

BACCALAURÉAT BLANC TECHNOLOGIQUE

Série STI2D

**Enseignement de spécialité Physique-Chimie et
Mathématiques**

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.

Le candidat doit traiter les quatre exercices. Il est invité à faire figurer sur la copie toute trace de recherche, même incomplète ou non fructueuse, qu'il aura développée. La qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements seront prises en compte dans l'appréciation des copies.

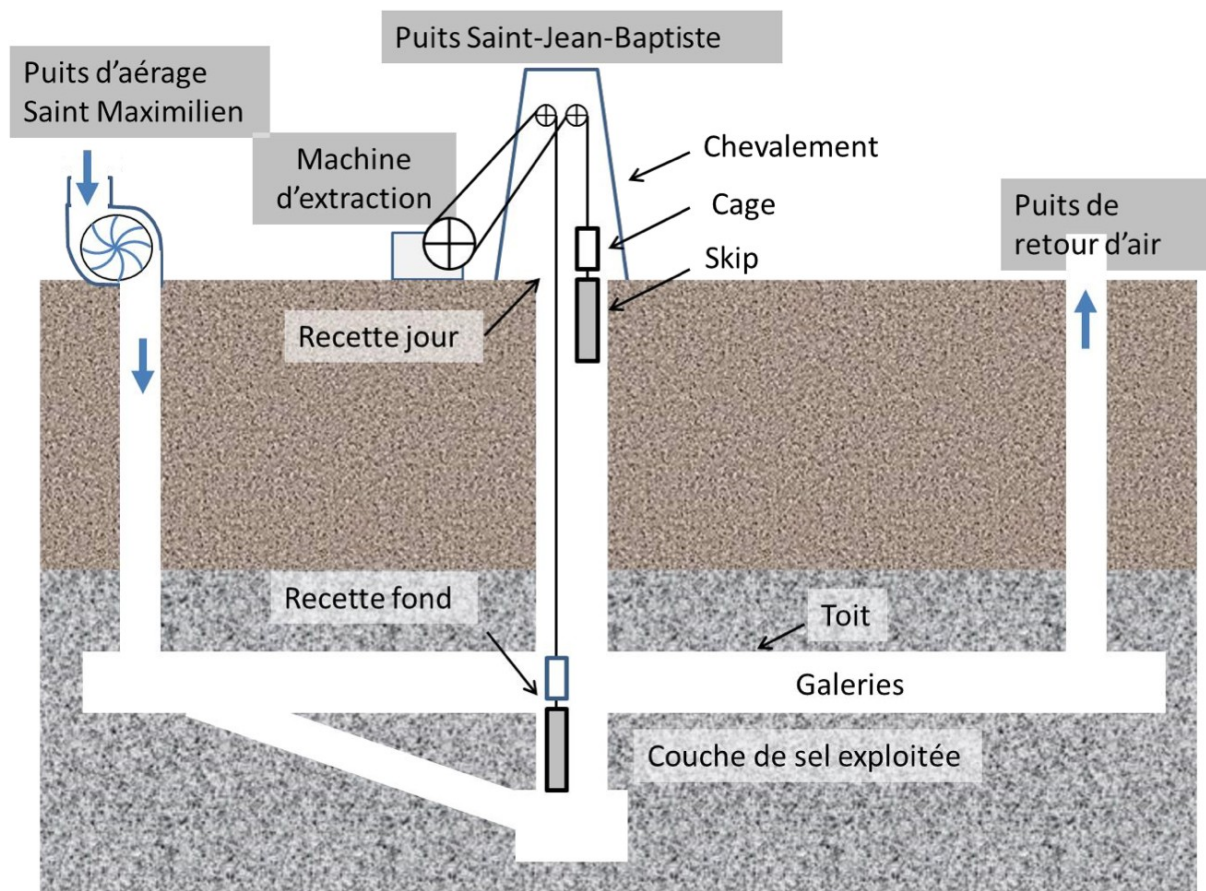
EXERCICE 1 (6 points)

Mine de sel

La mine de sel de Varangéville, située dans la région Grand Est, est la dernière mine en activité en France métropolitaine.

À Varangéville, les galeries d'exploitation sont constituées d'un maillage de piliers en sel qui soutiennent et sécurisent le toit de la mine. Chaque puits de la mine est soigneusement protégé des infiltrations d'eau.

Schéma de principe de la mine :



Les galeries de la mine de sel se situent à 160 m sous la terre. Pour y accéder, les mineurs utilisent une cage d'ascenseur qui descend dans le puits Saint Jean-Baptiste. Cette cage surmonte un skip (haute boîte en aluminium qui sert au transport du sel).

Un deuxième ensemble identique (cage + skip) contrebalance le premier. Lorsqu'un skip arrive à la recette jour chargé de sel, l'autre arrive simultanément à la recette fond.

La vitesse du dispositif est adaptée à l'usage qui en est fait. Pour le sel, la vitesse maximale est de $7,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ alors qu'elle n'est que de $4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ pour les mineurs.

Données :

- • Intensité de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- • Masse volumique du sel à température ambiante : $\rho_{\text{sel}} = 2,16 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$
- • Le sel se dissout facilement dans l'eau.

1. Expliquer pourquoi l'arrivée d'eau au niveau des galeries serait un réel danger pour la sécurité de la mine.

On s'intéresse à la remontée du sel depuis le fond de la mine.

2. Sachant que la capacité du skip est de $1,85 \text{ m}^3$, déterminer la masse de sel gemme que transporte un skip.

Pour simplifier, on considère que la masse du skip est négligeable par rapport à la masse du chargement de sel qu'il contient. On négligera également tous les frottements.

Par la suite, on considèrera le système {skip + chargement de sel}.

3. Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur le système et les représenter sur un schéma sans souci d'échelle.
4. Calculer le travail du poids du sel lors du transport de la recette fond à la recette jour.
5. Après avoir estimé la durée du trajet, calculer la puissance moyenne du poids lors de la remontée. Conclure sur la puissance minimale que doit fournir la machine d'extraction.

Dans la mine, les galeries sont creusées à l'aide d'explosif. La paroi à creuser est percée de 42 trous cylindriques. Ces trous sont remplis au total de 190 kg d'explosif. L'explosif utilisé est l'ANFO (ammonium nitrate fuel oil). C'est une poudre constituée d'un mélange de deux espèces chimiques : un oxydant (le nitrate d'ammonium NH_4NO_3) et un réducteur (le fioul $\text{C}_{12}\text{H}_{24}$). Suite à la mise à feu par l'amorce, la détonation est causée par la réaction chimique entre NH_4NO_3 et le fioul.

Caractéristiques de l'ANFO :

Aspect : granulé Couleur : rose Pression de détonation : 13,6 GPa

Énergie totale massique (énergies thermique et mécanique libérées lors de l'explosion) : $3,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

D'après https://www.epc-france.com/userfiles/files/DTC_EXPLOSIFS/PRODUIT-NITRAL%20NITRO%20D8-FTC-0118-web.pdf

6. Calculer l'énergie libérée par un tir de mine de 42 trous.

L'équation de la réaction ci-dessous présente le modèle idéal d'une transformation qui ne produit que du diazote N_2 , du dioxyde de carbone et de l'eau (tous les produits étant à l'état gazeux) :



7. Recopier, compléter et ajuster l'équation de cette réaction.

La fracturation de la roche lors du tir est liée à la très forte augmentation de pression exercée dans chaque trou.

8. À partir de l'équation ci-dessus et des documents précédents, identifier les causes de cette augmentation de pression.

Un mélange est dit stœchiométrique si les réactifs sont pris dans les proportions indiquées par l'équation modélisant la transformation.

9. À partir de la première partie de l'équation de cette réaction, déterminer la masse de NH_4NO_3 qu'il faut ajouter à 168 g de $\text{C}_{12}\text{H}_{24}$ pour obtenir un mélange stœchiométrique.

Données : masses molaires $M(\text{C}_{12}\text{H}_{24}) = 168 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 80 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

10. En déduire le pourcentage en masse de chaque espèce dans le mélange stœchiométrique.

Pour être encore plus efficace, le mélange est constitué de 6% de fioul et de 94% de NH_4NO_3 (pourcentages en masse).

11. En déduire l'espèce ajoutée en excès dans le mélange ANFO. Conclure.

EXERCICE 2 (6 points)

Les boissons en randonnée

Conservation d'une boisson chaude

Dans la documentation fournie par un fabricant de bouteilles isothermes, on peut lire l'information suivante relative à un modèle donné : pour une température initiale de l'eau à 95 °C, la température vaut 82 °C au bout de 6 h et 73°C au bout de 12 h.

On place 1,0 L d'eau à la température $\theta_i = 95 \text{ °C}$ dans l'une de ces bouteilles isothermes.

La température extérieure à la bouteille est $\theta_{\text{ext}} = 25 \text{ °C}$



Q1. Exprimer la variation de l'énergie interne, ΔU , de l'eau contenue dans la bouteille isotherme, au cours des 6 premières heures en fonction de : la masse de l'eau, m_{eau} , la capacité thermique massique de l'eau, c_{eau} , la température initiale de l'eau, θ_i , et la

température de l'eau après 6h, θ_f . Montrer que ΔU est voisine de 54 kJ.

Données :

- Capacité thermique massique de l'eau : $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$;
- Volume de l'eau $V = 1 \text{ L}$
- Température initiale $\theta_i = 95 ^\circ\text{C}$
- Température finale après 6 h $\theta_f = 82 ^\circ\text{C}$

Q2. Définir le flux thermique à travers la paroi et montrer que le flux thermique moyen qui traverse la paroi de la bouteille au cours des 6 premières heures, ϕ_{moyen} , est voisin de 2,5 W.

Au cours du refroidissement, le flux thermique entre l'eau et l'extérieur n'est pas constant. Il dépend de la différence de température $\Delta\theta$ entre l'intérieur et l'extérieur de la bouteille et de la résistance thermique R_{th} de ses parois :

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

Q3. Choisir sans calcul, parmi les trois propositions suivantes, la valeur du flux thermique à l'instant initial et justifier ce choix :

- a. $\phi_i = 3,6 \text{ W}$
- b. $\phi_i = 2,5 \text{ W}$
- c. $\phi_i = 1,8 \text{ W}$

En déduire que la valeur de la résistance thermique R_{th} des parois de la bouteille isotherme est voisine de $19 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$ en prenant la température du liquide à l'intérieur égale à $\theta_{\text{int}} = 95^\circ\text{C}$ et la température extérieure égale à $\theta_{\text{ext}} = 25^\circ\text{C}$.

Q4. Montrer que la paroi de la bouteille isotherme d'épaisseur $e = 1,0 \text{ cm}$ et de surface totale $S = 0,098 \text{ m}^2$ a une conductivité thermique $\lambda = 0,0052 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Donnée :

La relation liant la résistance thermique d'une paroi plane R_{th} , à sa surface S en m^2 , à son épaisseur e en m , et à la conductivité thermique du matériau λ en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ est la suivante :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$$

La documentation du fabricant indique que la bouteille est composée de 100 % d'acier inoxydable et qu'elle est munie de deux parois en inox séparées par un espace pratiquement vide.

Q5. Expliquer, sans calcul, l'intérêt du vide partiel entre les deux parois de la bouteille.

Approvisionnement en eau : les pastilles de purification

Il existe des comprimés effervescents qui permettent de purifier l'eau. Le fabricant indique qu'il suffit d'ajouter un comprimé dans un litre d'eau non potable et d'attendre 30 minutes avant de la consommer.

Un comprimé de masse 50 mg contient 3,5 mg de dichloroisocyanurate de sodium (noté NaDCC), de l'hydrogénocarbonate de sodium et de l'acide adipique.

Q6. Déterminer la valeur de la quantité de matière n de NaDCC dans 1,0 L d'eau préparée en suivant les recommandations préconisées.

Donnée : masse molaire du NaDCC : $M_{NaDCC} = 219,95 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Lorsque le comprimé entre en contact avec l'eau, une transformation chimique a lieu, produisant de l'acide hypochloreux de formule HOCl dont la molécule contient un élément Chlore, Cl. Au cours de cette transformation chimique, une mole de NaDCC libère ainsi deux moles d'élément chlore.

Q7. Calculer la masse d'élément chlore Cl qui se trouve dans 1,0 L d'eau à l'issue de son traitement à l'aide de la pastille effervescente.

Donnée : masse molaire du chlore $M(Cl) = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

La teneur en chlore libre est définie par la masse en élément chlore par unité de volume. Pour assurer l'absence de prolifération microbologique, il est recommandé, en France, de maintenir une teneur de chlore libre aux alentours de 0,1 mg/L en tous points du réseau (eau du robinet). L'OMS recommande une valeur maximale de chlore libre dans l'eau potable de 5 mg/L.

Q8. Préciser si l'eau purifiée avec un comprimé est potable.

EXERCICE 3 (4 points)

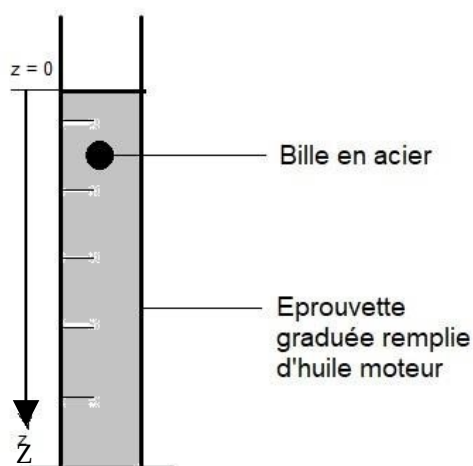
Le viscosimètre à chute de bille

La viscosité d'une huile, notée η , est un paramètre exprimé en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, dont la connaissance est essentielle pour toute utilisation de cette huile.

Cet exercice propose un exemple de méthode de mesure de la valeur de la viscosité d'une huile de moteur Diesel du commerce.

Pour réaliser cette mesure, on utilise un « viscosimètre à chute de bille », constitué d'une éprouvette remplie d'huile de moteur dans laquelle est lâchée une bille métallique sphérique.

On se place dans le référentiel terrestre supposé galiléen et la bille est lâchée sans vitesse initiale depuis la position $z = 0$.



Données :

- Rayon de la bille utilisée : $R = 1,1 \text{ cm}$.
- Volume de la bille : $V = 5,6 \text{ cm}^3 = 5,6 \times 10^{-6} \text{ m}^3$.
- Masse de la bille métallique : $m = 20,1 \text{ g}$.

- Masse volumique de l'huile étudiée : $\rho_{\text{huile}} = 8,40 \cdot 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. - Intensité de la gravitation : $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Les forces exercées sur la bille métallique sont : - Le poids $\vec{P}$

- La poussée d'Archimède, notée $\vec{P}_A$, de même direction que le poids $\vec{P}$ et de sens opposé. Sa valeur est $P_A = \rho_{\text{huile}} Vg$, où ρ_{huile} est la masse volumique de l'huile.
- La force de frottement fluide exercée par l'huile sur la bille est notée f . Elle est ici de même direction que le poids $\vec{P}$ et de sens opposé. Sa valeur est donnée par la relation $f = 6\pi\eta Rv$, où v est la valeur de la vitesse de la bille, η est la viscosité de l'huile et R le rayon de la bille.

Q1. Faire un schéma des forces s'appliquant sur la bille.

Exprimer le poids de la bille en fonction de m et g puis calculer sa valeur.

Calculer de même la valeur de la poussée d'Archimède P_A et justifier que la bille d'acier tombe dans l'huile quand on la lâche en $z = 0$ avec une vitesse initiale nulle.

Q2. En utilisant le principe fondamental de la dynamique, établir la relation liant le vecteur accélération a , les forces s'exerçant sur la bille $\vec{f}$, $\vec{P}$, $\vec{P}_A$ et la masse m de cette bille.

Q3. On note v la fonction définie sur $[0 ; +\infty[$ comme la projection du vecteur vitesse v sur l'axe (Oz). Montrer que v vérifie l'équation différentielle

$$\frac{dv}{dt} = - \frac{6\pi\eta Rv}{m} + g - \frac{\rho_{\text{huile}} Vg}{m}.$$

En explicitant les valeurs numériques, on admet que v est solution de l'équation différentielle (E) suivante où $v(t)$ est exprimée en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ et t en s :

$$(E) : \frac{dv}{dt} = -6,8 v + 7,5.$$

Partie mathématiques, à faire sur une autre feuille.

Q4. Au début de l'expérience, la bille est introduite dans l'éprouvette avec une vitesse nulle. Démontrer que la solution donnée ci-dessous vérifie l'équation (E) et respecte la condition initiale.

$$v(t) = -\frac{75}{68} e^{-6,8t} + \frac{75}{68}.$$

Q5. Déterminer la valeur exacte de $\lim_{t \rightarrow \infty} v(t)$ notée v_{lim} , exprimée en $m \cdot s^{-1}$.

Q6. On mesure expérimentalement une vitesse limite $v_{lim} = 1,1 m \cdot s^{-1}$. On peut en déduire la valeur de la viscosité η par la relation suivante :

$$\eta = \frac{(m - \rho_{huile} V) g}{6 \pi R v_{lim}}$$

Calculer cette valeur et comparer le résultat à la valeur $\eta = 0,66 kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ fournie par le fabricant.

EXERCICE 4 (4 points)

Question 1.

Rappel : Pour a et b , deux réels, nous avons les formules suivantes :

$$\cos(a + b) = \cos(a) \cos(b) - \sin(a) \sin(b)$$

$$\cos(a - b) = \cos(a) \cos(b) + \sin(a) \sin(b)$$

$$\sin(a + b) = \sin(a) \cos(b) + \cos(a) \sin(b)$$

$$\sin(a - b) = \sin(a) \cos(b) - \cos(a) \sin(b)$$

On considère un signal électrique dont l'expression en fonction du temps t est donnée par :

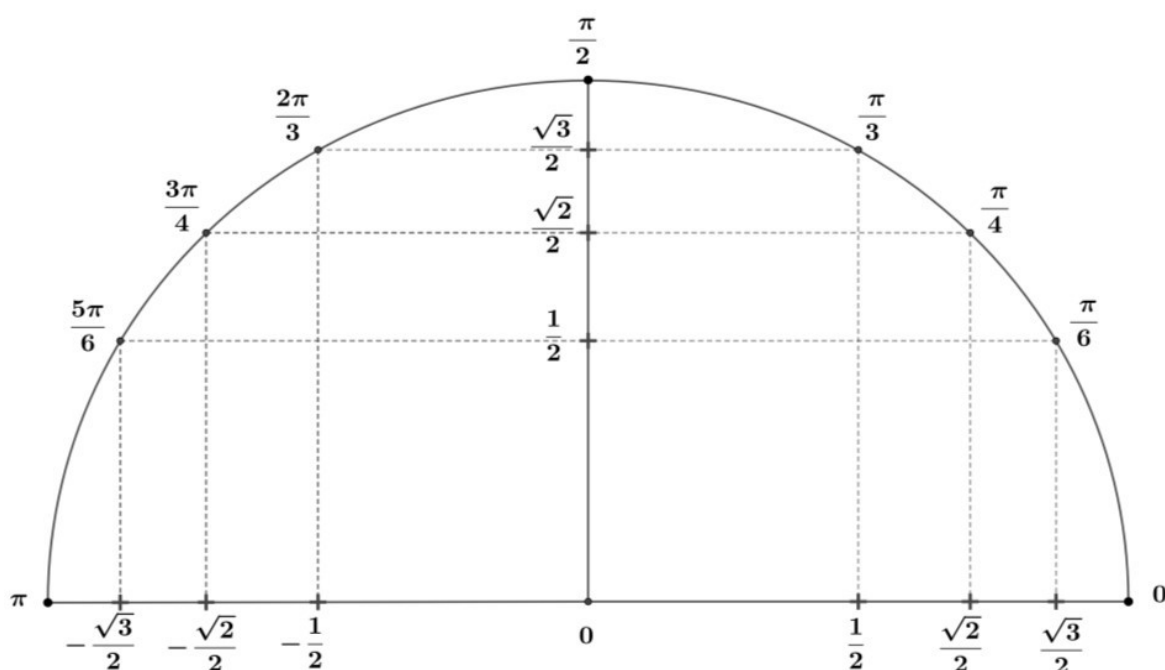
$$u(t) = \sqrt{3}\cos(t) - \sin(t).$$

1. Montrer que le signal u peut s'écrire pour tout t réel sous la forme :

$$u(t) = 2\cos\left(t + \frac{\pi}{6}\right).$$

2. Résoudre dans $[0 ; \pi[$, l'équation $u(t) = 1$.

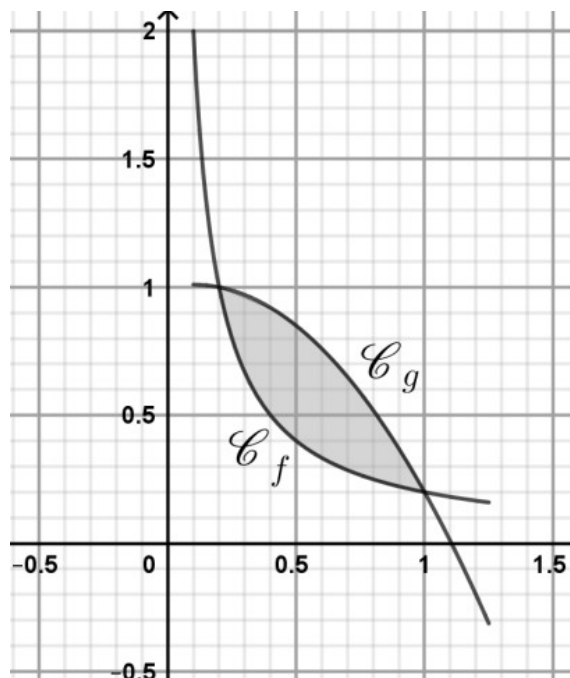
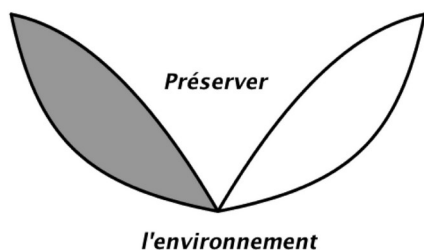
On pourra s'aider du demi-cercle trigonométrique ci-dessous :



3. On considère les nombres complexes $z_1 = 6e^{i\frac{\pi}{4}}$ et $z_2 = -\sqrt{3} + i$. Écrire le nombre complexe $Z = \frac{z_1}{z_2^3}$.

Question 2.

Le logo ci-dessous est constitué de deux feuilles symétriques l'une de l'autre.



Soient les fonctions $f(x) = \frac{0,2}{x}$ et $g(x) = -x^2 + 0,2x + 1$.

Calculer, au cm^2 près, une valeur approchée de l'aire totale du logo. Toute trace de recherche sera prise en compte dans la notation.