

# ENERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

EXAMEN FINAL

14 juin 2025

## 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** (14 points)

Vous êtes consulté par le gouvernement belge afin de formuler des recommandations sur la gestion des fluctuations de production et de consommation d'électricité dans un futur système largement alimenté par des sources d'énergie renouvelables.

[A] Listez et décrivez brièvement les quatre grandes familles de solutions permettant de gérer les fluctuations dans un réseau électrique. (8 points)

[B] Listez et décrivez brièvement quatre technologies de stockage à la disposition du gouvernement. (4 points)

[C] Pouvez-vous établir des recommandations pour le gouvernement en matière de stockage ? (2 points)

**Question 2** (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  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . 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  $U$  ("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 placées dans le cube permettant de maintenir dans ce dernier une température constante de  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Considérez que (i) ces panneaux ont une efficacité de 22%, et (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 correspond cette installation photovoltaïque, en supposant qu'elle fonctionne avec un facteur de charge de 10 % ? (2 points)

**Question 3** (3 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 et discutez trois actions à mettre en place.

**Question 4** (13 points)

[A] Calculez la quantité d'énergie mécanique nécessaire pour parcourir 100 km à vélo. Vous considérez que (i) la masse totale du vélo et du cycliste est de 80 kg, (ii) la vitesse moyenne est de 21 km/h, (iii) le cycliste effectue un arrêt après chaque kilomètre parcouru, (iv) la surface frontale est de  $0,75 \text{ m}^2$ , (v) le coefficient de traînée est de 1, et (vi) la densité de l'air est de  $1,3 \text{ kg/m}^3$ . Vous négligerez la résistance au roulement. (3 points)

A noter que la puissance mécanique nécessaire pour faire avancer un vélo à vitesse constante avec arrêts réguliers (distance  $d$  entre deux arrêts), sans résistance au roulement, est donnée par la formule suivante :

$$\text{Puissance} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot c_d \cdot v^3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{m \cdot v^3}{d}$$

où  $v$  est la vitesse,  $\rho$  la densité de l'air,  $A$  la surface frontale,  $c_d$  le coefficient de traînée,  $m$  la masse du cycliste et du vélo, et  $d$  la distance entre deux arrêts.

[B] En supposant que l'énergie musculaire est entièrement fournie par une alimentation carnivore à base de viande de bœuf, calculez la quantité d'énergie primaire (sous forme de biomasse végétale) nécessaire pour couvrir le déplacement à vélo décrit en [A]. Considérez que (i) le rendement des muscles humains est égal à 25 %, (ii) 240 g de viande de bœuf contient 0,7 kWh d'énergie alimentaire, (iii) le poids d'une vache à la naissance est de 0 kg et atteint 450 kg au bout de 1 000 jours, de manière linéaire, (iv) la vache est envoyée à l'abattoir après 1000 jours, (v) la vache a les mêmes besoins énergétiques par kilogramme que le cycliste (estimés à 3 kWh/jour), et (vi) 66 % de la masse de la vache est transformée en viande comestible. (5 points)

[C] En utilisant la formule ci-dessus, et en supposant un rendement moteur de 30 %, calculez la consommation d'énergie primaire pour une voiture parcourant également 100 km à 21 km/h, avec un arrêt après chaque kilomètre parcouru. Pour la voiture, considérez (i) une masse totale de 1 000 kg, (ii) une surface frontale de  $2,2 \text{ m}^2$ , (iii) un coefficient de traînée de 0,3, et (iv) une densité de l'air de  $1,3 \text{ kg/m}^3$ . Vous négligerez également la résistance au roulement. (3 points)

[D] Que constatez-vous en comparant vos réponses aux points [B] et [C] ? Comment évoluerait cette comparaison si le cycliste adoptait un régime 100 % végétarien ? (2 points)

**Question 5** (10 points)

[A] Listez et décrivez les trois grandes familles de stratégies pour diminuer le coût de l'électricité produite par les centrales nucléaires. (6 points)

[B] Décrivez le mode de fonctionnement du réacteur MYRRHA. (2 points)

[C] Donner deux avantages du réacteur MYRRHA par rapport à un réacteur classique. (2 points)

**Question 6** (8 points)

Vous vous intéressez à la possibilité de concevoir un véhicule électrique équipé de panneaux photovoltaïques intégrés à sa toiture.

[A] Supposez que le véhicule soit équipé de  $3 \text{ m}^2$  de panneaux photovoltaïques installés à l'horizontale sur sa toiture. Calculez le nombre de kilomètres que la voiture peut parcourir chaque jour en utilisant exclusivement l'énergie issue de ses panneaux. Considérez que (i) ces panneaux ont une efficacité de 22%, (ii) le rayonnement solaire est constant et égal à  $110 \text{ W/m}^2$ , (iii) la voiture consomme  $15 \text{ kWh}$  d'électricité pour  $100 \text{ km}$  parcourus, (iv) toute l'énergie produite par l'installation photovoltaïque est utilisée pour la propulsion sans pertes, (v) la voiture est exposée toute la journée à un ensoleillement sans ombre. (4 points)

[B] Calculez le nombre de mètres carrés de terrain agricole qu'il faudrait allouer à la culture de biomasse pour parcourir le même nombre de kilomètres qu'en [A], en utilisant exclusivement du biocarburant. Vous considérez que (i) la voiture consomme  $50 \text{ kWh}$  de biocarburant pour  $100 \text{ km}$  parcourus, (ii) la culture de biomasse produit de l'énergie chimique à une puissance moyenne de  $0,5 \text{ W/m}^2$ , et (iii) l'énergie chimique de la plante est transformée en biocarburant avec une efficacité de 70%. (4 points)