

ENERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

EXAMEN FINAL

20 juin 2023

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 (8 points)

[A] Pourquoi la mise en place de l'agriculture il y a quelques millénaires peut-elle être perçue comme une révolution énergétique ? (4 points)

[B] Citez deux autres révolutions énergétiques qui ont transformé les sociétés humaines. (3 points)

[C] Actuellement, quelle est la part (en %) des énergies fossiles dans l'ensemble des besoins énergétiques de la civilisation humaine ? (1 point)

Question 2 (8 points)

Depuis la crise du gaz, l'Europe a décidé au travers de son plan RePowerEU d'investir massivement dans le photovoltaïque dans le sud de l'Europe où les gisements solaires sont les meilleurs. Elle aimerait y générer de l'ordre de 5000 TWh/an. L'Europe se pose néanmoins beaucoup de questions auxquelles vous devez répondre:

[A] Quelle est la surface au sol que ces fermes photovoltaïques devront occuper sachant que le rendement d'un panneau photovoltaïque est de 22% et que l'ensoleillement dans le sud de l'Europe est de l'ordre de 220 W/m^2 ? (2 points)

[B] Quel serait le prix total de ces fermes, en milliards d'euro, sachant que par W installé, le prix du PV est de 0.6 euro et que le facteur de charge (load factor en anglais) du PV dans le sud de l'Europe est de l'ordre de 30%. (2 points)

[C] Supposez que ces fermes photovoltaïques produisent: (i) chaque jour la même quantité d'énergie (ii) uniquement de l'énergie de 8h du matin à 6h de l'après midi et ce avec une puissance constante pendant cette période de temps. Quelle est la quantité d'énergie qui devrait être stockée dans des batteries pour que lorsque l'on opère de manière intelligente ces dernières, l'ensemble génère toujours une puissance constante. Quel serait le prix de ces batteries sachant que le kWh de capacité de stockage est égal à 150 euros ? On fait l'hypothèse qu'il n'y a pas de pertes dans les batteries. (2 points)

[D] Expliquer le principe physique qui est exploité par les panneaux photovoltaïques pour générer de l'électricité. (2 points)

Question 3 (8 points)

[A] Développer 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. (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 point)

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

Question 4 (21 points)

50 personnes sont enfermées dans un cube ne laissant pas passer les rayons du soleil et flottant dans le ciel. Le cube a 10 mètres d'arête et la température sur

la paroi extérieure du cube est de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Le cube possède un système d'aération avec échangeur de chaleur parfait qui fait en sorte qu'aucune déperdition d'énergie n'a lieu en aérant le cube. Les personnes à l'intérieur du cube ont une dépense énergétique égale à leur fonction basale, soit 1510 calories par jour. La conductivité thermique des parois du cube est de $2\text{ W/m}^2/\text{K}$.

[A] Donner une définition du coefficient de conductivité thermique. (2 points)

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

[C] Combien de m^2 de panneaux photovoltaïques vous faudra-t-il installer pour générer assez d'électricité pour alimenter des résistances électriques dans le cube permettant de maintenir dans ce dernier une température constante de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. On considèrera que ces panneaux ont une efficacité de 20% et que le rayonnement solaire est constant et égal à 110 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 sachant qu'elle fonctionne avec un facteur de charge de 10% ? (2 points)

[F] Quel est le pourcentage de l'électricité produite par une éolienne ayant un diamètre de 50 m qu'il faudra utiliser pour remplacer les panneaux photovoltaïques ? On supposera que l'éolienne a une efficacité égale au coefficient de Betz, soit $\frac{16}{27}$, et que la vitesse du vent est de 15 m/s ? On rappellera que la densité volumétrique de l'air est de 1.3 kg/m^3 . (3 points)

[G] Quel est le principe physique qui se cache derrière ce coefficient de Betz ? (2 points)

[H] Quel est le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur ? Quel est le coefficient de performance idéal d'une pompe à chaleur donné en fonction de T_1 et T_2 où T_1 est la température extérieure et T_2 la température intérieure ? (2 points)

[I] On considère maintenant que l'on n'utilise plus des résistances électriques pour maintenir le cube à une température constante de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ mais bien une pompe à chaleur fonctionnant avec un coefficient de performance idéal. Calculez le nombre de m^2 de panneaux photovoltaïques qu'il faudra installer pour générer assez d'électricité pour maintenir dans le cube une température constante de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. (2 points)

Question 5 (12 points)

A vitesse de croisière un Boeing 747 vole à 933 km/h et a une poussée de l'ordre de 120 kN . L'efficacité de ses moteurs est de 33%.

[A] Calculez la quantité de kéroène qui sera brûlée par l'avion lors d'un voyage Bruxelles - Los Angeles. On considèrera que la consommation de l'avion pendant ce voyage est égale à la consommation qu'il aurait s'il parcourait toute la distance à vitesse de croisière. La réponse doit être donnée en litres. (2 points)

[B] Le kérozène vert, synthétisé à partir d'algues cultivées dans de l'eau enrichie au CO₂, est pour l'instant considéré par certains acteurs du secteur de l'énergie comme étant une alternative crédible au kérozène d'origine fossile. Il a pour mérite d'être neutre en CO₂. Un tel dispositif de culture d'algue est capable de transformer l'énergie du soleil en énergie chimique contenue dans l'algue à une vitesse moyenne de l'ordre de 4 W/m² de culture. La moitié de cette énergie est perdue lors de la fabrication du kérozène vert. Calculez la surface de culture d'algues qui est nécessaire pour alimenter en kérozène vert un vol Bruxelles - Los Angeles par an. (2 points)

[C] La consommation annuelle de kérozène est d'environ de 320 milliards de litre. Quelle est la surface de fermes d'algues qui devra être utilisée pour pouvoir fabriquer la totalité du kérozène avec ces dernières ? Exprimer votre réponse en km². (2 points)

[D] La commission européenne aimerait décarbonner la filière aviation et développer le kérozène fabriqué à partir d'algues. Elle décide de vous solliciter pour avoir votre avis. Que lui répondez-vous ? (2 points)

[E] Suggérez à la commission deux autres stratégies pour décarbonner la filière aviation. Discuter leur avantages et inconvénients. (4 points)

Données additionnelles : (i) Il y a 10,4 kWh d'énergie dans un litre de kérozène (ii) Le nombre de kilomètres parcourus par un avion reliant Bruxelles à Los Angeles est de 10048 km.

Question 6 (13 points)

L'électricité produite par les énergies renouvelables fluctue considérablement, même à l'échelle continentale, sur une base quotidienne, hebdomadaire, mensuelle et saisonnière. De plus la charge électrique fluctue également avec le temps. Il peut aussi y avoir des périodes de l'année (temps froid, pas de vent, temps nuageux) où la demande d'énergie est particulièrement élevée et la production de énergie est particulièrement faible.

[A] Mentionnez les trois familles de solutions qui permettent de s'assurer que la puissance produite est égale à la puissance consommée à chaque instant ? (3 points)

[B] Pour chacune de ces familles de solutions, décrivez deux exemples concrets de mises en oeuvre de ces dernières. (6 points)

[C] Décrivez le concept de "Global grid" et expliquer en quoi il pourrait apporter une solution complémentaire à ces trois grandes familles. (2 points)

La gestion des fluctuations dans un réseau électrique est cruciale pour la décarbonation de nos sociétés. Mais les gestionnaires de réseaux de distribution, qui n'ont pas pour responsabilité de s'assurer que l'équilibre entre production et consommation soit toujours satisfait, font également face à de nombreux défis. Pouvez-vous décrire brièvement deux de ces défis ? (2 points)