

BACCALAURÉAT BLANC TECHNOLOGIQUE

EPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPECIALITE

Session 2024

Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable

Physique-Chimie et Mathématiques

Durée de l'épreuve : 3h00

*L'usage d'une calculatrice en mode examen est autorisé.
L'usage d'une calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.*

*Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 9 pages numérotées de 1/9 à 9/9*

**Il est impératif de rédiger les réponses des
parties physique-Chimie et mathématiques sur
des copies distinctes**

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies. Toute réponse devra être justifiée

Premier vol réussi pour l'avion solaire « Solar Impulse 2 »

L'avion suisse « **Solar Impulse 2** », uniquement propulsé à l'énergie solaire, a réussi tôt lundi son premier vol d'essai sur la base aérienne de Payerne, dans le centre de la Suisse. Avec aux commandes le pilote d'essai allemand Markus Scherdel, l'avion s'est élancé sur la piste avec ses quatre moteurs électriques alimentés par 17 248 cellules solaires... Ce second et nouveau prototype, alimenté exclusivement par l'énergie de ses cellules solaires, a une envergure de 72 mètres, autant qu'un Airbus A380, mais pour un poids de 2 300 kg, 150 fois moins que l'avion géant d'Airbus. *Solar Impulse 2* doit se lancer en 2015 dans une tentative de tour du monde [...] il devra pouvoir voler plus de cent-vingt heures d'affilée, cinq jours et cinq nuits, le temps dont il a besoin pour traverser le Pacifique ou l'Atlantique.

Sans être absolument révolutionnaire sur le plan scientifique, il est équipé de diverses technologies les plus novatrices utilisées dans le but d'économiser du poids. L'aile, par exemple, a été entièrement réalisée en fibres de carbone.



*D'après le Monde.fr avec
AFP le 02.06.2014*

L'aéroplane Solar Impulse 2, à Payerne, en Suisse. Jean Revillard/AP

Le sujet comporte cinq parties indépendantes les unes des autres :

Partie A : la mécanique du vol d'un avion et la course au poids pour *Solar Impulse 2*.
(4,5 points)

Partie B : Atterrissage de l'avion (3 points)

Partie C : le challenge énergétique à relever (4 points)

Partie D : La lubrification des moteurs (2,5 points)

Partie E : Mathématiques (6 points) à rédiger sur une copie séparée

Quelques caractéristiques techniques de *Solar Impulse 2*

Solar Impulse 2

Départ prévu en mars 2015 pour le tour du monde

17 248

cellules solaires
de l'épaisseur
d'un cheveu
humain

**Les cellules
solaires**

convertissent les
rayons du soleil
en électricité

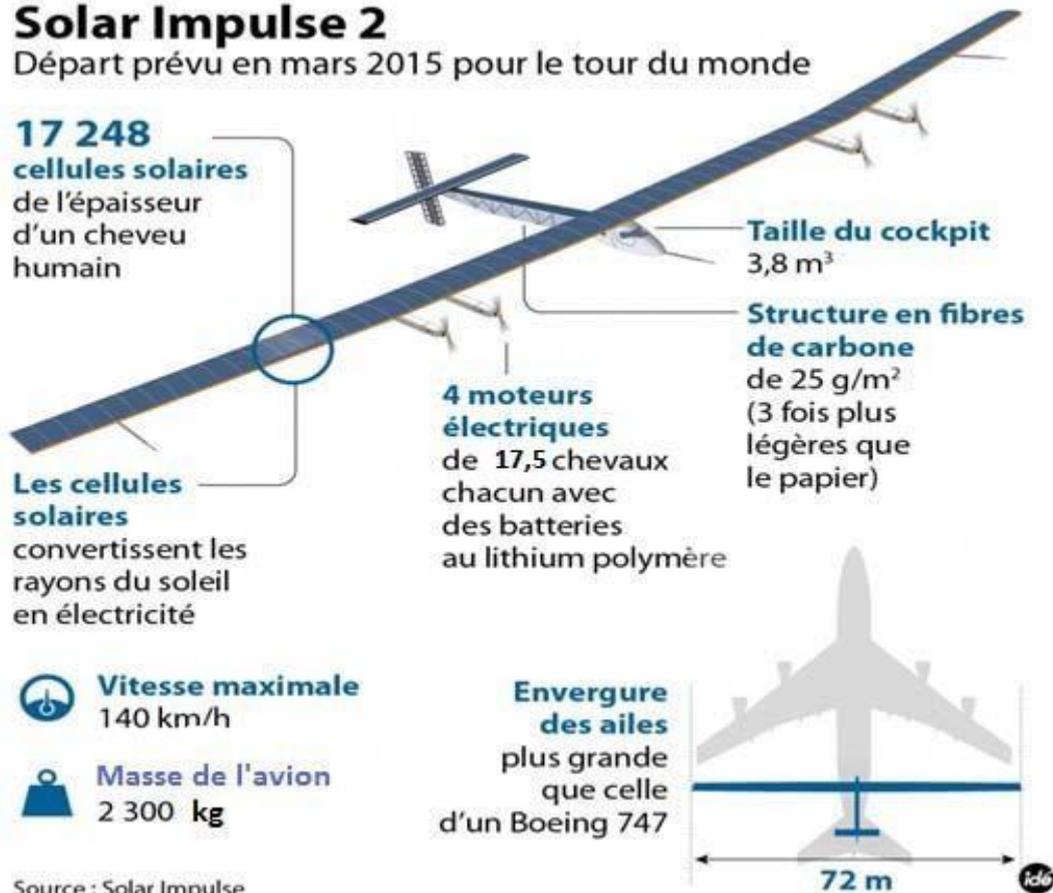


Vitesse maximale
140 km/h



Masse de l'avion
2 300 kg

Source : Solar Impulse



**Envergure
des ailes**
plus grande
que celle
d'un Boeing 747

Taille du cockpit
3,8 m³

**Structure en fibres
de carbone**
de 25 g/m²
(3 fois plus
légères que
le papier)

**4 moteurs
électriques**
de 17,5 chevaux
chacun avec
des batteries
au lithium polymère

72 m

idéo

D'après <http://www.solarimpulse.com/fr/the-adventure/solar-impulse-2>

Partie A : la mécanique du vol d'un avion et la course au poids pour *Solar Impulse 2*

A.1. Forces exercées sur un avion en vol

A.1.1. Identifier chacune des quatre forces du schéma de l'annexe A1 en les mettant en correspondance avec les définitions.

A.1.2. Préciser, en justifiant, quelle force parmi les quatre identifiées permet à l'avion d'être maintenu en l'air.

A.1.3. Indiquer, en justifiant, quelle est la force dont la valeur ne varie pas lors du vol.

A.1.4. En s'appuyant sur les caractéristiques techniques de l'avion et l'annexe A1, calculer son poids.

A.1.5. En exploitant l'annexe A1, expliquer comment varie la portance quand la vitesse de l'avion augmente.

A.1.6. À partir du schéma de l'annexe A1,

- a- Dire quelle condition doit remplir la force de portance pour que l'avion décolle.
- b- L'avion vole horizontalement. Faire un schéma des forces qui s'exercent sur lui. Appliquez le principe fondamental de la dynamique à l'avion.
- c- Que vaut l'accélération a de l'avion lorsqu'il vole horizontalement à vitesse **constante**.
- d- En déduire l'expression de la force de traction T lorsque l'avion vole horizontalement et à vitesse reste constante.

A.1.7. En utilisant le constat précédent et l'expression de la portance de l'annexe A1, montrer que la vitesse de décrochage est plus grande à 9000 m d'altitude qu'au niveau du sol.

Partie B : Atterrissage de l'avion

L'avion a une phase d'approche et commence à ralentir. On suppose que les forces ont les valeurs suivantes :

$$T = 2.5 \cdot 10^4 \text{ N}, \text{ et } F_T = 3.6 \cdot 10^4 \text{ N}$$

1 - Donner l'expression du travail $W_{\text{app}}(\vec{T})$ de la force \vec{T} , en fonction uniquement de la force de traction T et de la distance d'approche d_{app} parcourue lors de la phase d'approche. Ce travail est-il moteur ou résistant ? justifier.

2 – Même question pour la force de traction F_T .

3- Montrer que la somme des travaux des 4 forces qui s'exercent sur l'avion a pour expression :

$$\sum W(\vec{F}) = (T - F_T) \cdot d_{\text{app}} .$$

4- L'avion commence sa phase d'approche au point A avec une Vitesse $v_A = 148 \text{ km.h}^{-1}$ et terminera sa phase d'approche au point B avec une Vitesse $v_B = 96 \text{ km.h}^{-1}$.

- a- Calculer l'énergie cinétique de l'avion au point A , $E_C(A)$ puis au point B, $E_C(B)$.
- b- En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, calculer déduire la distance approche d_{app} .

Rappel : Dans un référentiel galiléen, la variation d'énergie cinétique de ce système entre deux états A et B est égale à la somme des travaux des forces qui lui sont appliquées entre A et B. Un référentiel galiléen est un référentiel où le principe d'inertie s'applique.

Partie C : Le challenge énergétique à relever

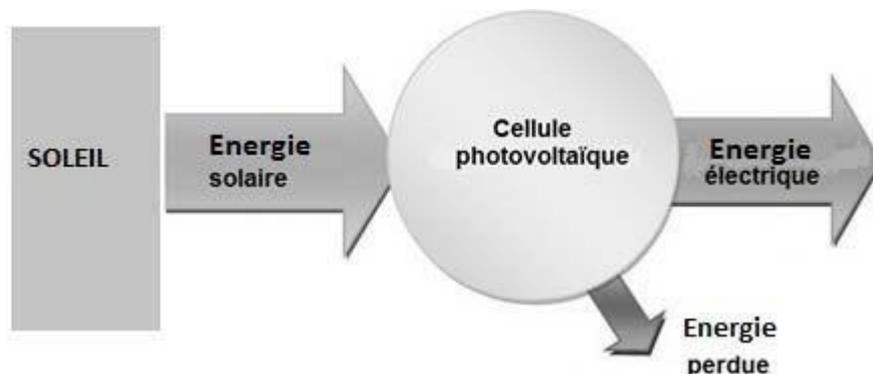
C-1 L'énergie stockée dans les batteries

- 1- En utilisant l'annexe B 3, déterminer en Kwh, l'énergie maximale pouvant être stockée dans les batteries de l'avion
- 2- En utilisant l'annexe B1, calculer de la puissance utile maximale développée par les quatre moteurs (en KW) fonctionnant ensemble.
- 3- En utilisant l'annexe B2, calculer de la puissance électrique absorbée par les quatre moteurs fonctionnant à pleine puissance.
- 4- En admettant que les quatre moteurs fonctionnent à pleine puissance, calculer la durée maximale t_{\max} d'utilisation des batteries.

C-2 Le vol de jour

Le jour, l'avion est soumis à une puissance solaire surfacique moyenne de 1500 W.m^{-2} .

- 5- Calculer, en kW, la puissance solaire reçue par les $269,5 \text{ m}^2$ de cellules solaires de l'avion.
- 6- Le diagramme des puissances d'une cellule solaire est le suivant :



En tenant compte du rendement de 28 % des cellules solaires, Calculer la puissance électrique que peuvent fournir les cellules solaires de l'avion.

En justifiant la réponse, indiquer si cette puissance est suffisante pour alimenter les quatre moteurs fonctionnant à pleine puissance.

- 7- En admettant que 25 % de la puissance électrique produite par les cellules solaires est en moyenne utilisée pour la recharge des batteries.

Calculer la puissance utilisée pour la recharge des batteries. Puis calculer la durée d'exposition solaire nécessaire pour recharger intégralement les batteries de l'avion.

- 8- Quel type d'énergie est utilisé pour la propulsion de l'avion durant le vol de jour ?

Partie D : La lubrification des moteurs

La lubrification permet de protéger les pièces en mouvement du moteur. **La lubrification** ou le graissage est un ensemble de techniques permettant de réduire le frottement, l'usure entre deux éléments en contact et en mouvement. Cela rallonge la durée de vie des moteurs.

Si l'on veut aborder les principes de base des lubrifiants, il est logique de commencer par les huiles de base. Celles-ci représentent entre 70 et 95 % de la formule d'un lubrifiant et sont donc considérées comme le composant principal des lubrifiants.

On choisit comme lubrifiant une solution dont la concentration en ion **HO⁻** est égale à $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$.

9- Donner la définition d'un acide et d'une base selon Bronsted.

10-Calculer le pH de cette solution.

11-La solution est un acide ou une base ?

12-Est-ce que cette solution convient comme lubrifiant pour les moteurs de l'avion ? justifier.

Partie E : Mathématiques

Question 1

On désigne par i le nombre complexe de module 1 et d'argument $\frac{\pi}{2}$.

On considère le nombre complexe suivant : $z = \frac{-1+i}{3i}$.

- a. En détaillant les calculs, donner la forme algébrique de z .
- b. En détaillant les calculs, donner une forme exponentielle de z .

Question 2

On injecte dans la circulation sanguine d'un patient une solution contenant un marqueur afin de réaliser une exploration de la thyroïde.

La concentration dans le sang en $\mu\text{g/mL}$, après injection, est modélisée par la fonction f définie sur $[0; +\infty[$ par $f(t) = 7,88t^2e^{-0,75t}$, où t est le temps exprimé en heure.

On admet que la fonction f est dérivable sur $[0; +\infty[$ et que sa dérivée f' vérifie:

$$f'(t) = t(-5,91t + 15,76)e^{-0,75t}$$

- a. Dresser le tableau de variations de la fonction f sur $[0; +\infty[$. On ne demande pas la limite en $+\infty$.
- b. L'examen doit être effectué lorsque la concentration dans le sang du marqueur est maximale. Justifier que l'examen doit être réalisé entre 2 et 3 heures après l'injection.

Question 3

On considère la fonction f définie sur l'intervalle $[0,5; 10]$ par :

$$f(x) = x^2 - x - 2 - 3\ln(x).$$

On note f' la fonction dérivée de f .

Montrer que $f'(x) = \frac{(x+1)(2x-3)}{x}$ pour tout x appartenant à l'intervalle $[0,5; 10]$.

Question 4

La tension $u_c(t)$ (exprimée en volt), aux bornes d'un condensateur lors de sa charge, est modélisée par :

$$u_c(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \text{ où } t \text{ désigne le temps, exprimé en seconde.}$$

Les caractéristiques du condensateur utilisé sont :

• Tension maximale : $E = 4 \text{ V}$	• Résistance : $R = 103 \Omega$	• Capacité : $C = 2 \times 10^{-3} \text{ F}$
--	---------------------------------	---

En résolvant une équation, déterminer le temps de charge t nécessaire pour obtenir une tension aux bornes du condensateur égale à la moitié de sa tension maximale.

ANNEXES DE LA PARTIE A

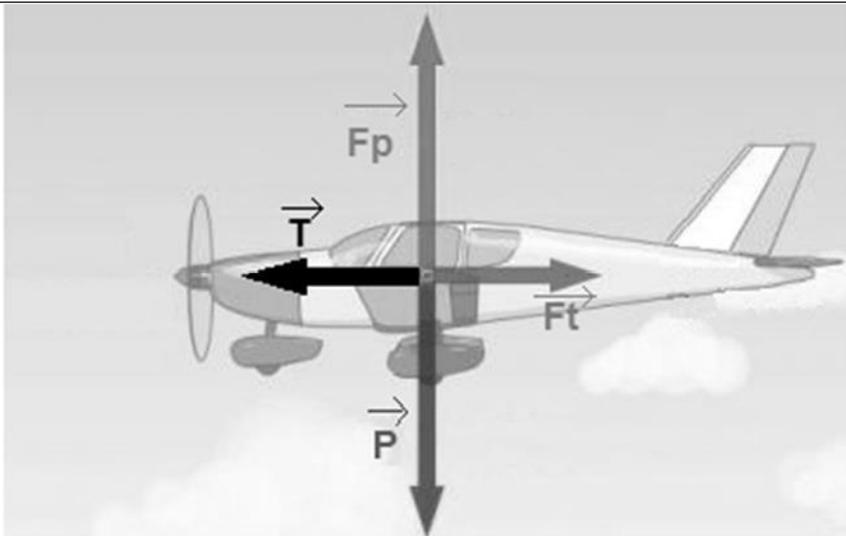


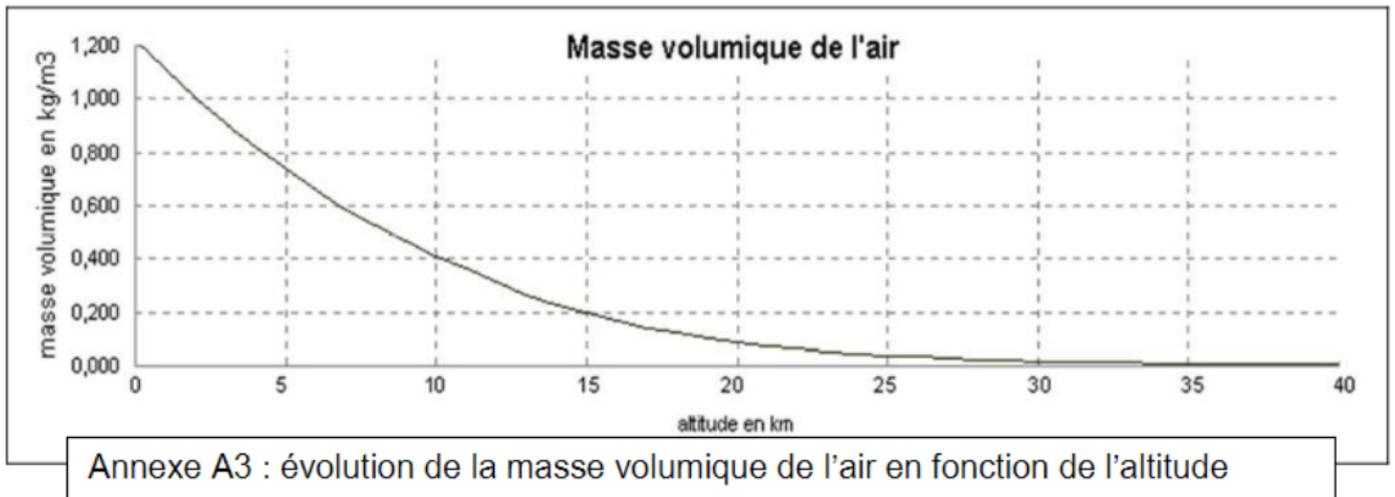
Schéma des quatre forces s'exerçant sur l'avion en vol à vitesse constante

- **Le poids.** C'est la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur l'avion. Sa valeur vaut : $m \cdot g$
(m : masse de l'avion en kg ; g : intensité de la pesanteur terrestre valant $9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$)
- **La poussée ou traction.** Elle est dirigée dans le sens et la direction du mouvement.
- **La portance.** Elle est due au déplacement de l'air autour des ailes profilées. Elle vaut : $0,5 \cdot \rho \cdot S \cdot C_z \cdot v^2$
(ρ : masse volumique de l'air en kg m^{-3} ; S : surface des ailes en m^2 ; v : vitesse de déplacement en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; C_z : coefficient de portance sans unité)
- **La traînée.** Cette force est la somme des résistances aérodynamiques qui s'opposent au mouvement. Elle vaut : $0,5 \cdot \rho \cdot S_f \cdot C_x \cdot v^2$
(ρ : masse volumique de l'air en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; C_x : coefficient de traînée ; S_f : surface frontale en m^2 ; v : vitesse de déplacement en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Annexe A1 : un avion en vol est soumis à quatre forces

Vitesse de l'avion : Solar Impulse 2 peut voler à la vitesse d'une voiture, entre $36 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ et $140 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.
Au niveau de la mer : vitesse minimale de $36 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ et maximale de $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.
À l'altitude maximale de 9000 m : vitesse minimale de $57 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ et maximale de $140 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.
Sa vitesse de décollage est de $47 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Annexe A2 : vitesse de l'avion Solar Impulse 2



ANNEXES DE LA PARTIE B

Le cheval-vapeur : C'est une unité de puissance, ne faisant pas partie du système international d'unités, qui exprime une équivalence entre la puissance fournie par un cheval tirant une charge et celle fournie par une machine de propulsion à vapeur. Le cheval était, du fait de son utilisation massive, la référence de puissance des attelages avant l'avènement de la propulsion mécanique. Par exemple, en 1879, les 38 lignes d'omnibus de Paris requéraient l'entretien de 16 500 chevaux. 1 ch = 735,5 W.

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Cheval-vapeur>

Annexe B1 : le cheval-vapeur (ch)

Quatre moteurs brushless sensorless de 17,5 ch chacun fixés sous les ailes, munis d'un réducteur limitant à 525 tours.min⁻¹ la rotation d'une hélice bipale de 4 mètres de diamètre. L'ensemble comporte un rendement de 90%, ce qui en fait un record d'efficacité énergétique.

Annexe B2 : motorisation du Solar Impulse 2

L'énergie collectée par les cellules solaires est stockée dans des batteries au lithium polymère, d'une densité énergétique de 275 W.h.kg⁻¹. Réparties dans les quatre nacelles et isolées dans une mousse de haute densité, avec un système de contrôle des seuils de charge et de température, leur masse totale est de 680 kg.

Annexe B3 : caractéristiques des batteries

Autres caractéristiques de l'avion :

Nom du projet	<i>Solar Impulse</i>
Masse totale m de l'avion (kg)	2300

Masse des batteries (kg)	680
Envergure (m)	66
Surface S des ailes (totalement recouvertes de panneaux solaires) (m ²)	250
Coefficient de traînée ("drag") C_L	0,0145
Coefficient de portance ("lift") C_z	1,50
Nombre de moteurs	4
Puissance maximale par moteur (W)	6600