

La fosse de plongée Nemo 33 (10 points)

Le Nemo 33 est un centre de plongée à Uccle, en Belgique. Il possédait la fosse de plongée la plus profonde du monde jusqu'en février 2014 atteignant une profondeur de près de 35 mètres.

Une fosse de plongée sert à pratiquer la plongée sous-marine ou la plongée en apnée (sans bouteille). La profondeur est le principal critère qui distingue une fosse d'une simple piscine. La qualité de l'eau est un autre élément fondamental, autant pour les maîtres-nageurs que pour les usagers.

Dans cet exercice, nous étudierons des propriétés chimiques d'une eau de fosse de plongée puis l'effet de la pression sur les poumons lors d'une plongée dans une fosse.

Apnéistes dans une fosse de plongée
<https://communaute.ucpa.com>



1. Titrage des ions hypochlorite ClO^- présents dans l'eau d'une fosse de plongée

Afin de maintenir la qualité sanitaire de l'eau d'une fosse de plongée on y ajoute des ions hypochlorite ClO^- , il s'agit d'un oxydant puissant qui peut réagir avec des composés organiques et des micro-organismes afin de les détruire. La réglementation impose une concentration en « chlore actif » pour les piscines en France correspondant à une concentration d'ions hypochlorite comprise entre $0,4 \text{ mg.L}^{-1}$ et $1,4 \text{ mg.L}^{-1}$.

Pour étudier les propriétés chimiques de l'eau d'une fosse de plongée et déterminer sa concentration en ions hypochlorite, on effectue un prélèvement. À l'aide d'une pipette jaugée, on prélève $V_1 = 20,0 \text{ mL}$ d'eau d'une fosse de plongée que l'on place dans un bécher de 50 mL , on ajoute $1,0 \text{ mL}$ d'une solution contenant des ions iodure en excès et $1,0 \text{ mL}$ une solution d'acide sulfurique puis on agite. Le mélange obtenu, qui prend alors une teinte orange-brun, est appelé solution S.

Les couples mis en jeu sont $\text{ClO}^-(\text{aq})/\text{Cl}^-(\text{aq})$ et $\text{I}_2(\text{aq})/\text{I}^-(\text{aq})$. Le diiode a une coloration orange-brun en solution aqueuse, c'est la seule espèce colorée dans la solution S.

➤ Masses molaires de l'oxygène et du chlore : $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$ et $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g.mol}^{-1}$.

1.1. Justifier à l'aide des observations expérimentales le caractère oxydant de l'eau de la fosse de plongée.

1.2. Écrire la demi-équation électronique associée au couple de l'hypochlorite et justifier le rôle d'oxydant de cet ion.

1.3. Donner l'équation de la réaction modélisant la transformation intervenant entre les ions hypochlorite et les ions iodure.

1.4. Établir le tableau d'avancement de la réaction. Les ions iodure, $\text{I}^-(\text{aq})$, et oxoniums $\text{H}^+(\text{aq})$, sont en excès, l'eau est le solvant.

On considère dans la suite que tout le diiode dans la solution S provient de la réaction entre les ions hypochlorite et iodure et que la transformation est totale. Afin de déterminer l'avancement final x_f de cette réaction, on effectue un dosage par étalonnage du diiode dans la solution S. On réalise une série de mesure d'absorbance de solutions de concentrations connues en diiode, les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

concentration en diiode (mol.L^{-1})	$2,0 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$	$2,5 \times 10^{-4}$
absorbance A (à 475 nm)	0,016	0,041	0,10	0,22

On effectue une mesure d'absorbance pour la solution S, on obtient $A_S = 0,017$.

1.5. Déterminer la valeur de la concentration en diiode de la solution S. En déduire la valeur de la quantité de diiode, formée lors de la réaction entre les ions hypochlorite et iodure, et que la valeur de l'avancement final x_f est voisine de $4,6 \times 10^{-7}$ mol.

1.6. En déduire la valeur de la concentration en moles en ions hypochlorites ClO^- dans l'eau de la fosse de plongée. Indiquer si cette eau est conforme la législation française.

2. La pratique de l'apnée au NEMO 33

Lors de la pratique de l'apnée, le plongeur inspire au maximum de sa capacité pulmonaire lorsqu'il se trouve à la surface puis bloque sa respiration. Au cours de la descente, la pression augmente et le volume pulmonaire diminue jusqu'à ce que la rigidité du thorax ne permette plus de réduire son volume : le volume pulmonaire est alors égal au volume résiduel. Au-delà de cette profondeur, du sang est aspiré puis retenu dans la circulation pulmonaire, remplissant ainsi les poumons. Ce phénomène, appelé « *blood shift* », permet aux poumons de résister à la compression, mais il peut aussi entraîner des troubles du rythme cardiaque.

La capacité maximale des poumons est d'environ 6 L. Le volume résiduel, c'est-à-dire le volume d'air contenu dans les poumons à la fin d'une expiration forcée, est d'environ 1,5 L.

Données :

- pression atmosphérique : $P_a = 1,0 \times 10^5$ Pa ;
- masse volumique de l'eau : $\rho_e = 1,0 \times 10^3$ kg.m^{-3} ;
- valeur du champ de pesanteur : $g = 9,8$ N.kg^{-1} ;
- profondeur de NEMO 33 : $h = 35$ m ;
- la loi fondamentale de la statique des fluides reliant la différence de pression $p_A - p_B$ entre deux points A et B d'un fluide incompressible à ρ_e , g , et $z_A - z_B$; z_A et z_B étant les ordonnées des points A et B sur un axe des z orienté suivant la verticale ascendante s'écrit :

$$p_A - p_B = \rho_e g (z_B - z_A).$$

2.1. Décrire qualitativement comment évolue la pression lorsque le plongeur descend dans la fosse de plongée. Expliquer en quoi la loi fondamentale de la statique des fluides rend compte de cette évolution.

2.2. Énoncer la loi de Mariotte relative au produit de la pression P par le volume V d'un gaz pour une quantité de matière donnée et une température constante.

2.3. À l'aide des données, déterminer si le phénomène de « *blood shift* » risque d'apparaître lorsqu'un apnéiste, qui n'a pas expiré d'air au cours de sa plongée, atteint le fond de NEMO 33.

Le candidat est évalué sur ses capacités à concevoir et à mettre en œuvre une démarche de résolution. Toute prise d'initiative et toute tentative de résolution, même partielle sera valorisée.