

EXERCICE I

Un parachutiste expérimenté a le projet de s'élever à une altitude de 40 km au moyen d'un ballon sonde gonflé à l'hélium. Arrivé à cette altitude, il envisage de sauter de la capsule du ballon pour effectuer un saut, d'abord en chute libre, avec l'ambition de battre un record de vitesse, puis en parachute afin de regagner la terre ferme en douceur.

Effectuer tous les calculs en ne conservant que trois chiffres significatifs dans les résultats.

A. Décollage

On suppose qu'au décollage le système {ballon+capsule+sauteur}, étudié dans un référentiel terrestre considéré galiléen, n'est soumis qu'à son poids et à la poussée d'Archimède.

Soit m : masse du sauteur et de son équipement

m' : masse de la capsule

m'' : masse du ballon

V : volume du ballon

ρ : masse volumique de l'air au sol

g : accélération de la pesanteur au sol

On donne : $m'+m'' = 750 \text{ kg}$; $V = 800 \text{ m}^3$; $\rho = 1,20 \text{ kg.m}^{-3}$; $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

I-1 Calculer la valeur de la poussée d'Archimède F_A , s'exerçant sur le ballon au sol. On rappelle que $F_A = \rho g V$.

I-2- Calculer le poids P_1 de l'ensemble {ballon+capsule}.

I-3- On note P_2 le poids du sauteur et de son équipement. Ecrire la relation fondamentale de la dynamique (2^e loi de Newton) appliquée à l'ensemble {ballon+capsule+sauteur et équipement}.

I-4- Etablir l'expression littérale de la relation que doit vérifier la masse m pour réussir le décollage, en fonction de m' , m'' , ρ et V . En déduire la valeur de cette masse, notée m^* , qui ne doit pas être atteinte.

B. Saut depuis la capsule

Le parachutiste se trouve maintenant à une altitude $H = 40 \text{ km}$. On suppose, dans toute cette partie B, la poussée d'Archimède sur le sauteur négligeable. D'autre part, par commodité, on désigne simplement par « le sauteur », l'ensemble constitué du sauteur et de son équipement, le tout de masse $m = 100 \text{ kg}$.

I-5- Etablir l'expression littérale de la force de gravitation F_g subie par le sauteur en fonction de m , de la constante de gravitation G , de la masse de la terre M_T , du rayon de la terre R_T , et de l'altitude H . On a alors $F_g = P$, $P = m g_H$ étant le poids du sauteur à l'altitude H .

I-6- Calculer g_H avec $H = 40 \text{ km}$; $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ SI}$, $M_T = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, $R_T = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$.

I-7- Le sauteur s'élance de la capsule sans vitesse initiale. On suppose qu'il n'est soumis qu'à son poids P . On choisit un axe vertical z orienté positivement vers le bas dont l'origine est la capsule. Ecrire la relation fondamentale de la dynamique appliquée au centre de gravité du sauteur.

On suppose l'accélération de la pesanteur constante égale à g_H dans les questions I-8- et I-9-, constante égale à g dans la question I-10-.

I-8- Etablir la relation donnant la vitesse v du sauteur en fonction du temps t , soit $v = f_1(t)$, et l'appliquer en calculant la vitesse v_L atteinte après 30 s de chute, exprimée en m.s^{-1} et en km.h^{-1} .

I-9- Etablir la relation donnant le déplacement z du sauteur en fonction du temps t , soit $z = f_2(t)$, et l'appliquer en calculant la distance parcourue h après 30 s de chute.

A 2 km d'altitude, le sauteur, se déplaçant maintenant dans les couches denses de l'atmosphère, déclenche son parachute. Il est soumis en plus de son poids à une force de frottement dont l'unique composante est sur z et vaut $F_f = -kv^2$. Le centre de gravité du sauteur obéit alors à l'équation $mg - kv^2 = m dv/dt$

I-10- Déterminer, par analyse dimensionnelle, l'unité du coefficient de frottement k . Calculer la valeur du coefficient de frottement k pour obtenir une vitesse limite du sauteur $v_{lim} = 5 m.s^{-1}$.

REPONSES A L'EXERCICE I

I-1-	Poussée d'Archimède : $F_A = 9420 \text{ N}$
I-2-	Poids : $P_1 = 7360 \text{ N}$
I-3-	RFD : $(m + m' + m'') a = F_A - P_1 - P_2$
I-4-	Relation : $m^* = \rho.V - (m + m'')$ Masse $m^* = 210 \text{ kg}$
I-5-	Expression littérale $F_g = G \frac{m M_T}{(R_T + H)^2}$
I-6-	Accélération de la pesanteur : $g_H = 9,69 m.s^{-2}$
I-7-	RFD : $m a = m g_H$
I-8-	Expression littérale : $v = g_H t$ $v_L = 291 \quad m.s^{-1}$ $v_L = 1050 \quad km.h^{-1}$
I-9-	Expression littérale : $z = \frac{1}{2} g_H t^2$ $h = 4360 \text{ m}$
I-10-	Unité de k : $kg.m^{-1}$ Expression littérale : $k = m g / v_{lim}^2$ Application numérique : $k = 39,2 \text{ kg.m}^{-1}$

EXERCICE II

L'acide méthanoïque, de formule brute CH_2O_2 , est le plus simple des acides carboxyliques. Naturellement sécrété par les fourmis (d'où son nom usuel d'*acide formique*), il est industriellement synthétisé à partir du méthanol et du monoxyde de carbone.

Cet acide est couramment utilisé dans l'industrie (textiles, galvanoplastie, alimentation animale, formulation de laques, solvants, produits ménagers ...). Son récent mode de synthèse par hydrogénation catalytique du dioxyde de carbone ouvre une voie intéressante pour le stockage du dihydrogène et la valorisation du CO_2 . A l'inverse, sa décomposition contrôlée s'avère prometteuse pour la propulsion automobile (moteurs thermiques ou piles à combustible).

II-1- Ecrire la formule semi-développée de l'acide méthanoïque.

II-2- Ecrire la réaction globale – sans mentionner le catalyseur – de sa synthèse par hydrogénation catalytique du dioxyde de carbone.

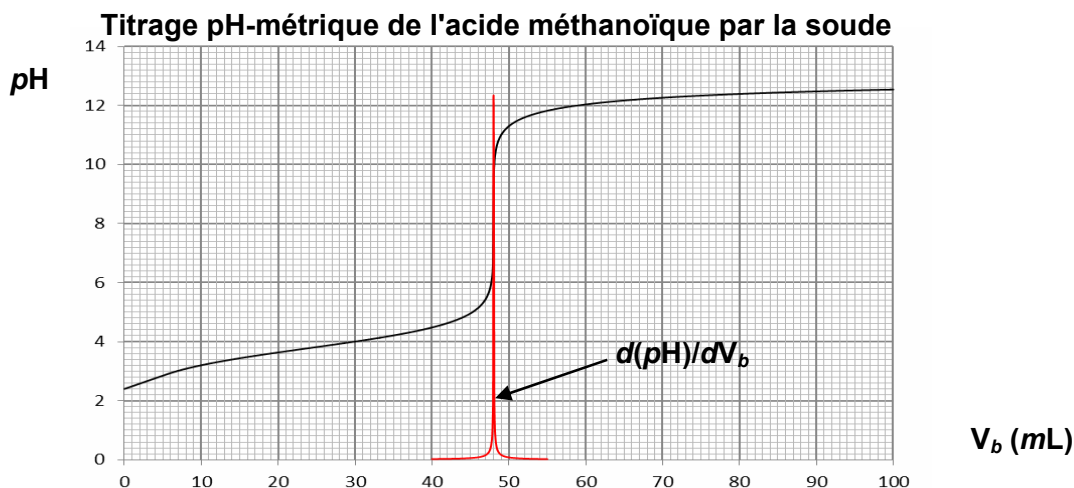
Pour deux solutions aqueuses diluées d'acide méthanoïque, les valeurs de pH suivantes ont été mesurées :

Concentration initiale (mol.L^{-1})	10^{-2}	10^{-3}
pH	2,91	3,47

II-3- Rappeler la différence de comportement, en solution aqueuse, d'un acide fort et d'un acide faible.

II-4- L'acide méthanoïque est un acide faible ; vérifier ce fait expérimental en calculant, pour les deux concentrations précédentes, le pH d'une solution d'acide fort.

On réalise le titrage pH-métrique de $V_a = 50 \text{ mL}$ d'une solution d'acide méthanoïque par une solution de soude à $c_b = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$. Pour ce faire, on mesure le pH de cette solution pour des volumes spécifiques V_b de soude ajoutés. La courbe de titrage $\text{pH} = f(V_b)$ ainsi que la courbe dérivée $d(\text{pH})/d(V_b) = f(V_b)$ obtenues sont données ci-après :



II-5- Ecrire l'équation de la réaction du titrage.

II-6- Déterminer, à partir de la courbe de titrage, le volume de soude versé au point d'équivalence $V_{b \text{ éq}}$ (préciser la méthode expérimentale utilisée pour ce faire).

II-7- Calculer la concentration molaire c_a de la solution d'acide méthanoïque titrée.

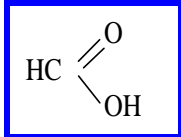
II-8- Au point de demi-équivalence, calculer les quantités d'acide méthanoïque $n_{1/2 \text{ éq}}$ et de sa base conjuguée $n'_{1/2 \text{ éq}}$ présentes dans le récipient du titrage. Comment nomme-t-on la solution présente dans ce récipient, en ce point du titrage ?

II-9- Donner l'expression littérale du pH de la solution présente dans le récipient du titrage au point de demi-équivalence, en fonction des quantités molaires trouvées en II-8-. Simplifier cette expression. En déduire, à partir de la courbe de titrage, la valeur du pK_a de l'acide méthanoïque.

II-10- Parmi les indicateurs colorés ci-dessous, le(s)quel(s) vous semble(nt) le(s) plus adaptés(s) pour le titrage colorimétrique de l'acide méthanoïque ?

Indicateur	Zone de virage	Couleur acide	Couleur basique
Hélianthine	3,1 – 4,4	rose	jaune
Bleu de bromothymol	6,0 – 7,6	jaune	bleu
Phénolphtaléine	8,2 – 10,0	incolore	violet
Jaune d'alizarine	10,1 – 12,0	jaune	rouge

REPONSES A L'EXERCICE II

II-1-	Formule semi-développée :					
II-2-	Réaction :	$\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{O}_2$				
II-3-	Comportement d'un acide fort :	réagit totalement avec l'eau				
	Comportement d'un acide faible :	réagit partiellement avec l'eau				
II-4-	pH (acide fort à $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$) = 2,0	pH (acide fort à $10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$) = 3,0				
II-5-	Equation :	$\text{HCOOH} + \text{OH}^- \rightarrow \text{HCOO}^- + \text{H}_2\text{O}$				
II-6-	Volume : $V_{b \text{ éq}} =$	48,0 mL				
	Méthode :	maximum de la courbe dérivée $d(\text{pH})/d(V_b) = f(V_b)$				
II-7-	Expr. litt. : $c_a = \frac{c_b \times V_{b, \text{éq}}}{V_a}$	Appl. num. : $c_a =$ 0,096 mol.L⁻¹				
II-8-	Expr. litt. : $n_{1/2 \text{ éq}} = \frac{1}{2} c_a \cdot V_a$	Appl. num. : $n_{1/2 \text{ éq}} =$ 2,4 · 10⁻³ mol				
	Expr. litt. : $n'_{1/2 \text{ éq}} = c_b \cdot V_{b, \text{demi-équiv.}}$	Appl. num. : $n'_{1/2 \text{ éq}} =$ 2,4 · 10⁻³ mol				
	Nom de la solution :	Tampon				
II-9	Expr. litt. : $\text{pH}_{1/2 \text{ éq}} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{HCOO}^-]_{1/2 \text{ équiv}}}{[\text{HCOOH}]_{1/2 \text{ équiv}}} = \text{pK}_a + \log \frac{(n_{\text{HCOO}^-})_{1/2 \text{ équiv}}}{(n_{\text{HCOOH}})_{1/2 \text{ équiv}}}$					
	Expr. litt. simplifiée : $\text{pH}_{1/2 \text{ éq}} = \text{pK}_a$	Appl. num. : $\text{pK}_a \approx$ 3,8				
II-10	Indicateurs colorés : (entourer les réponses exactes) :					
	Hélianthine	adapté	inadapté	Phénolphthaléine	adapté	inadapté
	Bleu de bromothymol	adapté	inadapté	Jaune d'alizarine	adapté	inadapté

EXERCICE III

On considère une bouilloire électrique contenant $V_{\text{eau}} = 800 \text{ mL}$ d'eau.

On étudie le système {eau}.

La température initiale T_i du système est de 20°C . On met ensuite la bouilloire en fonctionnement jusqu'à atteindre une température finale $T_f = 70^\circ\text{C}$.

III-1- Exprimer la variation d'énergie interne de l'eau lors de cette transformation de façon littérale, en fonction des données de l'énoncé. Faire l'application numérique.

Données : Capacité calorifique massique de l'eau : $c_{\text{eau}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$

La bouilloire remplie d'eau chaude à la température T_f est placée dans une pièce où la température notée T_{ext} vaut 20°C .

Sachant que l'expression générale du flux thermique φ à travers une paroi de résistance

thermique R_{th} où la température de part et d'autre vaut T_1 et T_2 est : $\varphi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{|T_1 - T_2|}{R_{\text{th}}}$; on

rappelle aussi que le flux thermique correspond à l'énergie thermique échangée Q pendant l'intervalle de temps Δt .

Donnée : $R_{\text{th}}(\text{bouilloire}) = 0,17 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$

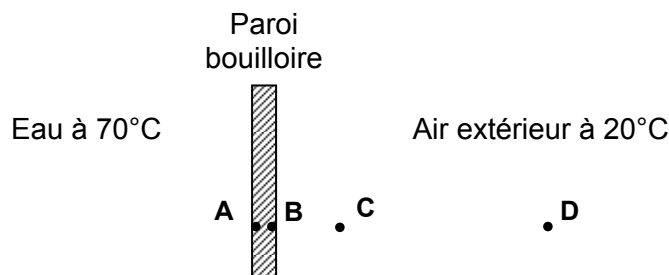
III-2- Calculer le flux thermique qui traverse la paroi de la bouilloire.

III-3- Compléter le schéma du document réponse en représentant le sens du transfert thermique correspondant à ce flux φ .

III-4- En considérant la température de l'eau constante, en déduire l'énergie thermique Q transférée à travers les parois pendant 2 minutes.

III-5- Quel est le mode de transfert thermique majoritaire :

- entre A et B ?
- entre C et D ?



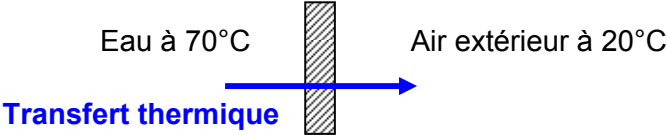
On cherche à diviser le flux thermique par cinq. Pour cela, on accole à la paroi de la bouilloire de surface $0,12 \text{ m}^2$ une couche d'isolant mince de même surface. On considère alors que la bouilloire et l'isolant mince constituent un assemblage de parois planes.

On admet aussi que la résistance thermique R_{th} d'un matériau d'épaisseur e , de conductivité thermique λ et de surface S peut être donnée par la relation suivante : $R_{\text{th}} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$.

Donnée : conductivité thermique de l'isolant : $\lambda_{\text{isolant}} = 0,04 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

III-6- Sachant que les résistances thermiques s'additionnent dans le cas de parois accolées, calculer l'épaisseur d'isolant qui permettra de diviser le flux thermique par cinq. On donnera expression littérale et valeur numérique de l'épaisseur e .

REPONSES A L'EXERCICE III

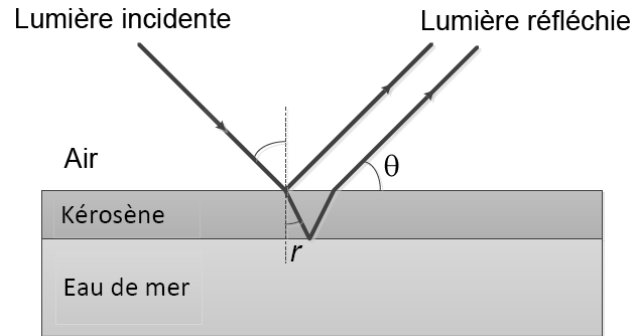
III-1-	<p>Energie interne</p> <p>Expression littérale : $\Delta U = \rho_{\text{eau}} V_{\text{eau}} c_{\text{eau}} (T_f - T_i)$</p> <p>Application numérique : $\Delta U = 167 \text{ kJ}$</p>
III-2-	<p>Flux thermique : $\phi = 294 \text{ W}$</p>
III-3-	<p>Sens du transfert thermique :</p> <div style="text-align: center;"> <p>Paroi bouilloire</p>  </div>
III-4-	<p>Energie thermique</p> <p>Expression littérale : $Q = \phi \cdot \Delta t$</p> <p>Application numérique : $Q = 35,3 \text{ kJ}$</p>
III-5-	<p>Mode de transfert thermique entre A et B : Conduction</p> <p>Mode de transfert thermique entre C et D : Convection</p>
III-6-	<p>Epaisseur</p> <p>Expression littérale : $e = 4 R_{\text{th}}(\text{bouilloire}) \lambda_{\text{laine}} S$</p> <p>Application numérique : $e = 3,3 \text{ mm}$</p>

EXERCICE IV

Un pétrolier indélicat a laissé échapper dans l'océan, une grande quantité de kérosène (indice de réfraction n) qui forme une nappe très étendue de faible épaisseur $e = 0,44 \mu\text{m}$ à la surface de l'eau. Lorsque cette nappe est vue depuis un avion, on observe des irisations dont les couleurs changent suivant l'angle θ d'observation.

On peut modéliser la situation suivant le schéma ci-contre.

Les deux rayons réfléchis, l'un sur l'interface air - kérosène, l'autre sur l'interface kérosène - eau se superposent et interfèrent sur la rétine de l'observateur.



IV-1- Pour qu'il y ait interférence, il faut que les ondes qui se superposent soient cohérentes. Donner la définition des ondes cohérentes.

Justifier que, dans la situation décrite, les ondes sont bien cohérentes.

Pour un angle d'observation θ donné, l'angle de réfraction dans le kérosène est r , tel que $n \sin r = \cos \theta$ suivant la 3ème loi de Descartes.

La différence de marche δ entre les 2 rayons réfléchis est donnée par :

$$\delta = 2 n e \cos r + (\lambda/2) \text{ où } \lambda \text{ est la longueur d'onde de la lumière.}$$

Pour le spectre visible, le kérosène est un matériau peu dispersif, son indice de réfraction peut être considéré comme indépendant de la longueur d'onde. On prendra $n = 1,448$.

IV-2- Des interférences constructives apparaissent lorsque $\delta = k \lambda$, avec k entier. Définir une interférence constructive.

IV-3- Que sont des interférences destructives ?

Quelle condition doit vérifier la différence de marche δ pour que les interférences soient destructives ?

La couleur observée de la nappe de kérosène correspond aux longueurs d'onde du spectre visible pour laquelle les interférences sont constructives.

IV-4- La nappe de kérosène est observée verticalement, l'angle θ est proche de 90° et l'angle de réfraction r est suffisamment petit pour que la différence de marche δ soit calculée par :

$$\delta = 2 n e + (\lambda/2).$$

Donner l'expression des longueurs d'onde λ , en fonction de n , e et k , correspondant à des interférences constructives.

Calculer λ pour $k = 1, 2, 3$ et 4 . De quelle couleur apparaît la nappe ?

IV-5- L'avion s'est éloigné de la nappe et l'angle d'observation θ est maintenant de 45° .

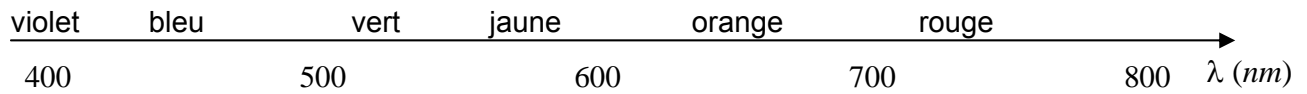
Quelle est la valeur de l'angle de réfraction r ?

Les longueurs d'onde du spectre visible pour lesquelles il y a interférences constructives sont : 741 nm et 445 nm . De quelle couleur apparaît la nappe ?

IV-6- Même lorsque l'observation se fait verticalement, la couleur de la nappe à la surface de l'océan, n'apparaît pas uniforme. Quelle(s) explication(s) peut-on avancer pour ces irisations ?

IV-7- Le phénomène décrit correspond aux couleurs interférentielles. Proposer d'autres exemples de dispositifs qui présentent des couleurs interférentielles. Comment peut-on les distinguer des couleurs pigmentaires ?

Rappel : Spectre visible



REPONSES A L'EXERCICE IV

IV-1-	Ondes cohérentes : ondes présentant un déphasage constant dans le temps et/ou issues de sources secondaires provenant d'une source primaire unique.				
	Justification : les ondes qui interfèrent sont cohérentes parce qu'elles proviennent d'une lumière incidente unique.*				
IV-2-	Interférence constructive : les ondes qui se superposent sont en phase et/ou la superposition de 2 ondes lumineuses donne de la lumière				
IV-3-	Interférence destructive : les ondes qui se superposent sont en opposition de phase et/ou la superposition des 2 ondes donne de l'obscurité.				
	Condition : $\delta = (2k + 1) (\lambda / 2)$				
IV-4-	Interférences constructives : $\lambda = 4ne / (2k - 1)$				
	k	1	2	3	4
	λ (unité)	2548 nm	849 nm	510 nm	364 nm
	Couleur de la nappe : vert				
IV-5-	Angle : $r = 29,2^\circ$		Couleur (<i>entourer la réponse exacte</i>)		
	blanc	bleu	cyan	indigo	jaune
	magenta	orange	rouge	vert	violet
IV-6-	Explication : les irisations sont dues à l'épaisseur de la nappe variable et / ou à la surface de l'océan mouvante créant des variations de l'angle d'observation.				
IV-7-	Exemple : bulle de savon, ailes des colibri, ailes de certains papillons, plume de paon, CD				
	Distinction : les couleurs interférentielles changent avec l'angle d'observation.				