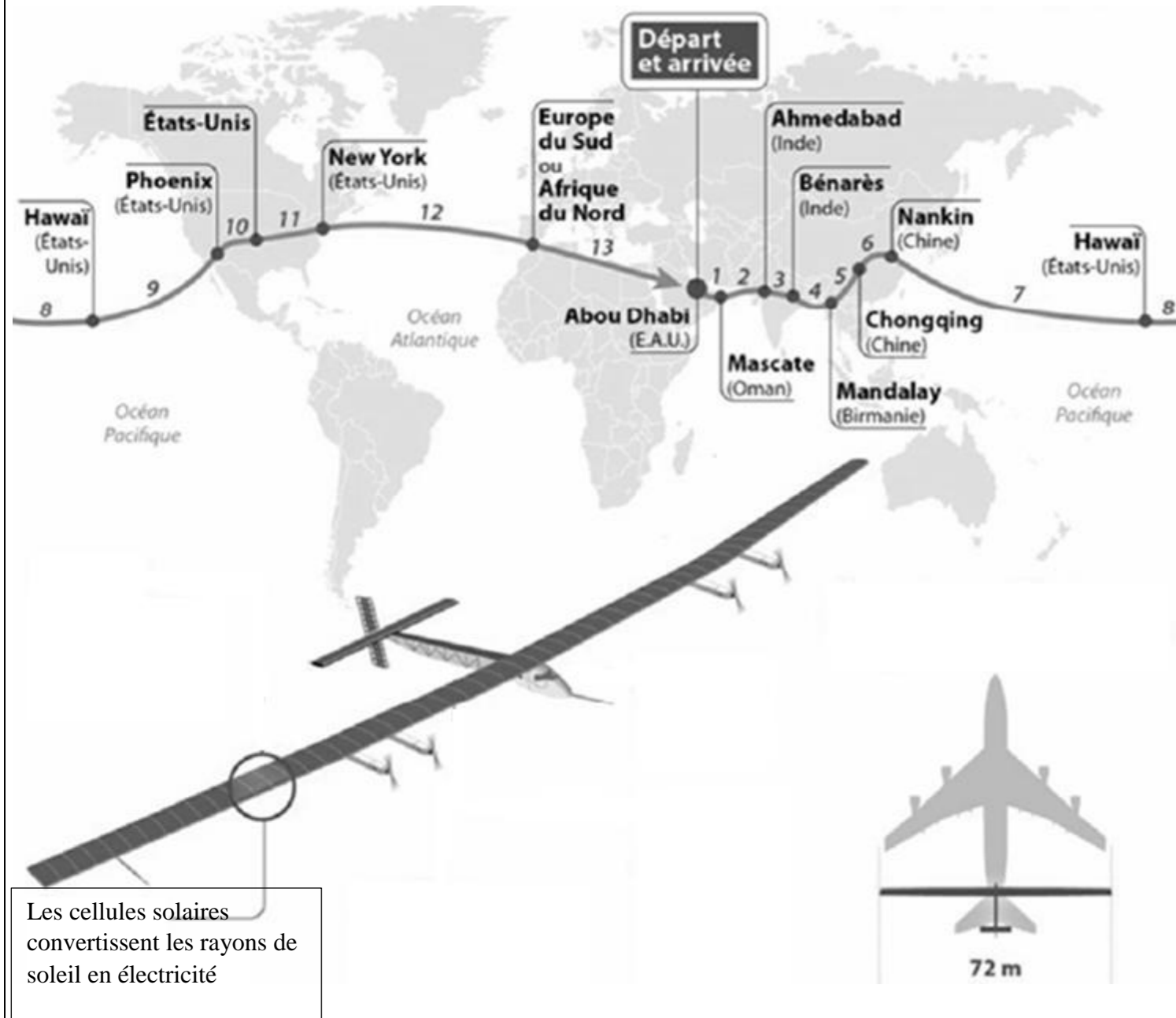


Solar Impulse

Mise en situation

Entre mars 2015 et juin 2016, les pilotes Bertrand Piccard et André Brossberg ont réussi un tour du monde historique en avion à énergie solaire, le Solar Impulse, un appareil autonome en énergie et silencieux. Volant de jour comme de nuit (grâce aux batteries) et sans carburant.

Ce sujet propose d'étudier certaines solutions techniques qui ont permis cet exploit.



Détail de 24h de vol en conditions normales du Solar Impulse

Le Solar Impulse doit être autonome en énergie pendant plusieurs jours de vol. Le jour, des cellules photovoltaïques assurent la production de l'énergie utilisée par les moteurs. La nuit, après une phase où l'avion plane, des batteries prennent le relais et fournissent l'énergie aux moteurs.

Ces mêmes batteries doivent être rechargées. Le jour, les cellules photovoltaïques ont donc un double rôle, alimenter les moteurs et recharger les batteries.

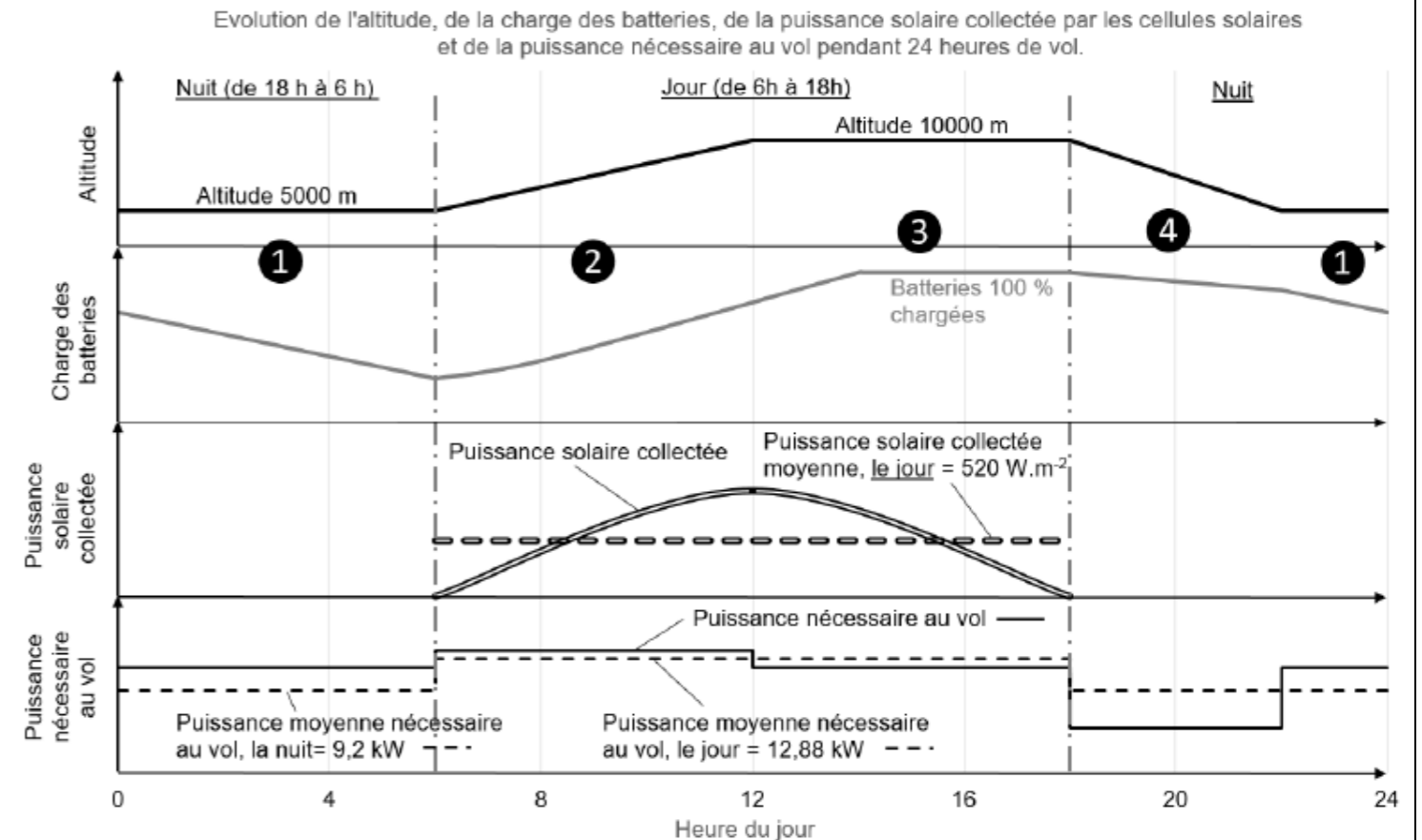


Diagramme : Détail de 24h de vol.

Phases de vol :

- 1 : (Nuit) Les batteries fournissent l'énergie nécessaire pour maintenir l'avion à une altitude constante de 5000 m.
- 2 : (Jour) Les cellules solaires fournissent de l'énergie pour faire gagner à l'avion de l'altitude et recharger les batteries. Cette phase est celle qui consomme le plus d'énergie.
- 3 : (jour) Les cellules solaires fournissent de l'énergie pour maintenir l'avion à une altitude constante de 10000 m et finir le chargement des batteries.
- 4 : (Nuit) L'avion plane, il perd de l'altitude, jusqu'à 5000 m. Cette phase consomme peu d'énergie, car les moteurs tournent au ralenti. L'énergie est fournie par les batteries.
- 1 : (Nuit) Retour à la phase 1

Le Solar Impulse est basé sur des technologies récentes, comme les cellules photovoltaïques, les batteries au lithium-polymère et les matériaux ultralégers en fibre de carbone. Pour que le projet aboutisse, chaque élément de l'avion a été conçu et optimisé pour réduire la masse de l'avion, augmenter son aérodynamisme, réduire sa consommation d'énergie et maximiser le rendement des cellules photovoltaïques.

UNIVERSITE DE DAKAR - BACCALAUREAT DE L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE TECHNIQUE		
Durée : 4 h	Epreuve	Série : T1
Coefficient : 4	MECANIQUE	1 ^{er} Groupe
Feuille N° 1/6	Echelle	Code : 2023TT109NA0133

I. ENERGETIQUE : 3 pts

I.1 ETUDE DE L'ENERGIE DES BATTERIES ET DES CELLULES SOLAIRES

Le digramme (feuille 1/6) présente l'évolution sur 24 heures d'un vol en conditions normales (météorologie favorable) sans les phases de décollage et d'atterrissage.

Données pour répondre aux questions :

Batteries : masse totale de 633 kg avec une densité énergétique de $260 \text{ W}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Cellules photovoltaïques : 17248 cellules pour une surface totale de $269,5 \text{ m}^2$.

Puissance collectée moyenne le jour (sur 12 h) : $520 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Rendement des cellules : 22,7 %.

Puissance nécessaire au vol :

Puissance moyenne nécessaire au vol, le jour (12 heures) : 12,88 kW ;

Puissance moyenne nécessaire au vol, la nuit (12 heures) : 9,2 kW.

I.1.1) **Justifier**, à partir du diagramme, l'intérêt de faire prendre de l'altitude à l'avion le jour et de le faire planer en début de nuit. **0,5 pt**

Rappel : l'énergie électrique produite par des cellules photovoltaïques est égale à :

$$E = \text{Puissance solaire collectée moyenne surfacique} \times \text{Surface des cellules} \times \text{Durée d'exposition} \times \text{Rendement}$$

I.1.2) À partir du diagramme, **déterminer** l'énergie totale E en kW·h produite le jour par les cellules photovoltaïques. **0,5 pt**

I.1.3) À partir de la densité énergétique, **déterminer** la quantité d'énergie totale Cbat que peuvent stocker les batteries en kW·h. **0,5 pt**

I.1.4) **Déterminer** l'énergie Ec-j consommée nécessaire au vol pendant le jour. **0,5 pt**

I.1.5) **Déterminer** l'énergie Ec-n consommée nécessaire au vol pendant la nuit. **0,5 pt**

I.1.6) **Montrer** que l'énergie stockée dans les batteries est suffisante pour assurer le vol. Voir diagramme. **0,5 pt**

II. STATIQUE : 7 pts

II.1 STATIQUE ANALYTIQUE : ETUDE DES ACTIONS MECANQUES SUR LES PALIERS ET LE

COUPLE MOYEN DU MOTEUR. (Répondre sur feuille de copie)

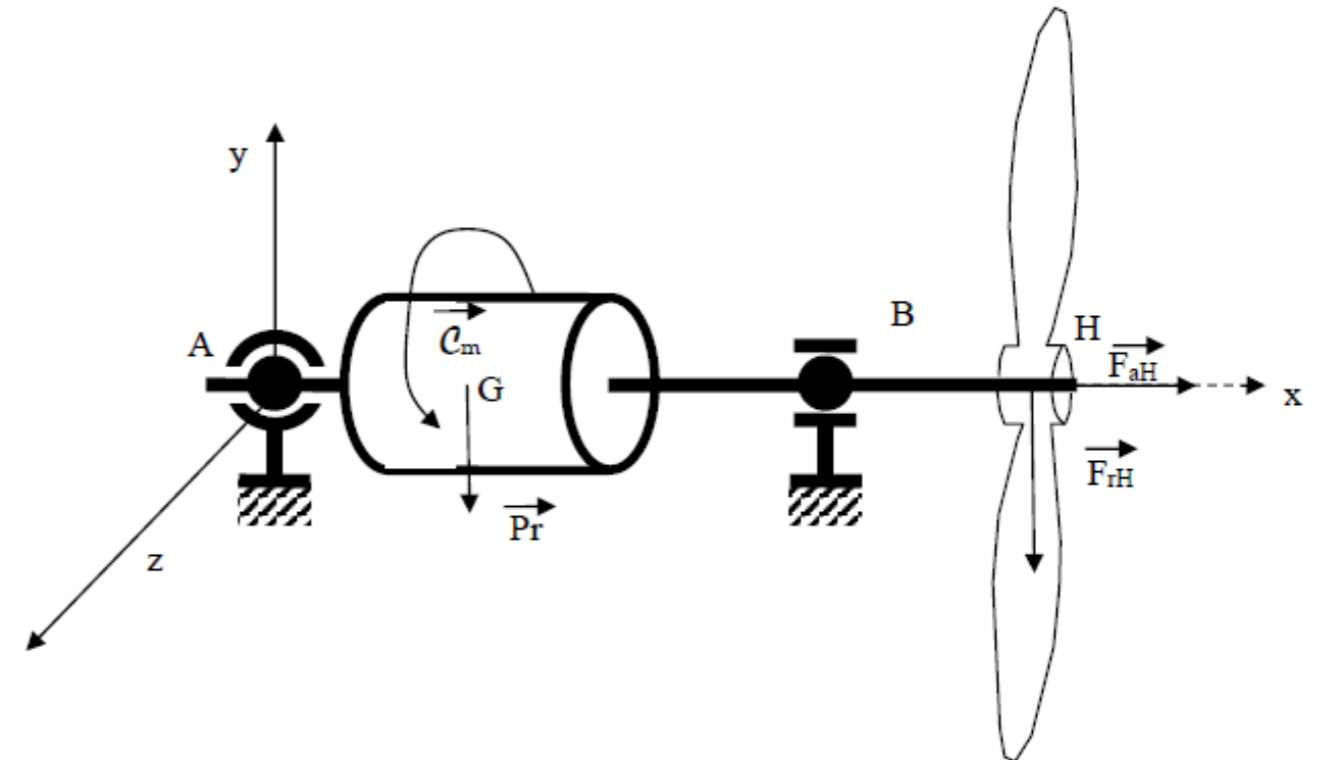
Le moteur est directement accouplé à l'hélice et fixé sous l'aile de l'avion. Chaque moteur a un rotor de diamètre extérieur de 290 mm.

On propose d'étudier l'arbre moteur avec son rotor, guidé en rotation par deux roulements A et B sur le corps de la nacelle avec une liaison rotule de l'arbre au point A, et une liaison linéaire annulaire au point B. L'hélice a une masse estimée de 15 kg (poids non négligé noté \overrightarrow{FrH}) assure un effort de traction sur l'avion \overrightarrow{FaH} de 200 N. La masse de l'arbre moteur est intégré à celle du rotor du moteur (masse totale de 7,2 kg) dont le poids \overrightarrow{Pr} sera appliqué au point G.

On prendra dans les applications numériques, $AB = 300 \text{ mm}$, $AH = 400 \text{ mm}$, soit G la position du centre de gravité du rotor sur l'axe Ax avec $AG = 120 \text{ mm}$.

On donne le bilan de torseurs des liaisons en A et B et le couple moyen du moteur.

$$\{T_{nacelle \rightarrow arbre}\}_A = \begin{Bmatrix} X_A & 0 \\ Y_A & 0 \\ Z_A & 0 \end{Bmatrix} ; \quad \{T_{nacelle \rightarrow arbre}\}_B = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_B & 0 \\ Z_B & 0 \end{Bmatrix} ; \quad \{T_{couple \text{ moyen} \rightarrow arbre}\}_A = \begin{Bmatrix} 0 & C_m \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$$



II.1.1) Réaliser un bilan des actions mécaniques extérieures au système {arbre + rotor du moteur}. **1 pt**

II.1.2) En utilisant le principe fondamental de la statique, déterminer les équations littérales des actions dans les paliers A et B et le couple moyen du moteur. **3 pts**

II.1.3) Effectuer les applications numériques de cette étude en déterminant toutes les inconnues du problème sous formes de torseur des actions mécaniques. **1,5 pts**

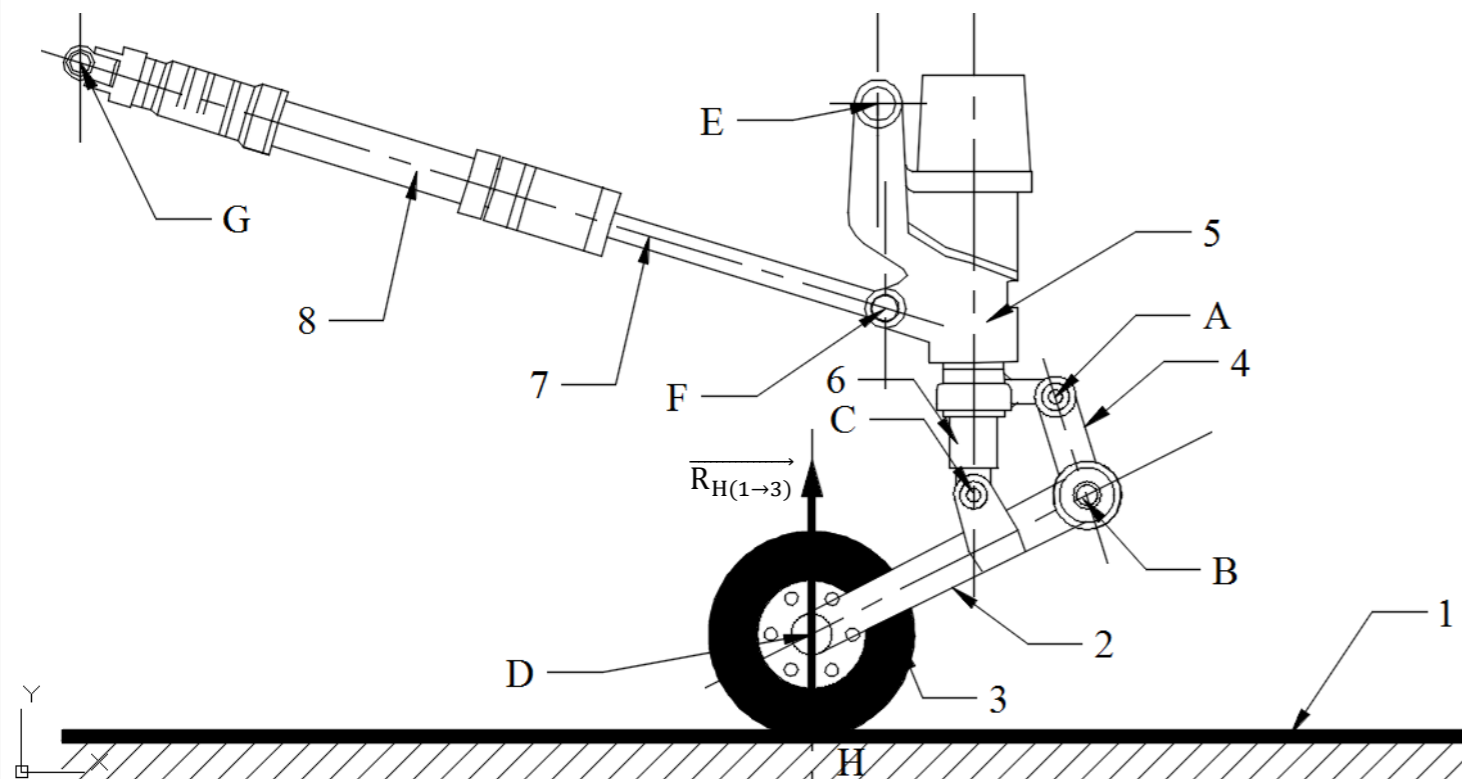
UNIVERSITE DE DAKAR - BACCALAUREAT DE L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE TECHNIQUE		
Durée : 4 h	Epreuve MECANIQUE	Série : T1
Coefficient : 4		1 ^{er} Groupe
Feuille N° 2/6	Echelle	Code : 2023TT109NA0133

II.2 STATIQUE GRAPHIQUE : ETUDE DU TRAIN PRINCIPAL D'ATTERRISSAGE



Le train d'atterrissage se compose d'un train principal sous le fuselage de l'avion, d'une petite roue arrière sous la queue de l'appareil et de deux appuis sous les ailes pour équilibrer les appuis sur le sol.

Lors de l'impact sur le sol, seul le train principal touche le sol en premier. Celui-ci se compose d'une roue 3, en contact avec le sol 1. L'atterrisseur 2 permet de relier la roue à l'amortisseur 6 de l'avion. Cet atterrisseur est repliable en vol par l'intermédiaire d'un vérin de manœuvre (7+8) représenté sur le schéma par le système FG. Les points A, B, C, D, E, F, et G représentent des articulations. On négligera le poids propre des pièces 2 et 4.

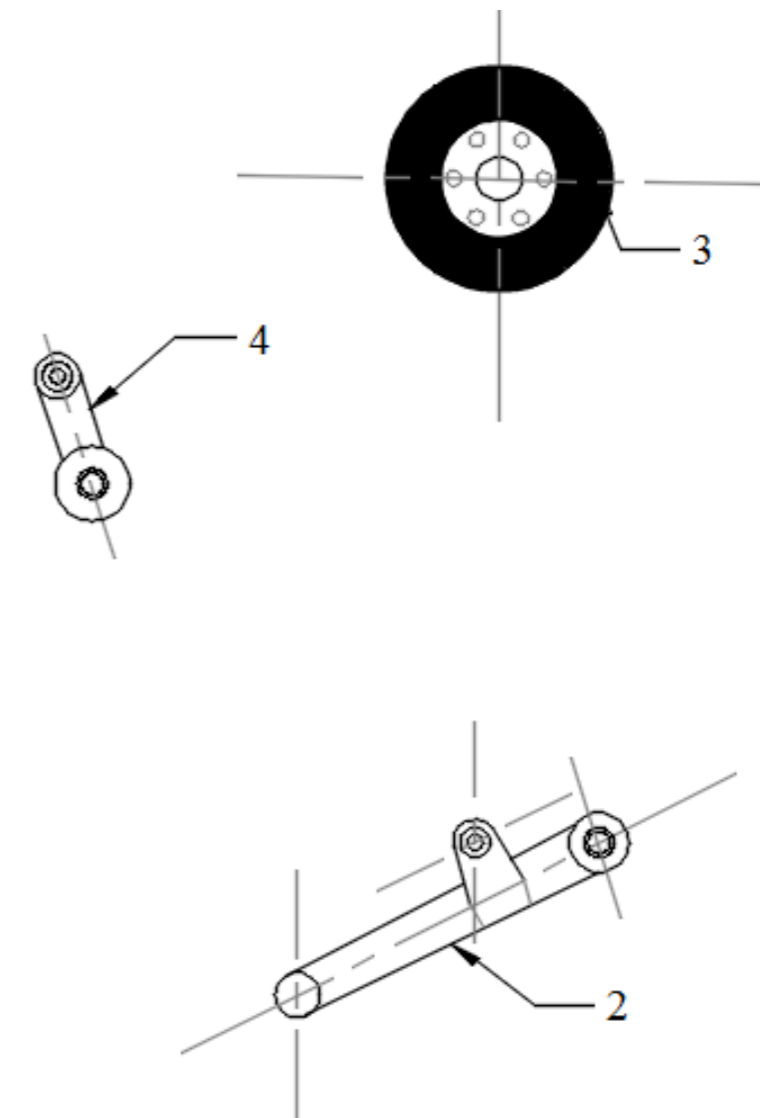


L'action au point H à l'impact entre le sol et la roue est de 20 000 N. On considère le problème plan.

II.2.1) Déterminer l'action $\vec{R}_{D(2 \rightarrow 3)}$ en D de la roue 3 sur l'atterrisseur 2 (indication : on pourra isoler 3). **0,5 pt**

II.2.2) Déterminer l'action $\vec{R}_{C(5 \rightarrow 2)}$ en C de l'amortisseur 5 sur l'atterrisseur 2 (indication : on pourra isoler 4 et 2). **1 pt**

Echelle : 1 cm pour 5 000 N.



UNIVERSITE DE DAKAR - BACCALAUREAT DE L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE TECHNIQUE		
Durée : 4 h	Epreuve	Série : T1
Coefficient : 4	MECANIQUE	1 ^{er} Groupe
Feuille N° 3/6	Echelle	Code : 2023TT109NA0133

IV.1.2) Pour ce diamètre, calculer alors la contrainte tangentielle maximale en torsion et conclure. **0,75 pt**

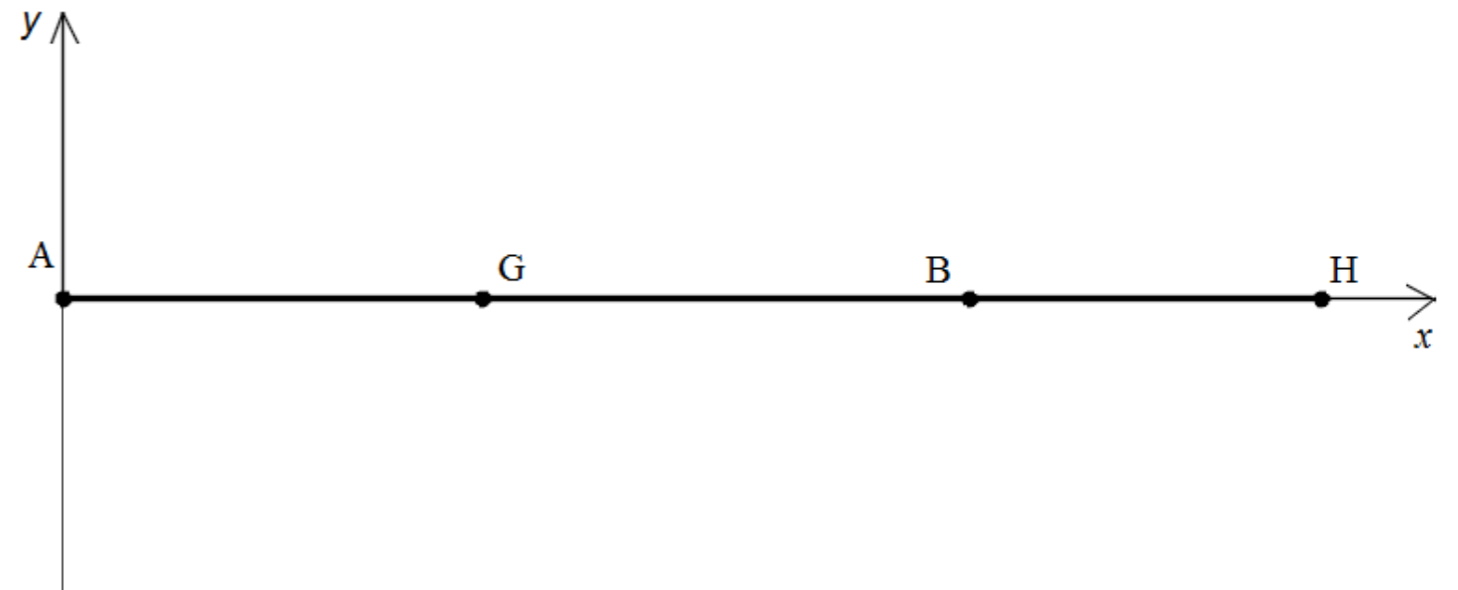
On suppose que le diamètre de l'arbre plein est $d = 30$ mm. Pour alléger on se propose de le remplacer par un arbre creux de diamètre intérieur $d_1 = 22$ mm.

IV.1.3) Calculer le diamètre extérieur (d_2) de façon à ce que la contrainte tangentielle maximale en torsion garde la même valeur que celle de l'arbre plein. **0,75 pt**

IV.1.4) Calculer alors le rapport de masse des deux arbres ($\frac{m_2}{m_1} = \frac{s_2}{s_1}$) ainsi que le rapport des angles de torsion unitaire ($\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{I_{G1}}{I_{G2}}$) (1 arbre plein, 2 arbre creux). Conclure. **0,75 pt**

2 / Etude de la résistance de l'arbre au moment de flexion.

IV.1.5) Tracer le graphe du moment de flexion M_fz , pour le tronçon AH. **1,25 pts**



IV.1.6) Déduire la section la plus sollicitée en flexion. **0,25 pt**

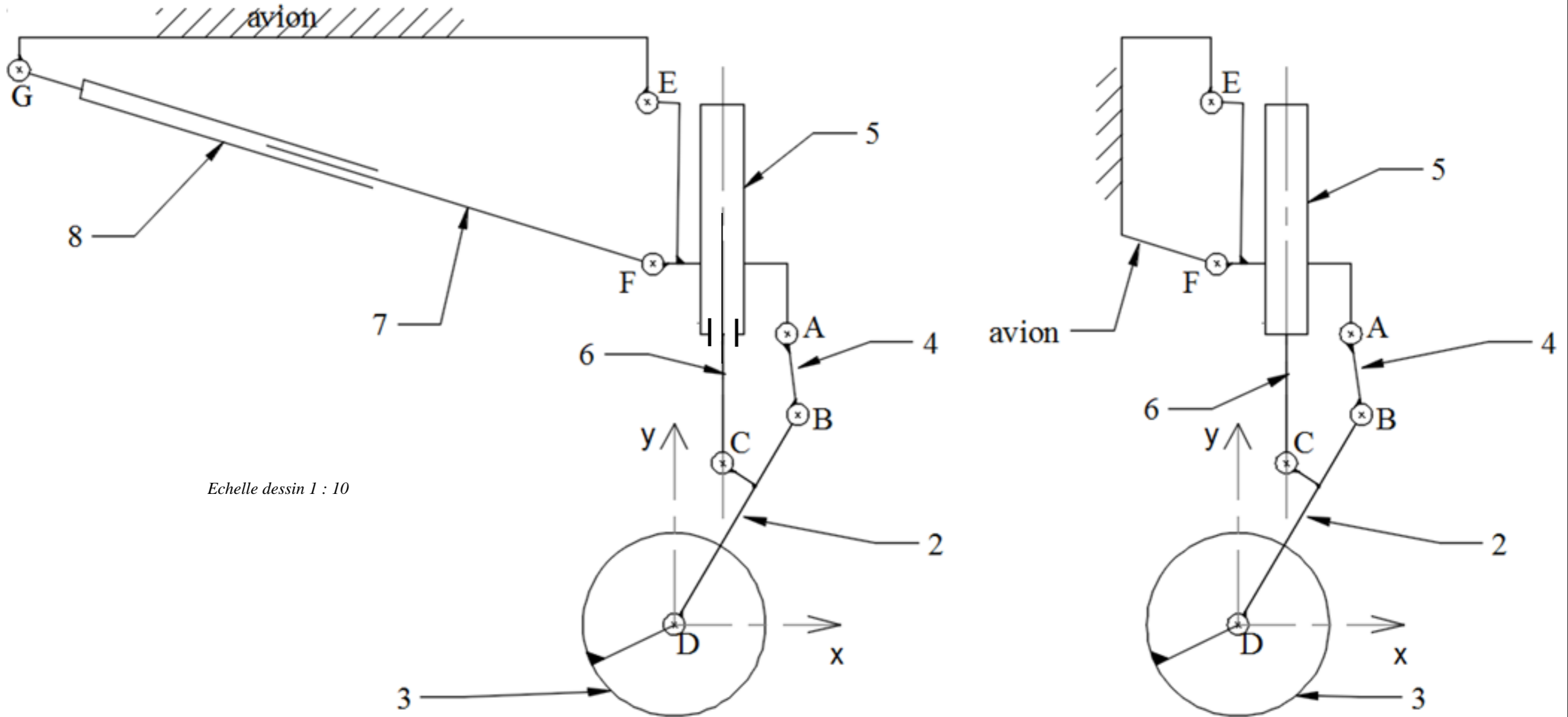
IV.1.7) Pour le diamètre trouvé en IV.1.1), vérifier la résistance de cette section vis-à-vis de la flexion. **0,5 pt**

UNIVERSITE DE DAKAR - BACCALAUREAT DE L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE TECHNIQUE		
Durée : 4 h	Epreuve MECANIQUE	Série : T1
Coefficient : 4		1 ^{er} Groupe
Feuille N° 5/6	Echelle	Code : 2023TT109NA0133

Schéma cinématique minimal du train atterrissage

Figure 1 : phase amortissement

Figure 2 : phase rentrée du train



Echelle dessin 1 : 10

Figure 2

Figure 1

$$\|\vec{v}_{B4/5}\| =$$

$$\|\vec{v}_{C2/5}\| =$$

$$\|\vec{v}_{F5/avion}\| =$$

$$\|\vec{v}_{F8/avion}\| =$$

UNIVERSITE DE DAKAR - BACCALAUREAT DE L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE TECHNIQUE		
Durée : 4 h	Epreuve	Série : T1
Coefficient : 4	MECANIQUE	1 ^{er} Groupe
Feuille N° 6/6	Echelle	Code : 2023TT109NA0133