
Devoir Surveillé de rentrée

**L'emploi des calculatrices personnelles est interdit.
Aucune sortie n'est possible pendant l'épreuve.**

Instructions générales

Ce DS est composé de trois parties : un exercice de mécanique, un de chimie et un de thermodynamique.

Merci de porter une attention particulière à la rédaction. La présentation, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. En particulier, **les résultats non encadrés et non justifiés ne seront pas pris en compte.**

I) Marcher à son rythme pour aller plus loin

Le pas pendulaire effectué à la période propre de la jambe est le plus économe en énergie. La gravité devient l'allié naturel de nos muscles pour permettre le déplacement.

On se propose ici de déterminer la période propre d'oscillations d'une jambe adulte en utilisant un modèle mécanique simple.

Le référentiel d'étude est le référentiel terrestre supposé galiléen, muni d'un repère cartésien $(O, \vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$.

On assimile la jambe à un solide rigide de masse m_0 et de longueur d en rotation autour d'un axe horizontal (O, \vec{e}_x) fixe dans le référentiel d'étude. (O, \vec{e}_x) passe par la hanche du randonneur (il est sortant sur la figure 1). La liaison pivot en O est supposée parfaite. Le moment d'inertie du solide par rapport à l'axe (O, \vec{e}_x) est noté J . On néglige tout frottement. On note H le centre d'inertie de la jambe situé à la distance d' de O . La jambe ne touche pas le sol dans cette étude. γ est l'angle entre la verticale passant par O et la droite (OH) .

L'accélération de la pesanteur est notée $\vec{g} = -g\vec{e}_z$ et supposée uniforme.

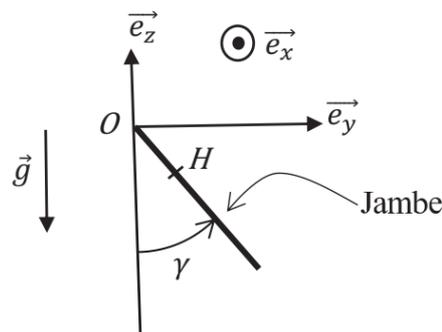


Figure 1. Jambe et repère cartésien

- 1) Donner sans démonstration l'expression du moment cinétique scalaire, L_{Ox} , de la jambe par rapport à l'axe (O, \vec{e}_x) en fonction de γ et J .
- 2) Que vaut le moment par rapport à (O, \vec{e}_x) de l'action mécanique de la liaison en O ? Justifier.
- 3) Déterminer l'expression du moment Γ_{Ox} du poids de la jambe par rapport à (O, \vec{e}_x) en fonction de g , m_0 , d' et γ .
- 4) Etablir l'équation différentielle vérifiée par γ , caractérisant le mouvement de la jambe.
On souhaite retrouver cette équation à l'aide d'une méthode énergétique.
- 5) Donner sans démonstration l'expression de l'énergie cinétique de la jambe.
- 6) Montrer que l'énergie potentielle de pesanteur de la jambe s'écrit : $E_p = -m_0gd' \cos(\gamma) + \text{constante}$.
- 7) Justifier que l'énergie mécanique de la jambe se conserve au cours du temps.
- 8) En déduire l'équation différentielle d'ordre 2 vérifiée par γ caractérisant le mouvement de la jambe.
- 9) En se plaçant dans l'approximation des petites oscillations, montrer que la période propre T d'oscillations de la jambe est : $T = \frac{2\pi\sqrt{J}}{\sqrt{m_0gd'}}$.
- 10) Le moment d'inertie est de la forme : $J = km_0d^2$ où k est une constante positive. Le centre d'inertie H de la jambe est situé à mi-hauteur de la jambe. En déduire que la période propre T de la jambe est indépendante de la masse et qu'elle est proportionnelle à la racine carrée de la longueur de la jambe.
- 11) Un randonneur adulte a une jambe d'environ 90 cm. La période propre d'oscillations de sa jambe est de 1,6 s. Quelle est la période propre d'oscillations de la jambe d'un randonneur enfant dont la jambe mesure environ 40 cm ?
- 12) A l'aide d'une description simple du pas effectué, montre que la vitesse du randonneur, lorsqu'il respecte sa période d'oscillation naturelle, est proportionnelle à la racine carrée de la longueur de sa jambe. Montrer alors que la vitesse « naturelle » de l'enfant est environ 1,5 fois moins grande que celle de l'adulte.

II) Rendre l'eau potable

Plusieurs possibilités s'offrent au randonneur pour purifier l'eau de source trouvée en chemin, afin de pouvoir la consommer sans danger pour la santé. Il opte pour la solution d'alcool iodé.

13) On souhaite préparer la solution d'alcool iodé en suivant le descriptif du document 5. Préciser le matériel le plus adapté à utiliser pour : - obtenir les 5 mL d'eau purifiée,

- préparer les quantités adéquates de diiode solide et d'iodure de potassium solide.

14) Le processus de désinfection de l'eau repose sur des réactions chimiques. Quelle est la nature de ces réactions chimiques d'après les documents 3 et 4 ? On ne demande pas d'équation bilan de réaction.

15) Expliquer pourquoi il y a un délai entre l'utilisation du désinfectant et le moment où l'on peut consommer l'eau. Ce délai s'allonge lorsque la température diminue. Sur quel paramètre la température joue-t-elle ?

16) On parle de « pouvoir oxydant » dans le document 4. Justifier cette affirmation à l'aide de la notion de nombre d'oxydation. On s'intéressera au couple I_2/I^- .

Document 3 - L'eau en voyage, comment rendre l'eau potable (d'après le site routard.com)

Quels sont les différents moyens dont un voyageur dispose pour traiter son eau ?

1) Ébullition

Selon les différents avis, il faut faire bouillir l'eau d'une à dix minutes. L'ébullition permet de désinfecter l'eau avant de la boire mais pas de la stériliser.

En altitude, n'oubliez pas que l'eau bout à une température plus basse et que les germes ont donc plus de chance de résister. Il est donc vivement conseillé de traiter votre eau ou de la filtrer.

2) Désinfection chimique

Les désinfectants chimiques du voyageur sont efficaces sur les bactéries. Parmi eux, certains éliminent également les virus et les parasites. Ils doivent toujours être utilisés avec une eau bien claire. Il est essentiel d'attendre un délai suffisant avant de la boire, de 15 minutes à 2 heures selon le produit utilisé.

Les différents désinfectants :

Le plus efficace est l'iode, disponible en France en pharmacie sous forme d'alcool iodé à 2 %. On l'utilise à dose de 5 à 10 gouttes par litre d'eau selon la turbidité (aspect trouble de l'eau) et avec un temps de contact de 30 minutes. Son utilisation doit pourtant rester ponctuelle, l'utilisation prolongée présentant un risque pour la thyroïde. Il existe aussi des résines iodées qui équipent certains systèmes pour le voyageur.

Les autres désinfectants de l'eau disponibles sont des agents dérivés du chlore. Le problème avec les agents chlorés, c'est que leur efficacité dépend beaucoup du pH de l'eau, ce que le voyageur ne peut contrôler.

Par ailleurs, tous ces désinfectants chimiques, alcool iodé et agents chlorés, ont une efficacité qui diminue lorsque l'eau est froide (<10 °C). Il faut alors doubler le temps de contact.

3) Filtrage

Une micro-filtration de porosité absolue entre 0,2 et 0,4 μm arrêtera efficacement les bactéries et les parasites, mais pas les virus, qui sont trop petits. Un avantage de ce procédé, c'est que l'eau peut être consommée immédiatement.

Document 4 - D'après le guide « Antiseptiques et désinfectants » du centre de Coordination de la Lutte contre les Infections Nosocomiales de l'Inter-région Paris - Nord

Les produits iodés sont bactéricides, virucides, fongicides et sporicides.

L'iode sous forme moléculaire (le diiode, I₂) est capable de traverser rapidement la membrane cellulaire. Son action est due à son pouvoir oxydant, comme les autres halogénés, sur les protéines enzymatiques et membranaires.

Les produits iodés sont stables entre pH = 1 et pH = 6.

Les matières organiques (protéines, sérum, sang...) diminuent l'activité des dérivés iodés.

Document 5 - Alcool iodé à 1 % (d'après la fiche de l'Agence Nationale de Sécurité du médicament). Premier extrait.

La préparation satisfait à la monographie Préparations liquides pour application cutanée (0927).

Définitions

a) Formule :

| Composants | Quantité (g) | Fonction | Référentiel |
|--------------------------|--------------|------------------|-------------|
| Diiode | 1,00 | Substance active | Ph. Eur. |
| Potassium (iodure de) | 0,60 | Solvant | Ph. Eur. |
| Éthanol à 96 % en volume | 54,7 | Excipient | Ph. Eur. |
| Eau purifiée q.s.p. | 100,0 | Excipient | Ph. Eur. |

« q.s.p » signifie que l'on ajoute la quantité d'eau purifiée nécessaire pour obtenir 100,0 g d'alcool iodé.

Dans le cas d'utilisation d'éthanol à 90 % en volume, il convient de se référer au texte général Alcoométrie de la Pharmacopée française.

b) Teneur

Diiode libre (I₂) : de 0,95 % en masse à 1,05 % en masse.

Iodure de potassium (K⁺, I⁻) : de 0,57 % en masse à 0,63 % en masse.

Production (quantités du tableau)

Précaution : utilisez des récipients de verre pour la préparation.

Dissolvez l'iodure de potassium puis le diiode dans 5 mL d'eau purifiée ; agitez et ajoutez la quantité d'alcool indiquée. Complétez avec de l'eau purifiée.

Caractères

Aspect : liquide limpide brun foncé.

Odeur d'éthanol et d'iode.

On s'intéresse maintenant au dosage du diiode.

Document 6 - Alcool iodé à 1 % (d'après la fiche de l'Agence Nationale de Sécurité du médicament). Deuxième extrait.

Dans une fiole conique, introduisez 10,00 g d'alcool iodé. Ajoutez 20 mL d'eau et 1 mL d'acide sulfurique dilué. Titrez par le thiosulfate de sodium $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en présence de solution d'amidon.

1 mL de thiosulfate de sodium $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ correspond à 12,69 mg de diiode.

Teneur (en g pour 100 g) en diiode :

$$\frac{V \times C \times 12,69}{m}$$

V = volume versé en mL de thiosulfate de sodium $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

C = titre exact du thiosulfate de sodium $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

m = prise d'essai d'alcool iodé en grammes.

Données 3

Formules chimiques :

- Diiode : I_2 solide ou en solution aqueuse
- Iodure de potassium : KI solide ou (K^+, I^-) en solution aqueuse
- Thiosulfate de sodium : $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ solide ou $(2 \text{Na}^+, \text{S}_2\text{O}_3^{2-})$ en solution aqueuse
- Solution d'acide sulfurique : H_2SO_4

Masse molaire de l'iode : $M(\text{I}) = 126,9 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Masse volumique de l'eau liquide = $\mu_{\text{eau}} = 1 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$

La solution d'amidon est bleue en présence de diiode et incolore sinon.

Potentiels standard d'oxydo-réduction à $25 \text{ }^\circ\text{C}$:

- $E^\circ (\text{I}_2 / \text{I}^-) = 0,62 \text{ V}$
- $E^\circ (\text{S}_4\text{O}_6^{2-} / \text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 0,08 \text{ V}$

Volume moyen d'une goutte de solution aqueuse = $V_g = 0,05 \text{ mL}$

17) Faire un schéma annoté du dosage avec la verrerie utilisée. Où met-on la solution d'alcool iode ? Où met-on la solution de thiosulfate de sodium ?

18) Dans l'alcool iodé, la substance qui réagit lors du dosage est le diiode. Ecrire la réaction de dosage. Justifier qualitativement que cette réaction est totale.

19) Comment l'équivalence du dosage est-elle repérée dans le protocole présenté dans le document 6 ? Décrire en justifiant ce que l'on voit.

20) Etablir le lien entre la quantité de matière $n(\text{I}_2)$ de diiode présent dans la masse m d'alcool iodé dosé, le volume V' (en litres) de solution de thiosulfate de sodium versé à l'équivalence du dosage et la concentration C de la solution de thiosulfate de sodium.

21) Donner l'expression de la masse m' de diiode présent dans la masse m dosée en fonction de $n(I_2)$ et de $M(I)$, la masse molaire de l'iode.

22) Montrer avec soin que l'on retrouve l'expression de la teneur en diiode annoncée dans le document 6. On rappelle que la teneur correspond à un pourcentage.

Lors du dosage d'une solution d'alcool iodé utilisée pour la désinfection, selon le protocole du document 6, on obtient un volume équivalent de thiosulfate de sodium de 10,1 mL.

23) Quelle est la masse de diiode contenue dans la prise d'essai ? On attend ici un résultat numérique avec deux chiffres significatifs.

24) Quelle masse approximative de diiode ingurgite-t-on lorsque l'on boit un litre d'eau dans laquelle on a mis une dizaine de gouttes de cet alcool iodé ?

III) Moteur diesel à admission atmosphérique

On étudie un moteur dit à admission atmosphérique. Un piston entraîné par un vilebrequin (figure 2), descend du point mort haut au point mort bas : le volume balayé correspondant est appelé cylindrée et noté C . Il crée un phénomène d'aspiration par la soupape d'admission ouverte. L'air ambiant pénètre alors dans le cylindre. Le piston remonte, toujours entraîné par le vilebrequin et comprime le mélange air/carburant. Ce mélange comprimé et échauffé est enflammé et la combustion s'enclenche, c'est l'explosion, créant une force de pression sur le piston qui le repousse au point mort bas. Lors de la remontée du piston, les gaz brûlés sont évacués par l'échappement.

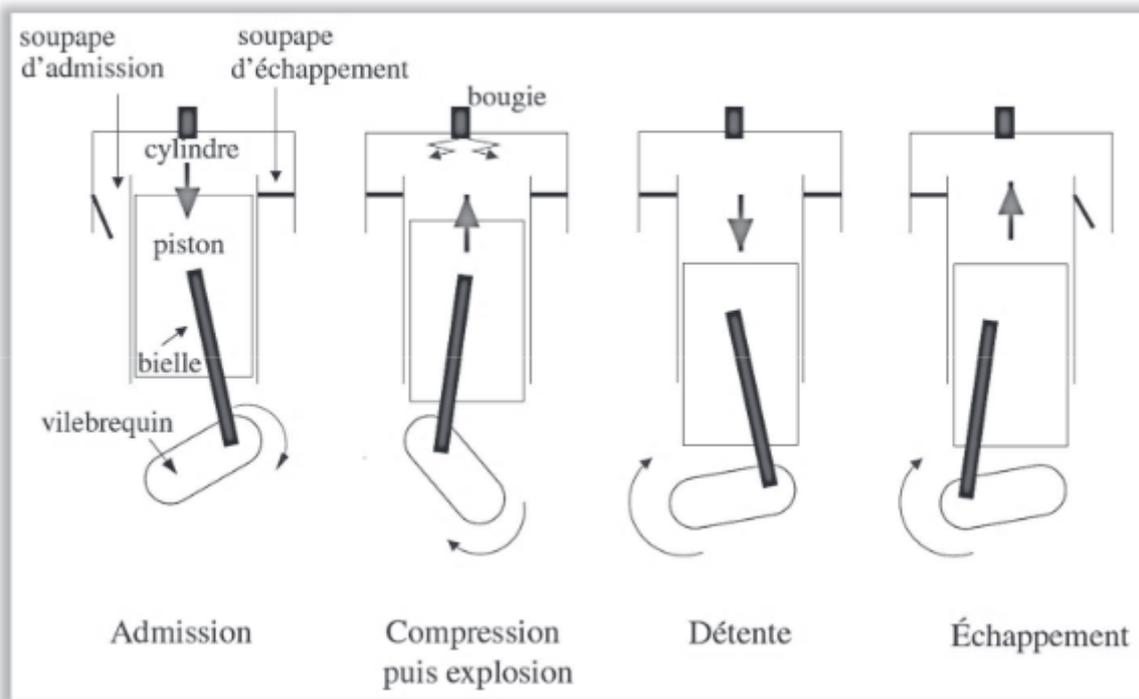


Figure 2. Fonctionnement d'un moteur à 4 temps

La modélisation du cycle consiste alors en :

- une compression adiabatique AB ;
- un échauffement isochore BC ;
- un échauffement isobare CD ;
- une détente adiabatique DE ;
- une détente isochore EA .

On raisonnera sur un cycle fictif fermé sans se préoccuper des étages consistant à évacuer les gaz issus de la combustion (échappement) pour les remplacer par de l'air frais (admission) que l'on modélisera par l'évolution isochore EA , suivie par l'injection de carburant juste avant l'explosion.

25) Dans un moteur diesel de voiture, quel élément représente la source chaude ? la source froide ?

26) Faire un schéma conventionnel d'un moteur ditherme de voiture dans lequel on fera apparaître les éléments suivants : source froide, source chaude, air d'admission, vilebrequin.

On fera apparaître sur ce schéma les grandeurs énergétiques reçues par l'air effectuant un cycle :

- W le travail reçu ;
- Q_f le transfert thermique reçu et provenant de la source froide ;
- Q_c le transfert thermique reçu et provenant de la source chaude.

On précisera sur le schéma le signe de ces grandeurs.

27) Représenter le cycle $ABCDEA$ sur un diagramme de Clapeyron. Vérifier graphiquement qu'il s'agit d'un cycle moteur.

28) Exprimer le rendement du moteur en fonction des transferts thermiques Q_f et Q_c .

29) Donner, en la redémontrant, l'expression du rendement de Carnot associé à ce cycle fonctionnant entre les températures extrêmes $T_f = 300K$ et $T_c = 3000K$. Faire l'application numérique.

30) Un moteur 4 cylindres à admission atmosphérique développe en moyenne une puissance de 125 ch (chevaux) à 3600 tours.min⁻¹. Sachant que la combustion du mélange produit un transfert thermique de 5587 J sur un cycle, soit deux tours du piston, calculer le rendement de ce moteur. On rappelle que 1 ch = 735 W. Commenter.

Aide pour applications numériques :

| | | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---|
| $\frac{125 \times 735}{5587} = 16$ | $\frac{5587}{125 \times 735} = 0,061$ | $\frac{16 \times 60}{3600} = 0,26$ | $\frac{0,61 \times 3600}{60 \times 2} = 18,3$ |
|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---|