

Licence Sciences et Applications - Mention STEP

Geosciences 3 : « L'homme et la planète »

TD 3 : Evolution des ressources énergétiques à long terme : quelques éléments quantitatifs

Le fonctionnement de la société humaine repose depuis les débuts du 19^{ème} siècle et la révolution industrielle sur l'énergie produite par les combustibles fossiles. Ce sujet d'examen se propose d'examiner quantitativement dans quelle mesure cet état peut perdurer au cours du siècle, et si non de se poser la question des autres ressources disponibles.

1. Évolution de la demande énergétique :

La demande énergétique annuelle aux US est estimée à 10^{20} J/an, ce qui représente environ 1/4 de la demande mondiale totale. Les modèles prédisent une augmentation de 1.5% par an de cette demande.

Quelle sera la demande énergétique dans 20 ans et dans 100 ans ?

Quelle doit être l'économie d'énergie réalisée (en %) dans 20 ans pour que la demande soit la même que l'actuel.

Cet effort vous semble-t-il réaliste, pourriez-vous le fournir à votre échelle ?

2. Ressources naturelles disponibles :

a. Hydrocarbures :

Si la demande de pétrole reste la même qu'aujourd'hui, le pic de production et le début du déclin de la fourniture de pétrole sont estimés (en l'an 2000) se produire dans environ 75 ans. Dans combien de temps se produira ce pic si la demande augmente de 1% par an à partir de l'année 2000, de 2% ?

On notera C_{2000} la consommation annuelle en l'an 2000 et D_{tot} la quantité de pétrole disponible en 2000. On donne la formule suivante

$$\sum_{n=0}^N (1+x)^n = \frac{(1+x)^{N+1} - 1}{x} \quad \text{où } N \text{ est le nombre d'années inconnu et } x \text{ vaut 1 ou 2\%}$$

ATTENTION, on n'utilisera pas de développement limité de $(1+x)^N$.

Ces estimations sont basées sur une estimation de pétrole disponible de 3000 milliards de barils, soit environ deux fois les réserves effectivement découvertes en 2000. Ceci pose donc de façon évidente la nécessité de trouver une alternative au pétrole comme source énergétique pour la prochaine génération. Le gaz naturel est un candidat, mais les États-Unis consomment déjà plus de gaz que ce qu'ils produisent. Le charbon fournit une autre piste. Les réserves américaines sont estimées à 5.7×10^{21} J. Combien d'années cette solution permet-elle de subvenir aux besoins si la consommation est stable, si elle augmente de 2% par an ?

Les estimations obtenues doivent être réduites d'un facteur 2 car le charbon n'est pas utilisable directement et par exemple doit être transformé avant d'être utilisé comme carburant, ce qui représente une consommation de 50% de l'énergie disponible in fine. Les différents types d'hydrocarbure ne représentent donc pas une solution viable sur plus d'une génération.

b. Énergies renouvelables : exemple de l'énergie solaire :

L'énergie solaire moyenne reçue sur le sol américain est de 6.5×10^{18} J/an pour une surface de 1000 km^2 . Sachant que seulement 15% de l'énergie reçues est effectivement transformée en électricité par une cellule photo-électrique et que 50% environ de cette production sont effectivement disponibles après pertes lors du stockage et du transport de l'électricité, quelle est la production nette d'énergie pour 1000 km^2 et quelle surface est-elle nécessaire pour couvrir les besoins en l'an 2000 ?

Sachant que la surface des États-Unis est d'environ $9\,500 \times 10^3 \text{ km}^2$ dont $1\,600 \times 10^3 \text{ km}^2$ occupés par les besoins agricoles, que pensez-vous de la solution énergie solaire.

c. Énergie nucléaire :

Actuellement l'énergie nucléaire couvre 8% de la consommation énergétique totale des États-Unis et pourrait maintenir cette capacité pendant 550 ans. Si les EU décidaient de produire 100% de leur énergie par le nucléaire, en combien d'années seront épuisés les stocks d'Uranium aux US ?

À plus long terme, il est possible d'envisager de puiser l'Uranium au sein du plus grand réservoir disponible : l'océan (il est possible d'extraire cet Uranium à un coût de 500\$ par kg contre 30\$ par kg pour les ressources minières).

La concentration en Uranium de l'océan est $C_0 = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ g/kg}$ (la masse de l'océan est de $1,4 \cdot 10^{21} \text{ kg}$), valeur constante d'un océan à l'autre et selon la profondeur. La mesure des concentrations en uranium dans les divers grands fleuves a montré qu'un flux (Φ_e) de 14000 tonnes/an d'U est apporté à l'océan.

A l'état naturel, l'océan est en état stationnaire, ce qui signifie que le flux d'apport par les fleuves est compensé par le flux de sortie (Φ_s) dû principalement à la précipitation de l'U au fond de l'océan. Calculez le temps de résidence de l'Uranium dans l'océan. En quoi cela explique-t-il que la concentration en U soit homogène dans l'océan.

Comparer le flux d'uranium (Φ_e) qui arrive aux océans au flux (Φ_h) nécessaire pour couvrir les besoins énergétiques des États-Unis dans un siècle, sachant qu'un gramme d'Uranium produit environ $7 \times 10^{10} \text{ J}$.

On suppose que le flux de sortie est lié à la quantité totale d'U dans l'océan selon une loi cinétique de premier ordre ($\Phi_s = kC$, où C est la concentration en U dans l'océan). Déterminer k en fonction de C_0 et Φ_e .

Connaissant le flux d'entrée (Φ_e , rivières) supposé constant dans le temps, le flux de sortie ($\Phi_s = kC$), et le flux et de prélèvement (Φ_h) par l'homme, poser l'équation différentielle donnant l'évolution de la concentration en U dans l'océan en fonction du temps.

Résolution : si Φ_e et Φ_h sont constants, le système atteint-il un régime permanent, et si oui quelle est la nouvelle concentration d'équilibre ? Donner la solution complète de l'équation et commenter.