BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Physique-Chimie et Mathématiques

Mardi 17 juin 2025

Durée de l'épreuve : **3 heures**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 15 pages numérotées de 1/15 à 15/15.

PHYSIQUE-CHIMIE .... 14/20 points
MATHÉMATIQUES .... 6/20 points

EXERCICE 1 (4 points) (physique-chimie et mathématiques)

Pertes d'énergie dans le réseau électrique

Lors de l'alimentation d'un équipement électrique en régime sinusoïdal, les pertes d'énergie par effet Joule dans les lignes d'alimentation peuvent être importantes.
Afin d'évaluer leur valeur, on doit calculer le facteur de puissance de l'équipement électrique.

Données :
Pour un courant alternatif sinusoïdal, les valeurs efficaces de la tension et de l'intensité du courant, U_{eff} et I_{eff}, sont reliées à leurs valeurs maximales, $U_{\max}$ *et* $I_{\max}$, par les relations :

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \quad \text{et } I_{\text{eff}} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

Partie 1

L'équipement électrique dont on désire déterminer le facteur de puissance est constitué de l'association d'une bobine, composant électrique présent dans de nombreux circuits électriques, et d'un résistor. On réalise le circuit représenté sur la figure1 ci-dessous.

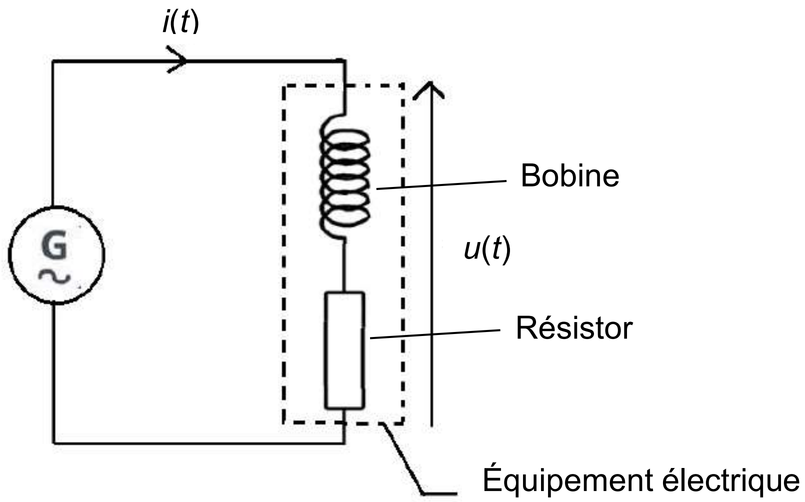


Figure 1 – Circuit électrique réalisé

La figure 2 ci-après représente l'évolution temporelle de la tension $u(t)$ aux bornes de l'équipement électrique.

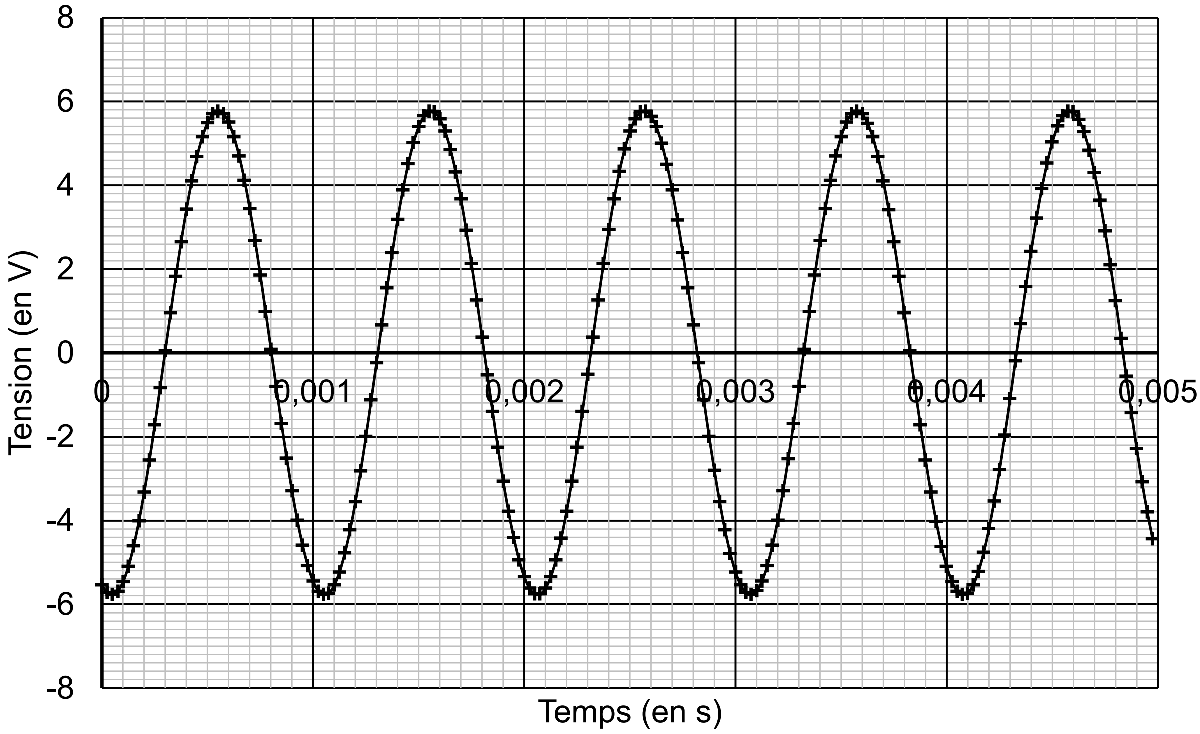


Figure 2 – Évolution temporelle de la tension aux bornes de l'équipement électrique.

Q1. Déterminer par lecture graphique la valeur maximale, notée U_{max}, de la tension observée puis calculer la valeur efficace associée, notée U_{eff}.

Q2. Sachant que la valeur efficace de l'intensité du courant est égale à $I_{eff} = 3{,}5 \times 10^{-3}$ A, montrer que la puissance apparente S de l'équipement électrique a pour valeur approximative $S = 1{,}4 \times 10^{-2}$ VA.

On rappelle que l'expression du facteur de puissance k en fonction de la puissance active et de la puissance apparente est : $k = \frac{P}{S}$.

Q3. Sachant que la puissance active P reçue par l'équipement électrique a pour valeur $P = 1{,}2 \times 10^{-2}$ W, calculer son facteur de puissance k.

Q4. Montrer que l'énergie E reçue par l'équipement électrique pendant une durée d'une minute a pour valeur $E = 0{,}72$ J.

Q5. On souhaite diminuer les pertes d'énergie induites dans les lignes d'alimentation par l'utilisation de l'appareil en modifiant son facteur de puissance *k* sans changer la puissance électrique qu'il reçoit. Préciser s'il est nécessaire d'augmenter ou de diminuer la valeur de *k*.

Partie 2

On établit un modèle numérique à partir de l'expérience décrite en partie 1. On suppose que la fonction modélisant la puissance instantanée, exprimée en mW, reçue par l'équipement électrique en fonction du temps t, exprimé en seconde, est définie sur l'intervalle $[0; +\infty[$ par :

$$f(t) = 12{,}25 - 13{,}91 \sin(12466\, t).$$

Q6. On considère la fonction F définie sur $[0; +\infty[$ par :

$$F(t) = 12{,}25\, t + \frac{13{,}91}{12466} \cos(12466\, t).$$

Montrer que F est une primitive de f sur l'intervalle $[0; +\infty[$.

Q7. L'intégrale $E_{\text{mod}} = \int_0^{60} f(t)\mathrm{d}t$ modélise l'énergie reçue par l'équipement électrique pendant une minute, exprimée en mJ. Calculer l'énergie E_{mod}, en arrondissant à l'unité.

L'incertitude type sur l'énergie de valeur E = 0,72 J, mesurée à la question Q4, vaut $u(E)$=10 mJ. Le nombre z d'incertitudes types qui séparent E et E_{mod} est donné par la relation :

$$z = \frac{|E - E_{\text{mod}}|}{u(E)}$$

Q8. Calculer la valeur de z et discuter l'accord entre le modèle adopté et la valeur mesurée de E.

EXERCICE 2 (6 points) (physique-chimie)

La flamme des jeux olympiques

Le voyage de la flamme olympique depuis son allumage à Olympie en Grèce jusqu'à la vasque de Paris a été une grande aventure.
On s'intéresse dans cet exercice au fonctionnement de la torche olympique portée par les relayeurs, puis au lancement de la grande vasque olympique dans le ciel parisien.

Partie 1 – La flamme olympique

Il y a en réalité deux flammes olympiques :

- la torche olympique, que portent les relayeurs, soumise aux aléas météorologiques et susceptible de s'éteindre. Cette torche est alimentée par une cartouche de gaz propane sous pression qu'il faut renouveler toutes les 8 minutes ;
- la lanterne olympique, qui est protégée par une vitre et manipulée par des officiels. La lanterne est composée d'une mèche trempant dans un réservoir de paraffine qui sert de combustible.

Dans cette partie, on se propose de comparer les propriétés de ces deux dispositifs.

Donnée : la formule chimique brute du propane est C_3H_8.

Q1. Écrire l'équation de la réaction de combustion complète du propane par le dioxygène de l'air.

On cherche à évaluer le pouvoir calorifique de la combustion de la paraffine. Pour cela, on introduit un volume d'eau V_{eau} à la température initiale θ_i = 21,3°C dans une canette de soda dans laquelle on place un thermomètre.
Une bougie allumée, composée de paraffine, de masse m_i est placée sous la canette. Au bout de quelques minutes, on éteint la bougie et on relève la température finale de l'eau θ_f contenue dans la canette ainsi que la masse finale de la bougie m_f.

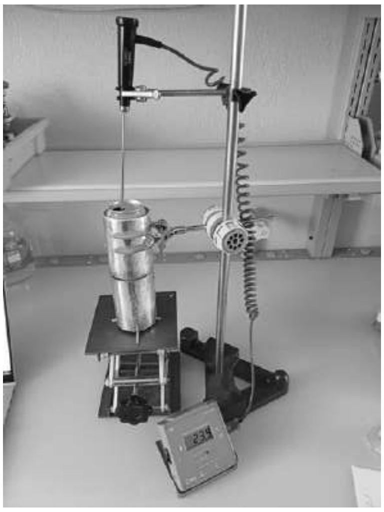


Figure 1 – Photographie du dispositif expérimental utilisé. La canette est placée dans une enceinte qui limite les échanges thermiques avec l'air environnant.

Données :

- pouvoir calorifique du propane : 12,8 $kWh \cdot kg^{-1}$;
- masse volumique de l'eau liquide : ρ_{eau}= 1,00 $g \cdot mL^{-1}$;
- volume de l'eau contenue dans la canette de soda : V_{eau} = 100 mL ;
- capacité thermique massique de l'eau liquide : c_{eau} = $4{,}18 \times 10^3 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$;
- température initiale de l'eau : θ_i = 21,3°C ;
- température finale de l'eau : θ_f = 44,5°C ;
- masse initiale de la bougie : m_i = 11,74 g ;
- masse finale de la bougie : m_f = 11,43 g ;
- on rappelle : 1kWh = $3{,}6 \times 10^3$ kJ.

Q2. Montrer que l'énergie thermique reçue par l'eau contenue dans la canette pendant cette expérience vaut E_{th} = 9,70 kJ.

Q3. En supposant que l'énergie libérée par la combustion de la paraffine est intégralement transmise à l'eau contenue dans la canette, montrer que le pouvoir calorifique de la paraffine mesuré par cette expérience vaut approximativement $PC = 3{,}13 \times 10^4$ $kJ \cdot kg^{-1}$.

Q4. Le pouvoir calorifique de la paraffine publié dans la littérature scientifique est de l'ordre de $4{,}0 \times 10^4$ $kJ \cdot kg^{-1}$. Proposer une explication de l'écart observé entre la valeur expérimentale calculée à la question Q4 et la valeur publiée dans la littérature scientifique.

Q5. Comparer la valeur du pouvoir calorifique de la paraffine à celle du pouvoir calorifique du propane et conclure quant à la pertinence du choix du propane pour faire fonctionner la torche soumise aux aléas météorologiques.

Partie 2 – La vasque olympique

La vasque olympique de Paris était constituée d'un grand ballon captif, gonflé à l'hélium, transportant une nacelle.
L'ensemble {ballon + nacelle} était attaché à un câble vertical, relié au sol, qui accompagnait le mouvement de la vasque pendant son ascension. Afin d'étudier le mouvement d'ascension, supposé vertical, de la vasque dans le ciel parisien, on a réalisé un pointage de ses positions successives au cours du temps.
Le graphique indiquant l'altitude de la vasque en fonction du temps est donné en figure 2, ci-après.

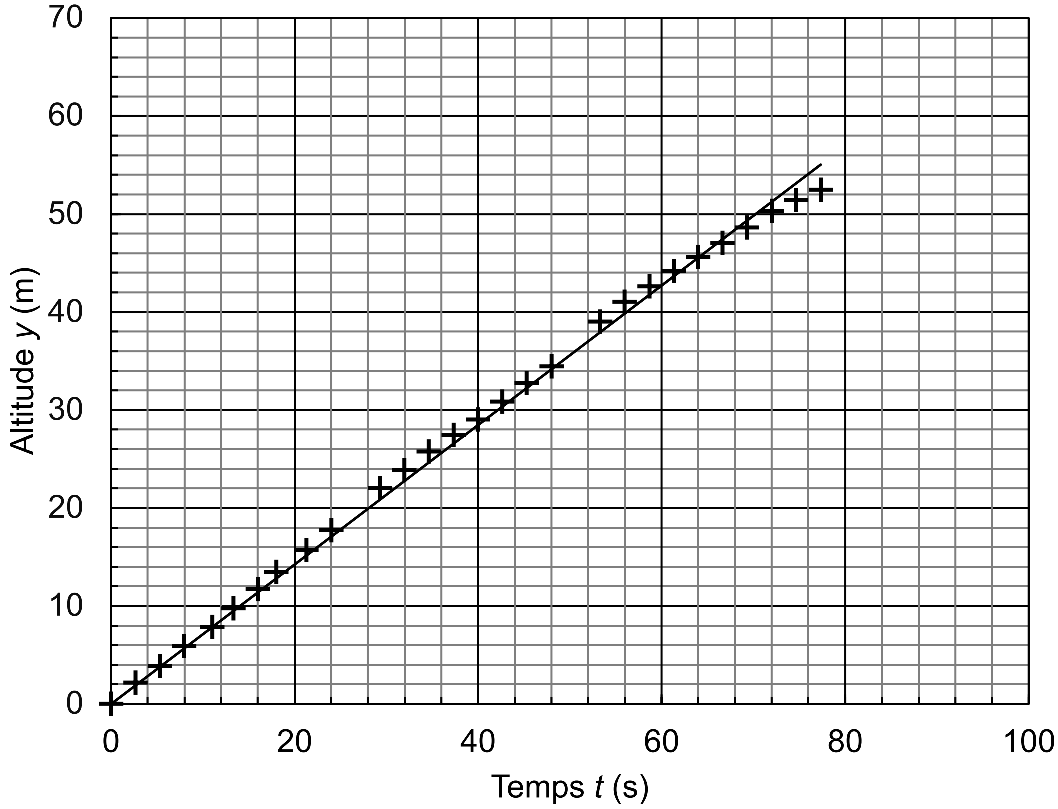


Figure 2 – Altitude y de la vasque en fonction du temps t

Le système {ballon + nacelle}, assimilable à un point matériel, est soumis aux forces suivantes :

- le poids $\vec{P}$;
- la poussée d'Archimède exercée par l'air, notée $\vec{\pi}$, de même direction que le poids $\vec{P}$ et de sens opposé ;
- la force de tension du câble qui retient le système, notée $\vec{T}$, de même direction que la vitesse du ballon et de sens opposé.

Q6. En utilisant le graphique de la figure 2, montrer que l'on peut considérer que la vitesse du système {ballon + nacelle} est constante lors de son ascension.

Q7. Déterminer la valeur de la vitesse du système {ballon + nacelle} au cours de l'ascension.

Q8. Sachant que la durée totale de l'ascension de la vasque olympique était Δt = 1 min 30 s, déterminer l'altitude de la vasque à la fin de son ascension.

Q9. Montrer que l'accélération du système {ballon + nacelle} est nulle lors de l'ascension.

Données :
- masse du système {ballon + nacelle} : m = 2300 kg ;
- intensité de la pesanteur : g = 9,8 $\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Q10. Déterminer la valeur du poids de l'ensemble {ballon + nacelle}.

Q11. À partir du résultat de la question **Q9** et du principe fondamental de la dynamique, indiquer celui des trois schémas de la figure 3 qui représente de manière correcte les différentes forces appliquées à l'ensemble {ballon + nacelle} au cours de l'ascension verticale de la vasque.

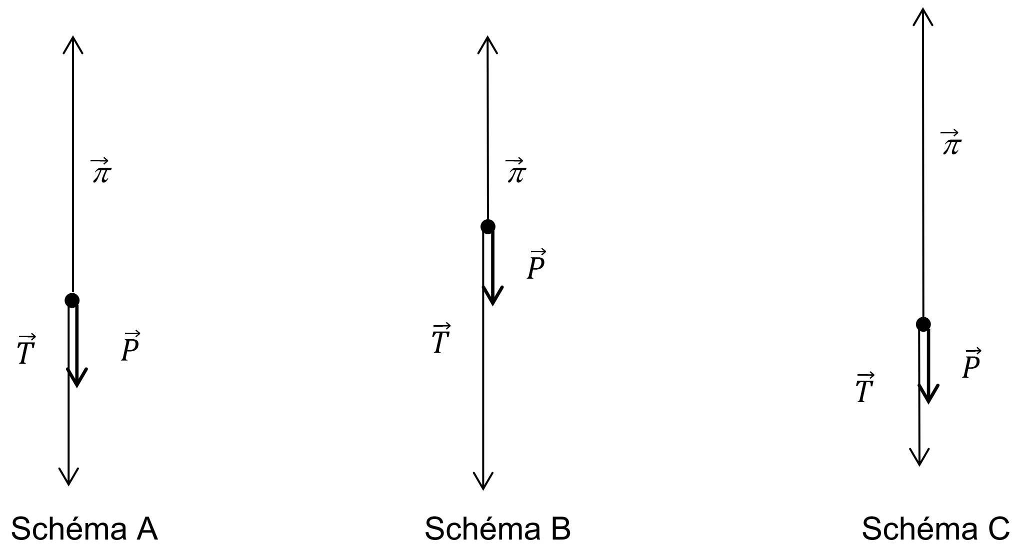


Figure 3 – Représentations schématiques des forces appliquées à l'ensemble {ballon + nacelle}, symbolisé par un point. Les forces sont à l'échelle.

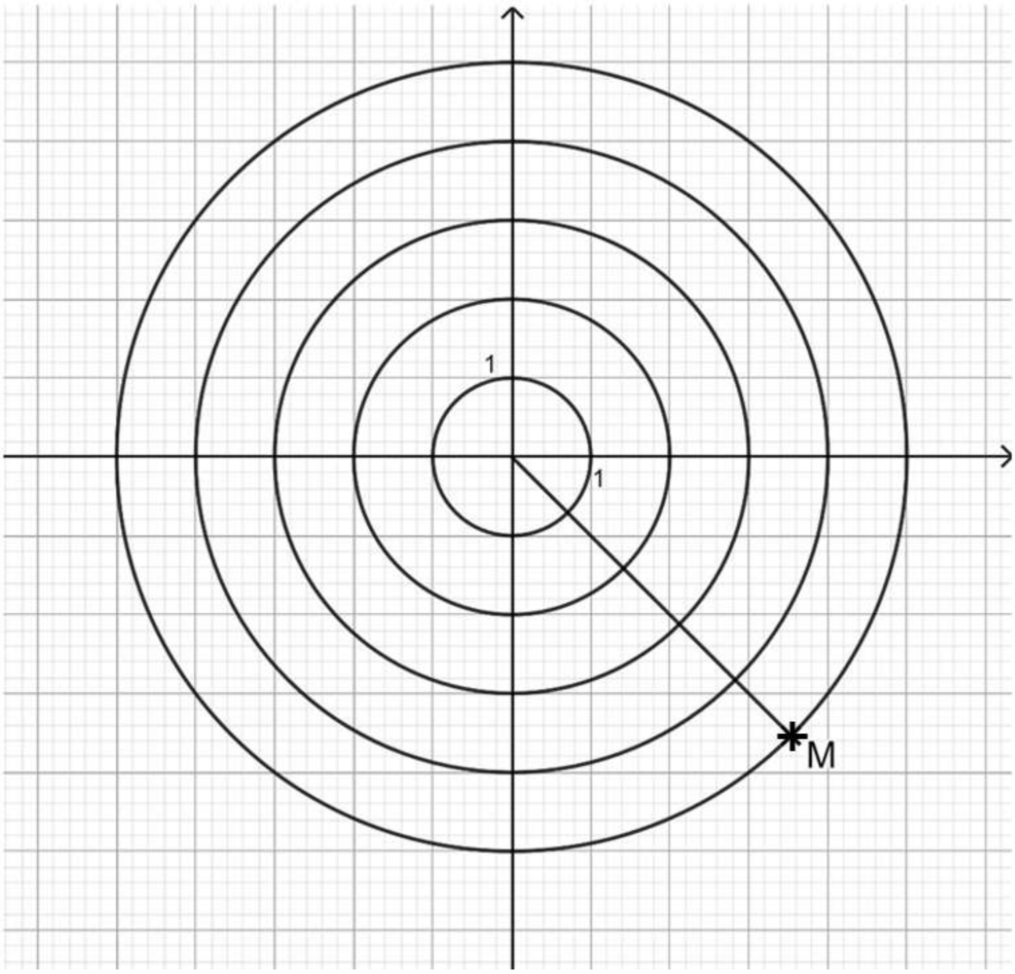
EXERCICE 3 (4 points)

(mathématiques)

Dans cet exercice, les questions 1, 2, 3 et 4 sont indépendantes les unes des autres.

Question 1

Pour cette question, indiquer la lettre de la réponse exacte, en expliquant votre choix.



On considère le point M représenté dans le plan complexe ci-dessus.
L'affixe du point M est :

A	B	C	D
$4e^{-i\frac{\pi}{4}}$	$5e^{i\frac{\pi}{4}}$	$5e^{-i\frac{\pi}{4}}$	$-5e^{-i\frac{\pi}{4}}$

Question 2

Soit l'équation différentielle $y' = 2y - 0{,}5$.
1. Déterminer l'ensemble des fonctions définies sur $\mathbb{R}$ qui sont solutions de cette équation.
2. Déterminer la fonction f, solution de cette équation, avec pour nombre dérivé $f'(0) = -3$.

Question 3

On considère la fonction f définie sur $\mathbb{R}$ par $f(x) = \mathrm{e}^{-0{,}016x} - 2$.
Résoudre dans $\mathbb{R}$ l'équation $f(x) = 0$. Donner la valeur exacte de la solution puis une valeur approchée à 10^{-2} près.

Question 4

Montrer que, pour tout $x > 0$, l'égalité suivante est vraie :

$$\ln\left(\frac{x^4}{9}\right) - 3\ln(x) + \ln\left(\frac{9}{x}\right) = 0.$$

EXERCICE 4 (6 points) (physique-chimie)

Au cœur d'un réacteur nucléaire

Actuellement, près de 65% de l'électricité produite en France est issue de centrales nucléaires. À l'intérieur de ces centrales, des réacteurs nucléaires produisent chacun une puissance électrique comprise entre 900 MW et 1450 MW.
Ces réacteurs, dont la structure schématique est représentée sur la figure 1, utilisent la même technologie : de l'eau sous pression sert à transporter vers le générateur de vapeur l'énergie produite par les réactions nucléaires. Cet exercice propose d'étudier certains aspects du fonctionnement d'un réacteur nucléaire.

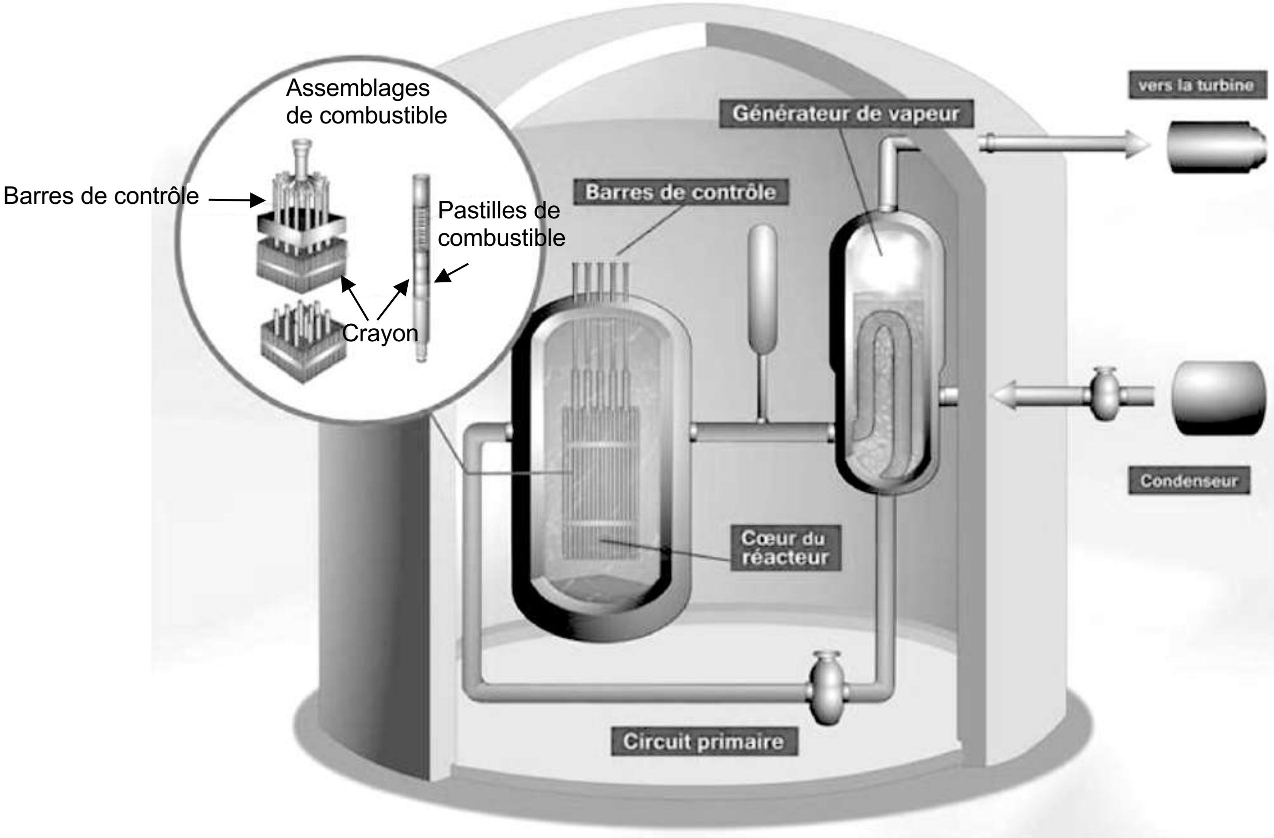


Figure 1 – Structure schématique d'un réacteur nucléaire

Partie 1 – Étude du combustible

Le combustible nucléaire présent dans le cœur du réacteur est constitué de dioxyde d'uranium, de formule UO_2.
L'élément chimique uranium de symbole U, a pour numéro atomique 92.
L'uranium naturel existe sous la forme de trois isotopes : l'uranium 238, le plus abondant, l'uranium 235 et l'uranium 234. Dans le combustible nucléaire la proportion en masse d'uranium 235 doit être comprise entre 3% et 5%.

Données :

Une tonne d'uranium naturel contient :

- une masse m_{234} = 0,056 kg d'uranium 234 ($^{234}_{92}U$) ;
- une masse m_{235} = 7,1 kg d'uranium 235 ($^{235}_{92}U$) ;
- une masse m_{238} = 992,8 kg d'uranium 238 ($^{238}_{92}U$).

Q1. Montrer que la proportion d'uranium 235 dans l'uranium naturel est insuffisante pour le combustible nucléaire. Celui-ci doit donc être enrichi.

Par bombardement de neutrons, l'uranium 235 est le siège d'une transformation nucléaire libérant une grande quantité d'énergie. L'équation de réaction modélisant la transformation est la suivante :

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{94}_{38}Sr + ^{140}_{54}Xe + 2\,^{1}_{0}n \qquad \text{Réaction (A)}$$

Q2. À partir de l'équation de réaction (A), indiquer s'il s'agit d'une réaction de fission ou de fusion. Justifier la réponse.

Données :

- défaut de masse associé à la réaction (A) : $\Delta m = 2{,}39\times10^{-28}$ kg ;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3{,}00\times10^{8}$ m·s^{-1}.

Q3. Montrer que l'énergie ΔE libérée lors de cette réaction nucléaire par le noyau d'uranium 235, vaut approximativement $\Delta E = 2{,}2\times10^{-11}$ J.

Données :

- 1 kg de combustible UO_2 contient 70 g d'Uranium 235 ;
- masse d'un noyau d'uranium 235 : $m(^{235}_{92}U) = 3{,}90\times10^{-25}$ kg .

Q4. Calculer le nombre de noyaux d'uranium 235 contenus dans 1 kg de combustible UO_2.

Q5. En déduire l'énergie libérée par la réaction (A) par kg de combustible UO_2. Comparer la valeur obtenue au pouvoir calorifique du propane qui vaut $4{,}6\times10^{7}$ J·kg^{-1}. Commenter.

Partie 2 – Assemblage de combustible

Dans le cœur du réacteur se trouvent des assemblages de combustible. Chaque assemblage comporte 264 « crayons » combustibles composés chacun d'une gaine qui entoure un empilement de pastilles de dioxyde d'uranium UO_2.

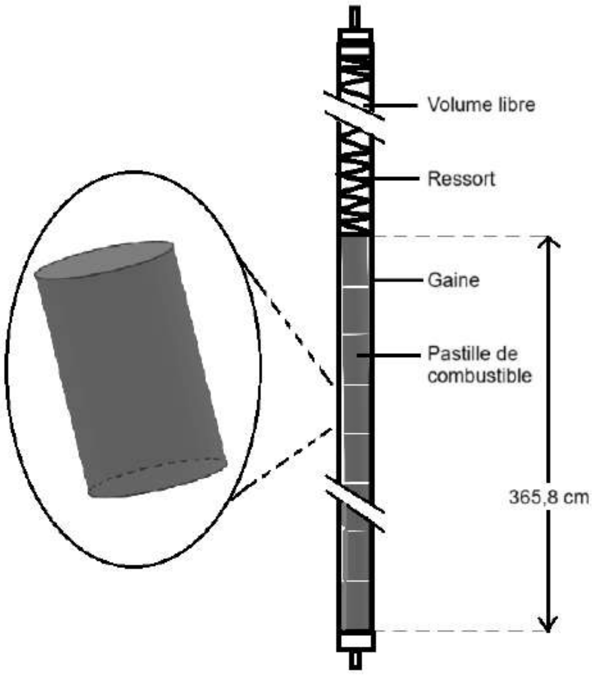


Figure 2 – Schéma d'un crayon combustible

Données :

- le réacteur nucléaire étudié est composé de 157 assemblages de combustible ;
- le volume de combustible dans chaque assemblage est égal à $V = 5{,}1\times10^{-2}$ m^3.

Q6. Calculer la puissance P dégagée par l'ensemble du combustible dans ce réacteur, sachant que la puissance dégagée par unité de volume de combustible est de l'ordre de $4{,}0\times10^{8}$ W·m^{-3}.

Ce réacteur permet de produire une puissance électrique P_e = 1100 MW.

Q7. Exprimer puis calculer le rendement de ce réacteur nucléaire.

Partie 3 – Pression de l'eau contenue dans la cuve du réacteur

Dans le cœur du réacteur, l'assemblage de combustible est plongé dans une cuve contenant de l'eau liquide. Cette eau permet de réguler la transformation nucléaire et d'assurer les échanges d'énergie dans le réacteur.
L'eau liquide entre dans la cuve à une température de l'ordre de 190°C et en ressort à environ 325°C après avoir reçu l'énergie thermique produite par la transformation nucléaire. Pour qu'elle reste liquide dans la cuve, l'eau se trouve sous une pression constante P = 155 bar.
La figure 3 ci-dessous représente le diagramme d'état (P,T) de l'eau.

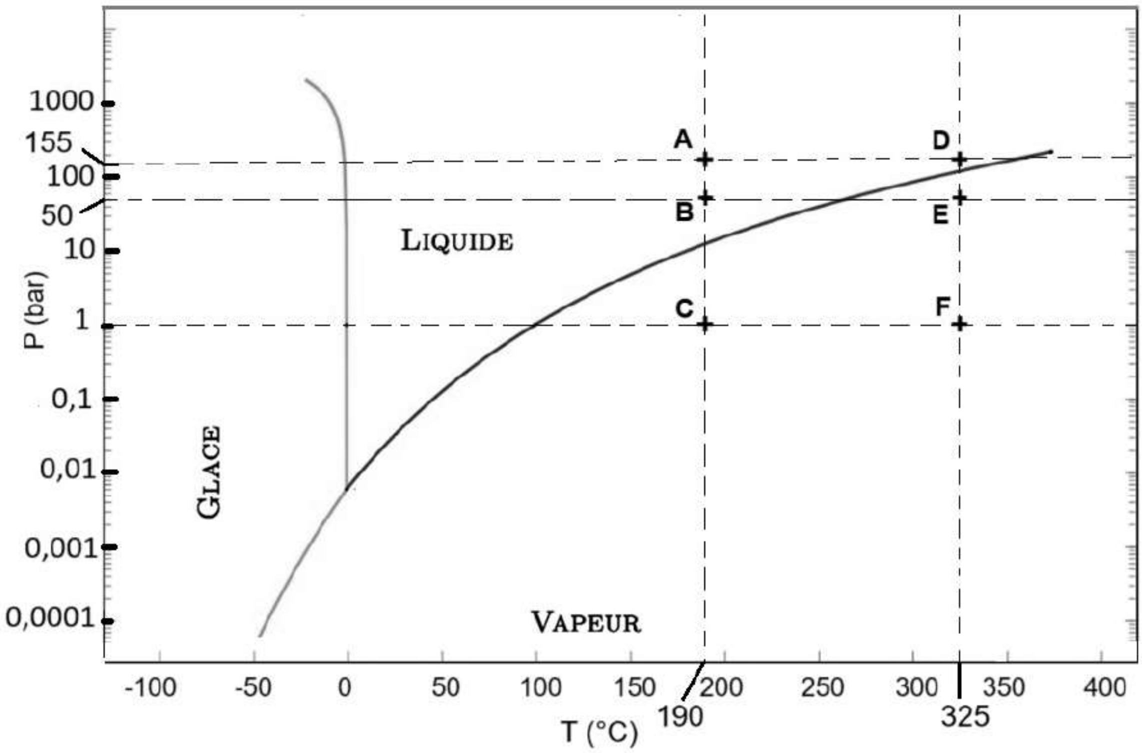


Figure 3 – Diagramme d'état (P,T) de l'eau

Q8. Justifier que le chauffage de l'eau dans la cuve est représenté par une transition du point A au point D sur le diagramme d'état (P,T) de l'eau.

Q9. Expliquer pourquoi le réchauffement de l'eau liquide de 190 °C à 325 °C ne peut pas être réalisé à une pression de 50 bar.

Partie 4 – Protection du combustible

Pour des raisons de sécurité, le combustible nucléaire ne doit pas être en contact avec le reste du réacteur. La gaine qui entoure le crayon combustible est constituée d'un alliage appelé zircaloy, choisi pour sa résistance à la corrosion.
Dans la cuve, le zirconium Zr présent dans le zircaloy réagit avec l'eau qui l'entoure. Une réaction d'oxydoréduction se produit et conduit à la formation d'un oxyde de zirconium sur la surface de la gaine. Cette couche d'oxyde est imperméable à l'eau.

Les demi-équations des couples d'oxydoréduction mis en jeu au cours de cette transformation chimique sont :

$$ZrO_2\,(s) + 4\,H^+(aq) + 4e^- \rightleftharpoons Zr\,(s) + 2\,H_2O\,(\ell)$$

$$H_2O\,(\ell) + 2\,H^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons H_2\,(g) + H_2O\,(\ell)$$

Q10. Indiquer si le zirconium Zr(s) présent dans la gaine est un oxydant ou un réducteur. Justifier.

Q11. Écrire l'équation de la réaction d'oxydoréduction se produisant entre le zirconium Zr(s) et l'eau.

Q12. Expliquer pourquoi la couche d'oxyde de zirconium formée à la surface de la gaine permet de la protéger de la corrosion.