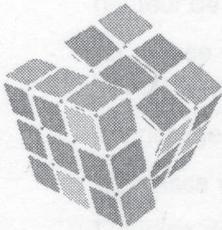


Exercice I : Un Rubik's Cube résolu à près de 4300m d'altitude. (6,5 points)

Le **Rubik's Cube** a été inventé en 1974 par le Hongrois Ernő Rubik, et s'est rapidement répandu sur toute la planète au cours des années 1980.



UN PARACHUTISTE A RÉSOLU LE RUBIK'S CUBE ALORS QU'IL SE TROUVAIT À UNE ALTITUDE DE 4300 METRES.

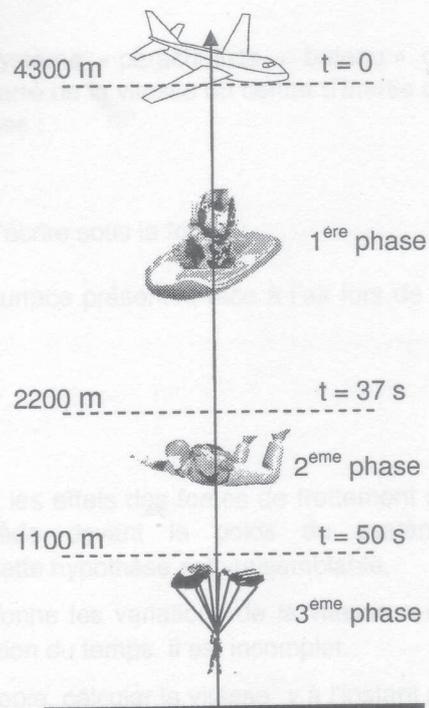
Le 3 août 2010, Ludwig Fichte, 29 ans, s'est assis dans un bateau gonflable après avoir sauté d'un avion. Il a résolu le Rubik's Cube en 31,5 secondes et son altimètre indiquait alors 2500 mètres. Le parachutiste dit avoir utilisé le bateau gonflable pour avoir plus de stabilité et pouvoir mieux se concentrer sur le casse-tête.

Source : <http://fr.news.yahoo.com>

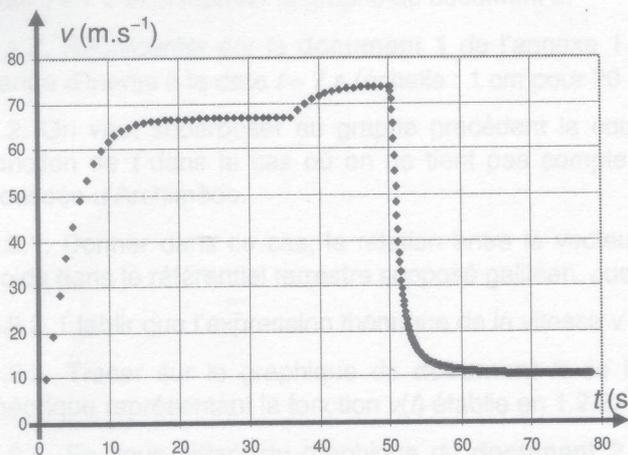
A la fin du film qui accompagne l'article, on apprend que M. Fichte a quitté son bateau à l'altitude 2200 m et a ouvert son parachute à l'altitude de 1100 m.

La chute de M. Fichte a été modélisée à partir des éléments fournis dans l'article. Elle a été pour cela décomposée en trois phases :

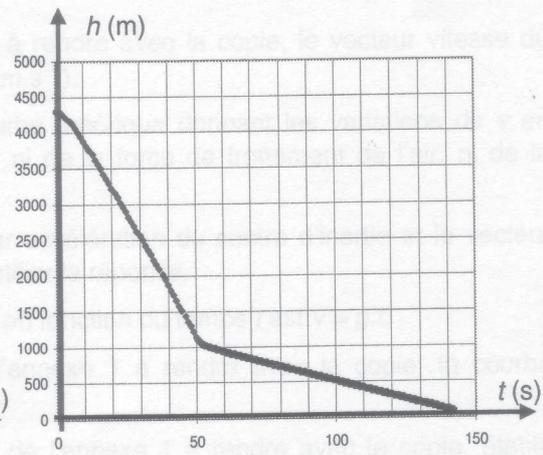
- 1^{ère} phase : Chute de M. Fichte assis sur le bateau gonflable pendant qu'il résout le Rubik's cube.
- 2^{ème} phase : Chute de M. Fichte sans bateau, dans la position classique de descente.
- 3^{ème} phase : Chute de M. Fichte avec son parachute ouvert.



On obtient les deux courbes suivantes donnant les variations de l'altitude h et de la vitesse v du parachutiste en fonction de la durée de chute notée t .



Courbe 1



Courbe 2

On a pu également reproduire les différentes positions du parachutiste dans la phase 1, à intervalles de temps réguliers espacés d'une durée $\Delta t = 1,0$ s. Ce relevé est reproduit sur le **document 1 de l'annexe 1** à rendre avec la copie.

Pour établir la modélisation, on a supposé vraies les hypothèses simplificatrices suivantes :

- L'accélération de la pesanteur est considérée comme constante et égale à $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ sur la hauteur de chute du parachutiste.
- La masse du parachutiste seul avec son équipement est $m = 75 \text{ kg}$ et la masse du bateau pneumatique est négligeable devant celle du parachutiste.
- On néglige la poussée d'Archimède.
- La masse volumique de l'air est supposée constante et égale à $\rho = 1,3 \text{ kg.m}^{-3}$
- L'origine des dates a été choisie à l'instant où le parachutiste et le bateau quittent l'avion. La composante verticale de la vitesse est alors nulle. On néglige la composante horizontale de la vitesse, le parachutiste étant très vite freiné par l'air dès sa sortie de l'avion. La chute est donc supposée sans vitesse initiale.
- La force de frottement \vec{F} exercée par l'air sur le système « parachutiste + bateau » ou « parachutiste seul » a une valeur proportionnelle au carré de la vitesse du centre d'inertie du système et est dirigée en sens opposé du vecteur vitesse :

$$\vec{F} = -k.v.\vec{v} \text{ et } F = k.v^2 .$$

Le coefficient de proportionnalité k entre F et v^2 peut s'écrire sous la forme :

$$k = \frac{1}{2} \rho . S ; \rho \text{ est la masse volumique de l'air, } S \text{ la surface présentée face à l'air lors de la chute.}$$

1. Étude des premières secondes de chute

On a supposé dans cette première partie du mouvement, que les effets des forces de frottement de l'air sont négligeables ainsi que la poussée d'Archimède devant le poids du système « parachutiste + bateau ». On veut vérifier jusqu'à quelle date cette hypothèse est vraisemblable.

1.1 Le **document 2** de l'annexe 1 à rendre avec la copie donne les variations de la vitesse v du centre d'inertie G du système « parachutiste + bateau » en fonction du temps. Il est incomplet.

1.1.1. D'après le **document 1** de l'annexe 1 à rendre avec la copie, calculer la vitesse v à l'instant de date $t = 7$ s et compléter le graphe du document 2.

1.1.2. Représenter sur le **document 1** de l'annexe 1 à rendre avec la copie, le vecteur vitesse du centre d'inertie à la date $t = 7$ s (échelle : 1 cm pour 20 m.s^{-1}).

1.2. On veut superposer au graphe précédent la courbe théorique donnant les variations de v en fonction de t dans le cas où on ne tient pas compte ni de la force de frottement de l'air, ni de la poussée d'Archimède.

1.2.1. Donner dans ce cas, la relation entre le vecteur accélération du centre d'inertie et le vecteur poids dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Justifier la réponse.

1.2.2. Établir que l'expression théorique de la vitesse v en fonction du temps t est $v = g.t$.

1.2.3. Tracer sur le graphique du **document 2** de l'annexe 1 à rendre avec la copie, la courbe théorique représentant la fonction $v(t)$ établie en 1.2.2.

1.2.4. En vous aidant du graphique du **document 2** de l'annexe 1 à rendre avec la copie, établir jusqu'à quelle date on peut raisonnablement négliger les frottements de l'air.

2. Effet des forces de frottement

M. Fichte a résolu le Rubik's cube en 31,5 s après sa sortie de l'avion. D'après les résultats du 1., on ne peut plus négliger les frottements de l'air.

Sur cette partie du trajet l'expression de la force de frottement est :

$$\vec{F}_1 = -k_1 \cdot v \cdot \vec{v} \quad \text{et} \quad F_1 = k_1 \cdot v^2 \quad k_1 = 0,165 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

2.1. Écrire la deuxième loi de Newton appliquée au système « parachutiste + bateau » dans un référentiel terrestre supposé galiléen.

2.2. La courbe 1 donnée en début d'exercice montre que la vitesse se stabilise à la valeur v_1 après une certaine durée de chute.

2.2.1. Que peut-on dire du vecteur accélération lorsque \vec{v} devient constant ?

2.2.2. Donner alors la relation entre les forces \vec{P} et \vec{F}_1 . Justifier la réponse.

2.2.3. Calculer v_1 et vérifier le résultat sur la courbe 1.

2.2.4. Justifier, par un raisonnement qualitatif, l'augmentation de la valeur de la vitesse, constatée sur la courbe 1 au moment du largage du bateau.

3. Étude énergétique

L'altitude z du centre d'inertie du parachutiste est repérée sur un axe vertical orienté vers le haut, dont l'origine est prise au sol.

3.1. Calculer l'énergie mécanique E_1 du système « parachutiste + Terre » au moment de la sortie de l'avion. (On rappelle que la vitesse est supposée nulle à cet instant malgré le déplacement de l'avion.)

3.2. Calculer l'énergie mécanique E_2 du système, juste avant le largage du bateau, à l'altitude de $h = 2200 \text{ m}$. On rappelle qu'à cet instant, la vitesse du centre d'inertie G est $v = 66,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

3.3. Pourquoi l'énergie mécanique a-t-elle diminué ?

3.4. Si la tentative de M. Fichte s'était déroulée en absence d'atmosphère,

3.4.1. Le parachutiste pourrait-il être freiné ? Pourquoi ?

3.4.2. Que pourrait-on dire de l'énergie mécanique du système ?

3.4.3. Quelle aurait été la vitesse du parachutiste dans ces conditions à l'altitude 2200 m ?

3.5. Le sport pratiqué par M. Fichte est communément appelé « chute libre ». Ce terme vous semble-t-il conforme à la situation réelle étudiée ? Justifier la réponse.

Exercice II : Les bulles de savon (5,5 points)

Une bulle de savon est un globe formé d'un mince film d'eau savonneuse rempli d'air qui flotte dans l'atmosphère. Sa paroi est constituée de deux rangées de molécules de tensio-actif (un tensio-actif influence la tension superficielle de l'eau). Une étroite couche d'eau est retenue entre les têtes hydrophiles tandis que les queues hydrophobes, préférant le contact de l'air plutôt que celui de l'eau, se placent de la manière suivante :

- queues de la rangée externe : tournées vers l'extérieur de la bulle, donc vers l'air ambiant.
- queues de la rangée interne : tournées vers l'intérieur de la bulle, donc vers l'air emprisonné.

Les champions parviennent à produire des bulles de savon d'un mètre et plus.

D'après plusieurs articles de Wikipédia

1. Étude du texte

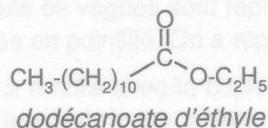
1.1. Définir les termes « hydrophile » et « hydrophobe »

1.2. Entourer sur l'ion carboxylate, représenté sur le **document 3** de l'annexe 2 à rendre avec la copie, la partie hydrophile et la partie hydrophobe.

1.3. L'ion carboxylate est souvent représenté schématiquement par un trait au bout duquel se trouve un cercle. Le trait représente la chaîne carbonée et le cercle représente le groupe carboxylate. Retrouver, parmi les quatre schémas placés sur le **document 4** de l'annexe 2 à rendre avec la copie, celui qui convient le mieux à la description de la paroi d'une bulle de savon.

2. La réaction d'hydrolyse basique d'un ester

2.1. L'ion dodécanoate représenté sur le **document 3** de l'annexe 2 peut être obtenu à partir de l'hydrolyse basique du dodécanoate d'éthyle.



Écrire l'équation de cette réaction.

2.2. Quelles sont les deux caractéristiques de l'hydrolyse basique d'un ester ?

2.3. En partant de 12,0 g de dodécanoate d'éthyle et d'un excès d'ions hydroxyde, trouver la quantité de matière d'ion dodécanoate obtenu si le rendement de la transformation chimique est de 95%.

Données :

$$M_{\text{C}} = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}, M_{\text{O}} = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}, M_{\text{H}} = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}.$$

3. Influence de la tension superficielle sur la propagation des ondes mécaniques à la surface de l'eau

La célérité des ondes mécaniques transversales à la surface d'un liquide dépend de sa tension superficielle seulement si la longueur d'onde est inférieure à 1,7 cm. On a alors affaire à des ondes de capillarité.

La célérité d'une onde de capillarité, si la profondeur du liquide est suffisamment importante et la longueur d'onde suffisamment faible (conditions que l'on suppose réunies dans cet exercice), peut s'écrire :

$$v = \sqrt{\frac{2\pi\sigma}{\rho\lambda}}$$

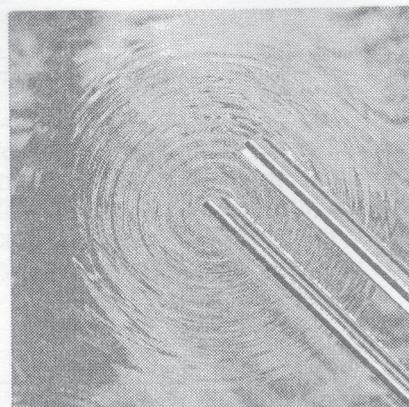
σ est la tension superficielle du liquide (en N.m^{-1})

ρ est la masse volumique du liquide (en kg.m^{-3})

λ est la longueur d'onde (en m).

Pour observer ces ondes, on peut faire vibrer un diapason en maintenant une de ses branches en contact avec la surface du liquide.

Une onde circulaire de même fréquence que la vibration du diapason se propage alors à la surface de l'eau. Elle est difficilement observable parce que rapidement amortie, mais il est néanmoins possible, en filmant le phénomène, et en faisant défiler le film image par image, de trouver une photo exploitable permettant de mesurer la longueur d'onde.



On dispose de plusieurs diapasons donnant plusieurs notes. Leurs fréquences de vibration sont données dans le tableau ci dessous :

Note	Do	Ré	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
Fréquence (Hz)	261	294	330	349	392	440	466	494

L'expérience est réalisée avec de l'eau.

$$\sigma = 0,073 \text{ N.m}^{-1} \quad \rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$$

3.1. On choisit le diapason donnant la note La. Sa fréquence de vibration est $f_1 = 440 \text{ Hz}$. La longueur d'onde mesurée est $\lambda_1 = 1,33 \text{ mm}$.

3.1.1 Donner la relation permettant de calculer la célérité de l'onde.

3.1.2 Vérifier que cette célérité vaut $v_1 = 0,585 \text{ m.s}^{-1}$.

3.2. Sur le **document 5** de l'annexe 2 à rendre avec la copie, on a représenté la surface de l'eau vue de dessus à la date t_1 . Les sommets de vagues sont représentés par des cercles en trait plein, et les creux de vagues par des cercles en pointillé. On a représenté une ligne de coupe AB.

Sur le **document 6** de l'annexe 2 à rendre avec la copie, on a représenté la surface de l'eau en coupe, à la date t_1 , en faisant apparaître les points M_1 et M_2 (on néglige le phénomène d'amortissement).

3.2.1. Choisir parmi les trois schémas du **document 7** de l'annexe 2 à rendre avec la copie, celui qui correspond à la surface de l'eau en coupe à la date $t_2 = t_1 + \frac{T}{2}$.

3.2.2 Comparer les mouvements verticaux des points M_3 et M_4 .

3.2.3. Comparer les mouvements verticaux des points M_3 et M_5 .

3.3. On réalise la même expérience avec un nouveau diapason de fréquence différente du premier, mais inconnue. La nouvelle longueur d'onde mesurée est $\lambda_2 = 1,62 \text{ mm}$. La célérité est $v_2 = 0,534 \text{ m.s}^{-1}$.

Comment peut-on qualifier le milieu de propagation que constitue la surface de l'eau, pour cette gamme de fréquence ? Justifier la réponse.

3.4. On garde le même diapason, de fréquence inconnue, et on ajoute quelques gouttes de détergent qui se répartit à la surface et modifie la tension superficielle qui vaut alors $\sigma = 0,038 \text{ N.m}^{-1}$. La masse volumique reste inchangée. La nouvelle longueur d'onde mesurée est $\lambda_3 = 1,30 \text{ mm}$.

3.4.1. Calculer la célérité de l'onde.

3.4.2. Calculer la fréquence du diapason et donner le nom de la note qu'il produit.

Exercice III : Dosage des ions cuivre II présents dans la bouillie bordelaise (4 points)

La bouillie bordelaise est un pesticide fabriqué en mélangeant une solution de sulfate de cuivre et de la chaux éteinte $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Elle contient 20 % en masse d'élément cuivre. Elle a été utilisée ou l'est encore sur les arbres fruitiers (pêcher, pommier, abricotier, prunier) avant la floraison et après récolte. La bouillie bordelaise s'utilise aussi sur la pomme de terre, tomate, vigne ou fraisier.

D'après un article de Wikipédia

1. Préparation de la solution S

Une masse $m = 0,50$ g de bouillie bordelaise est introduite dans une fiole jaugée de volume $V_T = 100,0$ mL dans laquelle est ajouté un volume de 20 mL d'acide sulfurique de concentration $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$. Après dissolution totale de la bouillie bordelaise, de l'eau distillée est ajoutée jusqu'au trait de jauge puis la fiole jaugée est bouchée puis agitée.

1.1. Expliquer succinctement comment peser 0,50 g de bouillie bordelaise.

1.2. Quelle est la verrerie, parmi la liste suivante, qui permet de prélever un volume de 20 mL ?

Bécher de 1 L, éprouvette graduée de 50 mL, pipette jaugée de 50 mL.

2. Réaction entre les ions cuivre II et les ions iodure

Un volume $V_1 = 20,0$ mL de solution S est introduit dans un erlenmeyer muni d'une agitation mécanique. On y ajoute 20 mL d'une solution d'iodure de potassium de concentration $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$. La solution devient alors jaune.

2.1. La réaction d'oxydoréduction mise en jeu est la suivante : $2 \text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + 4 \text{I}^{-}_{(\text{aq})} = 2 \text{CuI}_{(\text{s})} + \text{I}_{2(\text{aq})}$

Donner les deux demi-équations d'oxydoréduction mises en jeu dans cette transformation chimique mettant en jeu les couples $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} / \text{CuI}_{(\text{s})}$ et $\text{I}_{2(\text{aq})} / \text{I}^{-}_{(\text{aq})}$.

2.2. Quelle est l'origine de la coloration jaune ?

2.3. On suppose que les ions iodure I^{-} sont en large excès et que la réaction est totale.

Etablir la relation entre la quantité de matière d'ions cuivre II $n_{\text{Cu}^{2+}}$ initialement présente et la quantité de matière de diiode formée n_{I_2} ? On pourra éventuellement s'aider d'un tableau d'avancement.

3. Dosage

On ajoute 5 mL d'empois d'amidon au milieu réactionnel, puis on effectue un dosage par une solution de thiosulfate de sodium de concentration $C_2 = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. On trouve à l'équivalence $V_{2\text{éq}} = 15,8$ mL.

3.1. L'ion thiosulfate a pour formule $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$. Les deux couples d'oxydoréduction mis en présence sont I_2/I^{-} et $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$. Etablir l'équation d'oxydoréduction du dosage.

3.2. En notant $n_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}}$ la quantité d'ions thiosulfate versée à l'équivalence, montrer en utilisant les résultats des questions 2.3. et 3.1. que $n_{\text{Cu}^{2+}} = n_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}}$

3.3. En déduire la quantité de matière en ion cuivre II présente dans le volume V_1 de solution S.

3.4. En déduire la masse d'élément cuivre, exprimée en cuivre métal, présente dans la solution S. La masse molaire atomique du cuivre est de $63,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

3.5. Trouver le pourcentage en masse de l'élément cuivre de la bouillie bordelaise. Ce résultat est-il en accord avec la valeur annoncée dans le texte d'introduction à l'exercice ?

4. Retour sur les approximations

4.1. Calculer la quantité de matière d'ions iodure puis montrer qu'ils sont bien en large excès par rapport aux ions cuivre II d'après l'énoncé de la question 2.3. On précise que dans des conditions stœchiométriques, la relation suivante est vérifiée : $n_{\text{Cu}^{2+}} = \frac{n_{\text{I}^-}}{2}$.

4.2. Le sulfate de cuivre pur contient 40% en masse d'élément cuivre. Comment expliquer qualitativement, par un raisonnement simple, la valeur plus faible obtenue à la question 3.5 ?

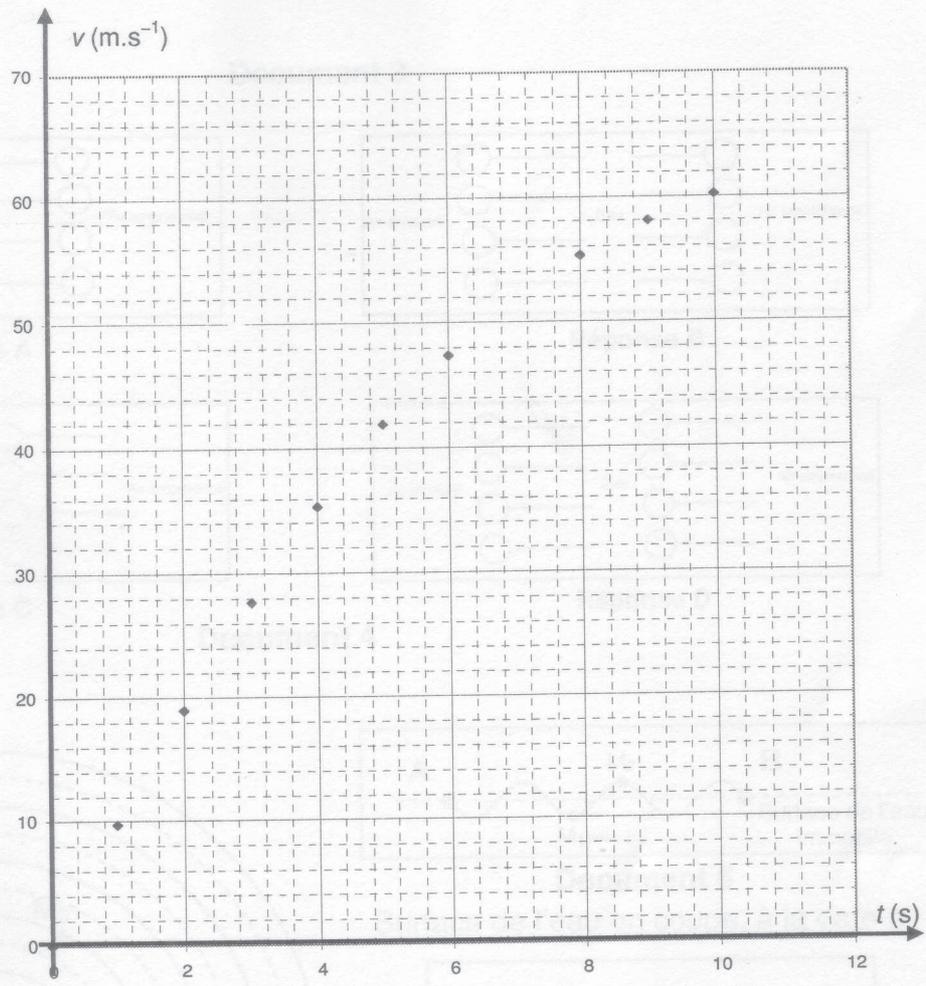
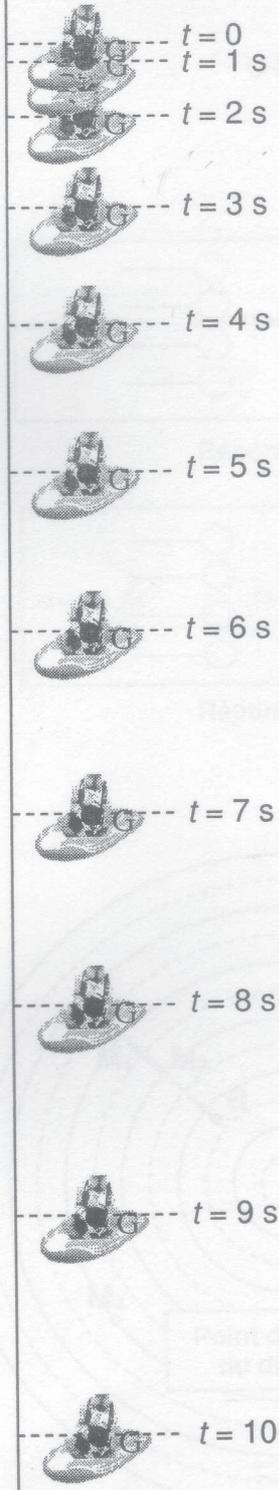
Document 2

Variation de la vitesse du centre d'inertie en fonction du temps pendant les premières secondes de chute.

Document 1

Reproduction à l'échelle 1/2000 des positions du centre d'inertie au cours des premières secondes de chute. (1 cm sur le dessin représente 20 m de déplacement réel)

ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE



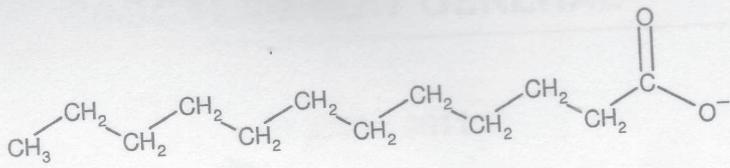
Document 2

Variation de la vitesse du centre d'inertie en fonction du temps pendant les premières secondes de chute.

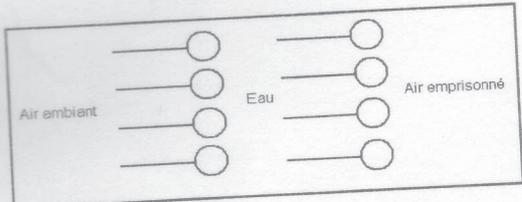
Document 1

Reproduction à l'échelle 1/2000 des positions du centre d'inertie au cours des premières secondes de chute.
 (1 cm sur le dessin représente 20 m de déplacement réel)

ANNEXE 2 A RENDRE AVEC LA COPIE



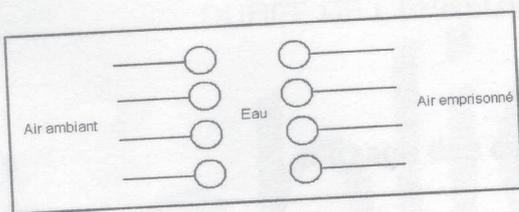
Document 3



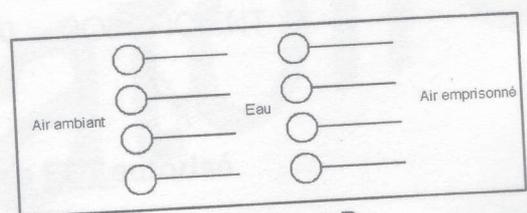
Réponse A



Réponse B

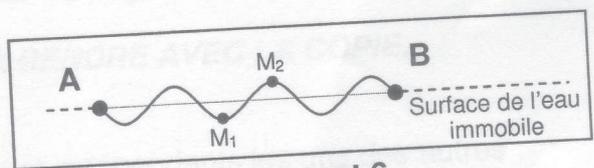


Réponse C



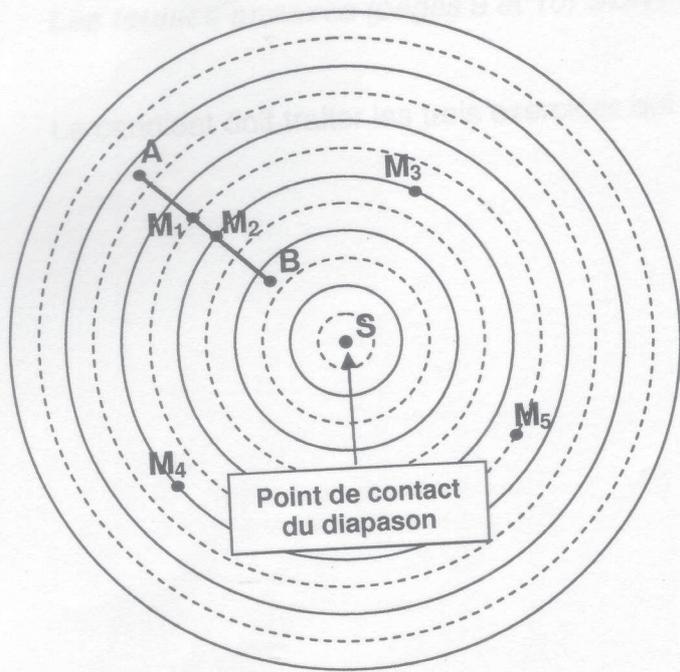
Réponse D

Document 4



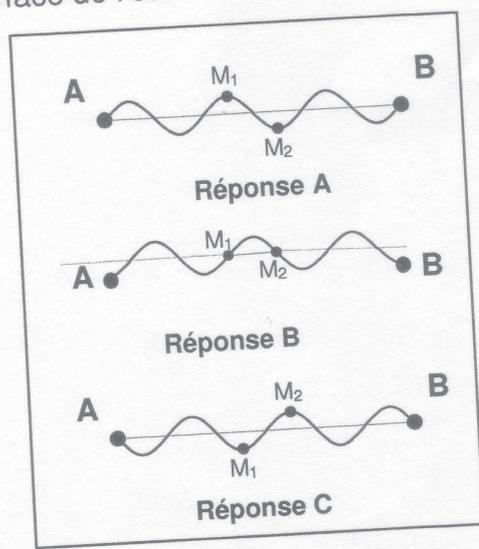
Document 6

Surface de l'eau en coupe, à la date t_1



Document 5

Représentation de la surface de l'eau vue de dessus.



Document 7

Surface de l'eau en coupe, à la date $t_2 = t_1 + \frac{T}{2}$