

SUSTAINABLE ENERGY

EXAMEN FINAL

11 juin 2019

Consignes

- Vous disposez de 2h30.
- 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 (13 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 mesure de choisir un plan de transition énergétique pour un pays donné. Comment feriez-vous pour hiérarchiser les priorités des actions à prendre, en prenant en compte les spécificités de votre pays (ressources, densité de population, tissu industriel, etc) ? (6 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 des exemples. (4 points)

Question 2 (13 points)

[A] Décrivez de manière simplifiée quels sont les deux réactions dans un réacteur nucléaire classique qui sont à l'origine des isotopes radioactifs ? Discutez aussi brièvement le type de déchets auxquels elles conduisent. (4 points)

[B] Qu'est ce que l'on appelle stockage intermédiaire des déchets radioactifs ? Quelles sont les deux grandes routes qui peuvent être empruntées par les déchets nucléaires après cette phase de stockage intermédiaire ? (3 points)

[C] Donner les trois caractéristiques principales de l'approche Small Modular Reactor (SMR). En quoi est ce que cette approche pourrait conduire à une énergie nucléaire moins chère que celle produite par des gros réacteurs nucléaires qui bénéficient pourtant d'un effet d'économie d'échelle ? (4 points)

[D] Donner deux des principaux concepts introduits par la génération IV des réacteurs nucléaires. (2 points)

Question 3 (7 points)

[A] Décrire brièvement le système ETS ? A quoi sert-il ? (3 points)

[B] Citer et discuter brièvement 4 des 7 blocs de bases proposés par l'Union Européenne pour arriver à la neutralité en terme d'émissions de gaz à effet de serre en 2050. (4 points)

Question 4 (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 5 (15 points)

100 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] 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)

[E] 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)

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

Question 6 (11 points)

Nous sommes en 2025. Le prix de l'énergie photovoltaïque est devenu très bas. L'EU-27 décide dès lors d'investir massivement dans cette technologie dans le sud de l'Europe où les gisements solaires sont les meilleurs et ce afin de couvrir toute sa consommation d'électricité avec du PV. Cette dernière est de l'ordre de 5000 TWh. L'EU-27 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 25% et que l'ensoleillement dans le sud de l'Europe est de l'ordre de 250 W/m^2 ? (3 points)

[B] Quel serait le prix total de ces fermes, en milliards d'euros, sachant que par W installé, le prix du PV est de 0.4 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%. (3 points)

[C] Supposez que ces fermes photovoltaïques produisent: (i) chaque jour la même quantité d'énergie (ii) uniquement de l'énergie de 10h 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 100 euros ? On fait l'hypothèse

qu'il n'y a pas de pertes dans les batteries. (3 points)

[D] L'Europe a 100 millions de véhicules. Chaque véhicule a en moyenne 80 kwh de batteries. Pensez vous que ce parc de véhicules pourrait significativement aider à gérer la fluctuation journalière de la production PV ? Si oui, que suggèreriez vous à l'Europe de faire pour exploiter la flexibilité de cette filière électrique ? (2 points)

Question 7 (8 points)

[A] Donner et discuter en détails deux raisons pour lesquelles il serait intéressant de relier électriquement l'Europe avec le Groenland et le Groenland avec l'Amérique du Nord. (4 points)

[B] De manière plus générale, en quoi est ce que la construction d'une grille électrique internationale pourrait favoriser une transition vers des économies bas carbone. Citer et discuter au moins deux raisons. (4 points)

Question 8 (6 points)

Analysez de manière critique la conversation suivante qui a lieu un soir d'hiver entre Corentin (20 ans) et sa maman. Qui a raison ?

La maman de Corentin: Corentin, veux tu bien éteindre la lampe dans le corridor? On voit bien que ce n'est pas toi qui payes la facture d'électricité.

Corentin: Maman, on voit bien que tu n'y connais rien. Je ne gaspille pas; je chauffe le corridor qui doit de toute façon être chaud pour Grand-papa.

PS: On remarquera que cette année je n'ai pas posé la question avec Kevin.

Bon travail à tout le monde !