

BACCALAUREAT GÉNÉRAL

EPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

PHYSIQUE CHIMIE

Mercredi 6 Mai 2026

Durée de l'épreuve : 3 heures 30

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

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 10 pages numérotées de 1 à 10.

EXERCICE 1 : L'AMMONIAC, UN FUTUR CARBURANT POUR LES TRANSPORTS MARITIMES (9 POINTS)

L'industrie chimique produit chaque année 180 millions de tonnes d'ammoniac. L'ammoniac est principalement utilisé dans la production d'engrais et dans le stockage de l'énergie. C'est aussi un carburant potentiel pour les années futures, notamment dans le domaine des transports maritimes. Dans les conditions normales de température et de pression, l'ammoniac, de formule NH_3 , est un gaz incolore à l'odeur très désagréable.

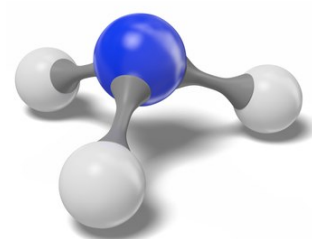
D'après le site Médiachimie.

Cet exercice comporte deux parties : la première s'intéresse à la molécule d'ammoniac et ses propriétés chimiques, la seconde traite de la synthèse de l'ammoniac et de l'amélioration du procédé.

1. Étude de la molécule et de ses propriétés

Données

- Numéro atomique de l'azote : $Z(\text{N}) = 7$
- Électronégativités : $\chi(\text{N}) = 3,04$; $\chi(\text{H}) = 2,20$; $\chi(\text{O}) = 3,44$
- La géométrie de la molécule d'ammoniac est pyramidale :
- $\text{p}K_{\text{A}}$ du couple $\text{NH}_4^+(\text{aq}) / \text{NH}_3(\text{aq}) = 9,2$
- Zones de virage de quelques indicateurs colorés :



Indicateur coloré	Teinte acide	Zone de virage	Teinte basique
Hélianthine	Rouge	3,1 – 4,4	Jaune
Rouge de méthyle	Rouge	4,2 – 6,2	Jaune
Bleu de bromothymol ou BBT	Jaune	6,0 – 7,6	Bleu
Thymolphaléine	Incolore	9,3 – 10,5	Bleu

Q.1. Représenter le schéma de Lewis de la molécule d'ammoniac.

Q.2. Donner un argument justifiant la grande solubilité de l'ammoniac dans l'eau.

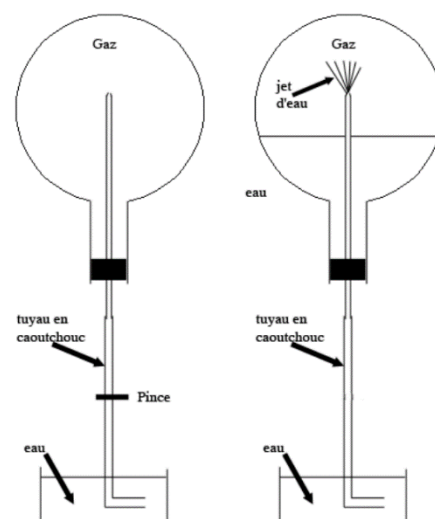
Pour vérifier la dissolution de l'ammoniac dans l'eau, on réalise l'expérience dite du jet d'eau.

Sous la hotte, on remplit de gaz ammoniac un ballon bien sec. On immerge le tuyau de caoutchouc dans un cristalliseur contenant de l'eau à $\text{pH} = 7$. On observe alors un jet d'eau dans le ballon. Une fois le ballon totalement rempli de solution, on y ajoute du BBT.

Q.3. Définir une base selon Brønsted.

Q.4. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation de l'ammoniac avec l'eau.

Q.5. En déduire, en la justifiant, la couleur de la solution obtenue.



On mesure le pH de la solution aqueuse d'ammoniac obtenue : $pH = 11,0$.

Q.6. Indiquer l'espèce qui prédomine en justifiant la réponse à l'aide d'un diagramme de prédominance.

On simule le titrage d'un volume $V_B = 20,0$ mL d'une solution aqueuse d'ammoniac de $pH = 11,0$ par de l'acide chlorhydrique (H_3O^+ (aq) ; Cl^- (aq)) de concentration $C_A = 0,100$ mol·L⁻¹.

On obtient la courbe suivante :

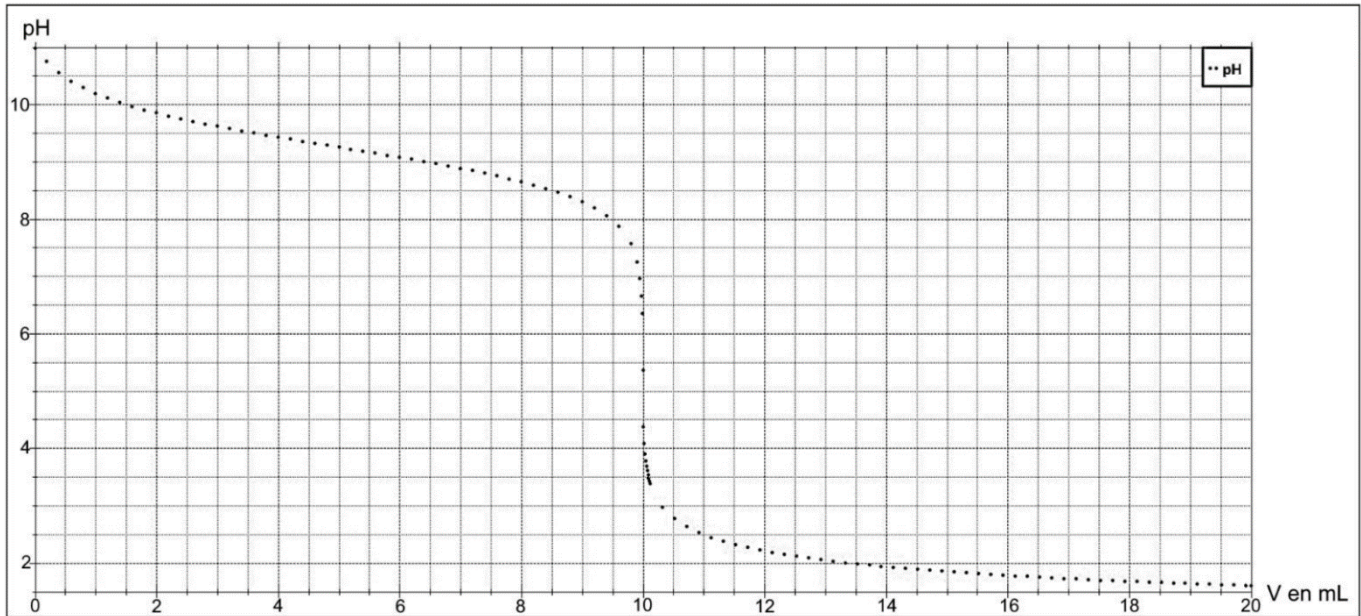


Figure 1 : courbe simulée du titrage de 20,0 mL de la solution aqueuse d'ammoniac par l'acide chlorhydrique de concentration 0,100 mol·L⁻¹.

Q.7. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

Q.8. Justifier l'utilisation du rouge de méthyle comme indicateur coloré pour ce titrage.

Q.9. Déterminer la valeur de la concentration C_B de la solution aqueuse d'ammoniac choisie pour cette simulation.

2. Synthèse de l'ammoniac

En 1909, le chimiste allemand, Fritz Haber, chercheur à l'Université de Karlsruhe, réussit, en laboratoire, la synthèse de l'ammoniac NH_3 (g) à partir du diazote de l'air N_2 (g) et de dihydrogène H_2 (g).

Aujourd'hui, cette synthèse se fait sous une pression d'environ 300 bar, à 500 °C en présence d'un catalyseur riche en fer. En utilisant 6,0 mol de diazote et 6,0 mol de dihydrogène, on obtient 0,80 mol d'ammoniac.

Q.10. Écrire l'équation de la réaction modélisant la synthèse de l'ammoniac.

Q.11. Déterminer l'avancement final x_f de cette réaction dans les conditions données. Comparer la valeur obtenue à celle de l'avancement maximal et conclure.

La société française ENGIE investit dans le développement d'un des premiers projets de dihydrogène renouvelable. Ce projet est situé dans la région de Pilbara en Australie. En 2024, la première phase produira 640 tonnes de dihydrogène par an. Le dihydrogène sera utilisé comme matière première pour la production d'ammoniac. Le rendement de la production d'ammoniac sera de 20 %.

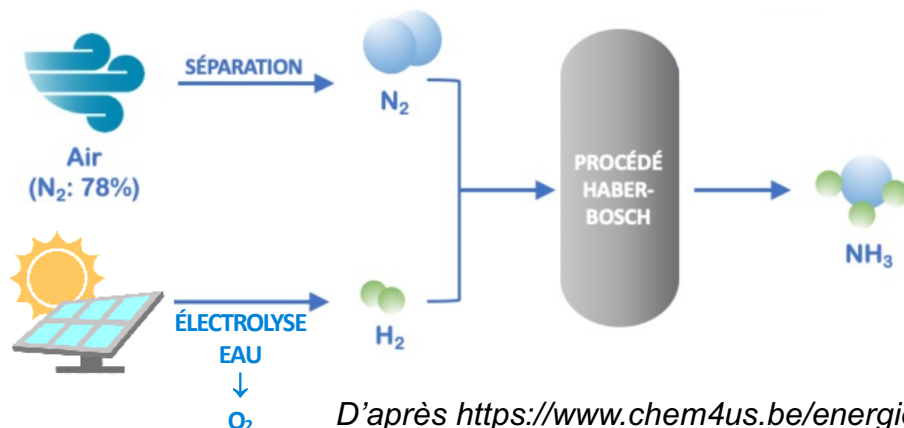


Figure 2 : schéma du procédé Haber-Bosch

Données :

- Équations des réactions électrochimiques modélisant les transformations aux électrodes :
 - $2 \text{H}^+_{(\text{aq})} + 2 \text{e}^- = \text{H}_2 (\text{g})$
 - $2 \text{H}_2\text{O} (\text{l}) = \text{O}_2 (\text{g}) + 4 \text{H}^+_{(\text{aq})} + 4 \text{e}^-$
- Volume molaire dans les conditions de l'expérience : $V_m = 24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Constante de Faraday : $F = 9,64 \cdot 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Masses molaires atomiques en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$: $M(\text{H}) = 1,0$; $M(\text{N}) = 14,0$.

L'électrolyse de l'eau utilisée dans l'usine de Pilbara peut être reproduite au laboratoire grâce au montage de la figure 3, en remplaçant la cellule photovoltaïque par un générateur.

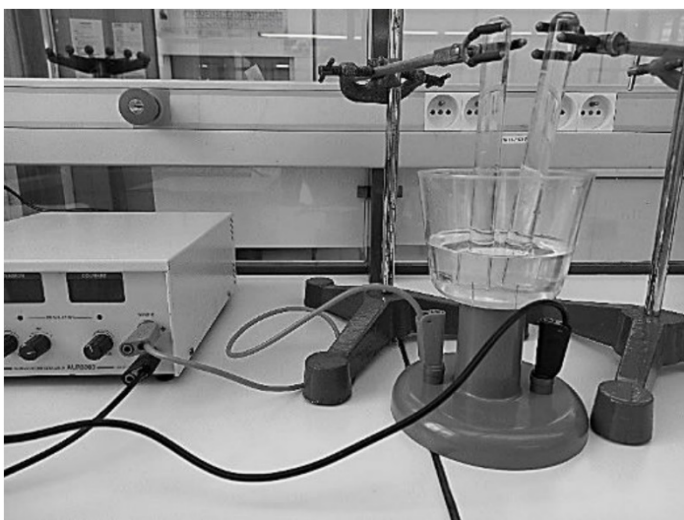


Figure 3 : montage expérimental

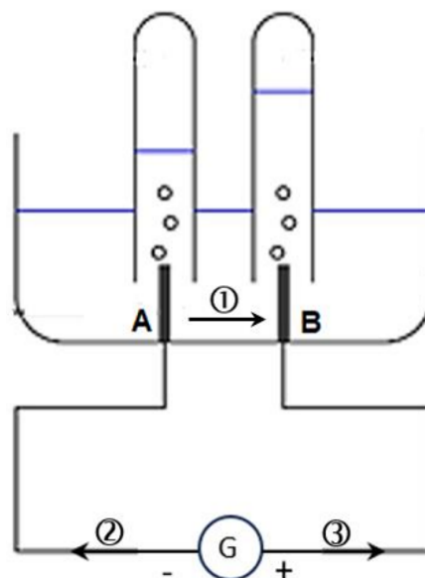


Figure 4 : schéma du montage

- Q.12.** Indiquer, parmi celles numérotées ①, ② ou ③ sur la figure 4, les deux flèches représentant respectivement le sens du courant électrique et celui du déplacement des électrons. Justifier
- Q.13.** Associer à chacune des électrodes, A et B, une des équations des réactions électrochimiques figurant dans les données et nommer les gaz formés à chaque électrode. Justifier.

On recueille 4,0 mL de gaz dans un des tubes et 2,0 mL dans l'autre.

Q.14. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique qui se déroule dans l'électrolyseur. Valider la stœchiométrie des deux gaz formés en analysant les volumes de gaz obtenus aux électrodes.

La manipulation dure $\Delta t = 3 \text{ min et } 20 \text{ s}$. L'intensité du courant est de 0,16 A.

Q.15. Calculer la quantité d'électricité Q ayant circulé dans le circuit électrique pendant la durée de l'électrolyse au laboratoire et en déduire la quantité de matière d'électrons échangés.

Q.16. En déduire le volume de dihydrogène que l'on pourrait obtenir dans les conditions de l'expérience. Comparer aux données expérimentales.

Q.17. Déterminer la masse d'ammoniac qui pourra être produite en 2024 à partir du dihydrogène produit dans l'usine de Pilbara. Commenter.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

EXERCICE 2 : MICROPHONE ÉLECTROSTATIQUE (5 POINTS)

Le capteur des microphones électrostatiques est modélisable par un condensateur plan. En effet la vibration d'une membrane chargée électriquement à proximité d'une plaque fixe chargée électriquement entraîne la variation de la capacité du dipôle ainsi formé. Dans le modèle du condensateur plan, la membrane constitue alors l'une des armatures et la plaque fixe constitue la seconde armature comme illustre la figure 1.

L'objectif de cet exercice est d'étudier le fonctionnement d'un microphone électrostatique.

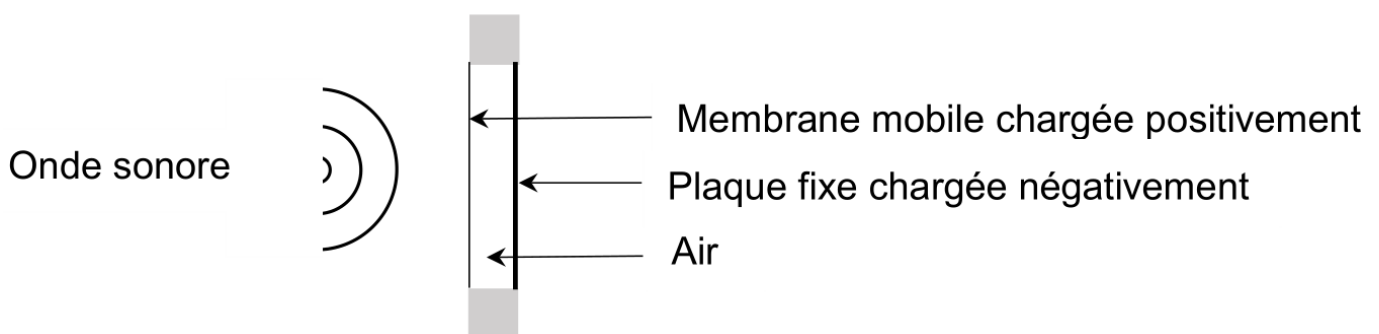


Figure 1 : Schéma de principe du capteur d'un microphone électrostatique.

1. Polarisation du capteur capacitif d'un microphone électrostatique.

Le circuit permettant la polarisation de la membrane et de la plaque fixe est modélisable par un circuit RC. On étudiera le circuit RC représenté sur la figure 2 avec R la résistance d'un conducteur ohmique, C la capacité du condensateur et E la tension aux bornes du générateur d'une valeur de 200 V.

À la date $t = 0 \text{ s}$, l'utilisateur ferme l'interrupteur et déclenche la charge du condensateur de capacité C considéré comme initialement totalement déchargé.

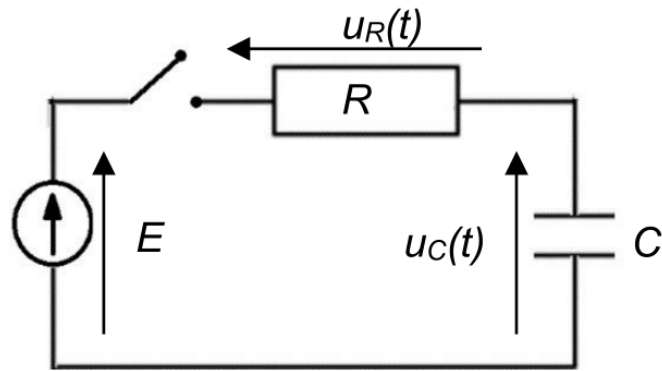


Figure 2 : Circuit RC modélisant le fonctionnement du microphone.

Q1. À l'aide de la loi des mailles, montrer que l'équation différentielle régissant l'évolution de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur lors de sa charge est :

$$\frac{du_C(t)}{dt} + \frac{u_C(t)}{R \cdot C} = \frac{E}{R \cdot C}$$

Q2. Vérifier que la solution de cette équation différentielle est $u_C(t) = E \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$ en précisant l'expression et l'unité de la constante τ .

La figure 3 représente la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur lors de la charge en fonction du temps.

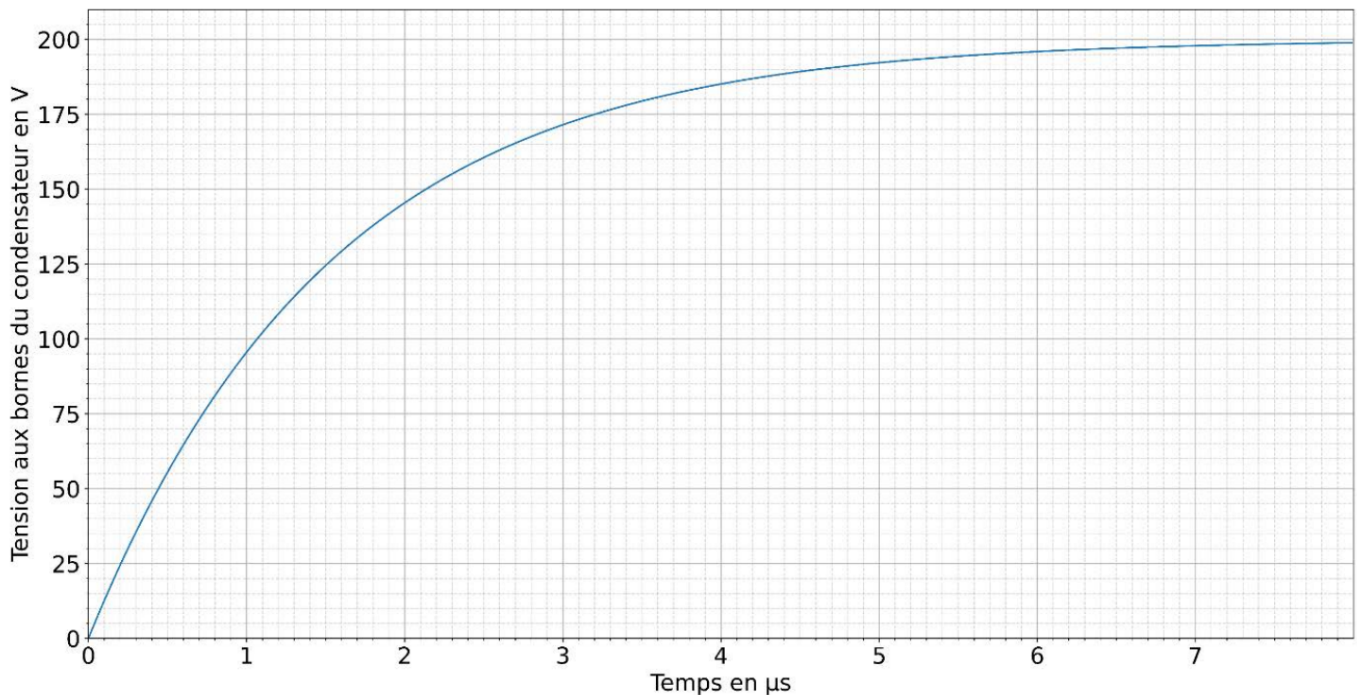


Figure 3 : Évolution de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur lors de la charge en fonction du temps.

- Q3.** Déterminer, à l'aide de la figure 3, le temps caractéristique τ en expliquant votre démarche.
- Q4.** En déduire la capacité C du condensateur sachant que la valeur de la résistance R du conducteur ohmique est égale à $1,0 \times 10^5 \Omega$.

2. Fonctionnement du capteur capacitif du microphone électrostatique.

Dans cette partie, on s'intéresse au fonctionnement du capteur capacitif d'un microphone électrostatique représenté sur la figure 1.

Données :

- Caractéristiques du microphone :
 - Surface S de la plus petite des armatures du condensateur : $S = 3,60 \times 10^{-5} \text{ m}^2$.
 - Distance e entre les armatures du condensateur au repos : $e = 20,77 \text{ }\mu\text{m}$.
- Permittivité ϵ_{air} diélectrique de l'air : $\epsilon_{\text{air}} = 8,9 \times 10^{-12} \text{ F}\cdot\text{m}^{-1}$.
- La capacité C d'un condensateur plan idéal en farads s'exprime en fonction de la distance e entre les armatures en mètres, de la surface S des armatures en regard en mètres carrés et de la permittivité de l'air ϵ_{air} situé entre les armatures en farads par mètre carré. Son expression est : $C = \epsilon_{\text{air}} \times \frac{S}{e}$
- La valeur de l'intensité sonore de référence I_0 est égale à $1,0 \times 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Q5. Calculer la valeur de la capacité C_0 du condensateur modélisant le microphone au repos.

Lorsqu'une onde sonore exerce une pression sur la membrane du microphone électrostatique, sa capacité varie.

Q6. Identifier le paramètre géométrique responsable de cette variation. En déduire si la valeur de la capacité C aux bornes du capteur augmente ou diminue lors d'une surpression.

Les caractéristiques du capteur induisent des limites sur le temps de réponse et sur la plage de niveaux d'intensité sonore mesurables.

On cherche à vérifier si le microphone étudié permet d'acquérir un son dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Valeur de la fréquence du son f égale à 440 Hz.
- Valeur de l'intensité sonore I égale à $4,7 \times 10^{-6} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Q7. Calculer la période T du son. Commenter la possibilité d'acquérir fidèlement le son en comparant la période T au temps de réponse du capteur qui est de l'ordre de 1 μs .

D'après la notice du constructeur, le domaine d'utilisation du microphone est compris entre 32 dB et 160 dB.

Q8. Vérifier si le niveau d'intensité sonore L du son peut être mesuré par le microphone étudié.

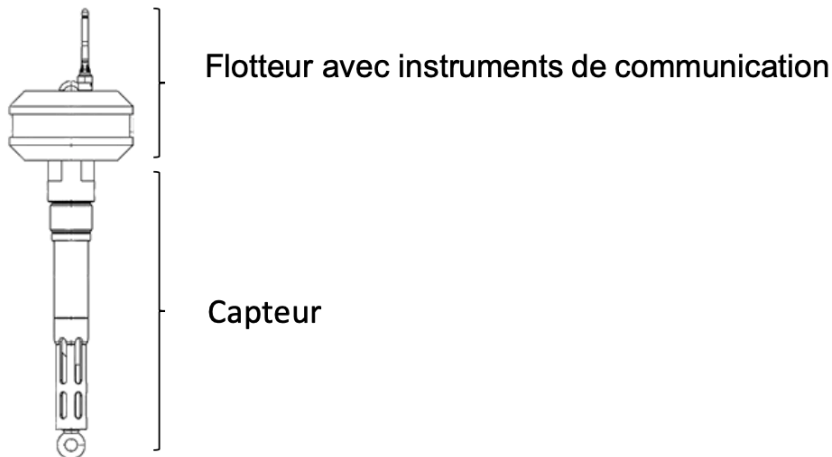
EXERCICE 3 : TRAITEMENT DES EAUX D'UN BASSIN D'ORAGE (6 POINTS)

En France, les eaux pluviales excédentaires produites par les orages sont parfois stockées dans des bassins de rétention. Mais, sous l'effet de la chaleur, ces eaux de bassin voient leur taux de dioxygène diminuer. Pour assurer le rejet des eaux de bassin en milieu naturel, le taux de dioxygène est surveillé. Cette fonction peut être assurée par des capteurs installés sur une bouée autonome. Quant à l'oxygénation, elle peut être assurée par un aérateur à jet.

L'objectif de cet exercice est d'étudier la flottabilité d'une telle bouée, puis d'évaluer le temps nécessaire à l'amélioration de la qualité de l'eau par un aérateur à jet.

1. Surveillance de la qualité de l'eau

Une bouée autonome instrumentée est constituée de deux parties principales : le capteur et le flotteur qui contient les instruments de communication. L'immersion de la bouée ne doit pas dépasser 20 % de son volume total pour maintenir les instruments hors de l'eau et faciliter la communication avec l'extérieur.



Source : d'après *ijinus.com*

Figure 1. Bouée autonome instrumentée

Données :

- Volume de la bouée $V_{\text{bouée}} = 6,7 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
- Masse totale de la bouée $m = 1,0 \text{ kg}$
- Masse volumique de l'eau $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Intensité de la pesanteur terrestre $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$

Q.1. Nommer les deux forces exercées sur la bouée supposée à l'équilibre puis les représenter sans souci d'échelle sur un schéma annoté.

Q.2. Déterminer la valeur de V_{imm} , le volume immergé de la bouée à l'équilibre.

Q.3. En déduire la proportion du volume immergé par rapport au volume total de la bouée. Commenter.

2. Traitement de l'eau

La bouée autonome mesure le taux de dioxygène dissous dans l'eau du bassin d'orage.

La norme impose que le taux en dioxygène soit compris entre 6 et 8 mg·L⁻¹. Sous l'effet de la chaleur, ce taux diminue et atteint 4 mg·L⁻¹ : il faut l'augmenter. Pour cela, un aérateur à jet immergé est utilisé pour injecter de l'air (et donc du dioxygène) dans l'eau. L'aérateur aspire de l'eau et la fait circuler dans une conduite horizontale présentant un rétrécissement d'une section circulaire de diamètre d_A vers une section de diamètre d_B . C'est au niveau de cette partie rétrécie que l'eau et l'air (aspiré depuis l'entrée d'air) se mélangent.

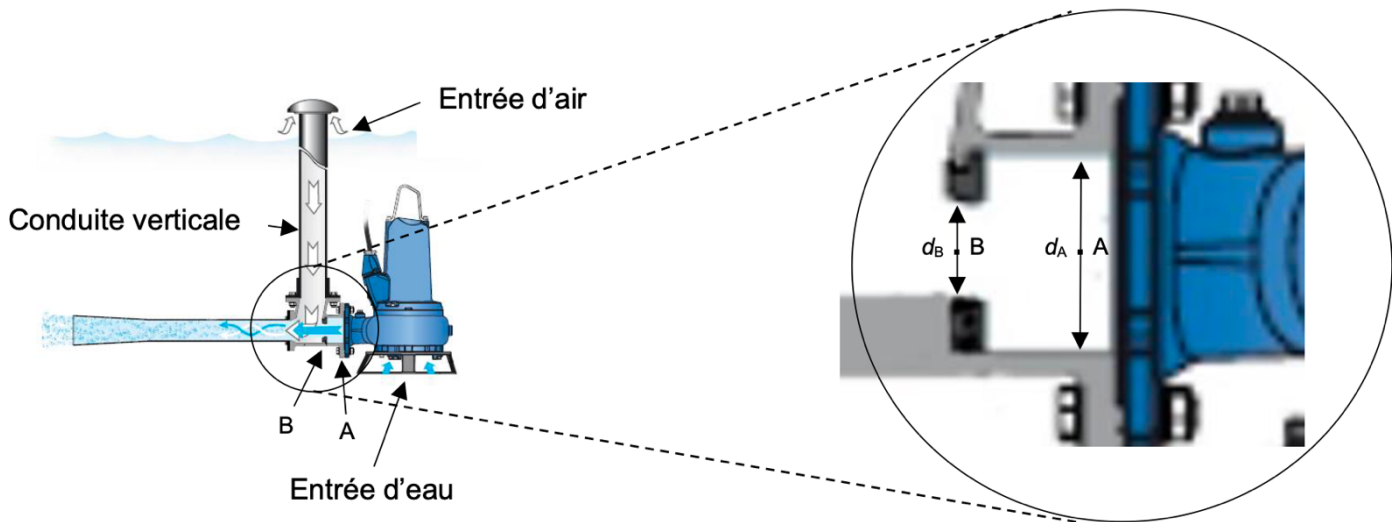


Figure 2. Plan de l'aérateur à jet immergé et zoom sur le rétrécissement (Source : sulzer.com)

Données :

- Diamètre de la canalisation en A, $d_A = 55 \text{ mm}$
- Diamètre de la canalisation en B, $d_B = 33 \text{ mm}$
- Vitesse de l'eau en A, $v_A = 5,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Volume d'eau dans le bassin d'orage, $V_{\text{eau}} = 172 \text{ m}^3$
- Masse volumique de l'eau dans le bassin d'orage $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- Relation de Bernoulli dans la conduite horizontale : $p + \frac{1}{2} \times \rho v^2 + \rho \times g \times z = \text{constante}$
avec p : pression ; ρ : masse volumique du fluide ; g : intensité de la pesanteur ; z : coordonnée verticale de la position ; v : valeur de la vitesse du fluide.

On considère que l'eau est un fluide incompressible et que le régime est permanent.

Le débit volumique D_V d'un fluide dans une canalisation dépend de la vitesse v de déplacement du fluide et de la section S de la canalisation.

Q.4. Recopier la formule permettant de calculer le débit volumique D_V , en justifiant la réponse par une analyse dimensionnelle ou une analyse des unités.

$$D_V = \frac{v}{S} \quad D_V = S \times v \quad D_V = v^2 \times S$$

Q.5. Montrer, par un calcul, que la valeur du débit volumique de l'eau dans la canalisation est $D_V = 1,3 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Q.6. Exploiter la conservation du débit volumique pour montrer que la valeur de la vitesse de l'eau au point B vaut $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Q.7. Nommer le phénomène physique observé au point B responsable de l'aspiration de l'air.

Q.8. Montrer que l'expression de la variation de la pression entre les points A et B $\Delta p = p_B - p_A$ peut s'exprimer par la relation : $\Delta p = \frac{1}{2} \times \rho \times (v_A^2 - v_B^2)$

Q.9. Calculer la valeur numérique de Δp . Commenter.

L'eau contenue dans ce bassin d'orage, dont le taux en dioxygène est de $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, doit être évacuée, en moins de deux heures, dans une rivière voisine. Elle doit être traitée avant son évacuation. L'aérateur est mis en marche. On considère que l'oxygénation est constante tout au long du processus et que le bassin est un système fermé (pas d'échanges avec l'extérieur).

Q.10. Montrer qu'il faut ajouter 344 g de dioxygène à l'eau du bassin pour atteindre un taux de dioxygène de $6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

L'aérateur permet l'assimilation de 6 mg de dioxygène par litre d'eau brassé.

Q.11. Calculer le volume d'eau qui doit être brassé par l'aérateur pour assimiler la masse de dioxygène nécessaire.

Q.12. Déterminer si l'oxygénation de l'eau peut être faite en moins de deux heures dans ces conditions.