

SUSTAINABLE ENERGY

EXAMEN FINAL

18 juin 2018

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.
- Si vous ne répondez pas à une question, vous devez quand même remettre une feuille en y indiquant (i) votre nom (ii) le numéro de la question.
- 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 hypothèses peuvent être des valeurs numériques. Dans ce cas, même si vos hypothèses sont “assez loin” de la réalité, vous ne serez pas 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.
- Pour plusieurs questions, il vous est conseillé de d’abord rédiger un brouillon. Cela vous aidera à structurer votre réponse finale.

Bon travail!

Question 1 (16 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) ? (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 des exemples. (5 points)

Question 2 (7 points)

La Wallonie a une surface de 16569 km² et compte 3,5 millions d'habitants. Calculer le pourcentage du sol wallon qui serait nécessaire pour nourrir ces habitants en supposant que 50% des personnes sont végétariennes et que 50% ne mangent que du boeuf.

Données : Un homme de 65 kg a besoin d'environ 2600 calories par jour pour vivre. Les plantes emmagasinent l'énergie du soleil avec une puissance moyenne égale à 0.5 W/m². Il faut 1000 jours pour élever un boeuf. Un boeuf est composé de 66% de viande. Il y a 2000 calories dans un kilo de viande. On supposera que la masse du boeuf est négligeable à sa naissance, que l'évolution de sa masse est linéaire avec le temps et que ses besoins énergétiques par unité de masse sont similaires à ceux d'un humain de 65 kg.

Réponse :

Une personne a besoin par jour de $2600 \times 4184 = 10,878,400$ J

1 m² de surface produit $0.5 \times 3600 \times 24 = 43200$ J d'énergie sous forme de biomasse.

Surface nécessaire pour 1 végétarien : 251.8 m².

Pour nourrir les $\frac{3.5}{2}$ millions, il faut dès lors 440.65 km².

Une personne carnivore doit manger 1.3 kg de viande par jour, ce qui équivaut à 1.96 kg de boeuf. Cela signifie avoir dans le pipe pour cette personne 1960/2 kg de boeuf. Les boeufs étant végétariens, il faut donc avoir $\frac{1960}{\times 65} \times 440,65 = 6643.5$ km² de terre cultivable.

Total : 7084.15 km² de terre cultivable, soit $\frac{7084.15}{16569} \times 100 = 42.7\%$ du sol wallon.

Question 3 (8 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 220 W/m² ? (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 0.2 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 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. (2 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)

Correction :

[A] Une ferme PV de 1 km² de superficie produira sur une année un nombre de TWh égal à : $\frac{220 \times 8760 \times 0.25 \times 10^6}{10^{12}} = 0.4818$ TWh. Il faudra donc une surface égale à $\frac{5000}{0.4818} = 10377$ km².

[B] 5000 TWh est l'énergie produite annuellement par une source ayant une puissance constante de $\frac{5000}{8760} = 0.57$ TW. Vu que le facteur de charge du PV est de 30%, il faudra dès lors installer : $\frac{0.57}{0.3} = 1.9$ TW de PV. Cela aura un coût de $\frac{1.9 \times 10^{12} \times 0.2}{10^9} = 380$ milliards d'euros.

[C] La quantité d'énergie produite par les fermes PV pendant les 8h d'ensoleillement est égale à : $\frac{5000}{365} = 13.6$ TWh. Il faudra stocker deux tiers de cette quantité, à savoir : 9.1 TWh. Cela équivaut à un

coût de $\frac{9.1 \times 10^{12} \times 100}{1000 \times 10^9} = 910$ milliards d'euros.

[D] La capacité de stockage de ces véhicules est de $\frac{80 \times 10^3 \times 100 \times 10^6}{10^{12}} = 8$ TWh. Ces véhicules ont donc une capacité de stockage importante par rapport aux besoins de stockage engendrés par le PV. Ils pourraient être rechargés pendant la journée. Et éventuellement être déchargés pendant la nuit. Pour ce faire, il faudrait bien évidemment que les marchés de l'électricité européens soient organisés de telle manière que des signaux tarifaires, engageant les utilisateurs de ces véhicules à avoir un comportement ad hoc, soient synthétisés.

Question 4 (12 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 ? (1 point)

[C] Que devrait-on faire en fonction de la valeur de d pour économiser de l'énergie ? (2 points)

[D] Quel est l'impact d'une électrification de la filière transport terrestre sur nos émissions de CO₂ ? Discuter cet impact en fonction du mix électrique. (5 points).

Données : (i) La combustion d'un litre d'essence produit 2.3 kg de CO₂. (ii) Une voiture consomme 5 litres d'essence par 100 km. (iii) Une voiture électrique consomme 20 kwh d'électricité par 100 km. (iii) Une centrale au gaz produit 350 gr de CO₂ par kwh d'électricité produite, soit trois fois moins qu'une centrale au charbon.

Correction :

Blocs de base de la réponse :

Si mix électrique 100% renouvelable, par 100 km parcouru, une voiture électrique va produire en première approximation 0 kg de CO₂. Il en ressort une diminution de 100% des émissions de CO₂ de la filière transport.

Si mix électrique gaz, par 100 km parcouru, une voiture électrique va produire en première approximation 6.6 kg de CO₂, soit $\frac{6.6}{11.5} = 57$ % de la quantité de CO₂ produite par un véhicule à essence.

Si mix électrique 100% charbon, par 100 km parcouru, une voiture électrique va produire en première approximation 19.8 kg de CO₂, soit $\frac{19.8}{11.5} = 172$ % de la quantité de CO₂ produite par un véhicule à essence.

Question 5 (6 points)

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

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

Kevin : 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.