BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2026

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Physique-Chimie et Mathématiques

Durée de l'épreuve : **3 heures**
Coefficient 16

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

PHYSIQUE-CHIMIE ..... 14 / 20 points

MATHÉMATIQUES ..... 6 / 20 points

Chaque candidat est invité à faire figurer sur la copie toute trace de recherche, même incomplète ou non fructueuse, qu'il aura développée.
Il sera tenu compte de la clarté des raisonnements et de la qualité de la rédaction dans l'appréciation des copies.

Ce sujet comporte 16 pages numérotées de 1 / 16 à 16 / 16

EXERCICE 1 (4 points)

Physique-Chimie et Mathématiques

Hélicoptère et vitesse du son

Le rotor d'un hélicoptère est la partie mobile qui va entrainer la rotation de ses pales.

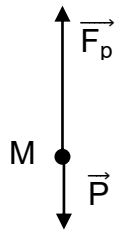
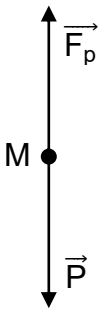
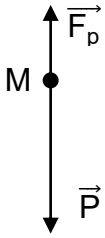
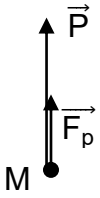
Étude des conditions de décollage

On s'intéresse aux forces exercées sur l'hélicoptère lors du décollage. La mise en mouvement progressive des pales crée une force, appelée « force de portance », notée $\overrightarrow{F_P}$.
Celle-ci est perpendiculaire au plan des pales et s'oppose au poids, noté $\vec{P}$.

Données :

- masse de l'hélicoptère : $m = 3{,}60 \times 10^3$ kg ;
- intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ m·s^{-2}.

Le **document n°1** donne plusieurs représentations possibles des forces exercées sur l'hélicoptère, représenté par un point M, lors du décollage.

Représentation A	Représentation B	Représentation C	Représentation D
			

Document n°1 : forces exercées sur l'hélicoptère lors du décollage

1. Identifier sur le **document n°1**, en exploitant le principe fondamental de la dynamique (PFD), la représentation correspondant au décollage de l'hélicoptère.

2. Montrer que l'hélicoptère décolle lorsque la valeur de la portance est supérieure à $35{,}3 \times 10^3$ N.

Étude de la vitesse de rotation du rotor

La vitesse de rotation du moteur, notée ω et exprimée en rad.s^{-1}, est solution de l'équation différentielle suivante :

$$y' = -0{,}028\, y + 18{,}48.$$

3. Montrer que la fonction ω définie sur $[0\,;\,+\infty[$ par

$$\omega(t) = -660\mathrm{e}^{-0{,}028t} + 660$$

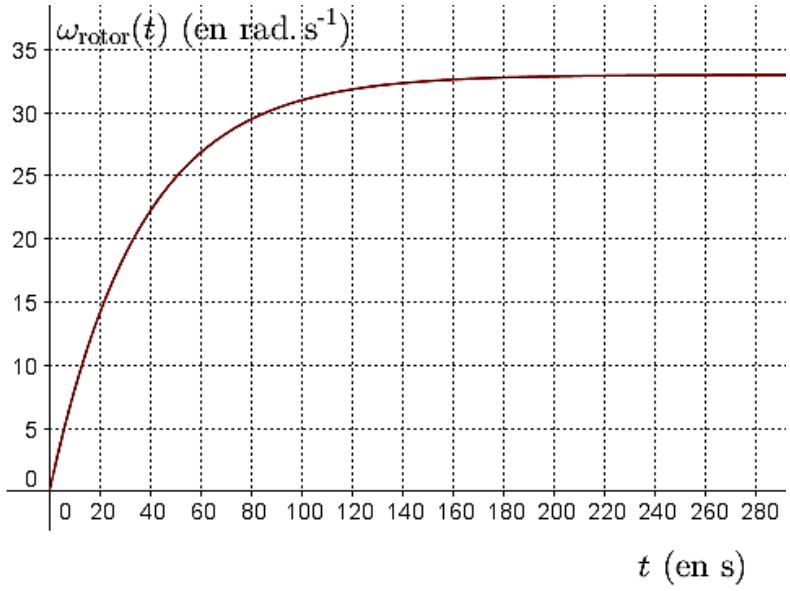
est la solution de cette équation différentielle qui vérifie la condition initiale $\omega(0) = 0$.

4. Déterminer $\lim\limits_{t\to+\infty} \omega(t)$. Cette limite correspond à la valeur maximale de la vitesse de rotation du moteur.

Un système mécanique fixe la vitesse de rotation du rotor par rapport à celle du moteur :

$$\omega_{\text{rotor}} = \frac{1}{20}\,\omega_{\text{moteur}}$$

On donne l'évolution de la vitesse de rotation du rotor en fonction du temps dans le **document n°2**.



Document n°2 : évolution de la vitesse de rotation du rotor en fonction du temps

5. Donner la vitesse maximale de rotation du rotor.

Le rayon des pales, noté R, vaut 5 mètres.

6. En déduire la valeur de la vitesse maximale de l'extrémité de la pale.

La vitesse du son dans l'air vaut 344 $m \cdot s^{-1}$ pour une température de 20 °C.

Pour des raisons de sécurité, la vitesse instantanée à l'extrémité des pales doit rester inférieure à la vitesse du son dans l'air.

7. Conclure sur le respect des règles de sécurité.

EXERCICE 2 (5 points)

Physique-Chimie

Un débitmètre défectueux ?

Les débitmètres sont utilisés dans l'industrie pour mesurer des débits d'écoulement dans les canalisations.

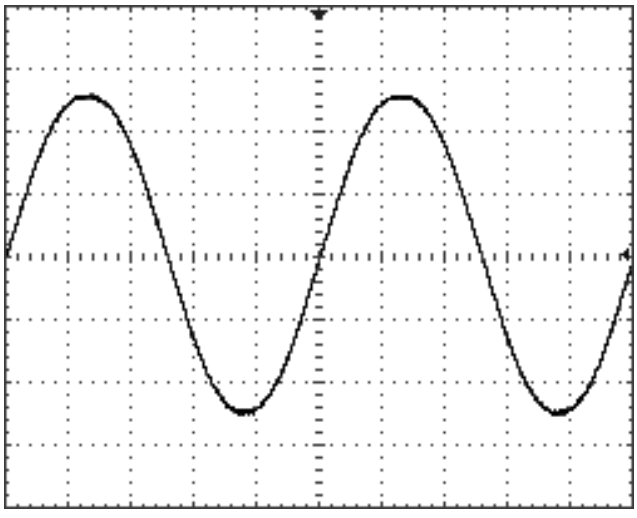
Lors d'un audit de consommation d'eau dans une usine, un doute est émis sur la fiabilité d'un des débitmètres existants.

À l'aide d'un débitmètre à ultrasons fiable, on effectue une mesure de débit qui servira de référence. Cette valeur sera comparée au débit mesuré par le débitmètre potentiellement défectueux.

Le débitmètre se place à l'extérieur de la tuyauterie, il n'est donc pas nécessaire de couper ou de percer le tuyau.

Étude de la propagation des ondes ultrasonores dans l'air

Pour réaliser l'étude de la propagation des ondes ultrasonores dans l'air, on utilise un émetteur d'ondes ultrasonores, dont le signal obtenu à l'oscilloscope est représenté dans le **document n°3.**



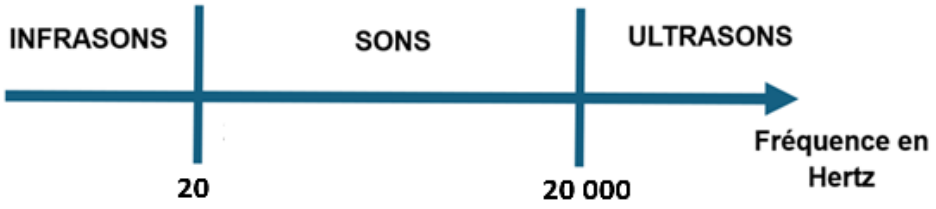
La sensibilité horizontale est de 5 μs par division

Document n°3 : signal délivré par l'émetteur d'ondes ultrasonores

1. Déterminer, à l'aide du **document n°3**, la période, notée T, du signal.

2. En déduire la fréquence, notée f, des ondes ultrasonores.

Le **document n°4** présente les domaines de fréquences des ondes sonores.

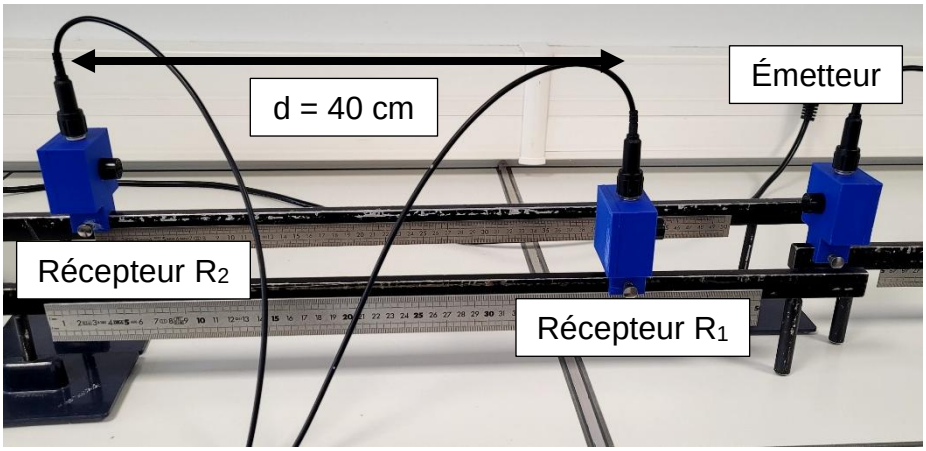


Document n°4 : domaines de fréquences des ondes sonores

3. Vérifier, à l'aide du **document n°4**, que l'onde émise par l'émetteur, est bien une onde ultrasonore.

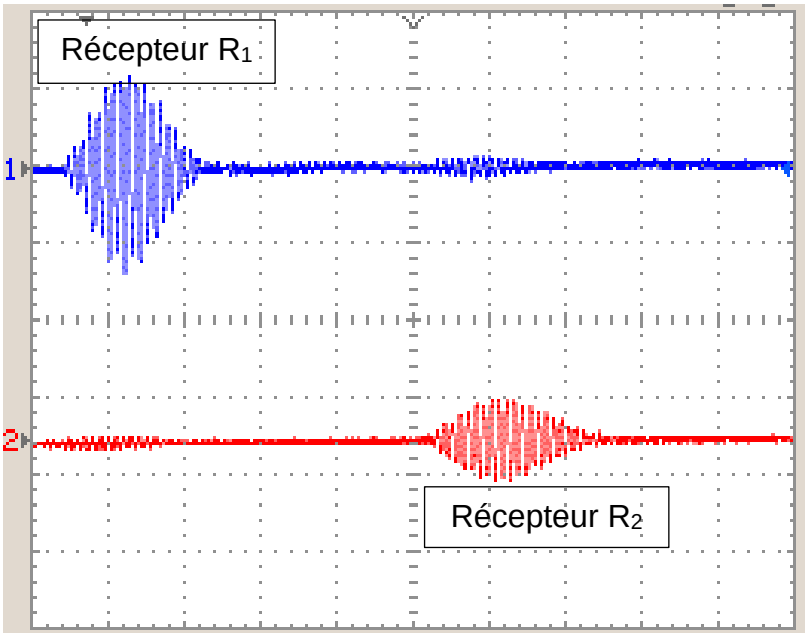
Le **document n°5** présente un dispositif expérimental permettant de mesurer la vitesse des ondes ultrasonores dans l'air.

- on dispose d'un émetteur à ultrasons qui émet des ultrasons.
- on place deux récepteurs R_1 et R_2, face à l'émetteur.
- les deux récepteurs sont séparés d'une distance, notée d, de 40 cm.
- les deux récepteurs sont branchés à un oscilloscope pour visualiser les signaux reçus par chacun d'entre eux.



Document n°5 : dispositif expérimental

L'oscillogramme du **document n°6** représente les signaux reçus par le récepteur R_1 et le récepteur R_2.



La sensibilité horizontale est de 250 µs par division

Document n°6 : oscillogramme

On appelle t_0 le retard entre le signal reçu par le récepteur R_1 et le récepteur R_2.

4. Calculer, en s'aidant du **document n°5** et du **document n°6**, la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'air, notée v_1.

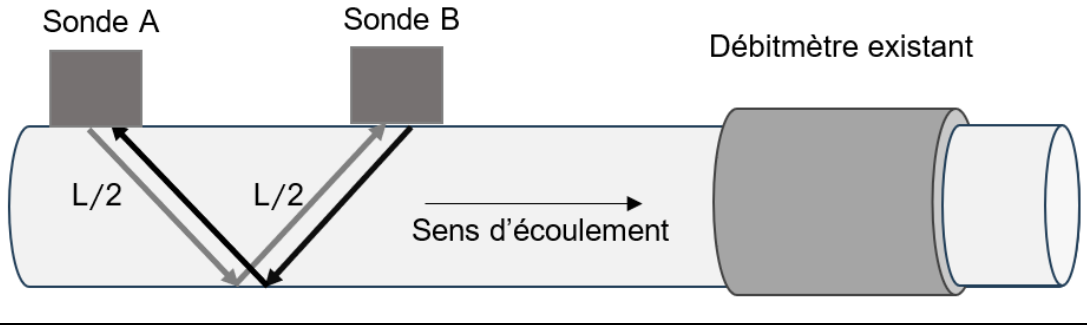
La vitesse de propagation des ondes ultrasonores, dans l'eau à 20 °C, notée v_2, vaut 1480 $m \cdot s^{-1}$.

5. Indiquer, en justifiant la réponse, si la vitesse de propagation des ondes ultrasonores, dans les mêmes conditions expérimentales, dépend du milieu de propagation.

Étude de la fiabilité du débitmètre

Pour vérifier la fiabilité du débitmètre existant, on place à l'extérieur de la canalisation un débitmètre à ultrasons. Le dispositif est présenté dans le **document n°7.**

Le débitmètre à ultrasons, constitué de deux sondes A et B, est posé à proximité du débitmètre existant qui est à vérifier. Chaque sonde émet un signal ultrasonore capté par l'autre sonde. La différence des durées de trajet de ces deux signaux ultrasonores permet de déterminer la vitesse du fluide et donc son débit dans la canalisation.



Document n°7 : principe de fonctionnement de la mesure

Dans les conditions réelles d'utilisation du débitmètre, la distance L parcourue par les ultrasons entre les sondes A et B est très supérieure au diamètre de la canalisation.

La différence des durées de trajet, exprimée en seconde, est donnée dans ce cas par la relation :

$$\Delta t = \frac{2 \times L \times v_{eau}}{v^2}$$

avec :

- v, la vitesse de propagation des ultrasons dans l'eau au repos, exprimée en mètre par seconde ;
- v_{eau}, la vitesse d'écoulement de l'eau dans la canalisation, exprimée en mètre par seconde ;
- L, la distance parcourue par les ultrasons entre les sondes A et B, exprimée en mètre.

La mesure de Δt vaut 1,60 µs pour une distance parcourue par les ultrasons, notée L, de 130 cm. La vitesse des ultrasons dans l'eau au repos, notée v, vaut 1480 $m \cdot s^{-1}$.

6. Calculer la vitesse d'écoulement de l'eau, notée v_{eau}, mesurée par le débitmètre à ultrasons.

Le débitmètre existant à vérifier indique une vitesse d'écoulement de 1,15 $m \cdot s^{-1}$. Pour des raisons économiques, on tolère un écart maximum entre les deux mesures de 0,01 $m \cdot s^{-1}$.

7. Discuter de l'état de fonctionnement du débitmètre.

EXERCICE 3 (4 points)

Mathématiques

Les trois questions sont indépendantes.

Question 1

On considère l'intégrale suivante :

$$I = \int_{-2}^{0} (5\mathrm{e}^{-2t} + 3)\mathrm{d}t.$$

Soit f la fonction définie sur $\mathbb{R}$ par $f(t) = 5\mathrm{e}^{-2t} + 3$.
Soit F la fonction définie sur $\mathbb{R}$ par $F(t) = -2{,}5\mathrm{e}^{-2t} + 3t$.
On admet que F est dérivable sur $\mathbb{R}$.

a. Démontrer que la fonction F est une primitive de la fonction f sur $\mathbb{R}$.

b. Démontrer que $I = 3{,}5 + 2{,}5\mathrm{e}^{4}$.

Question 2

On considère la fonction g définie sur $\mathbb{R}$ par $g(x) = 2\mathrm{e}^{3x} - 16$. On admet que g est dérivable sur $\mathbb{R}$ et on note g' sa fonction dérivée.

a. Démontrer que pour tout réel x, $g'(x) > 0$.

b. En déduire le sens de variation de la fonction g sur $\mathbb{R}$.

c. Résoudre, en détaillant les étapes, l'équation $g(x) = 0$.

Question 3

On désigne par i le nombre complexe de module 1 et d'argument $\frac{\pi}{2}$. Le plan complexe est rapporté à un repère orthonormé $(\mathrm{O}\,;\vec{u},\vec{v})$. On considère les points A et B d'affixes respectives $z_{\mathrm{A}} = 4\mathrm{e}^{\mathrm{i}\frac{5\pi}{3}}$ et $z_{\mathrm{B}} = 2\mathrm{e}^{\mathrm{i}\frac{2\pi}{3}}$.

On rappelle l'écriture exponentielle suivante : $-2 = 2\mathrm{e}^{\,\mathrm{i}\pi}$.

a. Démontrer, en détaillant les calculs, que $z_{\mathrm{A}} = -2 \times z_{\mathrm{B}}$.

b. Parmi les quatre propositions suivantes, une seule est vraie. Indiquer sur la copie le numéro de celle-ci. Aucune justification n'est demandée.

Proposition 1 : A est l'image de B par la rotation de centre O et d'angle $-\pi$.

Proposition 2 : A est l'image de B par l'homothétie de centre O et de rapport -2.

Proposition 3 : A est l'image de B par la translation de vecteur $\vec{u}$ d'affixe -2.

Proposition 4 : A est l'image de B par l'homothétie de centre O et de rapport 2.

EXERCICE 4 (7 points)

Physique-Chimie

Seulement un changement de couleur ?

Un chercheur chimiste se rend en Alaska pour étudier des rivières. À une année d'intervalle, il constate que plusieurs rivières ont changé de couleur. Il prélève alors plusieurs échantillons et les fait analyser en laboratoire.

La composition de l'eau des rivières affecte la faune et la flore ainsi que les activités humaines (pêche, production d'eau potable...).

On étudiera dans cet exercice l'une des hypothèses avancées par les scientifiques ainsi que les conséquences de ces évolutions environnementales sur la santé des saumons présents en Alaska.

Le **document n°8** est un extrait d'un article de la revue Nature publié le 20 mai 2024 qui présente une analyse scientifique de la chimie des eaux de la chaîne des montagnes Brooks.

« La chaîne de montagnes Brooks en Alaska abrite de nombreux minéraux, dont la pyrite (FeS_2), pouvant subir une transformation chimique lors de la fonte des sols gelés. Cela cause une augmentation des écoulements d'eaux souterraines vers les rivières.

La dégradation de la roche contenant la pyrite libère des ions Fe^{2+} et de l'acide sulfurique (H_2SO_4) dans les eaux souterraines ainsi que des traces d'autres cations métalliques, toxiques pour les organismes aquatiques.

Les eaux souterraines se jettent ensuite dans les eaux de surface (cours d'eau, rivières...) où vivent les saumons.

On détecte dans ces dernières des ions Fe^{3+} qui peuvent précipiter sous forme d'hydroxyde de fer III. C'est probablement une source majeure d'augmentation de la turbidité (état trouble) dans les cours d'eau colorés, avec des implications importantes pour la faune et la flore des cours d'eau ».

Document n°8 : réchauffement climatique et dégel des sols en Alaska

D'après le site www.nature.com/articles/s43247-024-01446-z

Étude du changement de couleur des cours d'eau

L'analyse donnée dans le **document n°8** indique la présence d'ions Fe^{2+} dans les eaux souterraines altérées se jetant ensuite dans les rivières.

1. Donner le nom et la formule chimique du minéral dont sont issus les ions Fe^{2+}.

2. Donner la définition d'un réducteur.

On donne le couple oxydant / réducteur : $Fe^{3+}(aq)$ / $Fe^{2+}(aq)$.

3. Écrire la demi-équation électronique associée à l'oxydation des ions Fe^{2+}.

Une des hypothèses expliquant l'oxydation des ions Fe^{2+} est la présence de dioxygène dans l'air.

On donne la demi-équation électronique correspondant au couple O_2 (g) / H_2O (ℓ) :

$$O_2(g) + 4\ H^+\ (aq) + 4\ e^- = 2\ H_2O\ (\ell)$$

4. Vérifier, dans le cadre de cette hypothèse, que l'équation modélisant la transformation ayant lieu entre les ions Fe^{2+} et le dioxygène O_2 s'écrit :

$$4\ Fe^{2+}\ (aq) + O_2\ (g) + 4\ H^+\ (aq) \rightarrow 4\ Fe^{3+}\ (aq) + 2\ H_2O\ (\ell)$$

Les ions Fe^{3+} précipitent dans les cours d'eau. On obtient notamment une forme d'hydroxyde de fer III, notée $Fe(OH)_3$.

5. Recopier sur la copie l'équation associée à la précipitation des ions Fe^{3+} donnée ci-dessous et compléter les coefficients stœchiométriques manquants.

$$Fe^{3+}(aq) + \ldots\ H_2O\ (\ell) \rightarrow Fe(OH)_3\ (s) + \ldots\ H^+\ (aq)$$

On donne dans le **document n°9** la couleur de différents précipités d'hydroxyde métallique.

Précipités	$Cu(OH)_2$	$Fe(OH)_2$	$Fe(OH)_3$	$Zn(OH)_2$	$Ni(OH)_2$	$Cd(OH)_2$
Couleur	Bleu	Vert	Orange	Blanc	Vert	Blanc

Document n°9 : couleur de différents précipités d'hydroxyde métallique

6. Indiquer, à l'aide du **document n°9,** la couleur des cours d'eau altérés.

Effet d'une eau altérée sur les saumons

En plus de la présence d'ions Fe^{2+} et de traces de métaux lourds qui peuvent être nocifs pour la faune et la flore, l'analyse détaillée dans le **document n°8** montre la présence d'acide sulfurique dans les eaux souterraines altérées se jetant dans les rivières.

Le **document n°10** présente des données sur l'acide sulfurique.

L'acide sulfurique concentré est un liquide très corrosif de formule H_2SO_4.

On considère qu'une solution aqueuse diluée d'acide sulfurique contient des ions hydronium H^+ (aq) et des ions sulfate SO_4^{2-} (aq).

Document n°10 : données sur l'acide sulfurique

7. Indiquer, à l'aide du **document n°10**, parmi les quatre pictogrammes suivants, celui qui correspond à l'acide sulfurique concentré.

Pictogramme A	Pictogramme B	Pictogramme C	Pictogramme D

Le chercheur chimiste a prélevé plusieurs échantillons d'eaux provenant d'une même zone géographique, notamment :

- d'une rivière non altérée ;
- d'une rivière altérée ;
- d'eau souterraine altérée.

Les résultats de l'analyse de ces échantillons sont présentés dans le **document n°11**.

Milieu étudié	Rivière non altérée	Rivière altérée	Eau souterraine altérée
Valeur de pH	8,0	7,4	À déterminer
Concentration $[H_3O^+]$ en $mol \cdot L^{-1}$	$1,0 \times 10^{-8}$	$4,0 \times 10^{-8}$	$2,5 \times 10^{-3}$
Concentration $[SO_4^{2-}]$ en $mol \cdot L^{-1}$	$6,4 \times 10^{-4}$	$2,9 \times 10^{-3}$	9×10^{-2}

Document n°11 : résultats des analyses
D'après le site www.nature.com/articles/s43247-024-01446-z

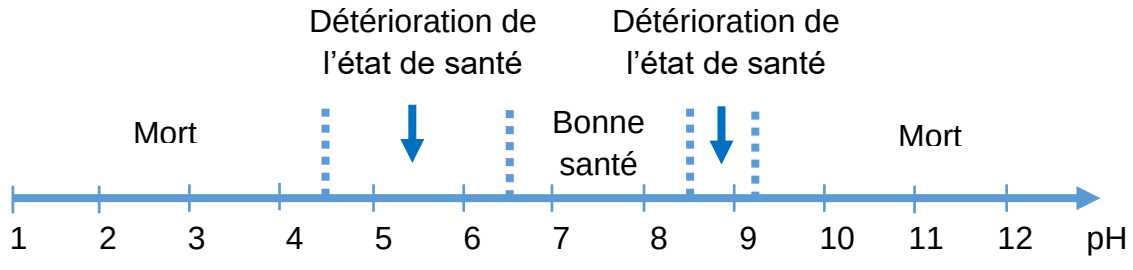
8. Calculer la valeur du pH de l'eau souterraine altérée.

On donne la masse molaire des ions sulfates SO_4^{2-}, notée M, qui vaut 96,1 $g \cdot mol^{-1}$.

Les variations du pH et de la concentration en ions sulfate peuvent jouer sur la santé des saumons présents dans les cours d'eau en Alaska.

Dans le cas des eaux des rivières étudiées, il est préconisé de ne pas dépasser la concentration en ions sulfate de 128 $mg \cdot L^{-1}$.

Le **document n°12** présente les effets d'une variation de pH sur la santé des saumons.



Document n°12 : pH et effets sur la santé des saumons
D'après le site https://voute.bape.gouv.qc.ca/dl/?id=00000555646

On indique que la concentration en masse, la concentration en quantité de matière et la masse molaire sont reliées par l'expression suivante :

$$C = \frac{C_m}{M}$$

avec :

- C, la concentration en quantité de matière, exprimée en $mol \cdot L^{-1}$;
- C_m, la concentration en masse, exprimée en $g \cdot L^{-1}$;
- M, la masse molaire, exprimée en $g \cdot mol^{-1}$.

9. Déterminer si le pH de l'eau des rivières altérées présente un risque pour la santé des saumons.

10. Déterminer si la concentration en ions sulfate SO_4^{2-} de l'eau des rivières altérées permet aux saumons de se développer dans de bonnes conditions.