Spécialité : Des cellules photovoltaïques pour un tour du monde en avion

Bac S 2015 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

P Vérifier que le nombre de cellules photovoltaïques de Solar Impulse 2 et la capacité de stockage de ses batteries suffisent à lui assurer une autonomie de 24 heures. Rédiger une réponse argumentée, avec un regard critique sur le résultat et les hypothèses.

Données utiles puissance solaire moyenne sur 24 h, au voisinage du sol : $p = 250$ W par m^2 horizontal ; $N > 17\,000$ cellules de $12{,}5$ cm $\times$ $12{,}5$ cm ; rendement $\eta = 23\,\%$; batteries : $m = 633$ kg, 260 Wh $\cdot$ kg^{-1} ; moteurs : 15 CV en moyenne sur 24 h, 70 CV au maximum ; 1 CV $= 736$ W

Démarche. L'avion vole 24 h sans carburant si deux conditions sont réunies :

- sur 24 h, les cellules produisent au moins l'énergie consommée par les moteurs ;
- les batteries stockent assez d'énergie pour la nuit, et le surplus produit le jour suffit à les recharger.

Les énergies sont calculées en wattheures : $E = P \times \Delta t$, avec P en W et Δt en h.

1. Énergie produite par les cellules en 24 h.

Surface minimale des cellules : $S = N \times a^2 = 17\,000 \times 0{,}125^2 = 266\ \text{m}^2$.

Hypothèse : les cellules sont horizontales et reçoivent la même puissance qu'au sol. Puissance électrique moyenne :

$$P_{\text{élec}} = \eta \times p \times S = 0{,}23 \times 250 \times 266 = 1{,}5 \times 10^4\ \text{W}$$

$$E_{\text{élec}} = P_{\text{élec}} \times \Delta t = 1{,}53 \times 10^4 \times 24 = 3{,}7 \times 10^5\ \text{Wh}$$

2. Énergie consommée par les moteurs.

Puissance moyenne : $P_{\text{mot}} = 15 \times 736 = 1{,}1 \times 10^4$ W.

En 24 h : $E_{\text{mot}} = 1{,}10 \times 10^4 \times 24 = 2{,}6 \times 10^5$ Wh.

$E_{\text{élec}} > E_{\text{mot}}$: le nombre de cellules est suffisant, avec une marge d'environ $1{,}0 \times 10^5$ Wh par jour.

3. Vol de nuit. Hypothèse : la nuit dure 12 h, et les moteurs y consomment leur puissance moyenne.

Énergie stockée dans les batteries chargées : $E_{\text{bat}} = 633 \times 260 = 1{,}6 \times 10^5$ Wh.

Énergie nécessaire la nuit : $E_{\text{nuit}} = 1{,}10 \times 10^4 \times 12 = 1{,}3 \times 10^5$ Wh.

$E_{\text{bat}} > E_{\text{nuit}}$: les batteries permettent de passer la nuit ; elles tiendraient $\dfrac{E_{\text{bat}}}{P_{\text{mot}}} \approx 15$ h.

4. Recharge de jour. Toute la production a lieu le jour. Une fois les moteurs alimentés pendant 12 h, il reste :

$$E_{\text{élec}} - E_{\text{nuit}} = 3{,}7 \times 10^5 - 1{,}3 \times 10^5 = 2{,}3 \times 10^5\ \text{Wh}$$

Ce surplus dépasse la capacité des batteries ($1{,}6 \times 10^5$ Wh) : elles sont de nouveau pleines au coucher du Soleil, et le cycle peut recommencer.

5. Regard critique.

PIÈGE
Comparer seulement production et consommation sur 24 h ne suffit pas : la nuit, les cellules ne produisent rien, il faut aussi vérifier les batteries. Et convertir 12,5 cm en 0,125 m avant de calculer la surface.

COMPRENDRE
Résultats à deux chiffres significatifs, comme 23 % et 15 CV ; les calculs enchaînés gardent les valeurs non arrondies. Les 250 W sont une moyenne jour et nuit : sur 12 h de jour, cela revient à 500 W, pour la même énergie.

MÉTHODE
Résolution de problème : traduire la question en inégalités entre énergies, poser chaque hypothèse avant le calcul qui l'utilise, conclure par une comparaison chiffrée, puis dire dans quel sens chaque hypothèse déplace le résultat.

- Les 250 W par mètre carré sont donnés au voisinage du sol. En altitude, au-dessus des nuages, la puissance reçue est plus grande : la production est sous-estimée.
- Le nombre de cellules est un minimum (« $> 17\,000$ ») : même effet.
- En revanche, les cellules du fuselage ne sont pas horizontales, et la charge puis la décharge des batteries s'accompagnent de pertes : la marge réelle est plus faible que celle calculée.
- La durée de la nuit dépend de la saison et de la latitude ; avec 15 h d'autonomie, il reste environ 3 h de réserve.
- À pleine puissance (70 CV, soit $5{,}2 \times 10^4$ W), les moteurs consomment plus de trois fois ce que les cellules fournissent en moyenne : ce régime ne peut être que bref.

$E_{\text{élec}} = 3{,}7 \times 10^5$ Wh $> E_{\text{mot}} = 2{,}6 \times 10^5$ Wh et $E_{\text{bat}} = 1{,}6 \times 10^5$ Wh $> E_{\text{nuit}} = 1{,}3 \times 10^5$ Wh : cellules et batteries suffisent pour une autonomie de 24 heures.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$17\,000 \times 0.125^2$ ≈ 265.625

$0.23 \times 250 \times 265.625$ ≈ 15273.44

$0.23 \times 250 \times 265.625 \times 24$ ≈ 366562.5

15×736 11 040

$11\,040 \times 24$ 264 960

633×260 164 580

$11\,040 \times 12$ 132 480

$\frac{164\,580}{11\,040}$ ≈ 14.90761

$366\,562.5 - 132\,480$ ≈ 234082.5

70×736 51 520