

EXERCICE I

Dans le but de mesurer précisément la distance Terre-Lune, des missions américaines et russes ont déposé sur la lune des réflecteurs constitués de miroirs en coins de cube.

Paramètres : Vitesse de la lumière dans le vide $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
Constante de Planck $h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}^{-1}$
Surface réflecteur $S_{\text{réflecteur}} = 0,60 \text{ m}^2$
Diamètre Télescope $d_1 = 1,54 \text{ m}$

I-1- Sur le schéma du document réponse, tracer le parcours du rayon lumineux réfléchi par le miroir plan M_1 puis par le miroir plan M_2 (M_2 est perpendiculaire à M_1) et montrer en annotant le schéma que le rayon lumineux après réflexion par le miroir M_2 repart parallèlement à sa direction initiale.

Les réflecteurs sont utilisés pour déterminer expérimentalement la distance Terre-Lune en mesurant la durée mise par une impulsion lumineuse créée par une source terrestre pour revenir à son point de départ, après réflexion sur la Lune (source et récepteur sont en même site). Lors d'un essai, on a mesuré une durée $\Delta t = 2,4648468652614 \text{ s}$.

I-2- Quelle est la distance source-récepteur lors de cet essai ?

La source utilisée est un laser de longueur d'onde **1060 nm**.

I-3- Quel est le domaine de ce rayonnement ?

Avant d'être émise vers la Lune, ce rayonnement subit un doublement de fréquence.

I-4- Calculer est la longueur d'onde λ et la fréquence ν de la lumière émise.

I-5- Quelle est la couleur de cette lumière ?

Le laser utilisé émet de la lumière sous forme d'impulsions de durée $\tau = 400 \text{ ps} = 400 \cdot 10^{-12} \text{ s}$, d'énergie **E = 300 mJ**, 10 fois par seconde.

I-6- Calculer la puissance de cette source durant une impulsion lumineuse.

I-7- Calculer la puissance cette source sur 1 seconde.

I-8- Quel est le nombre de photons émis durant une impulsion ?

Le faisceau laser est dirigé vers la Lune en passant à travers l'optique du télescope, on considère qu'il s'agit d'une expérience équivalente au passage d'une onde plane monochromatique à travers un diaphragme circulaire de diamètre $d_1 = 1,54 \text{ m}$.

I-9- Quel phénomène élargit le faisceau lumineux lors du parcours Terre-Lune ?

Expérimentalement le faisceau s'élargit pour éclairer une surface circulaire S_2 sur la Lune d'un diamètre de **7 km**.

I-10- Calculer la surface éclairée S_2 .

I-11- Calculer le rapport r_1 entre le nombre de photons **N** émis par la source et le nombre de photons reçu par le réflecteur (lors d'une seule impulsion).

Après réflexion, le faisceau éclaire sur Terre une surface circulaire d'un diamètre de **21 km**. (Le récepteur est le télescope)

I-12- Calculer la surface rétro éclairée s_3 .

I-13- Quel est le rapport r_2 entre le nombre de photons reçu par le réflecteur et le nombre de photons reçues par le récepteur (lors d'une seule impulsion).

I-14- Quel est le nombre de photons réfléchis observé pour une impulsion ?

Lorsqu'un photon réfléchi est observé, la durée de son parcours est mesurée.

I-15- Quelle est la précision temporelle sur le temps de trajet liée la longueur de l'impulsion ?

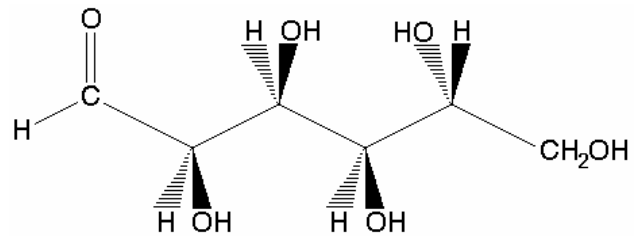
REPONSES A L'EXERCICE I

I-1- Tracé du rayon lumineux :	
I-2- Distance : $d_{TL} = 3,69 \cdot 10^8 \text{ m}$	I-3- Domaine : Infrarouge
I-4- longueur d'onde : $\lambda = 530 \text{ nm}$ fréquence : $\nu = 5,66 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$	I-5- Couleur : Vert
I-6- Puissance : $P_1 = 750 \text{ MW}$	I-7- Puissance : $P_2 = 3,0 \text{ W}$
I-8- Nombre de photons : Expr. litt. : $N = E / (h\nu)$	Appl. Num. : $N = 8,0 \cdot 10^{17} \text{ photons}$
I-9- Phénomène : diffraction	
I-10- Surface : $s_2 = 3,85 \cdot 10^7 \text{ m}^2$	
I-11- Rapport : Expr. litt. : $r_1 = s_2 / S_{\text{réflecteur}}$	Appl. Num. : $r_1 = 6,4 \cdot 10^7$
I-12- Surface : $s_3 = 34,7 \cdot 10^7 \text{ m}^2$	I-13- Rapport : $r_2 = 18,7 \cdot 10^7$
I-14- Nombre de photons : Expr. litt. : $N' = N / (r_1 \cdot r_2)$	Appl. Num. : $N' = 67$
I-15- Précision : $\Delta t = \frac{1}{2} \tau = 200 \text{ ps}$	

EXERCICE II

Le glucose est un sucre d'origine naturelle, abondamment utilisé dans l'industrie alimentaire. Il est mis en œuvre par certains producteurs d'eau embouteillée dans la fabrication de produits «aromatisés», dont la concentration massique en glucose est typiquement de plusieurs grammes par litre.

Une forme de la molécule de glucose est représentée ci-contre :



II-1- Donner la formule brute du glucose.

Sur le document réponse :

II-2-a Marquer d'une étoile le ou les atome(s) de carbone asymétrique(s).

II-2-b Entourer deux types de fonctions chimiques présentes dans la molécule et les nommer.

II-2-c Faire apparaître les doublets non liants sur chacun des atomes qui en porte.

L'analyse consistera à doser le glucose présent dans une eau minérale aromatisée.

On procède dans un premier temps à l'oxydation complète du glucose (nommé RCOH) de l'échantillon par un excès de diiode, selon la réaction :



II-3- Indiquez les deux couples Oxydant/Réducteur mis en jeu au cours de la réaction.

On introduit dans une fiole jaugée une prise d'essai de **50,0 mL** d'eau minérale aromatisée à laquelle est additionnée **25,0 mL** d'une solution de diiode de concentration **0,10 mol.L⁻¹** ; le volume de la solution est ensuite complété par de l'eau pure jusqu'à **100,0 mL**.

II-4- Calculer la quantité de matière de diiode mis en œuvre pour effectuer l'analyse.

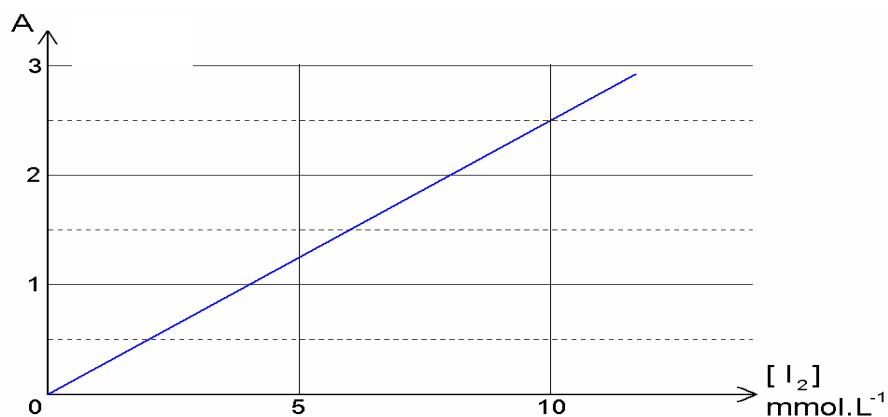
Pour suivre l'évolution temporelle de la solution, des prélèvements sont effectués toutes les 5 minutes et placés dans une cuve de spectrophotométrie en quartz de profondeur ***l* = 10,0 mm**.

L'absorbance du diiode de la solution est suivie par spectrophotométrie à la longueur d'onde $\lambda_0 = 320 \text{ nm}$.

II-5- Dans quel domaine de rayonnement les mesures ont-elles été effectuées (cocher la bonne réponse) ?

La courbe d'étalonnage ci-dessous, établie préalablement, permet de corréliser l'absorbance à la concentration en diiode d'une solution :

Courbe d'étalonnage :
Absorbance mesurée à $\lambda_0 = 320 \text{ nm}$ en fonction de la concentration en diiode



II-6- Déterminer le coefficient d'absorption molaire du diiode (loi de Beer-Lambert).

II-7- Donner l'allure de l'évolution de l'absorbance de la solution au cours du temps.

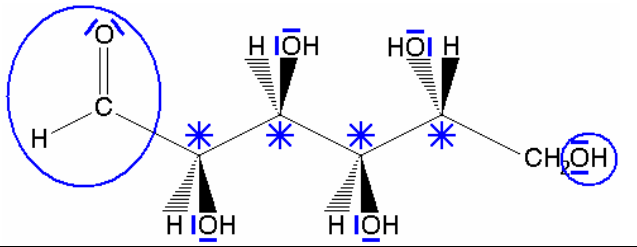
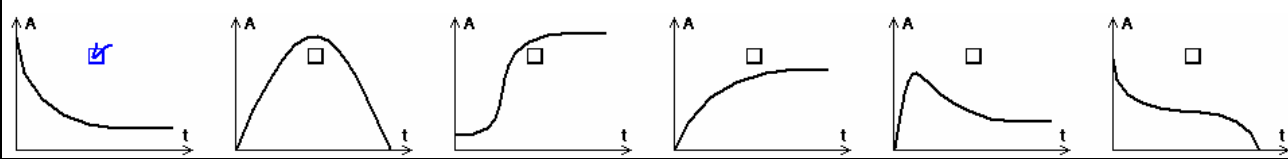
Lorsque la valeur de l'absorbance n'évolue plus, on déduit de la mesure de l'absorbance A la concentration de diiode de la solution : $[I_2]_{\text{finale}} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ puis la quantité de diiode consommée au cours de la réaction : $n(I_{2\text{consommé}}) = 2,22 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$.

II-8- Déterminer, à partir de ces résultats expérimentaux, la quantité de matière de glucose présente dans l'échantillon d'eau aromatisée.

II-9- En déduire la concentration massique de glucose dans l'eau aromatisée analysée.

Données : $M(\text{glucose}) = 180 \text{ g.mol}^{-1}$.

REPONSES A L'EXERCICE II

II-1-	Formule brute : $C_6H_{12}O_6$	
II-2-	<p>Aldéhyde</p> 	
II-3-	Oxydant 1 : I_2 Oxydant 2 : $RCOO^-$	Réducteur 1 : I^- Réducteur 2 : RCH_2OH
II-4-	Quantité : $n(I_2) = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$	
II-5-	Domaine : (cocher la réponse exacte) <input type="checkbox"/> rayons X <input checked="" type="checkbox"/> ultraviolet <input type="checkbox"/> visible <input type="checkbox"/> infra-rouge <input type="checkbox"/> micro-ondes <input type="checkbox"/> radiofréquences	
II-6-	Coefficient d'absorption molaire : Expr. litt. : $\epsilon = A / (l [I_2])$ Appl. Num. : $\epsilon = 250 \text{ L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$	
II-7-	Domaine : (cocher la réponse exacte) 	
II-8-	Quantité : $n(\text{glucose}) = 2,22 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$	II-9- Concentration : $[\text{glucose}]_{\text{massique}} = 8,0 \cdot \text{g.L}^{-1}$

EXERCICE III

Dans les domaines de la science des matériaux, on a souvent recouru à un microscope haute résolution pour étudier leur microstructure. L'augmentation de la résolution passant par une diminution de la longueur d'onde, on utilise un faisceau d'électrons à la place d'un faisceau de photons visibles. Dans un microscope électronique à balayage, les électrons sont accélérés grâce à un champ électrique produit par une différence de potentiel entre la source et une anode, puis focalisés sur l'échantillon par des lentilles magnétiques ou électrostatiques. Après interaction avec l'échantillon, le faisceau d'électrons est mesuré par un détecteur permettant de former une image du cristal. On se propose d'étudier ici le canon à électrons qui accélère les électrons d'une plaque A vers une plaque B.

Le champ électrique \vec{E} est uniforme et horizontal, entre les plaques A et B verticales. Sa norme vaut :

$$\|\vec{E}\| = E = 300\,000 \text{ V.m}^{-1}.$$

On étudie le mouvement d'un électron de masse m et de charge $-e$ entre ces deux plaques.

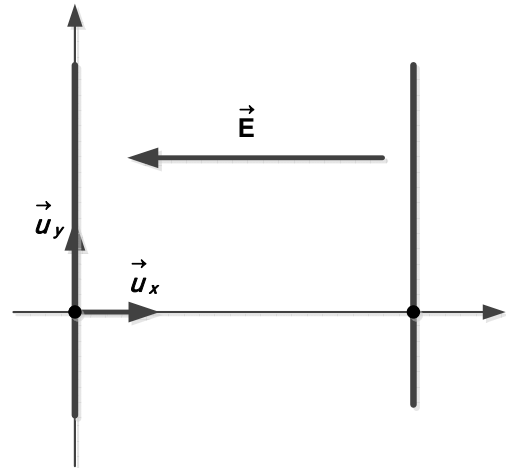
Au temps $t = 0$, l'électron se trouve en O, origine du repère cartésien.

La vitesse de l'électron en O est nulle.

L'électron atteint la plaque B en un point M.

La distance entre les plaques vaut $OM = L = 10 \text{ cm}$.

On rappelle qu'une charge q placée dans un champ électrique \vec{E} subit une force $\vec{F} = q \vec{E}$.



On précise qu'on ne fera pas de corrections relativistes dans tout l'exercice.

Données :

- charge élémentaire $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$
- masse de l'électron : $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
- constante de Planck : $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

Calcul de la vitesse de l'électron par la deuxième loi de Newton

III-1- Donner l'expression vectorielle de la force électrostatique subie par l'électron en fonction de E et e. Calculer la norme de cette force.

III-2- Donner l'expression vectorielle du poids de l'électron. Calculer la norme de cette force.

Dans la suite de l'exercice, on décide de négliger le poids de l'électron par rapport à la force électrostatique.

III-3- Appliquer la 2^e loi de Newton à l'électron et donner les composantes de l'accélération suivant x et y. En déduire l'expression des composantes de la vitesse de l'électron en fonction du temps puis les expressions des composantes de la position de l'électron en fonction du temps

III-4- En déduire l'expression du temps t_M au bout duquel l'électron parviendra à la plaque B. Faire le calcul.

III-5- Calculer la vitesse v_M atteinte par l'électron au point M.

Calcul de la vitesse de l'électron par une méthode énergétique

III-6- Donner l'expression du travail W que fournit la force électrostatique lors du déplacement de l'électron de O vers M, en fonction de E.

III-7- En définissant la variation d'énergie potentielle électrostatique ΔE_p entre O et M par $\Delta E_p = -W$ et l'énergie potentielle associée à une charge q par $E_p = qV$, déterminer l'expression de la différence de potentiel $V_B - V_A$ appliquée entre les plaques du canon à électron. Faire l'application numérique.

On fixe le potentiel V_A à zéro volt.

III-8- Donner l'expression de l'énergie mécanique de l'électron en O et calculer sa valeur.

III-9- Que vaut $E_m(M)$? Justifier.

III-10 Donner l'expression de l'énergie mécanique $E_m(M)$ de l'électron en M en fonction de v_M .

III-11- En déduire l'expression de la norme de la vitesse v_M de l'électron en M en fonction du potentiel V_B .

Diffraction des électrons

Après interaction avec la matière, ces électrons perdent un peu d'énergie, leur vitesse vaut désormais $v = 8,47 \cdot 10^6 \text{ m.s}^{-1}$.

III-12- Énoncer la relation de De Broglie liant la longueur d'onde λ associée à une particule et sa quantité de mouvement p .

III-13- En déduire la valeur de la longueur d'onde des électrons.

III-14- Justifier alors que ces électrons puissent être diffractés par le cristal.

REPONSES A L'EXERCICE III

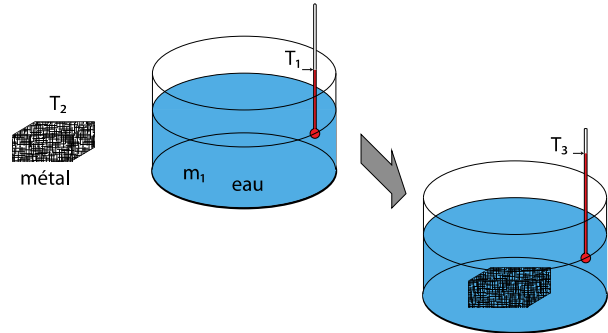
III-1-	Force électrostatique : $\vec{F} = eE \vec{u}_x + 0 \vec{u}_y$	$\ \vec{F}\ = 4,8 \cdot 10^{-14} \text{ N}$
III-2-	Poids : $\vec{P} = 0 \vec{u}_x + -mg \vec{u}_y$	$\ \vec{P}\ = 8,9 \cdot 10^{-30} \text{ N}$
III-3-	Loi de Newton : $\vec{F} = m \vec{a}$	
	Accélération $\begin{cases} a_x = \frac{eE}{m} \\ a_y = 0 \end{cases}$	Vitesse $\begin{cases} v_x(t) = \frac{eE}{m} t \\ v_y(t) = 0 \end{cases}$
		Position : $\begin{cases} x(t) = \frac{1}{2} \frac{eE}{m} t^2 \\ y(t) = 0 \end{cases}$
III-4-	Expr. litt. : $t_M = \sqrt{\frac{2Lm}{eE}}$	Appl. Num. : $t_M = 1.95 \text{ ns}$
III-5-	Vitesse : $v_M = 1,03 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$	
III-6-	Travail : $W = L e E$	
III-7-	Expr. litt. : $V_B - V_A = E L$	Appl. Num. : $V_B - V_A = 30 \text{ kV}$
III-8-	Expr. litt. : $E_m(O) = E_c(O) + E_p(O)$	Appl. Num. : $E_m(O) = 0 \text{ J}$
III-9-	Valeur : $E_m(M) = 0 \text{ J}$ Justification : il n'y a pas de dissipation d'énergie, pas de forces de frottements	
III-10-	$E_m(M) = \frac{1}{2} m v_M^2 - e V_B$	III-11- Vitesse : $v_M = \sqrt{\frac{2 e V_B}{m}}$
III-12-	Relation : $\lambda = \frac{h}{p}$	III-13- Longueur d'onde : $\lambda = 8,6 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
III-14-	Justification : leur longueur d'onde est du même ordre de grandeur que celle de la distance interatomique (10^{-10} m).	

EXERCICE IV

On souhaite mettre en oeuvre un protocole de mesure permettant de déterminer les principales caractéristiques thermiques d'un métal : capacité thermique et conductivité thermique.

1^{ère} expérience : On utilise une enceinte parfaitement calorifugée afin de réaliser une transformation adiabatique entre le métal et l'eau.

- Le bloc de métal de masse $m_{\text{métal}} = 2 \text{ kg}$ à une température $\theta_2 = 82^\circ\text{C}$ est plongé dans de l'eau initialement à $\theta_1 = 17^\circ\text{C}$.
- L'eau a une masse $m_{\text{eau}} = 1,5 \text{ kg}$.
- Une fois à l'équilibre thermodynamique, l'ensemble atteint une température finale $\theta_3 = 31,5^\circ\text{C}$.
- On considérera que le système est l'ensemble {eau + métal} et que ces deux matériaux sont indéformables.



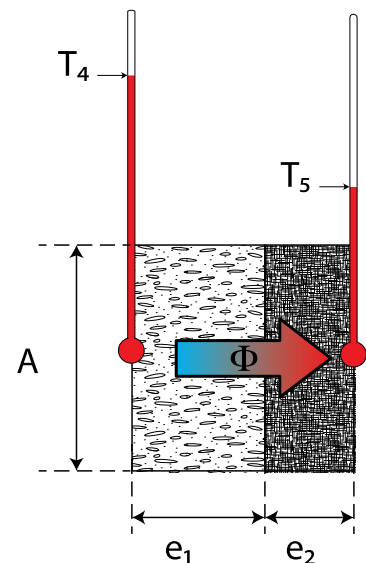
- IV-1- La capacité thermique massique de l'eau est $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ SI}$. Quelle est son unité dans le système international.
- IV-2- Que valent les températures T_1 , T_2 et T_3 dans l'échelle de température absolue ?
- IV-3- Rappeler le premier principe de la thermodynamique dans le cas d'un tel système.
- IV-4- Que vaut le travail durant cette transformation ? Justifier votre réponse.
- IV-5- Que vaut la quantité de chaleur échangée par le système ?
- IV-6- Comment qualifier ce type de système ?
- IV-7- Exprimer la quantité de chaleur Q_{eau} échangée par l'eau. Calculer Q_{eau} et préciser si cette quantité est reçue ou cédée par l'eau.
- IV-8- Quel est la valeur de $Q_{\text{métal}}$?
- IV-9- En déduire la capacité calorifique massique du métal ?

2^e expérience : On réalise un assemblage de 2 plaques de surface $A = 350 \text{ cm}^2$. La première en cuivre a une épaisseur $e_1 = 10 \text{ cm}$ et une résistance thermique $R_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ S.I}$. La seconde est constituée du métal précédent possède une épaisseur $e_2 = 7 \text{ cm}$ et une résistance thermique notée R_2 .

- Un flux thermique $\Phi = 7\,200 \text{ W}$ est imposé entre les 2 faces de l'assemblage.
- La température sur la face externe du cuivre vaut $\theta_4 = 200^\circ\text{C}$ tandis que l'autre face vaut $\theta_5 = 77^\circ\text{C}$.
- La résistance thermique de l'assemblage sera notée R_{th} .
- On rappelle que :

$$R_{\text{th}} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$$

$$\phi = \frac{\Delta T}{R_{\text{th}}}$$



- IV-10- Quelle est la nature du transfert thermique dans l'assemblage ?
 IV-11- Quelle est l'unité de la résistance thermique ?
 IV-12- Exprimer la résistance thermique R_2 du métal en fonction des données du problème. Calculer R_2 .
 IV-13- Que vaut la conductivité thermique du métal λ_{metal} ?
 IV-14- Exprimer littéralement la température θ_6 à la jonction entre les 2 métaux. Calculer θ_6 .

REPONSES A L'EXERCICE IV

IV-1-	Unité de la capacité thermique massique : (cocher la réponse exacte)
	<input type="checkbox"/> J <input checked="" type="checkbox"/> $J.K^{-1}.kg^{-1}$ <input type="checkbox"/> $kg.J^{-1}.K^{-1}$ <input type="checkbox"/> $K.J^{-1}.kg^{-1}$
IV-2-	$T_1 = 290 \text{ K}$ $T_2 = 355 \text{ K}$ $T_3 = 304,5 \text{ K}$
IV-3-	Premier principe : $\Delta U = W + Q$
IV-4-	Travail : $W = 0 \text{ J}$ Justification : le système est indéformable
IV-5-	Chaleur : $Q = 0 \text{ J}$ Justification : le système est parfaitement calorifugé
IV-6-	Le système est : isolé
IV-7-	Quantité de chaleur : (cocher la réponse exacte)
	<input checked="" type="checkbox"/> reçue <input type="checkbox"/> cédée
	Expr. litt. : $Q_{\text{eau}} = m_{\text{eau}} c_{\text{eau}} (T_3 - T_1)$ Appl. Num. : $Q_{\text{eau}} = 90,9 \text{ kJ}$
IV-8-	Appl. Num. : $Q_{\text{métal}} = -90,9 \text{ kJ}$
IV-9-	Expr. litt. : $c_{\text{métal}} = \frac{Q_{\text{métal}}}{m_{\text{métal}} (T_3 - T_2)}$ Appl. Num. : $c_{\text{métal}} = 900 \text{ J.K}^{-1}.kg^{-1}$
IV-10-	Nature du transfert thermique : conduction
IV-11-	Unité de la résistance thermique R_{th} : $K.W^{-1}$
IV-12-	Expr. litt. : $R_2 = \frac{T_4 - T_5}{\phi} - R_1$ Appl. Num. : $R_2 = 12,1 \cdot 10^{-3} \text{ K.W}^{-1}$
IV-13-	Conductivité thermique : $\lambda_{\text{metal}} = \frac{e_2}{A R_2}$
IV-14-	Expr. litt. : $\theta_6 = \theta_4 - R_1 \cdot \phi$ Appl. Num. : $\theta_6 = 165 \text{ }^\circ\text{C}$