

**BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE  
SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE**

**Spécialité Biotechnologies**

**SESSION 2019**

**PHYSIQUE - CHIMIE**

**ÉPREUVE DU LUNDI 24 JUIN 2019**

**Durée de l'épreuve : 3 heures - Coefficient : 4**

**L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.**

**Dès que le sujet est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.**

**Le DOCUMENT RÉPONSE page 12/12 est à rendre impérativement avec la copie, même non complété.**

*Il est rappelé aux candidat(e)s que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies.  
Toute réponse devra être justifiée.*

## Les « petites Curie » : des voitures radiologiques



**Figure 1** : Voiture radiologique 1915<sup>1</sup>. Fonds photographiques du musée Curie à Paris.

Dès le début de la première guerre mondiale, Marie Curie s'implique pour que la radiologie s'installe au front. Elle emploie alors toute son énergie à la création d'unités mobiles radiologiques surnommées les « petites Curie » par les soldats blessés.

**L'étude proposée comporte trois parties qui peuvent être traitées indépendamment les unes des autres.**

### **PARTIE A : Des rayons X pour examiner les blessés**

Dans cette première partie, l'objectif est d'étudier la nature et la formation des rayons X au sein du tube de l'époque, à savoir un tube de Coolidge.

### **PARTIE B : De l'électricité pour alimenter le tube à rayons X**

Dans cette deuxième partie, l'objectif est d'évaluer un ordre de grandeur de la puissance électrique nécessaire à l'alimentation d'un tel tube.

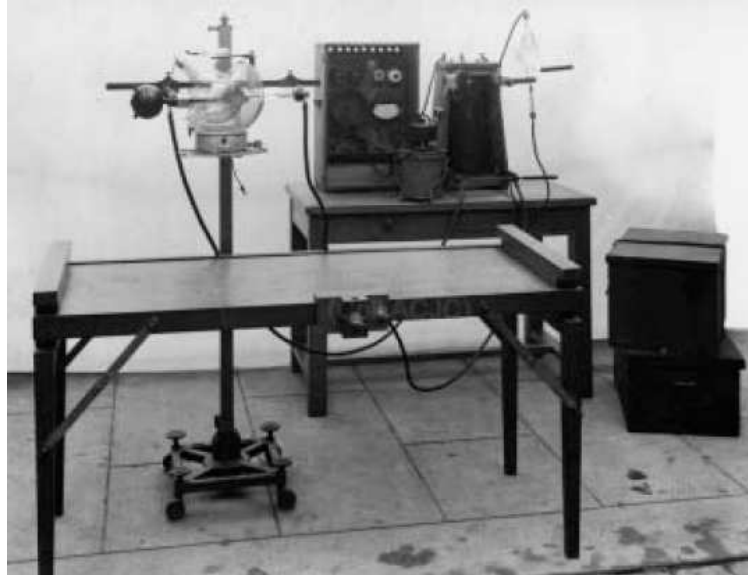
### **PARTIE C : Un moteur à essence comme source d'énergie**

Dans cette dernière partie, l'objectif est d'effectuer une étude de la réaction de combustion dans un moteur à essence d'une « petite Curie ».

<sup>1</sup>Mémoire de DU d'histoire de la médecine, Marie Curie et son engagement pendant la Grande Guerre, Maxime Leroux, 2014 <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01416186>.

## **PARTIE A : Des rayons X pour examiner les blessés**

L'équipage de chaque « petite Curie », est constitué d'un médecin, d'un manipulateur et d'un chauffeur. Chaque véhicule est équipé de tout le matériel de radiologie nécessaire à savoir : un appareil à rayons X, du matériel photographique pour développer les clichés, des rideaux, des écrans et des paires de gants destinées à protéger les mains des manipulateurs.



**Figure 2** : Appareillage transporté par une voiture radiologique<sup>1</sup>.  
Fonds photographiques du musée Curie à Paris

Répondre aux questions ci-dessous à l'aide de vos connaissances et des informations fournies dans les DOCUMENTS A1, A2 et A3.

### **A.1. Énergies des rayons X**

#### **Données :**

- Énergie  $E$  en Joule (J) transportée par un photon de fréquence  $\nu$  en hertz (Hz) :  $E = h \cdot \nu$
- constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- électron-volt :  $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

#### **A.1.1. Les rayons X font partie des ondes électromagnétiques.**

**A.1.1.1.** Montrer que la fréquence maximale  $\nu$  des rayons X produits dans le tube est de l'ordre de  $3 \times 10^{19}$  Hz.

**A.1.1.2.** En déduire la longueur d'onde  $\lambda$  correspondant à ces rayons X.

**A.1.1.3.** La longueur d'onde d'un photon UVA présent dans le rayonnement solaire est d'environ 380 nm. Montrer que son énergie est environ 37000 fois plus faible que celle d'un photon X produit par le tube.

**A.1.1.4.** Justifier la nécessité pour les manipulateurs radio de l'époque d'utiliser des gants de radioprotection.

**A.1.2.** Compléter le **DOCUMENT RÉPONSE DR1 p12**, à rendre avec la copie, en attribuant à chaque domaine le type de rayonnement correspondant : visible, ultra-violet, infrarouge, rayonnement X et rayonnement gamma.

**A.1.3.** Déterminer l'énergie cinétique d'un électron soumis à une tension accélératrice  $U = 100$  kV.

**A.1.4.** On suppose que lors de l'impact de l'électron sur la cible, la totalité de son énergie cinétique est absorbée par un atome de tungstène de la cible avant d'être réémise sous forme d'un photon. Montrer que ce dernier correspond bien à un photon X.

## **A.2. Atténuation des rayons X**

**A.2.1.** Que peut-on dire des numéros atomiques  $Z$  des éléments chimiques constituant les éclats d'obus utilisés pendant la « Grande Guerre » ?

## **A.3. Élévation de température dans le tube à rayons X**

La puissance tube est la puissance électrique nécessaire à l'obtention, avec une tension électrique accélératrice  $U$ , d'un faisceau d'électrons d'intensité de courant  $I$ .

**A.3.1.** Soit un cliché obtenu avec une tension accélératrice  $U = 100$  kV. L'intensité de courant du faisceau d'électrons étant de  $I = 300$  mA, déterminer la puissance tube.

**A.3.2.** Le temps de pose d'un cliché étant de 2,00 s, montrer que l'énergie transférée à l'anode lors de ce cliché s'élève à  $E_{\text{cliché}} = 6,00 \times 10^4$  J.

**A.3.3.** L'anode est constituée d'une cible de tungstène de masse  $m = 1,00$  kg et de capacité calorifique massique  $c_m = 133$  J · kg<sup>-1</sup> · K<sup>-1</sup>. Exprimer, puis calculer, l'élévation de température,  $\Delta T$ , de la cible lors du fonctionnement du tube en supposant que toute l'énergie transférée par le faisceau à l'anode sert à élever sa température.

## DOCUMENTS DE LA PARTIE A

### DOCUMENT A1 : Production des rayons X

Les rayons X sont découverts en 1895 par le physicien allemand Wilhelm Röntgen qui reçoit alors le premier prix Nobel de physique en 1901. Ces rayons sont des ondes électromagnétiques, comme le visible, mais leur longueur d'onde est plus petite. Les énergies des photons X sont comprises approximativement entre 120 eV et 120 keV.

Les rayons X sont produits dans des tubes à rayons X également appelés tubes de Coolidge : des électrons émis par une cathode (un filament, le plus souvent en tungstène, chauffé par le passage d'un courant électrique) soumis à une tension électrique élevée (de 10 à 150 kV) qui les accélère en direction d'une cible constituée d'une anode en métal (en tungstène également). L'énergie des électrons est transférée à la cible lors de l'impact.

L'énergie cinétique  $E_c$  (en J) d'un électron initialement au repos, accéléré par une tension électrique  $U$  (en V), peut être obtenue par l'expression :

$$E_c = e \cdot U$$

Avec  $e$  : charge électrique élémentaire ;  $e = 1,60 \times 10^{-19}$  C.

On suppose que la totalité de l'énergie d'un électron est absorbée par un atome de tungstène avant d'être réémis sous forme d'un photon X. Des rayons X sont alors émis par la cible.

### DOCUMENT A2 : Contraste en radiographie



**Figure 4** : Clichés radiographiques d'une main contenant 4 éclats d'obus sous deux angles de vue différents.

*(Fonds photographiques du musée Curie à Paris. 1917)*

Les os contiennent essentiellement du calcium ( $Z = 20$ ) et du phosphore ( $Z = 15$ ). Les tissus « mous » sont constitués principalement d'hydrogène ( $Z = 1$ ), de carbone ( $Z = 6$ ), d'azote ( $Z = 7$ ) et d'oxygène ( $Z = 8$ ).

Pour une même épaisseur et à une énergie de 50 keV, plus les tissus sont composés d'éléments chimiques de numéro atomique  $Z$  élevé, plus ils atténuent les rayons X, ce qui se traduit par des nuances de gris plus intenses.

### DOCUMENT A3 : Élévation de température dans le tube

L'énergie du faisceau d'électrons est intégralement transférée à la cible (anode) lors du temps de pose d'un cliché. Outre la production de rayons X, il s'ensuit un échauffement localisé très intense au niveau de la cible qui pourrait la détruire, si elle n'était pas refroidie. L'évolution de l'énergie de la cible  $\Delta E$  lors d'un échauffement  $\Delta T$  est donnée par la relation :

$$\Delta E = m \cdot c_m \cdot \Delta T$$

avec :

$m$  : masse de la cible en kg

$c_m$  : capacité calorifique massique en  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$\Delta T$  : élévation de température en K (ou en ° C)

## **PARTIE B : De l'électricité pour alimenter le tube à rayons X**

Répondre aux questions ci-dessous à l'aide de vos connaissances et des informations fournies dans les DOCUMENTS B1 et B2.

### **B.1. Alimentation du tube**

Pour alimenter le tube à rayons X, on pouvait installer dans les voitures radiologiques, soit un groupe électrogène, soit une « dynamo » encore appelée génératrice de courant continu et entraînée par le moteur de la voiture.

**B.1.1.** Donner deux avantages qu'apportait la « dynamo » par rapport à un groupe électrogène de l'époque.

**B.1.2.** Donner les deux principaux inconvénients de l'utilisation de la « dynamo ».

### **B.2. Bilan de puissance de la « dynamo »**

**B.2.1.** Donner la valeur de l'intensité du courant continu délivré par la « dynamo » utilisée dans les « petites Curie » ainsi que la valeur de la tension correspondante.

**B.2.2.** Exprimer puis calculer la valeur de la puissance électrique  $P_{élec}$  fournie par la « dynamo » aux récepteurs qu'elle alimente.

**B.2.3.** Sachant que seulement 80% de la puissance mécanique fournie à la « dynamo » sont convertis en puissance électrique donner l'expression de la puissance mécanique fournie à la « dynamo »  $P_{méca}$  et montrer qu'elle vaut  $P_{méca} = 2,1 \text{ kW}$ .

**B.2.4.** Compléter sur le **DOCUMENT RÉPONSE DR2 p 12**, à rendre avec la copie, le schéma simplifié de la conversion de puissance qui a lieu dans la « dynamo » en utilisant les termes suivants : « dynamo », puissance électrique, puissance thermique, puissance mécanique.

**B.2.5.** En déduire la valeur de la puissance totale dissipée  $P_{diss}$ .

**B.2.6.** Une partie de la puissance dissipée est due à l'effet Joule. Donner une autre cause possible de la dissipation de puissance dans la « dynamo ».

**B.2.7.** La vitesse de rotation du moteur qui entraîne la « dynamo » vaut  $\omega = 1800$  tours par minute.

**Données :**

- Puissance mécanique  $P_{méca}$  du moteur en watt (W) :  $P_{méca} = C \cdot \omega$
- $C$  : moment du couple en  $\text{N} \cdot \text{m}$
- $\omega$  : vitesse de rotation du moteur en  $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$

**B.2.7.1.** Exprimer la valeur de la vitesse de rotation  $\omega$  du moteur en  $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**B.2.7.2.** Déterminer la valeur du moment du couple  $C$  de la « dynamo ».

**B.2.7.3.** Indiquer comment le conducteur pouvait régler la vitesse de rotation du moteur de la voiture radiologique.

### **B.3 Évaluation du volume d'essence nécessaire à une heure consécutive de prise de cliché.**

#### **Données :**

- masse volumique du carburant,  $\rho_{\text{carburant}} = 0,703 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$
- puissance mécanique  $P_{\text{méca}}$  fournie à la « dynamo » lors de la prise d'un cliché,  $P_{\text{méca}} = 2,1 \text{ kW}$ .
- énergie libérée  $E_{\text{lib}}$  par unité de masse de carburant,  $E_{\text{lib}} = 4,79 \times 10^7 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
- volume du réservoir d'une petite Curie,  $V_{\text{rés}} = 35,0 \text{ L}$ .

**B.3.1.** En supposant que seulement 10% de l'énergie libérée lors de la combustion de l'essence sert à entraîner la « dynamo », évaluer le volume d'essence nécessaire lors d'une durée de fonctionnement de l'appareillage radiographique de 1h.

**B.3.2.** En déterminant l'autonomie d'utilisation d'une « petite Curie » en radiographie, justifier l'affirmation en gras soulignée dans le DOCUMENT B1.



## DOCUMENTS DE LA PARTIE B

### DOCUMENT B1 : Description et utilisation des « petites Curie » par Marie Curie

« Une voiture radiologique, généralement automobile, transporte un appareillage complet pour l'examen des blessés. Elle doit donc contenir d'une part, la source d'électricité, d'autre part, les appareils principaux ainsi que tous les accessoires indispensables. La production de courant peut être assurée par un groupe électrogène installé à poste fixe dans la voiture.

Ce groupe ne doit être ni très lourd, ni très encombrant, cependant, en raison de la puissance qui lui est demandée, il ne peut guère peser moins de 100 kilogrammes. On le place soit à l'avant de la voiture, soit à l'intérieur de la caisse qui sert de carrosserie. Au lieu d'employer un groupe électrogène, on peut se servir du moteur de la voiture pour entraîner une dynamo placée à l'avant ou bien sur le marchepied. Les avantages de ce dispositif se voient immédiatement : en remplaçant le groupe par une dynamo, on réduit le poids de moitié et l'on diminue l'encombrement, ce qui permet d'avoir une voiture plus légère et plus rapide ; la dynamo d'ailleurs coûtait beaucoup moins cher que le groupe et était beaucoup plus facile à trouver au début de la guerre. On pouvait donc, par ce moyen, équiper une voiture quelconque, sans même exiger une carrosserie spéciale.

Bien que l'utilisation du moteur de la voiture pour l'entraînement de la dynamo puisse rendre souvent de grands services, on doit néanmoins reconnaître que ce système comporte des inconvénients, dont les principaux sont la dépense d'essence relativement élevée et la nécessité de faire travailler le moteur de la voiture aussi bien pendant la circulation entre les hôpitaux qu'à l'arrêt, puisque le moteur doit entraîner la dynamo pendant la durée du service. »

Extrait de : La radiologie et la guerre par Marie Curie (1921)

<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6565193m/texteBrut>

### DOCUMENT B2 : Production de courant par une dynamo

« Comme nous l'avons dit, l'énergie électrique est fournie par une dynamo à courant continu 110 volts 15 ampères, entraînée par le moteur même de la voiture au moyen d'un arbre intermédiaire commandé par pignons et chaînes silencieuses. Un voltmètre, placé à la vue du conducteur, lui permet de contrôler le voltage fourni par la dynamo et de régler, par l'admission des gaz, la vitesse à laquelle doit tourner son moteur. De la dynamo, le courant est envoyé au tableau de distribution qui le répartit vers les divers appareils d'utilisation. »

Extrait de : Les Voitures Radiologiques Massiot - Extrait du manuel pratique du Manipulateur Radiologiste par G. Massiot & Biquard (Maloine 1915).

<http://tsoverp.org/histoire/DocPdf/VoitRXMassiot.pdf>

## **PARTIE C : Un moteur à essence comme source d'énergie**

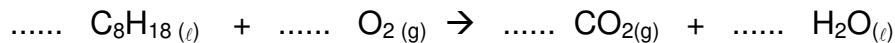
Dans les « petites Curie », le moteur, qui permet de faire fonctionner la voiture quand elle est en mouvement et la dynamo quand elle est à l'arrêt, est un moteur à essence.

On assimilera l'essence à de l'octane de formule moléculaire  $C_8H_{18}$ .

Répondre aux questions ci-dessous à l'aide de vos connaissances et des informations fournies dans les DOCUMENTS C1 et C2.

### **C.1. Réaction de combustion de l'octane**

**C.1.1.** Recopier et ajuster l'équation de la réaction de combustion complète de l'octane dans l'air, donnée ci-dessous :



**C.1.2.** Donner la signification de deux des pictogrammes de sécurité fournis pour l'octane. Préciser les numéros correspondants aux pictogrammes choisis

### **C.2. Masse de dioxyde de carbone rejeté**

**C.2.1.** Déterminer, à l'aide des données fournies, la quantité de matière d'octane  $n_{octane}$  contenue dans 1,00 L d'essence.

**C.2.2.** En déduire que la quantité de matière  $n(CO_2)$  de dioxyde de carbone, rejetée lors de la combustion d'un litre d'essence, vaut 49,4 mol.

**C.2.3.** Calculer la masse  $m(CO_2)$  de dioxyde de carbone rejetée pour 1,00 L d'essence. On donne la masse molaire  $M(CO_2)$  du dioxyde de carbone :  $44,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**C.2.4.** Le réservoir du moteur des « petites Curie » peut contenir 35,0 L d'essence et l'autonomie de ces voitures est de 270 km.





**C.2.4.1.** Calculer la masse totale  $m_{tot}$  de dioxyde de carbone libérée par la combustion de la totalité de l'essence contenue dans le réservoir.

**C.2.4.2.** En déduire la masse  $m$  de dioxyde de carbone libérée par kilomètre parcouru.

**C.2.4.3.** Qu'en serait-il du malus écologique d'une « petite Curie » compte tenu des normes établies en 2017 ?

## DOCUMENTS DE LA PARTIE C

### DOCUMENT C1 : Caractéristiques physico-chimiques de l'octane

<p>Formule chimique : <math>C_8H_{18}</math>                  Masse molaire : <math>114 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}</math>                  Masse volumique : <math>0,703 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}</math></p>	<p style="text-align: center;">Pictogrammes de sécurité</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  ①                 </div> <div style="text-align: center;">  ②                 </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  ③                 </div> <div style="text-align: center;">  ④                 </div> </div>
---	---

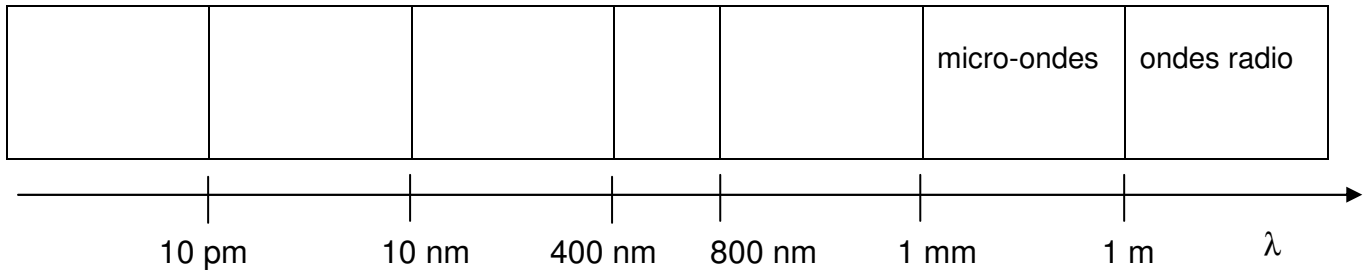
<http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil30>

### DOCUMENT C2 : Malus écologique d'un véhicule en 2017

Niveau d'émission en CO2 (g/km)	Montant du malus 2017 (en euros)	Niveau d'émission en CO2 (g/km)	Montant du malus 2017 (en euros)	Niveau d'émission en CO2 (g/km)	Montant du malus 2017 (en euros)
120		145	860	170	4673
121		146	953	171	4890
122		147	1050	172	5113
123		148	1153	173	5340
124		149	1260	174	5573
125		150	1373	175	5810
126		151	1490	176	6053
127	50	152	1613	177	6300
128	53	153	1740	178	6553
129	60	154	1873	179	6810
130	73	155	2010	180	7073
131	90	156	2153	181	7340
132	113	157	2300	182	7613
133	140	158	2453	183	7890
134	173	159	2610	184	8173
135	210	160	2773	185	8460
136	253	161	2940	186	8753
137	300	162	3113	187	9050
138	353	163	3290	188	9353
139	410	164	3473	189	9660
140	473	165	3660	190	9973
141	540	166	3853	+ de 190	10000
142	613	167	4050	191 à 200	10000
143	690	168	4243	+ de 200	10000
144	773	169	4460		

**DOCUMENT RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE,  
MÊME NON COMPLÉTÉ**

**DR1 : Spectre électromagnétique (échelle non respectée et limites approximatives)**



1 pm =  $10^{-12}$  m

**DR2 : Chaîne de puissance simplifiée de la dynamo**

