

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

PHYSIQUE – CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 heures 30

Coefficient : 8

L'usage de la calculatrice électronique est autorisé

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 13 pages numérotées de 1 à 13, y compris celle-ci.

Les annexes (pages 11 à 13) sont à rendre avec la copie.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres :

Exercice I : Laboratoires en impesanteur (6,5 points)

Exercice II : Spectrophotométrie (5,5 points)

Exercice III : Dosage du dioxygène dissous dans l'eau (4 points)

EXERCICE 1 - Laboratoires en impesanteur (6,5 points)

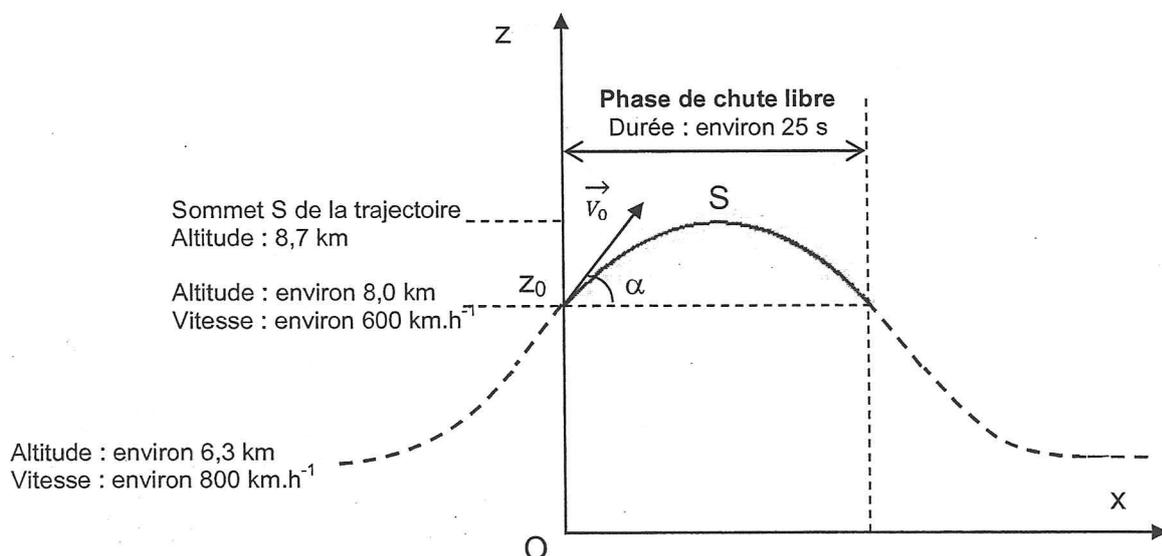
Au terme *apesanteur*, utilisé dans le langage courant, on préfère aujourd'hui celui d'*impesanteur*, en raison de la confusion orale entre «*la pesanteur*» et «*l'apesanteur*». L'étude de l'influence de la pesanteur sur certains phénomènes physiques, chimiques ou biologiques nécessite de disposer de laboratoires en impesanteur. Cette situation d'impesanteur est obtenue à bord d'un « véhicule » tombant en chute libre : l'Airbus « A300 zéro G » en vol parabolique ou la station spatiale internationale (ISS) en orbite autour de la Terre.

1^{ère} partie : Le vol parabolique de l'airbus "A300 zéro G"

Extrait d'un document scientifique du site *Educnet*.

"L'Airbus « Zéro G » qui est en vol horizontal à 6300 mètres d'altitude monte en se cabrant à 47°. Il est alors en hyper pesanteur [...]. Le pilote diminue ensuite la poussée des réacteurs de façon à juste compenser le frottement de l'air et l'avion entre en phase de chute libre dès 8000 mètres. Son contenu est en impesanteur. Son élan lui permet d'atteindre 8700 mètres puis il retombe (phase descendante de la parabole). Après avoir remis les gaz à 8000 mètres et retrouvé une phase d'hyper pesanteur l'avion reprend son vol horizontal à 6300 mètres. L'opération dure environ une minute pour obtenir 25 secondes d'impesanteur ou micropesanteur [...]."

<http://www.educnet.education.fr/orbito/pedago/zerog/zerog2.htm>



Le mouvement de l'avion de masse m est étudié pendant sa phase de chute libre dans le plan vertical xOz défini sur la figure précédente. Lors de cette phase, tout se passe comme si, en première approximation, l'avion n'était soumis qu'à la seule force de pesanteur.

A $t = 0$, l'altitude initiale est z_0 , la vitesse du centre d'inertie de l'avion est $v_0 = 6,0 \times 10^2 \text{ km.h}^{-1}$ et l'inclinaison du vecteur-vitesse initiale \vec{v}_0 par rapport à l'horizontale est $\alpha = 47^\circ$.

Le champ de pesanteur est supposé uniforme et de valeur $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$.

1.1 En appliquant la 2^{ème} loi de Newton à l'avion, déterminer l'expression du vecteur-accélération \vec{a} de son centre d'inertie. En déduire les coordonnées a_x et a_z de ce vecteur-accélération.

1.2.1 Etablir l'expression littérale des coordonnées $v_x(t)$ et $v_z(t)$ du vecteur-vitesse \vec{v} du centre d'inertie de l'avion à la date t .

1.2.2 Montrer que l'on peut considérer que les expressions numériques des coordonnées de ce vecteur-vitesse en unités SI (système international) vérifient :

$$v_x(t) = 1,1 \times 10^2 \quad \text{et} \quad v_z(t) = -9,8t + 1,2 \times 10^2$$

1.3. Au sommet S de la trajectoire la coordonnée verticale v_z du vecteur-vitesse du centre d'inertie de l'avion est nulle.

1.3.1 Expliquer pourquoi $v_z = 0$ en S.

1.3.2 En déduire à partir de l'expression de $v_z(t)$ établie à la question 1.2.2., que la durée de la phase ascendante de chute libre de l'avion est d'environ 12 s.

1.4.1 En utilisant les résultats de la question 1.2.2, établir les équations horaires $x(t)$ et $z(t)$ du mouvement de l'avion.

1.4.2 En déduire la valeur de l'altitude maximale atteinte par l'avion. Cette valeur est-elle compatible avec celle fournie dans l'extrait du document scientifique ?

2^{ème} partie : Caractéristiques du mouvement de la station ISS

La station spatiale internationale (ISS) est un gigantesque laboratoire spatial d'environ 400 tonnes, en orbite autour de la Terre à une altitude d'environ 350 km. L'équipage est généralement constitué de six astronautes restant en mission pendant plusieurs mois pour assurer des travaux de maintenance et des tâches scientifiques.

Le mouvement du centre d'inertie de la station ISS est étudié dans le référentiel géocentrique supposé galiléen. On note m la masse de l'ISS et z son altitude par rapport au sol terrestre. On considère que le satellite est en mouvement circulaire uniforme sous l'action de la seule force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre. L'objectif de cette partie est de vérifier quelques caractéristiques du mouvement de ce satellite.

Données :

Constante de gravitation universelle	$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$
Masse de la Terre	$M_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$
Rayon terrestre	$R_T = 6,4 \times 10^3 \text{ km}$
Altitude de l'ISS	$z = 3,5 \times 10^2 \text{ km}$

- 2.1** Représenter qualitativement, sur la figure en **annexe à rendre avec la copie**, la force \vec{F} d'attraction gravitationnelle s'exerçant sur la station spatiale. Donner l'expression littérale de la norme F de cette force d'attraction gravitationnelle.
- 2.2** En appliquant la 2^{ème} loi de Newton à la station spatiale, établir l'expression de la norme a du vecteur-accélération \vec{a} de son centre d'inertie. Représenter qualitativement ce vecteur-accélération \vec{a} sur la figure en **annexe à rendre avec la copie**.
- 2.3** On rappelle que pour un satellite en mouvement circulaire uniforme autour d'un astre, sur une orbite de rayon r , la norme a de l'accélération du centre d'inertie du satellite est liée à la vitesse orbitale v de ce dernier par la relation :

$$a = \frac{v^2}{r}$$

- 2.3.1** Etablir l'expression littérale de la norme de v de la vitesse du satellite en fonction des constantes G , M_T , R_T et de l'altitude z .
- 2.3.2** Calculer la valeur numérique de la vitesse orbitale du satellite.
- 2.3.3** Exprimer la période T de révolution du satellite en fonction de v , R_T et z .
- 2.3.4** Déterminer la valeur numérique de cette période de révolution. En déduire le nombre de révolutions effectuées chaque jour par la station spatiale.

3^{ème} partie : Comparaison

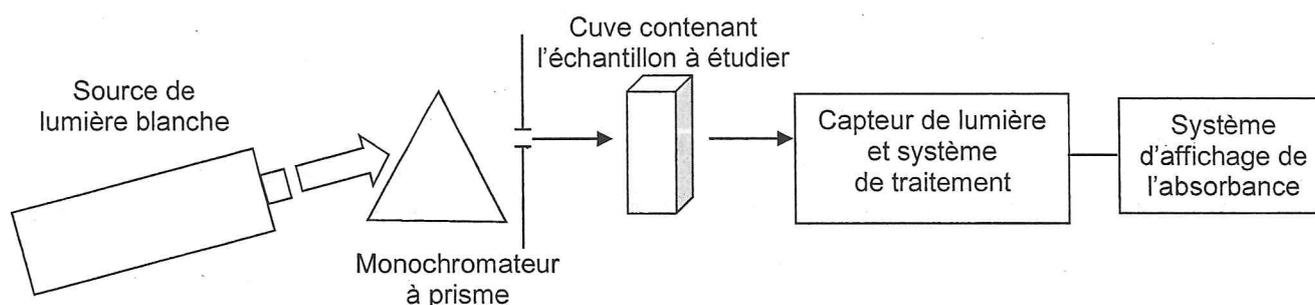
Quel est l'atout principal des expériences en impesanteur réalisées à bord de la station ISS par rapport à celles effectuées lors des vols paraboliques de l'airbus A300 Zéro-G ?

Exercice II – Spectrophotométrie (5,5 points)

La lumière est un « outil » précieux en chimie analytique. En effet, toute espèce chimique est susceptible d'interagir avec des radiations lumineuses. Par exemple, une espèce colorée X absorbe certaines radiations visibles.

Le principe de la spectrophotométrie repose sur la mesure de l'absorbance A de l'espèce X en solution dans un solvant Y. Cette grandeur A est le résultat de la comparaison de deux intensités lumineuses : celle d'une radiation monochromatique ayant traversé une cuve transparente contenant le solvant Y, et celle de la même radiation émergeant de la même cuve contenant la solution de l'espèce X dans le solvant Y.

Schéma de principe d'un spectrophotomètre à prisme



1^{ère} partie : Lumière et spectrophotométrie

- 1.1 Donner les valeurs limites des longueurs d'onde du spectre visible dans le vide et les couleurs correspondantes.
- 1.2 Situer, du point de vue de leur longueur d'onde, les rayonnements ultraviolets et infrarouges par rapport au spectre visible.
- 1.3 Le rôle du monochromateur dans un spectrophotomètre est de sélectionner une radiation monochromatique particulière. Donner la définition d'une lumière monochromatique.
- 1.4 Certains monochromateurs comportent un prisme de verre.
 - 1.4.1 Définir l'indice de réfraction n d'un milieu transparent.
 - 1.4.2 De quel paramètre caractéristique d'une radiation lumineuse dépend l'indice n pour un milieu transparent donné ?
 - 1.4.3 Le prisme de verre décompose la lumière blanche. Nommer le phénomène responsable de cette décomposition et le décrire brièvement en quelques lignes.
 - 1.4.4 Lors d'une réfraction air-verre, la déviation d'une radiation lumineuse est d'autant plus importante que la longueur d'onde de la radiation est faible. Sans faire de calcul, compléter la figure de la feuille annexe (à rendre avec la copie) en y faisant figurer le trajet d'un rayon lumineux bleu et d'un rayon rouge à l'intérieur du prisme et après sa sortie.

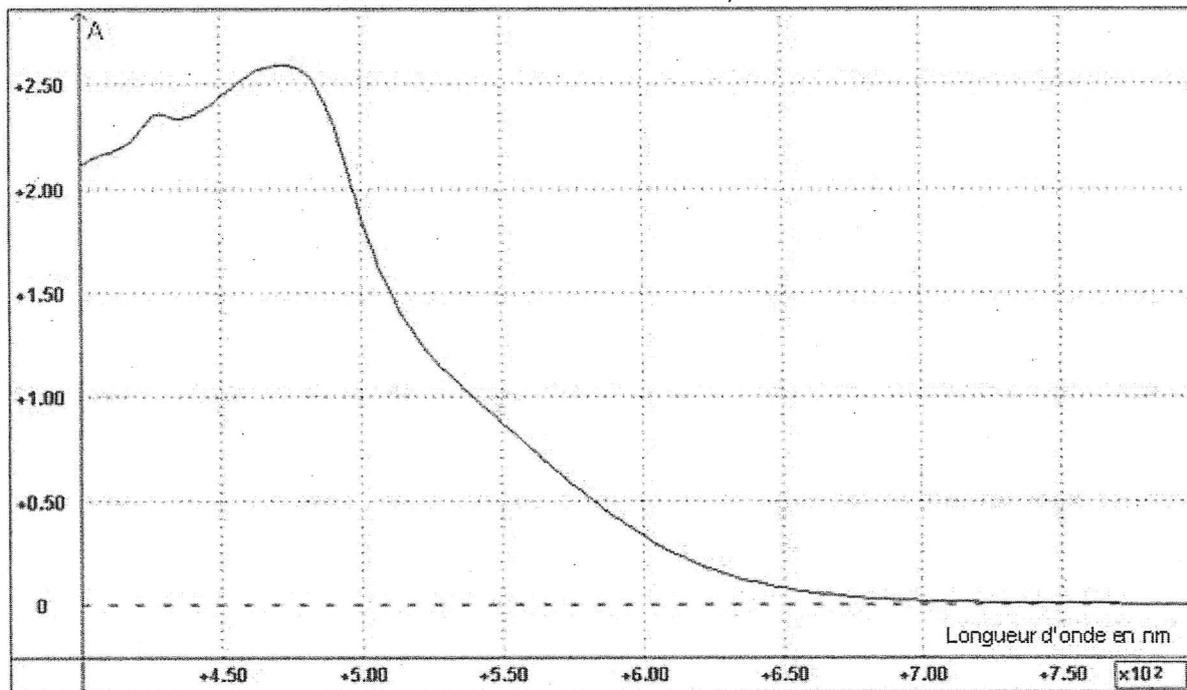
2^{ème} partie : Dosage colorimétrique par étalonnage

On se propose de déterminer la concentration en diiode dans une teinture d'iode officinale. On commence par diluer 200 fois la teinture d'iode (trop concentrée pour une étude spectrophotométrique directe). La solution aqueuse obtenue à l'issue de cette dilution est appelée solution S.

Par ailleurs, on dispose d'un ensemble de solutions aqueuses de diiode notées D_i (D_1 , D_2 , etc) de concentrations connues toutes différentes. Ces solutions ont des colorations proches de celle de la solution S.

Données :

Spectre d'absorption d'une solution aqueuse de diiode
de concentration molaire $c = 3,0 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$



Masse molaire atomique de l'iode : 127 g.mol^{-1}

Écart relatif entre une valeur expérimentale G_{exp} et une valeur attendue G_a d'une

grandeur quelconque G :
$$\frac{|G_{\text{exp}} - G_a|}{G_a}$$

2.1 On peut trouver expérimentalement un encadrement de la concentration en diiode de la solution S, sans utiliser un spectrophotomètre.

2.1.1 Expliquer brièvement la méthode.

2.1.2 Pourquoi lors de la mise en œuvre de cette méthode, faut-il que les récipients utilisés (tubes à essais ou béchers) soient tous identiques ?

2.2 A l'aide d'un spectrophotomètre, on mesure l'absorbance A_i de chaque solution D_i de diiode, puis celle de la solution S.

2.2.1 Donner la valeur d'une longueur d'onde qui vous paraît bien appropriée pour ces mesures. Justifier brièvement.

2.2.2 On obtient les résultats suivants :

Concentration C de la solution en $\mu\text{mol.L}^{-1}$	50	100	250	500	750	1000
Absorbance A de la solution	0,041	0,10	0,22	0,46	0,70	0,87

Absorbance de la solution S : $A = 0,78$.

La courbe d'étalonnage de l'absorbance en fonction de la concentration molaire C en diiode est fournie en annexe.

La relation entre l'absorbance A et la concentration C est appelée loi de Beer-Lambert. Elle s'écrit : $A = k \times C$ avec k une constante et C la concentration molaire de l'espèce colorée dans la solution. La courbe d'étalonnage obtenue est-elle en accord avec cette loi ? Justifier.

2.2.3 Déterminer graphiquement la concentration molaire $C_{S\text{-exp}}$ en diiode de la solution S. En déduire la concentration molaire C_{exp} en diiode de la teinture d'iode officinale.

2.3 La teinture d'iode officinale est étiquetée à 5,0 % en masse de diiode. Sa masse volumique est $\rho = 9,0 \times 10^2 \text{ g.L}^{-1}$.

2.3.1 A partir de ces données, vérifier que la concentration massique C_m en diiode attendue dans cette teinture est 45 g.L^{-1} .

2.3.2 En déduire la valeur de la concentration molaire attendue en diiode dans cette teinture. On la notera C_a .

2.3.3 Calculer l'écart relatif entre la valeur expérimentale C_{exp} à la valeur C_a . Conclure.

Exercice III - dosage du dioxygène dissous dans l'eau (4 points)

Dans les eaux naturelles, le dioxygène dissous est un facteur écologique essentiel. Il permet la respiration des êtres vivants aquatiques. Il provient de l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques et de la dissolution du dioxygène atmosphérique.

Une eau très aérée (comme celle d'un torrent) est généralement saturée en dioxygène, alors qu'une eau chargée en matières organiques est sous-saturée. En effet, la forte présence de matière organique dans une eau permet aux micro-organismes de se développer tout en consommant du dioxygène. La concentration en dioxygène dissous est donc un paramètre utile dans le diagnostic biologique d'une eau.

Le but de cet exercice est d'étudier le dosage du dioxygène dissous dans une eau par la méthode de Winkler.

Cette méthode comporte 3 étapes :

- 1^{ère} étape : réaction du dioxygène dissous avec un excès d'hydroxyde de manganèse (II).
- 2^{ème} étape : dissolution de l'hydroxyde de manganèse (III) créé lors de la 1^{ère} étape, puis formation de diiode par action d'une solution d'iodure de potassium en excès.
- 3^{ème} étape : dosage du diiode, formé lors de la 2^{ème} étape, par une solution de thiosulfate de sodium.

Données :

Masse molaire atomique de l'oxygène : 16 g.mol^{-1}

Couples oxydant/réducteur :

Ion manganèse (III) / ion manganèse (II)	$\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{2+}$
Diiodide / ion iodure	I_2/I^-
Ion tétrathionate / ion thiosulfate	$\text{S}_4\text{O}_6^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$

Vie aquatique et besoins en dioxygène :

Développement normal	Plus de 5 mg.L^{-1}
Développement perturbé	Entre 3 et 5 mg.L^{-1}
Vie en difficulté	Entre 1 et 3 mg.L^{-1}
Asphyxie et mortalité	Inférieure à 1 mg.L^{-1}

1^{ère} étape : Réaction du dioxygène dissous

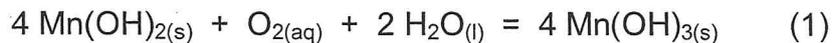
Dans un échantillon d'eau, on ajoute une solution de sulfate de manganèse ($\text{Mn}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{SO}_{4(\text{aq})}^{2-}$) en milieu très basique. Le dioxygène dissous réagit alors avec l'hydroxyde de manganèse (II) ($\text{Mn}(\text{OH})_{2(\text{s})}$) formé in situ pour produire l'hydroxyde de manganèse (III) ($\text{Mn}(\text{OH})_{3(\text{s})}$).

1.1 Les ions $\text{Mn}_{(\text{aq})}^{2+}$ réagissent avec les ions hydroxyde $\text{HO}_{(\text{aq})}^-$ pour former un précipité d'hydroxyde de manganèse (II).

1.1.1 Écrire l'équation de la réaction associée à cette transformation chimique.

1.1.2 Pourquoi faut-il que le milieu soit très basique ?

1.2 L'équation (1) de la réaction totale entre le dioxygène dissous et l'hydroxyde de manganèse (II) est la suivante :



Lors de la mise en œuvre du protocole expérimental, on fait en sorte que l'hydroxyde de manganèse (II) soit en excès.

Pourquoi est-ce indispensable de mettre ce réactif en excès pour la réussite de la méthode de Winkler ?

2^{ème} étape : Production de l'espèce chimique à titrer

Après avoir fortement acidifié la solution obtenue à l'étape précédente, les hydroxydes de manganèse sont dissous. On ajoute alors une solution d'iodure de potassium en excès et les ions iodure réagissent avec les ions $\text{Mn}_{(\text{aq})}^{3+}$

2.1 L'équation (2) de réaction associée à la dissolution totale de l'hydroxyde de manganèse (III) est :



L'équation (1) montre que la quantité de matière en hydroxyde de manganèse (III) produite est quatre fois supérieure à la quantité de matière en dioxygène à doser :

$$n_{\text{Mn}(\text{OH})_3} = 4n_{\text{O}_2}$$

Écrire alors la relation entre la quantité de matière n_{O_2} de dioxygène dissous et la quantité de matière $n_{\text{Mn}^{3+}}$ d'ions manganèse (III) produit dans la réaction (2).

2.2 Écrire l'équation de la réduction des ions $\text{Mn}_{(\text{aq})}^{3+}$ par les ions iodure (en excès). Cette équation de réaction totale sera numérotée (3).

3^{ème} étape : Titration du diiode

La quantité de matière de diiode produite lors de la transformation (3) est égale au double de la quantité de matière de dioxygène à doser :

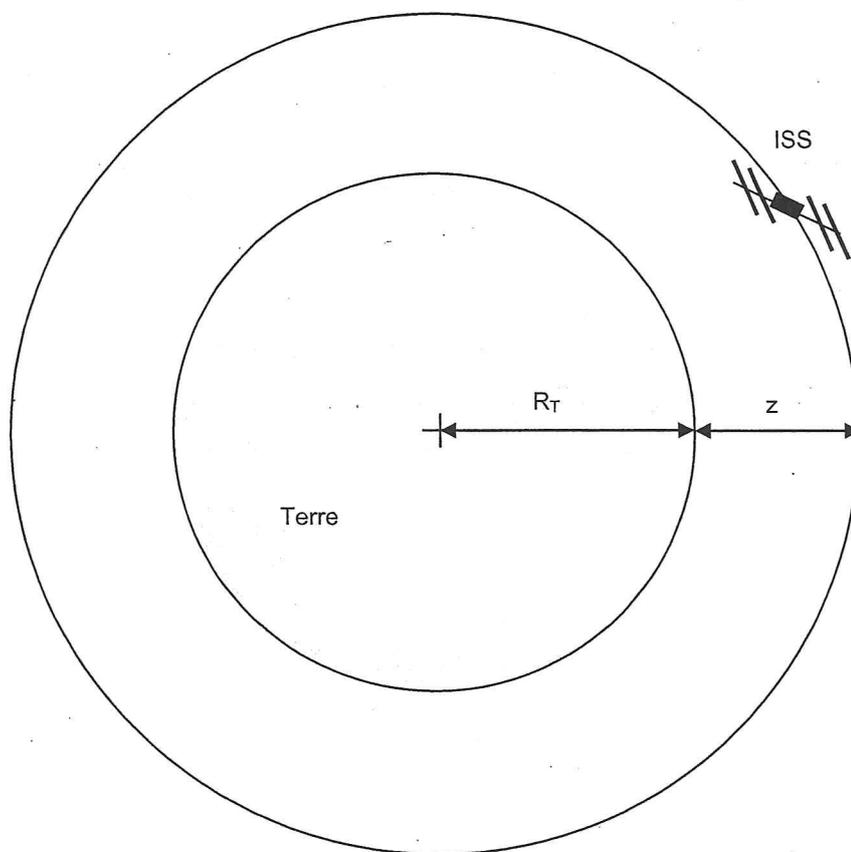
$$n_{I_2} = 2n_{O_2}$$

Ce diiode résultant de la transformation (3) est dosé à l'aide d'une solution de thiosulfate de sodium ($2Na^+_{(aq)} + S_2O_3^{2-}_{(aq)}$). L'équation de la réaction (totale) de dosage est la suivante :



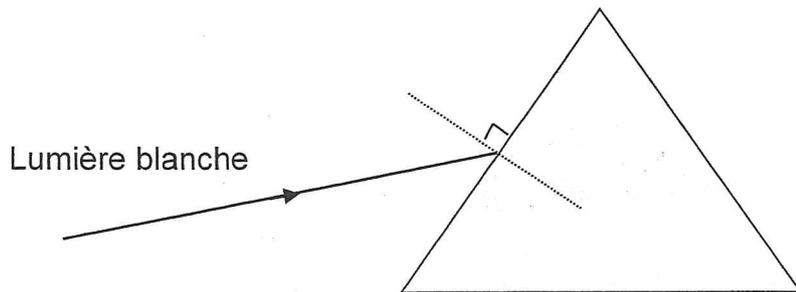
- 3.1 Compléter le tableau d'évolution fourni en annexe, à rendre avec la copie.
- 3.2 Montrer que la quantité de matière n_{O_2} est égale au quart de la quantité de matière $n_{\text{éq}}$ en ions thiosulfate apportés à l'équivalence.
4. Un laboratoire de biologie marine contrôle régulièrement l'oxygénation de ses aquariums à l'aide de la méthode de Winkler.
Le titrage du volume $V_0 = 100 \text{ mL}$ d'eau d'un aquarium marin par une solution de thiosulfate de sodium de concentration molaire $C = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ aboutit à un volume à l'équivalence $V_{\text{éq}} = 5,1 \text{ mL}$.
 - 4.1 Calculer la quantité de matière en dioxygène dans le volume V_0 d'eau de cet aquarium.
 - 4.2 En déduire la valeur de la concentration massique C_m en dioxygène dissous.
 - 4.3 Les techniciens doivent-ils intervenir et si oui dans quel but ?

Annexe de l'exercice I à rendre avec la copie

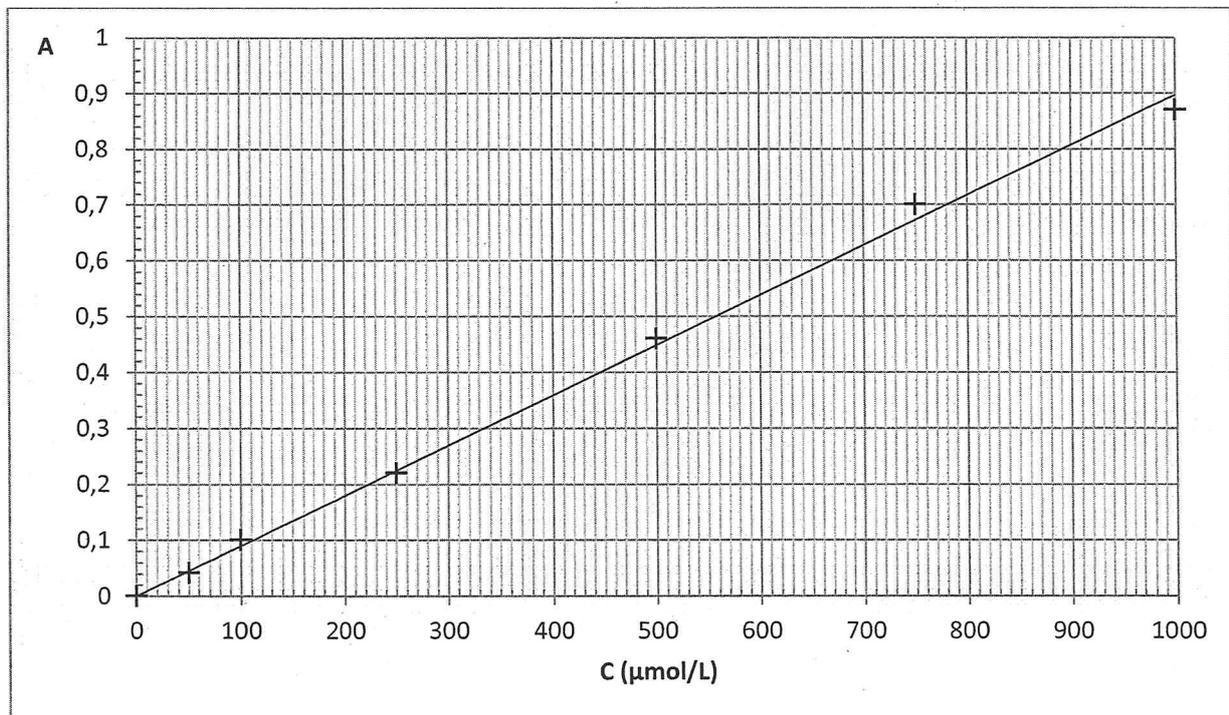


Annexe de l'exercice II à rendre avec la copie

Question 1.4.4 :



Questions 2.2.2 et 2.2.3 : Courbe d'étalonnage :



Annexe de l'exercice III à rendre avec la copie

Avancement (mol)	$2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$	+	$\text{I}_2(\text{aq})$	=	$\text{S}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq})$	+	$2 \text{I}^-(\text{aq})$
$x = 0$	$n_{\text{éq}}$		n_{I_2}		0		0
x							
$x = x_{\text{éq}}$							