de cations fer II ou fer III. Pour expliquer le phénomène, on réalise une expérience avec un clou décrite dans le **document réponse partie physique-chimie 1**.

Les couples redox utiles pour les explications sont les suivants :  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+} / \text{Fe}_{(\text{s})}$  et  $\text{O}_{2(\text{g})} / \text{HO}_{(\text{aq})}^-$ .

18. Dire quels sont les ions mis en évidence aux extrémités et dans la partie centrale du clou. En déduire les demi-équations redox traduisant les transformations ayant lieu dans chaque zone, ainsi que l'équation de la réaction d'oxydoréduction globale se produisant à la surface du clou.

Pour interpréter le phénomène, on considère que le clou se comporte comme une micropile.

19. Indiquer, dans les encadrés prévus à cet effet sur le **document réponse partie physique-chimie 1**, les zones anodique(s) et cathodique(s) ainsi que les zones où se déroulent une oxydation ou une réduction. Préciser, sur ce même document, le sens de déplacement des électrons dans le métal.

Pour protéger une bouteille de plongée de la corrosion, une entreprise envisage d'utiliser une technique largement employée dans l'industrie pour protéger les pièces en acier : l'électrozincage, c'est-à-dire le dépôt électrolytique de zinc à la surface de l'acier. Une fois déposé sur la pièce, le zinc, plus réducteur que le fer, s'oxydera à sa place.

Un technicien teste au préalable l'électrozincage d'une plaque carrée d'acier de côté  $a = 10$  cm et d'épaisseur négligeable. Il plonge cette première électrode et une plaque de zinc (seconde électrode) dans une solution de sulfate de zinc ( $\text{Zn}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{SO}_{4(\text{aq})}^{2-}$ ). Ensuite, il réalise l'électrolyse de la solution en imposant un courant d'intensité  $I = 2,0$  A à l'aide d'un générateur.

**20.** Schématiser le dispositif d'électrozincage complet en plaçant l'appareil de mesure permettant de lire l'intensité dans le circuit.

**21.** Expliquer le principe d'une électrolyse en précisant les conversions d'énergie mises en jeu.

Le technicien souhaite protéger l'ensemble de la pièce en acier en réalisant un dépôt d'épaisseur  $d = 20$   $\mu\text{m}$ .

**Données :**

- constante de Faraday :  $F = 9,6 \times 10^4$  C  $\cdot$  mol $^{-1}$  ;
- masse volumique du zinc :  $\rho_{\text{Zn}} = 7,14$  g  $\cdot$  cm $^{-3}$  ;
- masse molaire du zinc :  $M(\text{Zn}) = 65,4$  g  $\cdot$  mol $^{-1}$ .

**22.** Montrer que la durée  $\Delta t$  de l'électrolyse pour effectuer l'électrozincage vérifie la relation :

$$\Delta t = \frac{2F\rho_{\text{Zn}}Sd}{IM(\text{Zn})} \quad \text{avec} \quad S = 2a^2.$$

Calculer la valeur de la durée de l'électrolyse.

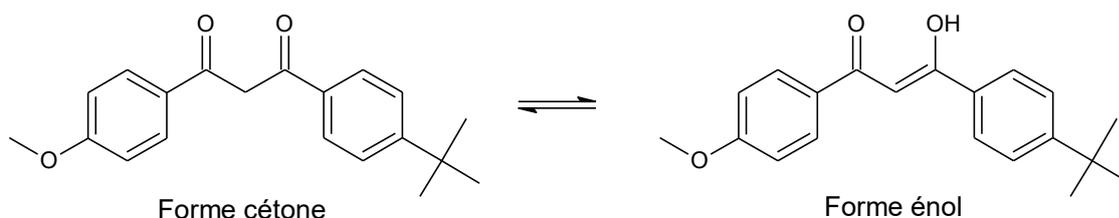
**23.** Proposer, à la lumière de ce qui précède, une analyse critique de la technique d'électrozincage envisagée par l'entreprise pour protéger une bouteille de plongée de la corrosion. Tout élément de discussion concret et chiffré sera apprécié.

### Partie B.3 – Une crème solaire de rigueur

Lors d'une plongée peu profonde, le plongeur doit utiliser de la crème solaire s'il ne porte pas de combinaison car une exposition prolongée aux rayonnements UV peut entraîner des dommages au niveau de la peau pouvant aller jusqu'au développement de cancers.

Les crèmes solaires fonctionnent grâce à des filtres UV organiques ou minéraux. On s'intéresse dans cette partie à une crème dont le filtre organique est l'avobenzène.

L'avobenzène existe à l'état fondamental sous la forme d'un mélange des formes énol et cétone, favorisant généralement l'énol.



**24.** À l'aide d'un schéma, proposer une explication du fait que la forme énol de l'avobenzène est généralement favorisée par rapport à la forme cétone.

En première approximation, un filtre UV est considéré efficace à une longueur d'onde donnée lorsque son coefficient d'absorption molaire  $\varepsilon$  est supérieur à  $10^4 \text{ L} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Pour calculer ce coefficient dans le cas de l'avobenzène, on prépare dans un premier temps une solution mère de concentration  $C_0 = 1,00 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  en avobenzène dans le propan-2-ol. Ensuite, on prépare plusieurs solutions filles de concentrations  $C$  connues en avobenzène dans le propan-2-ol. On mesure enfin leur absorbance  $A$  dans une cuve de 1 cm de côté à une longueur d'onde de 357 nm (maximum d'absorption de l'avobenzène). Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Solution fille	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
Concentration en quantité de matière $C$ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	5,0	10	15	20	25
Absorbance $A$	0,14	0,27	0,41	0,55	0,68

25. Donner le protocole expérimental pour préparer 100 mL de la solution fille S<sub>4</sub> à l'aide de la solution mère et du matériel usuel d'un laboratoire de chimie.
26. Rappeler la loi de la spectrophotométrie utile pour exploiter ces résultats en précisant son nom usuel et en explicitant la signification physique de chaque terme.
27. Proposer une raison plausible du choix de concentrations relativement faibles en avobenzène pour les solutions filles.
28. Déterminer précisément la valeur du coefficient d'absorption molaire de l'avobenzène en détaillant la méthode utilisée. Conclure sur l'efficacité du filtre.

Pour information, de nombreux experts recommandent d'utiliser dorénavant des crèmes solaires sans avobenzène, telles celles à filtres UV minéraux, notamment pour minimiser les risques d'impact négatif sur l'environnement marin.

### **Partie C – Les effets de la plongée sur la vision, l'ouïe et la température corporelle**

Cette partie aborde les aspects physiques de la modification de la vision, de l'ouïe et de la température corporelle au cours d'une séance de plongée.

#### **Partie C.1 – La modification de la vision**

Lorsque le plongeur ouvre les yeux sous l'eau, il ne voit pas nettement. La présence d'eau, dont l'indice de réfraction est proche de celui du système « cornée – cristallin », entraîne la formation de l'image de l'objet à l'arrière de la rétine. Le signal véhiculé par le nerf optique au cerveau correspond à une image floue.

29. Dire à quel défaut de la vue, la vision sous l'eau s'apparente.

On lit souvent qu'avec le masque, les objets paraissent plus près, aux trois quarts de leur distance réelle au plongeur. On souhaite vérifier cette affirmation. On suppose que le plongeur observe un poisson situé au point A comme représenté sur le **document réponse partie physique-chimie 2**. On néglige l'épaisseur de la vitre.

30. Exprimer puis calculer l'angle de réfraction  $r$  par la vitre du rayon issu du point A qui parvient, à terme, à l'œil du plongeur.

31. Sans souci d'échelle, tracer l'image  $A'$  du point A à travers le système { eau + vitre + air } sur le **document réponse partie physique-chimie 2**. Indiquer, avec justification, la nature de cette image.

32. En se plaçant dans l'approximation des petits angles, montrer que :

$$HA' = \frac{n_2}{n_1} HA$$

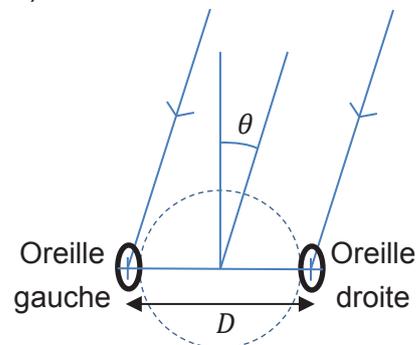
Conclure.

### Partie C.2 – La modification de l'ouïe

Afin de localiser une source sonore, le cerveau analyse notamment l'écart temporel entre les sons perçus par chaque oreille (différence interaurale en temps).

On se place dans le modèle simplifié du dipôle : chaque oreille reçoit directement une onde sonore sinusoïdale de fréquence  $f$  émise à l'instant  $t = 0$  par une source, le reste de la tête et du corps étant absent. La source est suffisamment éloignée pour que les rayons sonores arrivent aux deux oreilles en étant parallèles sous un angle  $\theta$  (voir figure 4).

Figure 4 : Rayons sonores arrivant aux deux oreilles. Le reste de la tête, délimité en pointillés, et du corps est absent dans le modèle du dipôle.



#### Données :

- célérités du son dans l'air et dans l'eau :  $c_{\text{air}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  et  $c_{\text{eau}} = 1500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- distance entre les oreilles :  $D = 20 \text{ cm}$ .

33. Exprimer la différence interaurale en temps  $\Delta t$  en fonction de l'angle d'incidence  $\theta$ , de la distance  $D$  entre les oreilles et de la célérité  $c$  du son dans le milieu considéré.

34. Montrer qu'une source située à  $\theta = 90^\circ$  d'un plongeur dans l'eau est interprétée par son cerveau comme une source à environ  $13^\circ$  dans l'air et que la perception sonore est donc faussée.

La différence interaurale en temps  $\Delta t$  n'est exploitable par le cerveau que si elle est inférieure à la période du signal reçu.

35. Pour chaque type de milieu de propagation du son, l'air ou l'eau, représenter sur le graphique du **document réponse partie physique-chimie 3** le domaine des fréquences  $f$  exploitables par le cerveau selon l'angle d'incidence  $\theta$ . Commenter.

### Partie C.3 – La modification de la température corporelle

L'hypothermie se manifeste quand la température corporelle devient inférieure à 35 °C.

Au cours d'une plongée, le corps humain se refroidit car il y a des pertes d'énergie sous forme thermique par conduction, convection et rayonnement.

36. Rappeler brièvement ce que sont chacun de ces trois modes de transferts thermiques en précisant ce qui les distingue.

On considère tout d'abord un plongeur sans combinaison. Son corps, sous sa peau, est à une température  $T$  supposée uniforme et sa capacité thermique est  $C = 3,0 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ .

Les conditions d'étude sont telles que l'on peut utiliser le concept de résistance thermique : on note  $R_p = 3,0 \times 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$  la résistance thermique de conduction à travers la peau du plongeur et  $R_c = 5,0 \times 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$  la résistance thermique liée aux transferts thermiques générés dans l'eau par le plongeur (essentiellement par convection et rayonnement).

La plongée est effectuée dans une eau à la température  $T_e = 16 \text{ °C}$  (température à distance du plongeur).

37. Expliquer pourquoi la puissance thermique totale  $P_{\text{th}}$  dissipée par le plongeur à un instant  $t$  s'écrit :

$$P_{\text{th}} = \frac{T - T_e}{R_{\text{eq}}} \quad \text{avec} \quad R_{\text{eq}} = R_p + R_c .$$

38. Le métabolisme fournit au plongeur une puissance thermique  $P_m = 110 \text{ W}$ . À l'aide de la question précédente et d'un bilan thermique entre les instants  $t$  et  $t + dt$ , montrer que la température  $T$  du corps du plongeur suit l'équation différentielle :

$$\frac{dT}{dt} + \frac{T}{\tau} = \frac{T_\ell}{\tau} \quad \text{avec} \quad \tau = R_{\text{eq}}C \quad \text{et} \quad T_\ell = T_e + R_{\text{eq}}P_m .$$

39. Déterminer la solution de l'équation différentielle précédente qui respecte la condition initiale  $T(0) = T_0$ .

40. La température initiale du corps du plongeur est  $T_0 = 37 \text{ °C}$ . Calculer la valeur de la température du corps au bout de deux heures de plongée. Commenter.

On considère à présent le même plongeur, mais revêtu d'une combinaison en néoprène de résistance thermique  $R_n = 3,0 \times 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$ .

41. En utilisant une modification simple du modèle précédent, à expliciter, calculer la nouvelle température du corps au bout de deux heures de plongée. Commenter.

## Partie D – L'observation des coraux au cours d'une plongée

Les plongeurs ont remarqué depuis plusieurs années une disparition progressive des coraux, essentiellement constitués de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_{3(s)}$ . L'une des causes de ce phénomène est l'augmentation de l'acidité des océans en raison des gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère, en particulier du dioxyde de carbone  $\text{CO}_{2(g)}$  : celui-ci se dissout dans l'eau de mer pour donner de l'acide carbonique  $\text{H}_2\text{CO}_{3(aq)}$  qui est un diacide.

Au cours des 300 dernières années, le pH des océans a diminué de 0,1 unité pour être maintenant aux alentours de 8,1.

### Données :

- Concentration standard :  $c^\circ = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .
- Couples de l'acide carbonique et valeurs de  $\text{pK}_A$  à 25 °C :
  - $\text{H}_2\text{CO}_{3(aq)} / \text{HCO}_{3(aq)}^-$  (acide carbonique / ion hydrogénocarbonate) :  $\text{pK}_{A1} = 6,3$  ;
  - $\text{HCO}_{3(aq)}^- / \text{CO}_{3(aq)}^{2-}$  (ion hydrogénocarbonate / ion carbonate) :  $\text{pK}_{A2} = 10,3$ .
- Produit de solubilité du carbonate de calcium à 25 °C :  $\text{pK}_S = 8,3$ .

**42.** Placer sur un diagramme les domaines de prédominance des espèces  $\text{H}_2\text{CO}_{3(aq)}$ ,  $\text{HCO}_{3(aq)}^-$  et  $\text{CO}_{3(aq)}^{2-}$  et en déduire l'espèce majoritaire dans les océans. Donner la particularité des ions hydrogénocarbonates.

**43.** Expliquer pourquoi une plus grande quantité de dioxyde de carbone atmosphérique entraîne l'acidification des océans en explicitant l'équation pertinente de réaction de l'acide carbonique  $\text{H}_2\text{CO}_{3(aq)}$  avec l'eau.

**44.** Déterminer la valeur du pourcentage d'augmentation de la quantité d'ions  $\text{H}_3\text{O}_{(aq)}^+$  correspondant un abaissement du pH de 0,1 unité.

**45.** Donner l'équation de la réaction de dissolution du carbonate de calcium  $\text{CaCO}_{3(s)}$  dans l'eau, ainsi que l'expression du produit de solubilité  $K_S$  associé à celle-ci.

Dans l'eau de mer, la solubilité du carbonate de calcium est  $s = [\text{Ca}_{(aq)}^{2+}] \approx [\text{HCO}_{3(aq)}^-]$ .

**46.** Montrer que :

$$\text{pS} = \frac{1}{2}(\text{pH} + \text{pK}_S - \text{pK}_{A2}) \quad \text{avec} \quad \text{pS} = -\log \frac{s}{c^\circ} .$$

**47.** En déduire la valeur de la quantité de matière supplémentaire de carbonate de calcium dissous par litre d'eau lorsque le pH passe de 8,2 à 8,1. Identifier le problème pour les coraux.

En toute rigueur,  $s = [\text{Ca}_{(aq)}^{2+}] = [\text{H}_2\text{CO}_{3(aq)}] + [\text{HCO}_{3(aq)}^-] + [\text{CO}_{3(aq)}^{2-}]$ . Le **document réponse partie physique-chimie 4** donne la représentation de pS en fonction du pH.

**48.** Tracer sur ce **document réponse partie physique-chimie 4** la courbe obtenue avec le résultat démontré à la question **46.** et comparer les deux graphiques par zones.



**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

## DOCUMENTS RÉPONSES PARTIE PHYSIQUE-CHIMIE

### Document réponse partie physique-chimie 1 (question 19)

#### Expérience :

- Déposer dans une boîte de Pétri un clou bien décapé.
- Verser dans la boîte de Pétri un mélange encore tiède de gel agar-agar, d'eau salée, de phénolphtaléine et d'hexacyanoferrate de potassium, pour recouvrir entièrement le clou.
- Attendre une quinzaine de minutes que le gel refroidisse et se fige, puis observer.

On rappelle que l'hexacyanoferrate de potassium donne une coloration bleue à la solution en présence d'ions  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$  et que la phénolphtaléine se colore en rose en milieu basique.

Clou en fer

Boîte de Pétri

Coloration rose

Coloration bleue

Zone :

.....

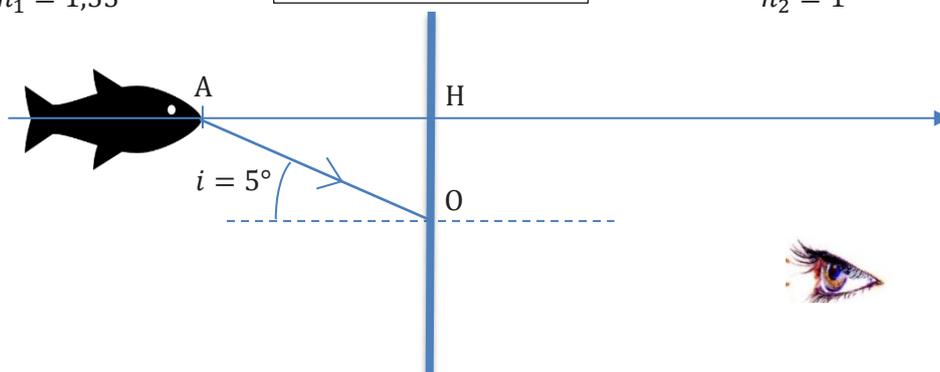
.....

### Document réponse partie physique-chimie 2 (question 31)

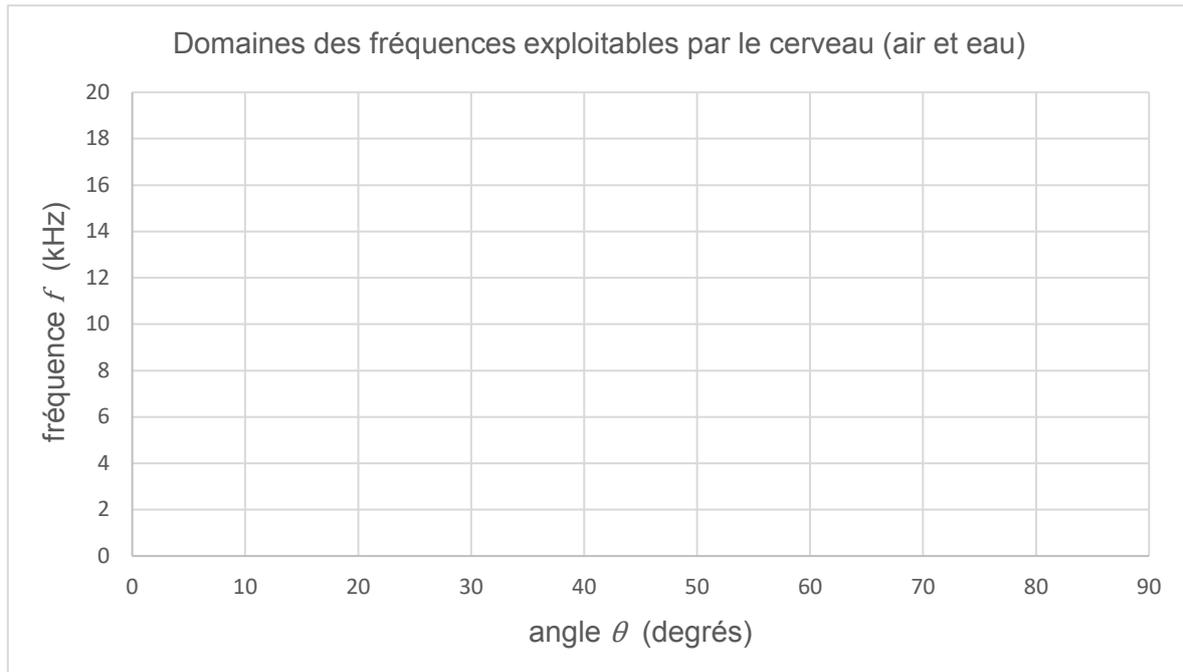
Milieu extérieur du masque : eau  
 $n_1 = 1,33$

Vitre du masque  
(épaisseur négligée)

Milieu intérieur du masque : air  
 $n_2 = 1$



Document réponse partie physique-chimie 3 (question 35)



Document réponse partie physique-chimie 4 (question 48)

