UE Géoressources – Licence 2 – Mardi 8 septembre – Salle B007

Énergie, puissance et bilans énergétiques

Des ordres de grandeur aux systèmes énergétiques

Consignes de séance

Le TD est une séance de **travail actif**. Une production écrite est attendue de chaque étudiant, selon les consignes données en séance.

— Le travail réalisé pendant la séance sera **rendu à la fin du TD**, même s'il n'est pas entièrement terminé.

— La qualité du raisonnement, l'implication dans le travail et le sérieux du rendu pourront être **pris en compte dans l'évaluation** selon les modalités annoncées pour l'UE.

— L'enseignant peut aider à débloquer une difficulté, mais une **tentative personnelle préalable** est attendue : il faut pouvoir montrer ce qui a déjà été essayé.

— Toute perturbation volontaire nuisant au travail de la séance (bavardages répétés, activité sans rapport avec le TD, refus manifeste de travailler, etc.) pourra entraîner une **pénalisation du travail de séance** dans le cadre des modalités de contrôle des connaissances.

Compétences travaillées

À l'issue du TD, vous devrez être capable de :

— distinguer une **énergie** d'une **puissance** et choisir les unités adaptées ;

— passer des joules aux wattheures et inversement ;

— relier une puissance à un flux de matière ou d'énergie ;

— écrire un bilan énergétique simple sous la forme « énergie entrante = énergie utile + pertes + stockage » ;

— utiliser un rendement et discuter des ordres de grandeur obtenus.

Données et conventions

On pourra utiliser les valeurs suivantes :

— accélération de la pesanteur : $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$, que l'on pourra arrondir à $10\,\mathrm{m/s^2}$ pour les calculs d'ordre de grandeur ;

— masse volumique de l'eau : $\rho = 1\,000\,\mathrm{kg/m^3}$;

— capacité thermique massique de l'eau : $c_p = 4{,}18\,\mathrm{kJ/(kg\,K)}$;

— chaleur latente de vaporisation de l'eau : $L_v = 2{,}26\,\mathrm{MJ/kg}$;

— $1\,\mathrm{kW\,h} = 3{,}6\,\mathrm{MJ}$;

— $1\,\mathrm{kcal} = 4{,}184\,\mathrm{kJ}$;

— une année comporte $8\,760\,\mathrm{h}$.

1. Énergie et puissance : l'accélération d'un véhicule

Un véhicule de masse $m = 1\,659\,\mathrm{kg}$ passe de 0 à $100\,\mathrm{km/h}$ en $4{,}2\,\mathrm{s}$.

a) Convertissez la vitesse finale en m/s.

b) Calculez l'énergie cinétique acquise par le véhicule. Exprimez-la en joules, mégajoules et kilowattheures.

c) Calculez la puissance mécanique moyenne correspondant à cette augmentation d'énergie cinétique.

d) Le rendement global entre l'énergie chimique du carburant et l'énergie mécanique transmise au véhicule est supposé égal à 30 %. Quelle puissance chimique moyenne faut-il alors fournir pendant l'accélération ?

e) Expliquez pourquoi la valeur obtenue ne doit pas être confondue avec la puissance nominale exacte du moteur.

2. Le stockage gravitaire : l'exemple des seaux d'eau

On considère un dispositif volontairement très simple de stockage gravitaire. Un seau contient 10 L d'eau. Il est élevé jusqu'à un réservoir placé au-dessus d'une turbine, puis l'eau redescend à travers la turbine.

a) Quelle énergie potentielle gravitationnelle possède un seau de 10 L placé 1 m plus haut ?

b) Combien faudrait-il de tels seaux pour stocker 1 kW h d'énergie potentielle ?

c) On place maintenant le réservoir 3 m au-dessus de la turbine. En négligeant les pertes, quel débit d'eau est nécessaire pour fournir en permanence une puissance de 1 kW ? Exprimez le résultat en kg/s, en m^3/h et en nombre de seaux par heure.

d) La turbine et l'alternateur ont ensemble un rendement de 85 %. Reprenez le calcul précédent pour obtenir réellement 1 kW électrique.

e) Le système doit pouvoir fonctionner pendant 16 h sans apport d'eau. Quel volume minimal doit contenir le réservoir, si l'on conserve un dénivelé de 3 m et un rendement de 85 % ?

f) On suppose que les seaux sont remontés manuellement. Écrivez le bilan énergétique complet du système, depuis l'énergie dépensée pour remonter l'eau jusqu'à l'électricité produite. Pourquoi ce dispositif constitue-t-il un **stockage d'énergie** et non une source primaire d'énergie ?

3. Un barrage : du bilan hydrologique au bilan énergétique

On considère un **modèle simplifié inspiré du barrage de Castillon**. Le bassin versant a une superficie de 655 km^2. La pluviométrie moyenne annuelle est supposée égale à 1 000 mm/a. On considère qu'en moyenne 60 % de cette eau rejoint effectivement le cours d'eau ; le reste est perdu par évapotranspiration, infiltration profonde ou stockage temporaire.

Le réservoir a un volume de 150×10^6 m^3. La hauteur de chute utile est de 100 m. Le rendement global turbine–alternateur est $\eta = 0{,}88$.

a) Calculez le volume annuel de précipitations reçu par le bassin versant.

b) Déduisez-en le volume annuel d'eau qui transite par le barrage, puis le débit moyen en m^3/s.

c) Calculez la puissance hydraulique moyenne disponible :

$$P_h = \rho\, Q\, g\, h.$$

d) Calculez la puissance électrique moyenne après prise en compte du rendement.

e) Quelle énergie électrique serait produite en une année si cette puissance moyenne était maintenue ? Exprimez-la en MWh puis en GWh.

f) Calculez le taux de renouvellement annuel du réservoir, puis le temps moyen de résidence de l'eau.

g) Supposons maintenant le réservoir plein. Quelle quantité maximale d'énergie potentielle gravitationnelle est stockée dans les $150 \times 10^6\,\mathrm{m}^3$ d'eau ? Quelle énergie électrique pourrait-on théoriquement récupérer après rendement ?

h) Pendant combien de temps ce stock pourrait-il fournir une puissance électrique de 100 MW ?

i) Expliquez la différence entre les deux grandeurs suivantes : « 36 GW h stockés dans le réservoir » et « une puissance de 100 MW délivrée par la centrale ».

4. Le cycliste : bilan énergétique d'un organisme

Un cycliste de 60 kg fournit pendant un effort prolongé une puissance mécanique de 250 W. Son rendement musculaire global est estimé à 25 % : seule une partie de l'énergie métabolique est convertie en travail mécanique.

Sa ration énergétique quotidienne est de 3 000 kcal. Pendant l'effort, il transpire à raison de 1,0 kg d'eau par heure.

Pour estimer un éventuel échauffement du corps, on prendra une capacité thermique massique moyenne du corps de $3{,}5\,\mathrm{kJ/(kg\,K)}$.

a) À quelle puissance moyenne correspond une ration quotidienne de 3 000 kcal, si on la répartit uniformément sur 24 h ?

b) Quelle puissance métabolique doit fournir l'organisme pour produire 250 W mécaniques avec un rendement de 25 % ?

c) Quelle puissance est alors transformée en chaleur dans l'organisme ?

d) Quelle puissance thermique est évacuée par l'évaporation de 1 kg d'eau par heure ?

e) En négligeant tous les autres échanges thermiques, quelle puissance nette reste stockée dans le corps ?

f) Dans ce modèle volontairement simplifié, de combien la température corporelle augmenterait-elle en une heure :

i) sans transpiration ;

ii) avec une transpiration de 1 kg/h ?

g) Écrivez le bilan énergétique du cycliste sous forme littérale et indiquez quels termes ont été négligés dans le calcul précédent.

5. Application thermique : une douche

Une douche utilise 40 L d'eau chauffée de 10 °C à 40 °C.

a) Calculez l'énergie thermique utile nécessaire pour chauffer cette eau. Exprimez-la en MJ et en kWh.

b) Un chauffe-eau électrique de puissance 2 kW possède un rendement de 90 %. Combien de temps lui faut-il pour fournir cette quantité d'eau chaude ?

c) Si l'on voulait chauffer la même quantité d'eau « en temps réel » pendant une douche de 10 min, quelle puissance électrique minimale faudrait-il installer, toujours avec un rendement de 90 % ?

d) Expliquez pourquoi un ballon d'eau chaude permet d'utiliser une puissance électrique relativement faible tout en satisfaisant ponctuellement une demande de forte puissance thermique.

Question de synthèse

En dix lignes maximum, expliquez la différence entre **énergie**, **puissance**, **flux**, **stock** et **rendement**. Illustrez votre réponse par deux exemples du TD et écrivez une forme générale d'un bilan énergétique.