

# CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

—

SESSION 2026

—

## SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES EN LABORATOIRE

(Classes de terminale série STL)

ÉPREUVE D'ADMISSIBILITÉ

Durée : 5 heures

—

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

Le sujet comporte 3 parties indépendantes présentées sur 23 pages, dont deux documents-réponse à rendre avec la copie, pages 22 et 23.

### Consignes aux candidats

- Ne pas utiliser d'encre claire
- N'utiliser ni colle, ni agrafe
- Ne joindre aucun brouillon
- Ne pas composer dans la marge
- Numéroter chaque page en bas à droite (numéro de page / nombre total de pages)
- Sur chaque copie, renseigner l'en-tête + l'identification du concours :

Concours / Examen : CGL    Epreuve : admissibilité    Matière : SPCL    Session : 2026

Tournez la page S.V.P.



# Thème général : Science et océans

## LA SCIENCE POUR OBSERVER LES OCÉANS

Article publié le 14/08/2025 dans le journal Ouest France

« La mer Méditerranée bientôt à 30 °C ?

*La canicule qui touche actuellement la France pourrait faire grimper la température de la Méditerranée à 30 °C ou plus dans les prochains jours, une première depuis 2003. Ces épisodes de canicule marine sont devenus plus fréquents à cause du changement climatique.*

*[...] De tels épisodes entraînent des changements visibles dans les écosystèmes marins, qui mettent en danger certaines espèces emblématiques de la Méditerranée. Les espèces les moins mobiles (gorgones, algues, posidonie) meurent, tandis que d'autres (étoiles de mer, thons rouges, oursins) voient leur reproduction menacée.*

*Au contraire, certaines espèces invasives adaptées aux températures élevées s'installent, avec les risques supplémentaires que cela entraîne. »*

Source [www.ouest-france.fr/environnement](http://www.ouest-france.fr/environnement)

Les océans sont essentiels à la vie sur Terre. Ils sont une source de protéines pour plus d'un milliard de personnes dans le monde et le phytoplancton qu'il abrite est une source importante du dioxygène produit sur notre planète.

Le changement climatique bouleverse les équilibres préexistants : augmentation des températures, acidification, fonte des glaces, modification de la salinité et des courants marins... Ces évolutions mettent en danger les écosystèmes et pourraient compromettre la capacité des océans à amortir le changement climatique.

Les scientifiques travaillent au suivi et à la modélisation de ces changements afin de proposer aux sociétés des solutions à mettre en place pour rendre envisageable un futur habitable pour tous. Cela amène les océanographes à effectuer des mesures de paramètres physico-chimiques et biologiques.

Ce sujet aborde quelques aspects de cette surveillance des océans.

# Table des matières

<b>A. La sonde CTD</b>	<b>3</b>
A.1 Étude des sondes de température et de pression	3
A.1.1 Mesure de la température	3
A.1.2 Estimation de la profondeur par mesure de pression	7
A.2 Réalisation d'un profil vertical au large des îles Féroé	8
<b>B. Mesure du dioxygène dissout dans l'eau de mer</b>	<b>10</b>
B.1 Dosage du dioxygène dissout par la méthode de Winkler	10
B.2 Dosage du dioxygène dissout par sonde optique	12
B.2.1 Structure et synthèse de l'OEP	13
B.2.2 Luminescence du complexe platine-OEP et constitution de la sonde optique	14
B.3 Résultats expérimentaux	16
<b>C. Observation du phytoplancton au microscope inversé corrigé à l'infini</b>	<b>18</b>
C.1 Principe du microscope inversé « corrigé à l'infini »	18
C.2 Champ de vision du microscope corrigé à l'infini	20

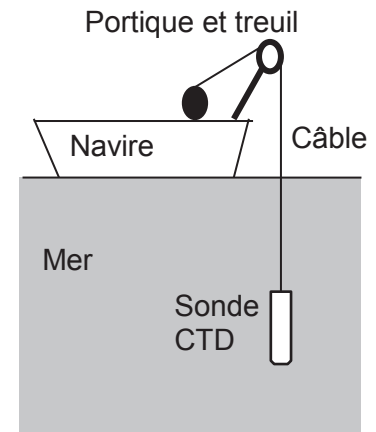
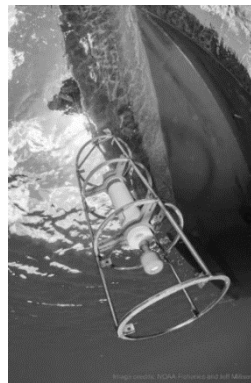
## A. La sonde CTD

La sonde CTD (Conductivity – Temperature - Depth<sup>1</sup>) est un dispositif de mesure incontournable en océanographie. Elle est équipée de capteurs mesurant la conductivité, la température et la pression.



Source : [www.youtube.com/watch?v=1BFwwD96jR8](http://www.youtube.com/watch?v=1BFwwD96jR8)

Cet instrument est notamment utilisé pour le profilage vertical, procédé qui consiste à effectuer des mesures tout le long d'une « colonne d'eau ». Pour ce faire, une sonde est immergée depuis un navire, suspendue à un câble qui est progressivement déroulé, permettant ainsi des relevés jusqu'à plusieurs centaines voire plusieurs milliers de mètres de profondeur.



Sonde en immersion

Source : [rsaqua.co.uk/](http://rsaqua.co.uk/)

Des trois grandeurs mesurées conductivité, température et pression, on peut déduire par le calcul différentes grandeurs comme par exemple la profondeur, la salinité, ou encore la saturation en dioxygène dissout.

### A.1 Étude des sondes de température et de pression

Cette partie porte sur les mesures de température et de pression. La mesure de la conductivité ne sera pas abordée dans le sujet.

#### A.1.1 Mesure de la température

Le Tableau 1 résume quelques caractéristiques d'une sonde de température mise en œuvre dans une sonde CTD.

#### Temperature

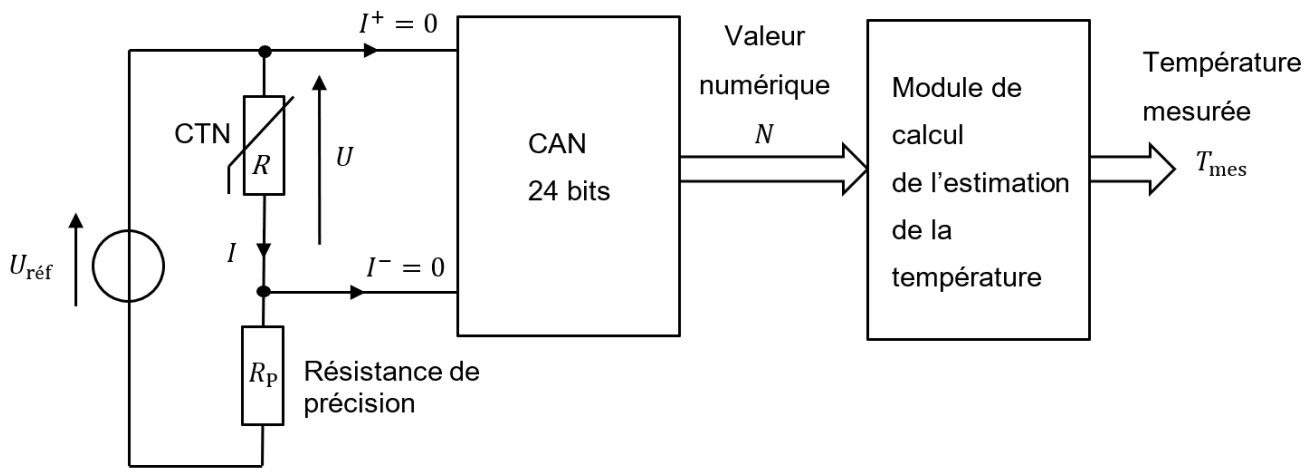
Range	-5°C to 35°C
Initial accuracy	±0.002°
Resolution	<0.00005°C

*Range : plage de mesure.  
Initial accuracy : exactitude initiale.  
Resolution : résolution.*

Tableau 1 : extrait de la documentation d'une sonde de température (fabricant : RBR).

Dans ce qui suit on s'intéresse à l'étude d'une partie de la chaîne de mesure simplifiée mise en œuvre dans une telle sonde. Son schéma de principe est représenté sur la figure 1.

<sup>1</sup> Conductivity : conductivité – Temperature : température – Depth : profondeur.

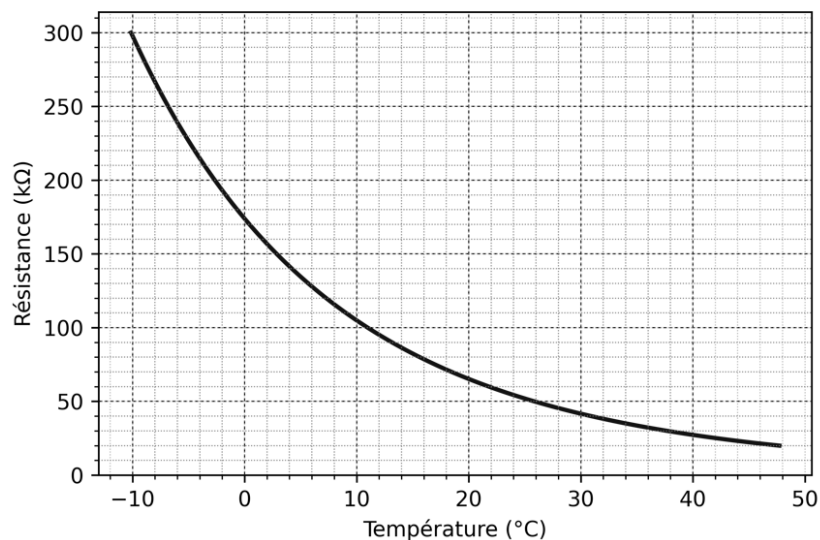


**Figure 1 : schéma de la chaîne de mesure simplifiée.**

Dans cette chaîne de mesure :

- le capteur est une thermistance de type CTN (Coefficient de Température Négatif) modélisée par une résistance  $R$  variant en fonction de la température  $T$  ;
- la thermistance est placée en série avec une résistance de précision de valeur  $R_p = 86,6 \text{ k}\Omega$  ;
- l'ensemble thermistance et résistance de précision est soumis à une tension fixe  $U_{\text{réf}} = 5,0 \text{ V}$ . On note  $I$  le courant qui circule dans  $R$  ;
- la tension  $U$  aux bornes de la thermistance est convertie en une valeur numérique  $N$  par un Convertisseur Analogique Numérique (CAN) ;
- un module de calcul permet d'estimer la valeur  $T_{\text{mes}}$  de la température à partir de la valeur de  $N$ . Ce calcul s'appuie sur un modèle de la chaîne de mesure et une calibration de la sonde.

### Donnée sur la thermistance CTN utilisée dans la sonde de température



**Figure 2 : caractéristique de la thermistance CTN utilisée.**

### Données sur le Convertisseur Analogique Numérique (CAN) :

- conversion sur 24 bits ;
- plage de tension d'entrée  $[0, U_{\text{réf}}]$ , avec  $U_{\text{réf}} = 5,0 \text{ V}$  tension de pleine échelle ;
- la tension de pleine échelle  $U_{\text{réf}}$  du CAN est la même que la tension aux bornes de l'ensemble thermistance et résistance de précision en série ;
- les courants d'entrée dans le CAN sont nuls :  $I_+ = 0$  et  $I_- = 0$ .

**Q1.** Indiquer :

- le nom du montage électrique qui joue le rôle de conditionneur dans la chaîne de mesure ;
- la grandeur d'entrée de l'ensemble capteur- conditionneur ;
- la grandeur de sortie de l'ensemble capteur- conditionneur.

**Q2.** À partir du tableau 1 et de la figure 2, déterminer l'amplitude  $\Delta R$  de la variation de la résistance de la thermistance entre les deux bornes de la plage de mesure de la sonde de température, ainsi que la valeur de la résistance de la thermistance à 15°C.

**Q3.** En déduire la valeur relative de cette amplitude de variation en calculant le rapport  $\frac{\Delta R}{R}$  avec  $R$  la valeur de la résistance à la température de 15 °C. Commenter.

### Relation entre R et U

D'après le circuit de la figure 1, quand la résistance  $R$  de la thermistance varie, la tension  $U$  à ses bornes varie aussi.

**Q4.** Établir l'expression littérale de l'intensité du courant  $I$  en fonction de  $R$ ,  $R_P$  et  $U_{\text{réf}}$ . En déduire que la tension  $U$  aux bornes de la thermistance s'exprime par :

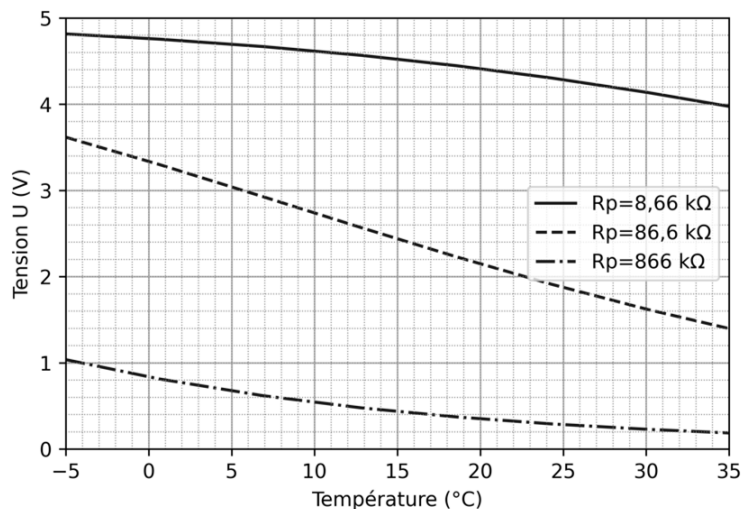
$$U = \frac{R}{R + R_P} U_{\text{réf}}$$

**Q5.** Calculer l'intensité du courant  $I$  et la tension  $U$  aux bornes de la thermistance pour une température de 15 °C.

### Choix de la résistance de précision

La valeur de la résistance de précision a une influence sur la sensibilité de l'ensemble capteur-conditionneur.

La figure 3 représente l'évolution de la tension  $U$  en fonction de la température  $T$  pour trois valeurs différentes de la résistance de précision  $R_P$ .



**Figure 3 : caractéristiques de l'ensemble capteur-conditionneur.**

On rappelle que la sensibilité est définie par la variation de la grandeur de sortie divisée par la variation de la grandeur d'entrée.

**Q6.** À l'aide de la figure 3, calculer la sensibilité de l'ensemble capteur-conditionneur pour la valeur  $R_P = 86,6 \text{ k}\Omega$ . Justifier qualitativement le choix de cette valeur parmi les trois proposées sur la figure 3.

**Q7.** À l'aide du résultat de la question précédente, calculer la variation de  $U$ , tension aux bornes de la thermistance, qui correspond à une variation de température égale à la résolution de la sonde (indiquée dans le tableau 1).

## Numérisation et résolution

La tension  $U$  aux bornes de la thermistance est numérisée par un CAN sur 24 bits ce qui permet une résolution satisfaisante pour la chaîne de mesure.

On rappelle que la résolution d'un appareil de mesure correspond à la plus petite variation de la grandeur mesurée que l'appareil de mesure peut détecter.

Pour rappel, la figure 4 ci-contre illustre le principe d'un codage sur 3 bits et donne l'expression du quantum pour 3 bits.

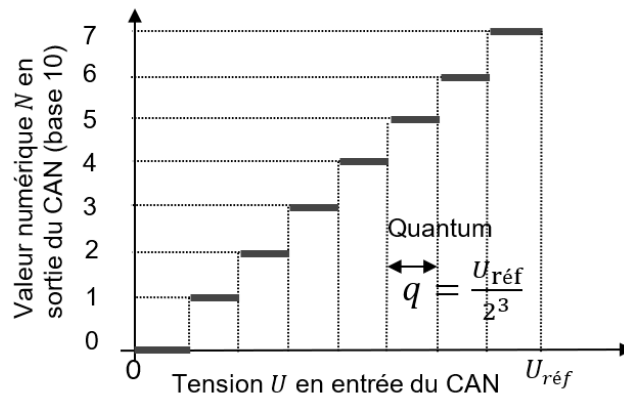


Figure 4 : exemple de la caractéristique d'un CAN à 3 bits.

**Q8.** Montrer que le quantum du CAN de 24 bits vaut  $q = \frac{U_{réf}}{2^{24}}$ . Calculer sa valeur en volts. Commenter l'intérêt d'avoir un quantum petit par rapport à  $U_{réf}$ .

**Q9.** Déterminer si 24 bits sont suffisants pour assurer la résolution indiquée.

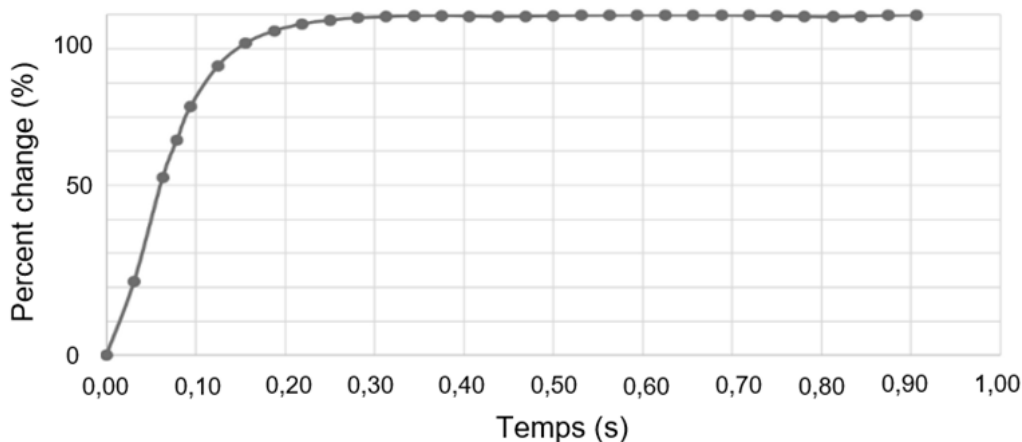
## Temps de réponse de la sonde

Le constructeur propose plusieurs types de sondes de température avec des temps de réponse différents :

- un type « rapide » : la thermistance est protégée par une enveloppe en acier inoxydable ;
- un type « standard » : la thermistance est protégée par une enveloppe plus épaisse en titane.

**Q10.** Proposer un argument qui explique la différence de temps de réponse entre les deux sondes.

Pour déterminer le temps de réponse de la sonde « rapide », le constructeur l'a soumise à une variation de température soudaine de  $-20\text{ °C}$ , en plongeant la sonde initialement à l'air libre ( $22\text{ °C}$ ) dans un bain-marie maintenu à  $2\text{ °C}$  (figure 5 ci-dessous). La date  $t = 0\text{ s}$  correspond au moment où on plonge la sonde dans le bain-marie.



Le « percent change » représente la variation de  $\frac{U}{U_{réf}}$  en fonction du temps, en pourcentage de sa variation totale.

Source <https://rbr-global.com/thermistor-time-response/>

Figure 5 : réponse de la sonde « rapide » à un échelon de température.

**Q11.** Évaluer le temps de réponse de la sonde « rapide », c'est-à-dire le temps qu'il faut à une variation de température pour passer de 0 % à 63 % de sa variation totale.

**Q12.** Expliquer l'intérêt, pour du profilage vertical, d'avoir une sonde de type « rapide ».

### A.1.2 Estimation de la profondeur par mesure de pression

Une sonde CTD ne mesure pas directement la profondeur mais l'estime à partir de la pression. Cette partie étudie l'estimation de la profondeur  $h$  à partir de la mesure de la pression  $p$  dans l'eau.

Dans ce sujet, l'eau de mer est modélisée comme un fluide incompressible au repos de masse volumique  $\rho$  uniforme. L'intensité de la pesanteur est notée  $g$ .

**Donnée :**

- 1 bar =  $10^5$  Pa ;
- pression atmosphérique :  $p_0 = 1013$  hPa.

**Q13.** Énoncer le principe de la statique des fluides pour les fluides incompressibles.

**Q14.** En déduire l'expression de la profondeur  $h$  en fonction de la pression  $p$  dans l'eau, de la pression atmosphérique  $p_0$ , de la masse volumique de l'eau de mer  $\rho$  et de l'intensité de la pesanteur  $g$ .

### Incertitude-type sur la profondeur

Une sonde CTD est utilisée pour réaliser une mesure de pression dans l'eau de mer. Pour cela elle est descendue dans l'eau au bout d'un câble. D'après la documentation du fabricant de la sonde, la pression maximale mesurable est de 500 dbar (500 décibars), et l'incertitude-type sur la mesure de la pression vaut 0,03 % de cette pression maximale.

Pour déterminer l'incertitude-type sur la profondeur à partir de l'incertitude-type sur la pression, on utilise un programme en langage Python (fourni en ANNEXE 1).

**Donnée :** comparaison du résultat d'une mesure et de la valeur de référence

On dispose de deux valeurs :

- résultat d'une mesure  $x_{\text{mes}}$  et son incertitude-type  $u(x_{\text{mes}})$  ;
- valeur de référence  $x_{\text{ref}}$ .

Pour comparer ces valeurs, il faut calculer l'écart normalisé  $E$  suivant :  $E = \frac{|x_{\text{mes}} - x_{\text{ref}}|}{u(x_{\text{mes}})}$ .

Si  $E < 2$  alors nous considérons que la mesure est compatible avec la valeur de référence.

**Q15.** Lire le programme en langage Python en ANNEXE 1 et répondre aux questions suivantes sur la copie :

- Lignes 8 et 9 : compléter les lignes de code (cachées par le rectangle noir).
- Ligne 24 : compléter la ligne de code (cachée par le rectangle noir).

Suite à l'exécution du programme, on obtient :

```
Profondeur estimée h : 312.8088078926774 m
Incertitude-type sur h : 0.14840018615066958 m
```

**Q16.** Présenter le résultat de la mesure avec son incertitude-type de manière cohérente en termes de chiffres significatifs. L'incertitude-type sera donnée avec 1 chiffre significatif.

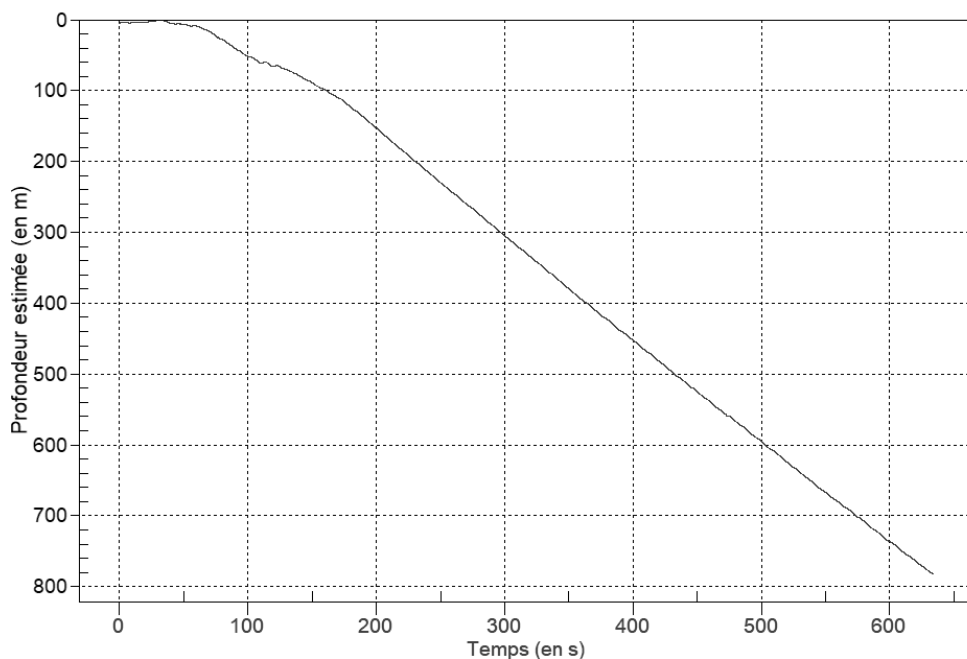
À des fins de comparaison, on réalise une mesure simultanée de la pression avec une sonde de référence, à la même profondeur. Cette dernière affiche une valeur de 312,63 m.

**Q17.** Déterminer si la mesure de la sonde étudiée est compatible avec celle de la sonde de référence.

## A.2 Réalisation d'un profil vertical au large des îles Féroé

Dans une zone où les eaux froides et denses des régions arctiques s'écoulent dans le fond océanique atlantique, une sonde suspendue au bout d'un câble a été immergée verticalement depuis un navire à l'aide d'un treuil contrôlant sa vitesse de descente. Ceci a permis d'enregistrer, à une fréquence de 24 Hz, des mesures de température, de pression et de salinité.

La figure 6 ci-dessous représente l'évolution de la profondeur estimée de la sonde en fonction du temps lors de la descente de la sonde.



Source : Données Sea-Bird Scientific

**Figure 6 : profondeur estimée de la sonde en fonction du temps.**

**Q18.** À l'aide de la figure 6, justifier qu'entre les instants 200 s et 400 s, la vitesse est constante.

**Q19.** Déterminer la vitesse de descente de la sonde entre ces deux instants.

### Résolution verticale du profil CTD

On appelle résolution verticale du profil CTD la différence de profondeur entre deux relevés successifs.

**Q20.** Entre les instants 200 s et 400 s, en déduire la résolution verticale  $\Delta h$  du relevé de la figure 6.

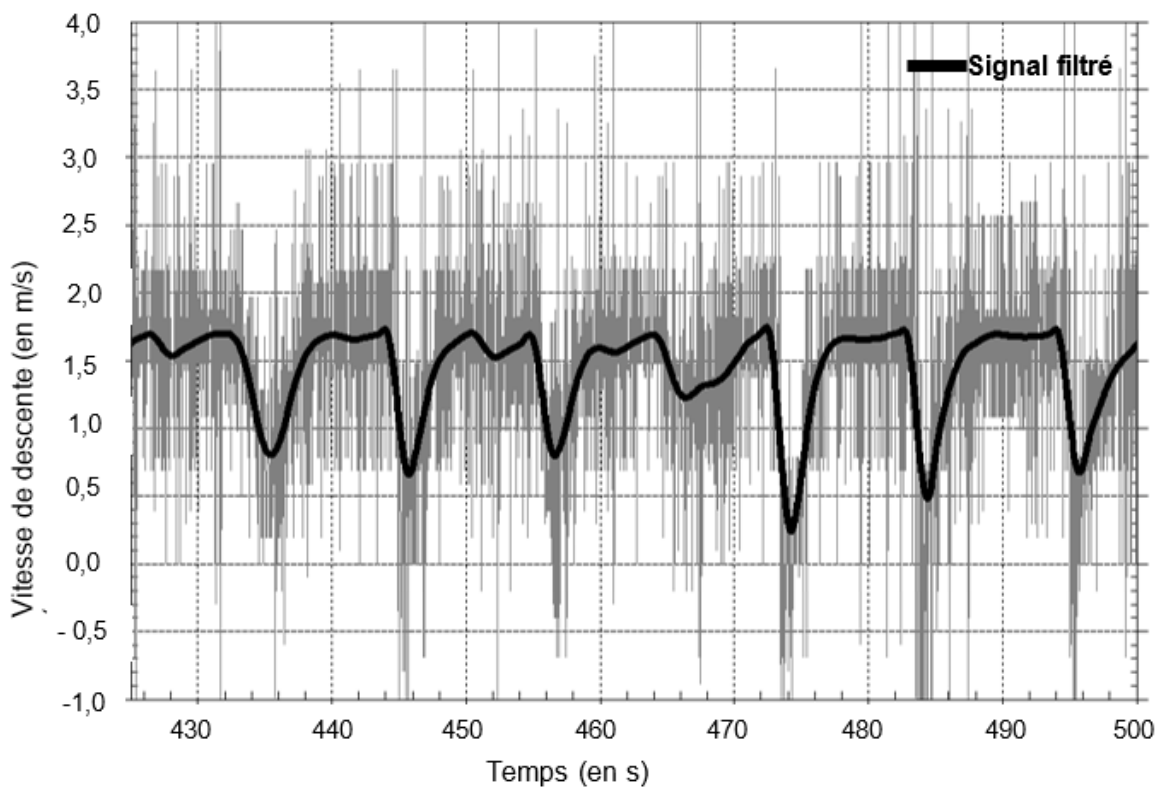
**Q21.** Proposer une méthode pour diminuer la résolution au cours de la descente en jouant sur la fréquence d'échantillonnage et la vitesse de descente de la sonde.

### Influence de l'état de la mer

Certaines anomalies des profils CTD peuvent être expliquées par les mouvements du navire engendrés par la houle.

La figure 7 ci-dessous montre l'estimation de la vitesse de descente de la sonde, obtenue par calcul d'après les mesures de pression, lorsque la vitesse de déroulement du câble est constante.

Le signal obtenu (en gris) est très bruité, il est donc ensuite filtré (signal en noir).



Source : Données Sea-Bird Scientific

**Figure 7 : estimation de la vitesse de descente de la sonde.**

- Q22.** Indiquer la nature du filtre qui a permis d'obtenir le signal filtré à partir du signal bruité (passe-bas, passe-bande ou passe-haut) et représenter l'allure du gabarit d'un tel filtre.
- Q23.** Indiquer si le relevé a été réalisé un jour de houle. Si oui, estimer la période de la houle.

## B. Mesure du dioxygène dissout dans l'eau de mer

Il est crucial de déterminer la concentration en dioxygène dissout dans les mers et océans car elle est un indicateur de la santé des écosystèmes marins mais aussi de la pollution et des déséquilibres biologiques. Sa dépendance à la température des océans rend sa mesure incontournable dans le cadre du suivi des effets du changement climatique.

Deux méthodes de dosages du dioxygène dissout seront étudiées ici : la méthode chimique de Winkler et la méthode optique par luminescence.

### B.1 Dosage du dioxygène dissout par la méthode de Winkler

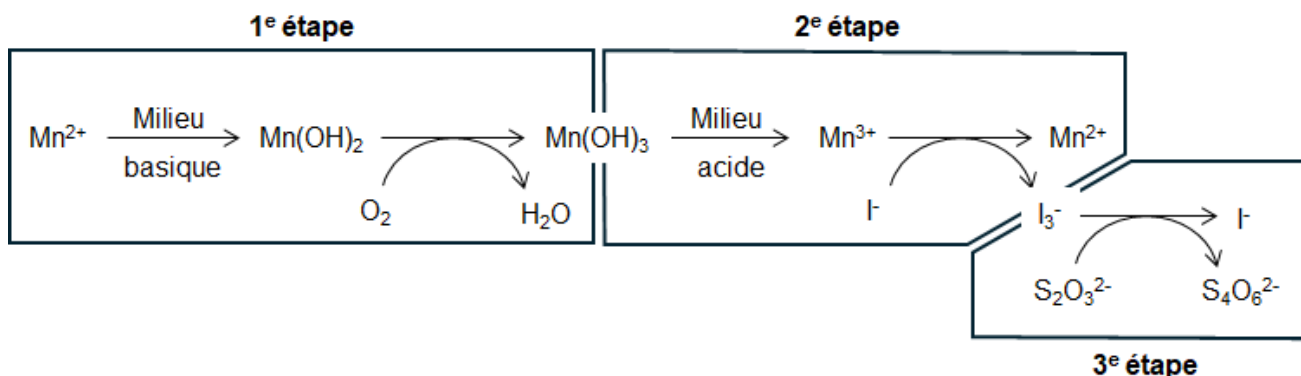
Les mesures de concentration en oxygène dissout dans les systèmes aquatiques ont été rendues possibles dès la fin du 19<sup>ème</sup> siècle grâce à la mise en place par Ludwig Wilhelm Winkler d'une méthode qui porte aujourd'hui son nom. Elle est très fiable et est en particulier préconisée par la norme internationale ISO 5813-1983.

Dans cette partie, nous nous intéressons au principe du dosage de Winkler. Ce dosage est basé sur la réactivité des espèces suivantes :

Ion manganèse (II) $Mn^{2+}(aq)$	Ion manganèse (III) $Mn^{3+}(aq)$	Hydroxyde de manganèse (II) $Mn(OH)_2(s)$	Hydroxyde de manganèse (III) $Mn(OH)_3(s)$ .
-------------------------------------	--------------------------------------	--	---

**Q24.** Justifier la valeur des nombres d'oxydation (indiqués en chiffres romains) qui terminent les noms des quatre espèces chimiques.

Le principe simplifié du dosage de Winkler peut être décomposé en 3 étapes. Les transformations chimiques mises en jeu dans chaque étape sont modélisées ci-dessous :



**Données à 25°C :**

- $\frac{RT}{F} \times \ln x = 0,06 \times \log x$  avec  $R$  constante des gaz parfaits,  $T$  température (en K),  $F$  constante de Faraday et 0,06 (facteur numérique en V)
- Potentiels standard des couples d'oxydoréduction :

Couples	$I_3^- (aq) / I^- (aq)$	$Mn(OH)_3 (s) / Mn(OH)_2 (s)$	$O_2 (aq) / H_2O (\ell)$	$Mn^{3+} (aq) / Mn^{2+} (aq)$
$E^\circ (V)$	0,54	0,98	1,23	1,51

- Produit ionique de l'eau à 25 °C :  $pK_e=14$ .

### Première étape : formation de $\text{Mn(OH)}_3$

À un volume  $V_0$  d'eau de mer, sont ajoutés une solution aqueuse de sulfate de manganèse (II) ( $\text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Cl}^{-}(\text{aq})$ ) et une solution contenant deux solutés : de l'iodure de potassium ( $\text{K}^{+}(\text{aq}) + \text{I}^{-}(\text{aq})$ ) et de l'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^{+}(\text{aq}) + \text{OH}^{-}(\text{aq})$ ).

Il se forme d'abord un précipité d'hydroxyde de manganèse (II),  $\text{Mn(OH)}_2(\text{s})$ .

Puis on observe la formation d'un précipité brun d'hydroxyde de manganèse (III),  $\text{Mn(OH)}_3(\text{s})$ .

**Q25.** Écrire l'équation de la réaction chimique modélisant la formation du précipité  $\text{Mn(OH)}_2(\text{s})$ .

**Q26.** Écrire la demi-équation électronique associée au couple  $\text{Mn(OH)}_3(\text{s}) / \text{Mn(OH)}_2(\text{s})$  en milieu acide.

**Q27.** Montrer qu'à  $\text{pH} = 14$ , le potentiel à l'équilibre du couple  $\text{Mn(OH)}_3(\text{s}) / \text{Mn(OH)}_2(\text{s})$  est de 0,14 V.

À  $\text{pH} = 14$ , le potentiel à l'équilibre du couple  $\text{O}_2(\text{aq}) / \text{H}_2\text{O}(\ell)$  est de 0,39 V.

**Q28.** Montrer que l'oxydation du manganèse au nombre d'oxydation II par le dioxygène ne peut se faire qu'en milieu basique et non en milieu acide.

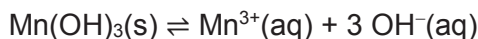
La transformation chimique entre le dioxygène dissout dans l'eau de mer et l'hydroxyde de manganèse (II),  $\text{Mn(OH)}_2(\text{s})$ , est totale et est réalisée en présence d'un excès de  $\text{Mn(OH)}_2(\text{s})$ .

**Q29.** En vous appuyant sur les deux demi-équations électroniques, établir qu'une mole de dioxygène dissout  $\text{O}_2(\text{aq})$  conduit à la formation de quatre moles d'hydroxyde de manganèse (III),  $\text{Mn(OH)}_3(\text{s})$ .

### Deuxième étape : formation des ions triiodure $\text{I}_3^{-}$

Le milieu est acidifié jusqu'à  $\text{pH} = 0$ . Le précipité brun  $\text{Mn(OH)}_3(\text{s})$  se dissout.

L'équation modélisant la réaction de dissolution de  $\text{Mn(OH)}_3$  dans l'eau est :



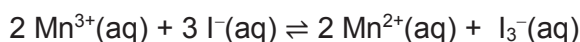
**Donnée :** à 25 °C, le produit de solubilité de  $\text{Mn(OH)}_3$  modélisé par l'équation ci-dessus est  $\text{p}K_S = 35,7$ .

**Q30.** Exprimer le produit de solubilité  $K_S$  de  $\text{Mn(OH)}_3(\text{s})$  en fonction des concentrations en ions dissouts.

**Q31.** Montrer que à  $\text{pH} = 0$  et pour des concentrations de  $\text{Mn}^{3+}$  obtenues inférieures à  $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , le précipité  $\text{Mn(OH)}_3$  est totalement dissout à  $\text{pH} = 0$ .

Les ions manganèse (III) formés,  $\text{Mn}^{3+}(\text{aq})$ , sont ensuite réduits en ions manganèse (II),  $\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$ , par les ions iodure,  $\text{I}^{-}(\text{aq})$ , ajoutés en excès lors de la 2<sup>e</sup> étape. La transformation chimique est réalisée à  $\text{pH}=0$ .

L'équation de la réaction modélisant cette transformation chimique peut s'écrire :

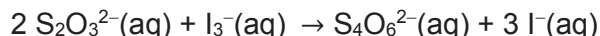


**Q32.** À l'aide des potentiels standard proposés, calculer la constante  $K$  de cet équilibre chimique. Conclure quant à l'utilisation de cette réaction au cours d'un dosage.

### Troisième étape : dosage des ions triiodure $I_3^-$

Les ions triiodure formés,  $I_3^-(aq)$ , sont finalement dosés par un volume  $V_{\text{éq}}$  de solution d'ions thiosulfate,  $S_2O_3^{2-}(aq)$ , de concentration en quantité de matière  $C$  en présence d'empois d'amidon.

L'équation de la réaction modélisant cette transformation peut s'écrire :



**Donnée :** les solutions d'empois d'amidon prennent une coloration brune en présence d'ions triiodure  $I_3^-(aq)$ .

- Q33.** Préciser, en justifiant, le changement de couleur observé au cours de cette étape.  
*On négligera les éventuelles colorations autres que celles liées à la présence d'empois d'amidon.*
- Q34.** En vous appuyant sur la question Q29 et les équations de réaction proposées, recopier sur la copie et compléter la phrase suivante :
- « Pour 1 mol de dioxygène réduite, il y a formation de ..... mol de  $Mn(OH)_3(s)$  ; ce qui conduit à la formation de .... mol d'ions  $Mn^{3+}(aq)$  et donc de .... mol d'ions triiodure  $I_3^-(aq)$  qui seront dosés par .... mol d'ions thiosulfate  $S_2O_3^{2-}(aq)$  ».
- Q35.** Établir la relation littérale permettant de calculer la concentration en quantité de matière en dioxygène dissout  $C(O_2)$  en fonction du volume initial d'eau de mer  $V_0$ , du volume équivalent  $V_{\text{éq}}$  et de la concentration  $C$ .  
*On négligera les apports de dioxygène par les solutions autres que l'eau de mer.*

## B.2 Dosage du dioxygène dissout par sonde optique

La méthode de Winkler ne permet que des mesures discrètes sur des prélèvements d'eau de mer. Aussi, des sondes ont été développées pour estimer la concentration en oxygène dissout in situ et en continu.

Dans cette partie, nous détaillerons le principe des sondes optiques.



Source : [www.rbr-global.com](http://www.rbr-global.com)

Une sonde optique comporte une membrane en contact avec l'eau de mer.

Cette membrane contient une substance dont les propriétés optiques dépendent de la concentration en dioxygène dissout dans l'eau de mer.

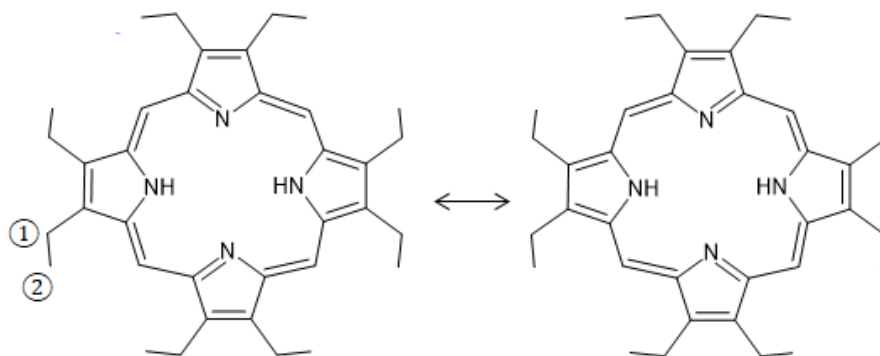
Cette substance, appelée luminophore, est le plus souvent une molécule complexe formée de platine et de 2,3,7,8,12,13,17,18-octaéthylporphyrine (OEP).

### Données :

- Masses molaires atomiques :  
 $M(H)=1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;  $M(C)=12,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;  $M(N)=14,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .
- Formule brute de la molécule OEP (2,3,7,8,12,13,17,18-octaéthylporphyrine) :  $C_{36}H_{46}N_4$
- Formule brute du **composé C** :  $C_{11}H_{20}N_2$

## B.2.1 Structure et synthèse de l'OEP

Deux représentations pour l'OEP sont proposées ci-dessous.



Représentation A de OEP

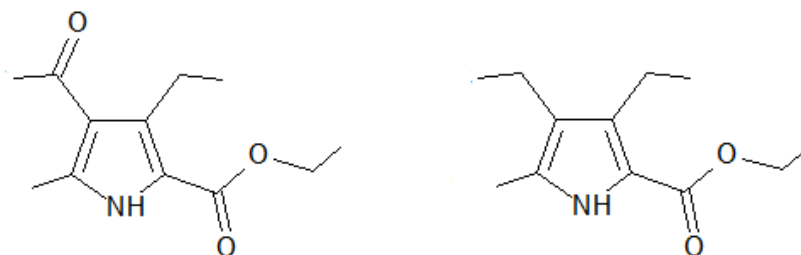
Représentation B de OEP

**Q36.** Indiquer la relation qui existe entre ces deux représentations A et B.

**Q37.** Indiquer la multiplicité des signaux RMN  $^1\text{H}$  attendue pour les atomes d'hydrogène portés par les atomes de carbone repérés par ① et ② sur la représentation A.

En 1968, H. W. Whitlock et R. Hanauer publient une méthode de synthèse<sup>1</sup> pour l'OEP en plusieurs étapes. Seules la première et la dernière étape sont étudiées dans cette partie.

La première étape de cette synthèse permet l'obtention du 3,4-diéthyl-méthylpyrrole-2-carboxylate d'éthyle (composé **B**) à partir du composé **A** représentés ci-dessous.



Composé A

Composé B

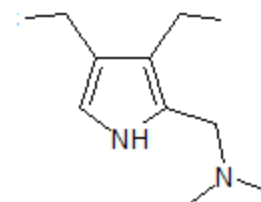
**Q38.** Sur la formule topologique du composé **A** donnée **DOCUMENT-RÉPONSE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**, entourer et nommer les fonctions oxygénées.

**Q39.** Indiquer le type de réaction chimique qui conduit du composé **A** au composé **B**.

La dernière étape de la synthèse permet l'obtention de l'OEP à partir du composé **C** représenté ci-contre.

Cette dernière étape est parfois qualifiée de « tétramérisation » car elle implique la condensation de quatre molécules de composé **C** pour l'obtention d'une molécule d'OEP.

Elle se produit par chauffage à reflux d'une solution de composé **C** dans de l'acide éthanoïque pur, sous un barbotage de dioxygène et une forte agitation. Un précipité sombre se forme.

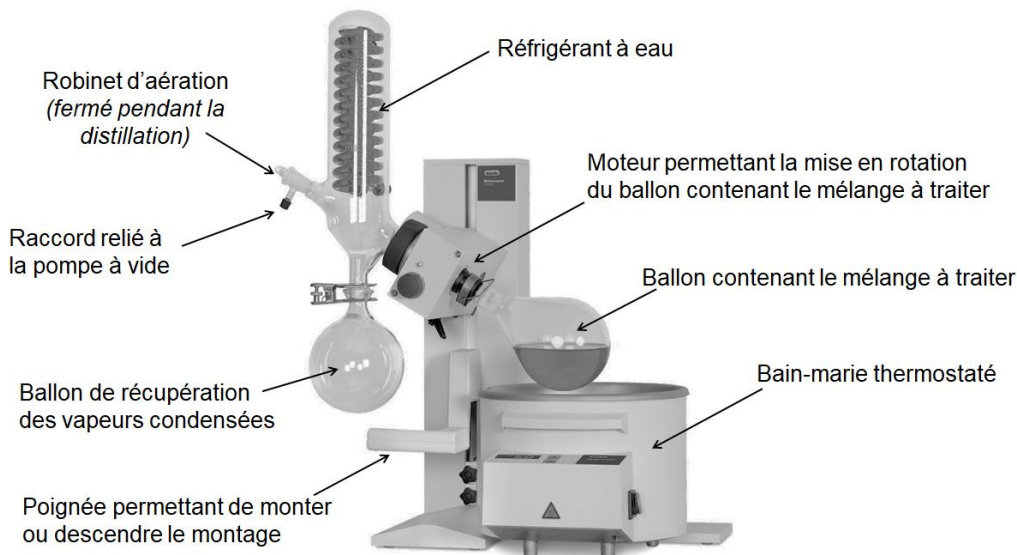


Composé C

<sup>1</sup> *The Journal of Organic Chemistry*, may 1968, vol 33(5), pages 2169 – 2170

**Q40.** Sur le schéma du montage donné **DOCUMENT-RÉPONSE 1** À RENDRE AVEC LA COPIE, indiquer dans les cadres le nom et le rôle du matériel fléché et indiquer le sens de circulation de l'eau dans le réfrigérant.

Au bout d'une heure, le mélange est refroidi puis l'acide éthanoïque est éliminé par distillation sous pression réduite. Cette opération est réalisée dans un évaporateur rotatif tel que celui représenté ci-après.



Source <https://www.buchi.com/fr/produits/instruments/rotavapor-r-100>

### Description d'un évaporateur rotatif

**Q41.** Indiquer, en justifiant votre réponse, si cette distillation est une distillation simple ou une distillation fractionnée.

**Q42.** Expliquer quel est l'intérêt de réaliser la distillation sous pression réduite.

Le résidu de distillation, composé d'OEP impur, est mis en suspension dans 500 mL de méthanol puis filtré. Le solide obtenu est ensuite recristallisé avec un minimum de toluène.

**Q43.** Écrire un mode opératoire succinct pour cette recristallisation.

Par cette méthode de « tétramérisation », le traitement de 61,0 g de composé **C** conduit à l'obtention de 23,5 g d'OEP recristallisée.

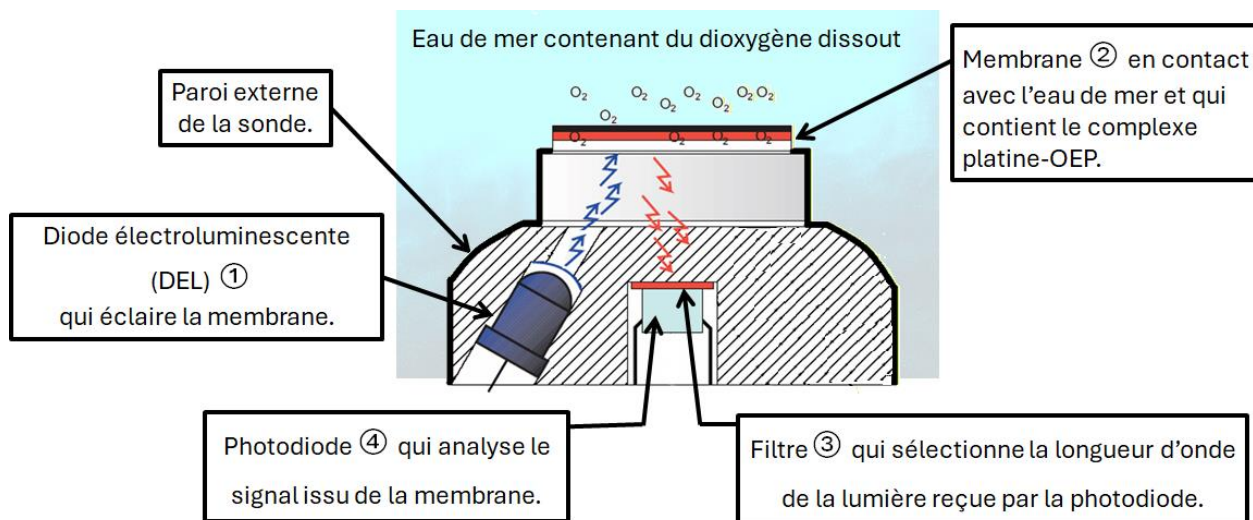
**Q44.** Déterminer le rendement de cette réaction. Conclure.

### B.2.2 Luminescence du complexe platine-OEP et constitution de la sonde optique

La membrane contient un complexe Pt-OEP luminescent. Excité par absorption de photons de courte longueur d'onde, proche de 400 nm (dans le bleu), le complexe émet des photons de plus grande longueur d'onde, proche de 600 nm (dans le rouge). Ce phénomène d'émission est appelé luminescence et le complexe Pt-OEP est un luminophore.

Lorsque la membrane est en contact avec le dioxygène dissout dans l'eau de mer, celui-ci migre dans la membrane et se fixe au complexe Pt-OEP. Le spectre d'émission par luminescence est alors modifié. Ce spectre dépend ainsi de la concentration en dioxygène dissout de l'eau de mer qui est à son contact.

La sonde optique, décrite figure 8 ci-dessous, comporte donc une source de lumière excitatrice (DEL ①) qui éclaire la membrane ②. Le luminophore contenu dans la membrane émet alors un rayonnement qui est capté par la photodiode ④. Le filtre ③ permet de sélectionner le rayonnement émis par le luminophore.



D'après <https://archimer.ifremer.fr/doc/00175/28629/27054.pdf>

**Figure 8 : schéma de principe d'une sonde optique pour la détection de dioxygène dissout.**

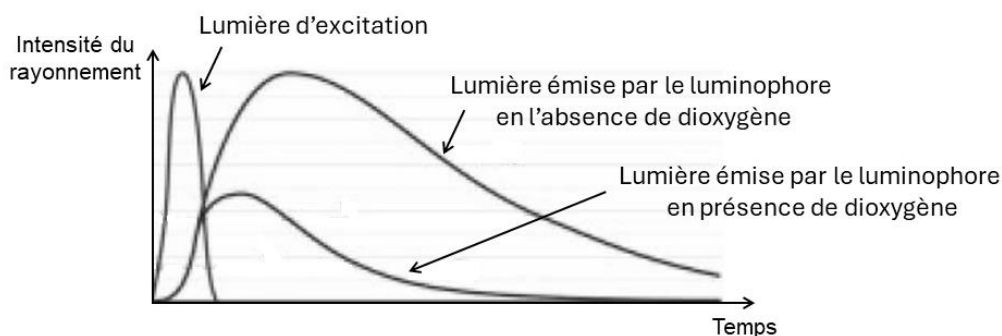
**Données :**

- Énergie d'un photon  $E$  (en J) :  $E = \frac{hc}{\lambda}$   
avec la constante de Planck  $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$  ; la célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ; et la longueur d'onde  $\lambda$  (en m) du photon.

**Q45.** Indiquer la couleur de la DEL émettrice ① et la couleur du filtre ③ qui sont utilisées.

**Q46.** Évaluer l'énergie des photons émis par la DEL ① et la comparer à celle des photons émis par luminescence.

En pratique, la membrane de la sonde optique est éclairée par la lumière d'excitation (DEL ①) pendant un temps court et le rayonnement émis par luminescence est capté par la photodiode ④. La figure 9 ci-dessous montre l'effet de la présence de dioxygène à la surface de la membrane sur l'intensité du rayonnement émis à la longueur d'onde sélectionnée par le filtre au cours du temps.



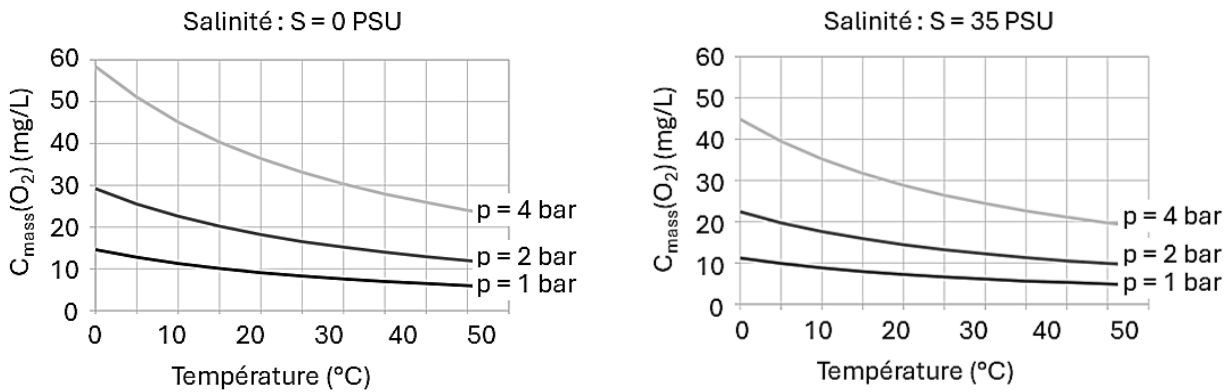
D'après : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00175/28629/27054.pdf>

**Figure 9 : influence de la présence de dioxygène sur le rayonnement émis par la membrane.**

**Q47.** Par analyse de la figure 9, indiquer comment le rayonnement émis par luminescence de la membrane est affecté par la présence de dioxygène.

### B.3 Résultats expérimentaux

Des études menées en laboratoire permettent d'évaluer l'influence de la température, de la pression et de la salinité de l'eau sur la solubilité du dioxygène. Des résultats sont proposés sur la figure 10.



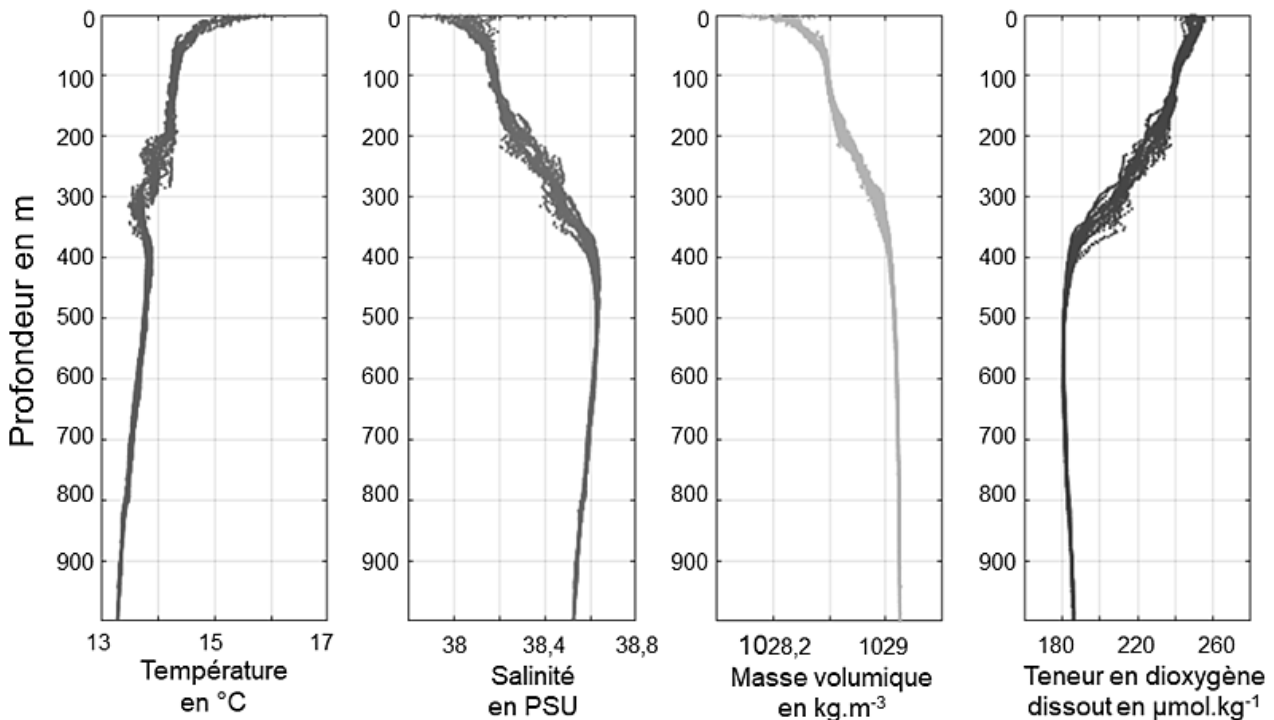
La salinité s'exprime en PSU. 1PSU correspond à 1g de chlorure de sodium dissout par kilogramme d'eau.  
D'après [https://www.engineeringtoolbox.com/oxygen-solubility-water-d\\_841.html](https://www.engineeringtoolbox.com/oxygen-solubility-water-d_841.html)

**Figure 10 : évolution de la concentration en masse maximale en dioxygène dissout dans l'eau en fonction de la température pour deux échantillons de salinité différentes.**

**Q48.** Analyser la figure 10 pour évaluer l'influence sur la concentration en masse maximale du dioxygène dissout dans l'eau de chaque paramètre (température, pression et salinité) pris indépendamment.

En conditions réelles, c'est-à-dire dans les mers et océans, il n'est pas possible de ne faire varier qu'un seul paramètre.

La figure 11 ci-dessous présente les profils de température, salinité, masse volumique et teneur en dioxygène dissout en fonction de la profondeur en mer Méditerranée près de Villefranche sur Mer.



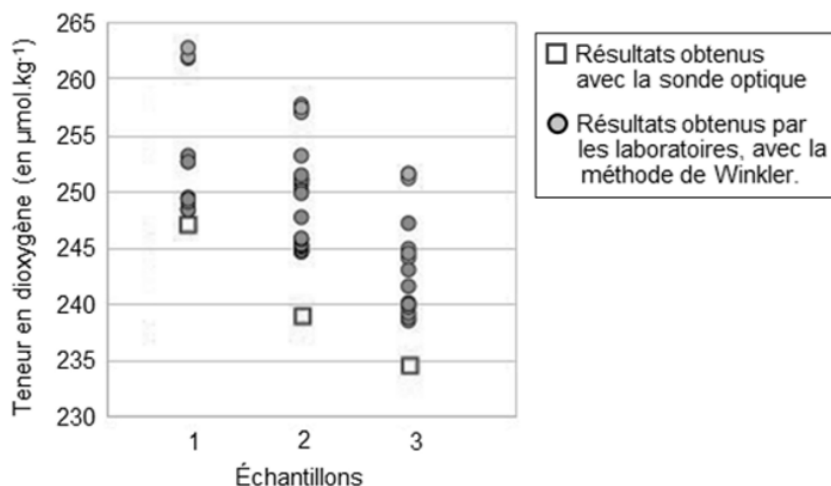
La salinité s'exprime en PSU. 1PSU correspond à 1g de chlorure de sodium dissout par kilogramme d'eau.  
D'après : dossier scientifique Winklex

**Figure 11 : profils relevés près de Villefranche sur Mer.**

**Q49.** À l'aide de la figure 11, indiquer comment varient la température, la salinité et la teneur en dioxygène quand la profondeur augmente.  
Indiquer si ces résultats reflètent les observations en laboratoire (résultat de la question précédente).

Les mesures des teneurs en dioxygène dissout sont délicates à réaliser. Les résultats peuvent donc parfois présenter une dispersion importante. Le projet WINKLEX mené à Villefranche sur Mer a permis à plusieurs laboratoires de comparer leurs résultats entre eux et également à ceux obtenus par une sonde optique dans l'objectif de consolider leurs résultats.

Une série de résultats est présentée sur la figure 12 ci-dessous.



Source : [www.mercator-ocean.eu/2019/06/51-Wagener\\_WINKLEX\\_GMMC2019.pdf](http://www.mercator-ocean.eu/2019/06/51-Wagener_WINKLEX_GMMC2019.pdf)

**Figure 12 : teneur en dioxygène de trois prélèvements d'eau de mer.**

- Q50.** Commenter les résultats obtenus avec la sonde optique.
- Q51.** Pour l'échantillon 3, évaluer la dispersion des résultats obtenus par les laboratoires et proposer une valeur envisageable pour la teneur en dioxygène dissout dans l'eau.
- Q52.** En vous appuyant sur la figure 11 et sur votre réponse à la question Q51, estimer la profondeur à laquelle a été prélevé l'échantillon 3.

L'essentiel des populations de poissons vivent dans des eaux de concentration en dioxygène dissout comprises entre 6,5 et 14 mg·L<sup>-1</sup>. En dessous d'une concentration de 5,5 mg·L<sup>-1</sup>, le milieu est néfaste à la plupart des poissons et en dessous de 4,0 mg·L<sup>-1</sup> aucun poisson ne vit<sup>1</sup>.

**Donnée :** masse molaire atomique de l'oxygène  $M(O)=16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

- Q53.** En considérant que l'échantillon 3 a été prélevé à 100 m de profondeur, déterminer si la teneur en dioxygène dissout mesurée convient à beaucoup de poissons.

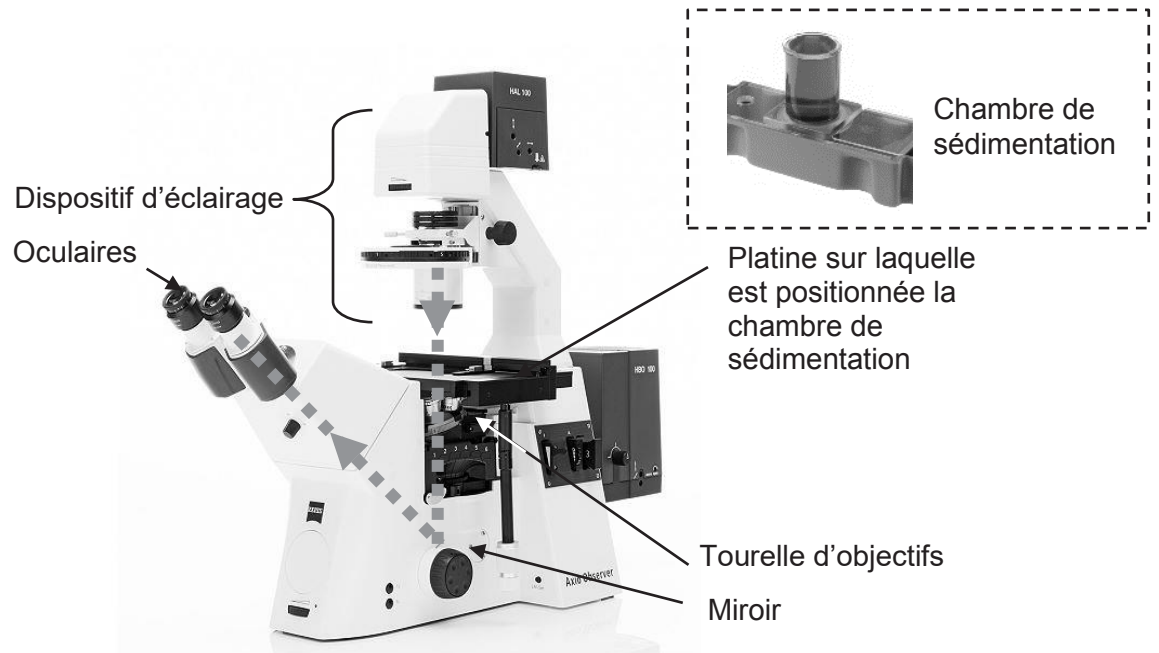
<sup>1</sup> D'après [https://climatoscope.ca/wp-content/uploads/2024/09/Le\\_Climatoscope\\_Num6\\_2024\\_7-Guegen.pdf](https://climatoscope.ca/wp-content/uploads/2024/09/Le_Climatoscope_Num6_2024_7-Guegen.pdf)

## C. Observation du phytoplancton au microscope inversé corrigé à l'infini

Premier maillon des chaînes alimentaires marines et véritable pompe biologique à dioxyde de carbone, le phytoplancton fait l'objet d'une surveillance et d'études approfondies. Pour une identification et un dénombrement des populations de phytoplancton en laboratoire, des échantillons d'eau de mer sont prélevés. Après décantation dans des cuves spécifiques appelées « chambres à sédimentation », on procède à l'observation du phytoplancton qui s'est déposé au fond de la cuve. L'observation se fait donc par le dessous, avec un **microscope inversé** (figure 13).

De plus, le microscope qui nous intéresse est dit « corrigé à l'infini ». Un des grands intérêts de ces microscopes réside dans le fait qu'ils disposent d'un « espace infini » où les utilisateurs peuvent insérer divers dispositifs optiques comme des filtres, des miroirs, des polariseurs, sans détériorer l'image finale.

### C.1 Principe du microscope inversé « corrigé à l'infini »

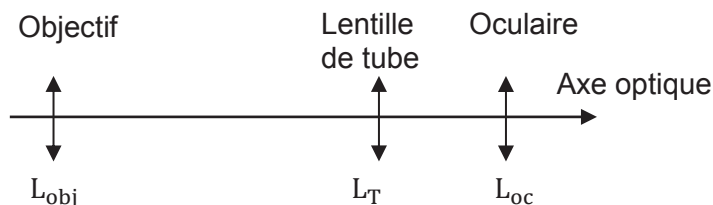


Source : <https://www.micro-shop.zeiss.com> et [www.bionef.fr](http://www.bionef.fr)

Les pointillés gris représentent le sens de propagation de la lumière.

**Figure 13 : microscope inversé et chambre de sédimentation.**

Une modélisation simplifiée d'un microscope inversé corrigé à l'infini est proposée Figure 14 ci-dessous.



L'axe optique du microscope est représenté de façon rectiligne, alors qu'en réalité un miroir permet de dévier la lumière pour la rediriger vers les oculaires.

La modélisation s'appuie sur trois lentilles :

- l'objectif est modélisé par une lentille mince convergente notée  $L_{obj}$  de distance focale image  $f'_{obj}$  ;
- l'oculaire est modélisé par une lentille mince convergente notée  $L_{oc}$  de distance focale image  $f'_{oc}$  ;
- une lentille mince convergente dite « lentille de tube », notée  $L_T$  et de distance focale image notée  $f'_T$ , est placée entre l'objectif et l'oculaire.

**Figure 14 : modélisation du microscope corrigé à l'infini.**

Pour étudier ce microscope, on note  $AB$  l'objet à observer. L'objectif donne de  $AB$  une première image intermédiaire notée  $A_1B_1$  **située à l'infini**. La lentille de tube fournit une seconde image intermédiaire notée  $A_2B_2$ . Enfin, l'oculaire donne une image finale  $A_3B_3$ . Ceci est résumé par l'écriture :

$$AB \xrightarrow{L_{\text{obj}}} A_1B_1 \xrightarrow{L_{\text{T}}} A_2B_2 \xrightarrow{L_{\text{oc}}} A_3B_3$$

Le microscope est supposé réglé correctement pour un observateur sans défaut de vision et sans accommodation.  **$A_3B_3$  est donc situé à l'infini.**

**Q54.** Recopier sur la copie l'encadré ci-dessous en complétant chacun des 4 pointillés par une des 7 propositions suivantes :

plan focal objet de  $L_{\text{obj}}$  / plan focal objet de  $L_{\text{T}}$  / plan focal objet de  $L_{\text{oc}}$  /  
 plan focal image de  $L_{\text{obj}}$  / plan focal image de  $L_{\text{T}}$  / plan focal image de  $L_{\text{oc}}$  / à l'infini

$AB$	$\xrightarrow{L_{\text{obj}}}$	$A_1B_1$	$\xrightarrow{L_{\text{T}}}$	$A_2B_2$	$\xrightarrow{L_{\text{oc}}}$	$A_3B_3$
.....		.....		.....		à l'infini
				.....		

**Q55.** Compléter la construction d'optique du **DOCUMENT-RÉPONSE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE** en prolongeant les deux rayons issus de B, jusqu'à la sortie du microscope. Les rayons annexes seront indiqués en pointillés. L'image intermédiaire  $A_2B_2$  a été placée pour servir d'aide si besoin, mais il est attendu une construction complète.

Par définition, le grandissement de l'ensemble {objectif - lentille de tube} est  $\gamma = \frac{A_2B_2}{AB}$  .

**Q56.** Montrer que le grandissement de l'ensemble {objectif - lentille de tube} s'exprime par la relation :

$$\gamma = \frac{f'_T}{f'_{\text{obj}}}$$

Vous pourrez appuyer la démonstration sur la construction en annexe et y indiquer des angles si nécessaire.

**Q57.** On note  $d_m$  la distance minimale de vision nette de l'objet à l'œil nu. En raisonnant sur la construction en annexe, montrer que le grossissement commercial de l'oculaire vaut

$$G_{\text{oc}} = \frac{d_m}{f'_{\text{oc}}}$$

**Q58.** En déduire que le grossissement commercial du microscope s'écrit :

$$G = \gamma G_{\text{oc}}$$

## C.2 Champ de vision du microscope corrigé à l'infini

On utilise le microscope corrigé à l'infini avec l'objectif et l'oculaire représentés figure 15 ci-dessous.



Source <https://www.micro-shop.zeiss.com>

Le grandissement indiqué sur l'objectif tient compte de la présence de la lentille de tube, et correspond au grandissement de l'ensemble {objectif + lentille de tube}.

**Figure 15 : oculaire (à gauche) et objectif (à droite).**

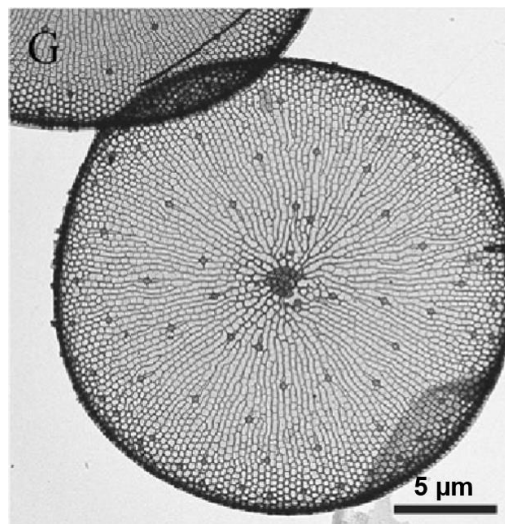
**Q59.** A l'aide de la relation donnée en Q58 et de la figure 15, calculer le grossissement commercial  $G$  du microscope.

Le champ de vision du microscope est limité par un diaphragme permettant d'éliminer les parties de l'image de mauvaise qualité. Le diamètre du champ observable (**dans le plan de l'image intermédiaire  $A_2B_2$** ) est nommé « indice de champ ». Il est indiqué sur l'oculaire :  $D_i = 23$  mm.

On montre que le diamètre  $D_o$  du champ de vision **dans le plan de l'objet (AB)** s'exprime par :

$$D_o = \frac{D_i}{\gamma}$$

On s'intéresse à une espèce de phytoplancton appelée *Thalassiosira gravida*, dont l'image réalisée avec un microscope électronique est reproduite sur la Figure 16.



Source : Balzano Sergio et al. (2017). Morphological and genetic diversity of Beaufort Sea. *Journal of Phycology*

**Figure 16 : thalassiosira gravida (microscope électronique).**

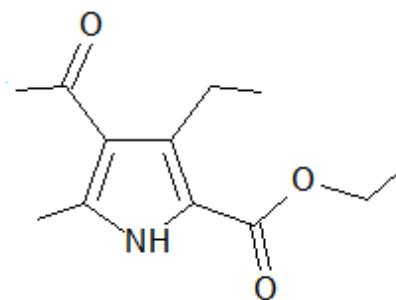
**Q60.** Déterminer si un individu de cette espèce de phytoplancton sera visible en entier dans le microscope corrigé à l'infini équipé avec les éléments de la figure 15. Si oui, évaluer quelle proportion du champ de vision il occupera (en diamètre), commenter.

## ANNEXE 1

Document relatif à la question **Q15**

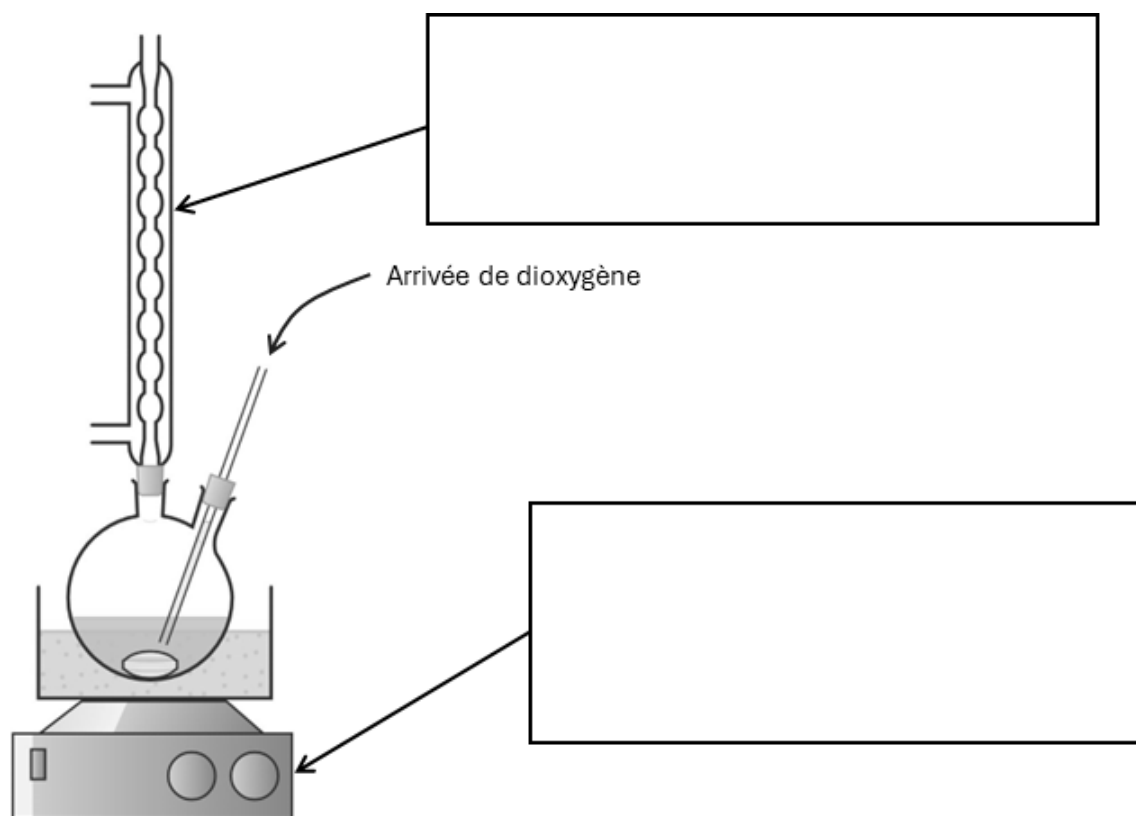
```
1 import numpy as np
2
3
4 # Paramètres
5
6 g = 9.81          # intensité de la pesanteur en m/s^2
7 rho = 1029       # masse volumique de l'eau de mer en kg/m^3
8 p_CTD_max = [REDACTED] # pression maximale mesurable par la sonde en Pa
9 u_p_CTD = [REDACTED] # incertitude-type sur la pression en Pa
10 p0 = 1013*100   # pression atmosphérique en Pa (1013 hPa)
11
12 # Mesure de la sonde
13
14 p_CTD = 3258943 # pression mesurée dans l'eau en Pa
15
16
17 # Nombre de simulations (algorithme de type Monte Carlo)
18 N = 1000000
19
20 # Tirages aléatoires de valeurs de pression simulées, selon une loi normale
21 p_CTD_sim = np.random.normal(p_CTD, u_p_CTD, N)
22
23 # Calcul de la profondeur h pour chaque pression simulée
24 h_sim = [REDACTED]
25
26 # Exploitation statistique
27 incertitude_type_profondeur = np.std(h_sim) # np.std() calcule l'écart-type
28 estim_profondeur = np.mean(h_sim) # np.mean() calcule la valeur moyenne
29
30 # Affiche les résultats
31 print("Profondeur estimée h :", estim_profondeur, "m")
32 print("Incertitude-type sur h :", incertitude_type_profondeur, "m")
```

Question Q38



Composé A

Question Q40





Question Q55

