

# ENERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

## EXAMEN FINAL

19 juin 2024

### Consignes

- Vous disposez de 3h00.
- N'oubliez pas de répondre à chaque question sur des feuilles séparées et d'indiquer votre nom sur chaque feuille.
- Toutes les réponses aux questions doivent être écrites dans un style scientifique. Veillez également à soigneusement lister toutes vos hypothèses. Un raisonnement qui omet des hypothèses sera pénalisé.
- Les réponses aux différentes sous-questions doivent être clairement séparées.
- Vous pouvez uniquement disposer de papier, de matériel pour écrire et d'une calculatrice.
- Les téléphones portables doivent rester éteints et hors de portée.
- Soyez concis, clair et structuré dans vos réponses afin de ne pas être inutilement pénalisé.

Bon travail!

**Question 1** (15 points)

[A] Qu'est-ce que la transition énergétique ? (3 points)

[B] Imaginez-vous (le temps de cette question) dans la peau d'un décideur politique en Belgique et que vous avez la responsabilité de choisir un plan de transition énergétique pour le pays. Proposez quatre actions, en tenant compte des spécificités de la Belgique (ressources, densité de population, tissus industriel, etc) ? Justifiez vos choix. (8 points)

[C] Est-il suffisant de comparer les technologies de production d'électricité sur base de leurs coûts financiers uniquement ? Argumentez votre propos en donnant deux exemples. (4 points)

**Question 2** (12 points)

Vous élaborez vos prochaines vacances dans le sud de la France. Vous considérez deux moyens de transport : l'avion et la voiture.

[A] Quelle est la quantité d'énergie nécessaire pour le voyage aller en avion A320 en considérant la distance à parcourir de 1000 km ? Considérez que (i) la consommation de l'A320 est une fonction linéaire et constante du nombre de kilomètres parcourus, (ii) l'efficacité du moteur est de 30%, (iii) la vitesse optimale de l'A320 est de 200 m/s, (iv) le coefficient de traînée  $c_d$  est de 0.03, (v) l'aire frontale  $A_p$  est de 70 m<sup>2</sup>, (vi) la densité de l'air  $\rho$  est de 0.41 kg/m<sup>3</sup>, (vii) la masse de l'avion est de 75.5 t et (viii) la section du tube d'air  $A_s$  traversée par l'avion est de 1000 m<sup>2</sup>. (4 points)

A noter que l'énergie consommée par un avion volant à vitesse  $v$ , par unité de distance parcourue, est donnée par la formule suivante :

$$\frac{\text{Énergie}}{\text{distance}} = \frac{1}{\epsilon} \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot c_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v^2 + \frac{(m \cdot g)^2}{2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A_s} \right)$$

[B] Quelle est la quantité d'énergie nécessaire pour le voyage aller en voiture pour parcourir la même distance ? Considérez que (i) vous conduisez à une vitesse constante de 100 km/h, (ii) l'efficacité du moteur est de 30 %, (iii) le produit de l'aire frontale de la voiture  $A_c$  et du coefficient de traînée  $c_d$  est  $A = c_d A_c = 1 \text{ m}^2$ , (iv) la densité de l'air  $\rho$  est de 1.3 kg/m<sup>3</sup>, (v) vous négligez l'énergie transférée aux freins et les pertes de roulement ("rolling resistance"). (4 points)

[C] Quelles sont les émissions de CO<sub>2</sub> pour chacune des options ? En sachant que (i) la combustion d'un litre d'essence émet 2.28 kg de CO<sub>2</sub>, (ii) la combustion d'un litre de kérosène émet 2.53 kg de CO<sub>2</sub>, (iii) l'énergie par litre d'essence est de 8.8 kWh et (iv) l'énergie par litre de kérosène est de 10.3 kWh. Discutez des résultats obtenus en sachant que l'A320 peut accueillir jusqu'à 150 passagers. Proposez également une solution visant à réduire l'empreinte carbone par personne. (4 points)

**Question 3** (6 points)

Vous travaillez pour la ville de Liège qui vous charge d'une mission : développer des actions afin de favoriser l'usage du vélo. Donnez trois actions à mettre

en place.

**Question 4** (8 points)

[A] Développez le modèle proposé dans le cours pour analyser la consommation énergétique d'une voiture roulant à vitesse  $v$  entre deux stops espacés d'une distance  $d$ . Vous pouvez négliger la résistance de frottement ("rolling resistance"). (4 points)

[B] Quelle est la distance  $d^*$  en dessous de laquelle l'énergie perdue lors du freinage est supérieure à l'énergie perdue à cause du frottement de l'air ? (2 points)

[C] Qu'est-ce qui devrait être fait en fonction de la valeur de  $d$  pour économiser de l'énergie ? (2 points)

**Question 5** (12 points)

100 personnes sont enfermées dans un cube ne laissant pas passer les rayons du soleil et flottant dans le ciel. Chaque côté du cube mesure 10 mètres et la température sur la paroi extérieure du cube est de  $-20^\circ\text{C}$ . Le cube est équipé d'un système d'aération muni d'un échangeur de chaleur parfait, ce qui signifie qu'il n'y a aucune déperdition d'énergie liée à l'aération. On suppose que chaque personne a une dépense énergétique journalière correspondant à sa fonction basale, soit 1 510 kilocalories par jour. La conductivité thermique  $U$  des parois du cube est de  $2 \text{ W/m}^2/\text{K}$ .

[A] Donnez une définition de la conductivité thermique U-value ("thermal transmittance"). (2 points)

[B] Vers quelle valeur la température intérieure du cube va-t-elle converger ? (4 points)

[C] Combien de  $\text{m}^2$  de panneaux photovoltaïques vous faudra-t-il installer pour générer assez d'électricité afin d'alimenter des résistances électriques dans le cube permettant de maintenir dans ce dernier une température constante de  $30^\circ\text{C}$ ? On considérera que (i) ces panneaux ont une efficacité de 22% et que (ii) le rayonnement solaire est constant et égal à  $110 \text{ W/m}^2$ . (2 points)

[D] Définissez la notion de facteur de charge d'une installation de production d'électricité. (2 points)

[E] A combien de watt installés ("watt peaks" en anglais) correspond cette installation photovoltaïque, en sachant qu'elle fonctionne avec un facteur de charge de 10% ? (2 points)

**Question 6** (4 points)

Les bassins de marée (“tidal pools” en anglais) sont des sources potentielles d’énergie renouvelable qui exploitent l’énergie des marées.

En considérant un bassin de marée qui se remplit rapidement à marée haute et se vide rapidement à marée basse, générant de l’électricité dans les deux sens de flux, calculez l’énergie qui peut être générée par jour et par mètre carré de bassin en utilisant les symboles indiqués dans la figure ci-dessous.

