EXERCICE III - QUELQUES ASPECTS DE LA PHYSIQUE DU VOL AVEC L'A380 (5 points)

Dans cet exercice, on s'intéresse à quelques forces mises en jeu dans la physique du vol d'un avion telles que la force de poussée, la portance et la traînée.

L'A380 est le plus gros avion civil jamais conçu et le troisième plus gros avion de l'Histoire. Surnommé « Super Jumbo», il possède un double pont qui s'étend sur toute la longueur du fuselage, lui permettant d'accueillir 555 passagers. D'une masse au décollage de 560 tonnes et emportant jusqu'à 310 000 L de carburant, ce quadriréacteur offre une autonomie record de 15 200 km (grâce en particulier à l'usage massif de matériaux composites). La force de poussée maximale d'un réacteur d'A380 vaut 310 kN.

Adapté de mondo-aero.fr

Modélisation de la physique du vol d'un avion à réaction

Dans le référentiel terrestre supposé galiléen, en vol, l'avion à réaction est soumis essentiellement à l'action de quatre forces :

- $\vec{P}$, le poids de l'avion ;
- $\vec{F}_{\text{portance}}$, la portance, générée par l'écoulement de l'air autour de l'avion, de direction perpendiculaire à la direction du mouvement et orientée vers le haut ;
- $\vec{F}_{\text{traînée}}$, la traînée, générée également par l'écoulement de l'air autour de l'avion, de même direction que celle du mouvement de l'avion et de sens opposé ;
- $\vec{F}_{\text{poussée}}$, la force de poussée exercée par les gaz éjectés à la sortie des réacteurs. On se limite à des situations où la direction et le sens de cette force sont les mêmes que ceux du mouvement de l'avion.

Forces aérodynamiques

La portance et la traînée sont deux forces dites aérodynamiques car elles résultent de l'action exercée par l'air en mouvement relatif sur la surface de l'avion (essentiellement les ailes).

Des expériences effectuées en soufflerie utilisant un écoulement d'air de vitesse variable permettent d'établir les lois suivantes pour les forces aérodynamiques :

$$F_{\text{portance}} = \frac{1}{2}\rho v^2 C_z S \qquad F_{\text{traînée}} = \frac{1}{2}\rho v^2 C_x S$$

avec ρ : masse volumique de l'air ($kg.m^{-3}$) ;
v : vitesse d'écoulement de l'air par rapport à l'avion ($m.s^{-1}$) ;
C_z : coefficient de portance (sans unité) ;
C_x : coefficient de trainée (sans unité) ;
S : surface utile (m^2).

1. Plein gaz au décollage !

Caroline est une élève de terminale S curieuse et passionnée d'aviation. Elle se demande si le fonctionnement des quatre réacteurs est nécessaire lors de la phase de roulage, c'est-à-dire lorsque l'avion accélère sur la piste avant de décoller.

En lisant un article spécialisé décrivant la phase de roulage de l'A380, elle relève les données techniques suivantes :

- distance parcourue sur la piste horizontale : AB = 1,8 km ;
- vitesse au début de la phase de roulage (point A) : 0 km.h^{-1} ;
- vitesse de l'avion à la fin de la phase de roulage (point B) : 320 km.h^{-1}.

Caroline choisit de faire trois hypothèses valables pendant la phase de roulage :

- la force de poussée $\vec{F}_{\text{poussée}}$ est considérée constante ;
- la force de traînée est négligeable par rapport à la force de poussée ;
- on ne prendra pas en compte les forces de frottement exercées par le sol sur les roues.

1.1. Calculer la variation d'énergie cinétique ΔE_c de l'avion entre le début et la fin de la phase de roulage.

La variation d'énergie cinétique de l'avion pendant la phase de roulage est égale à la somme des travaux des différentes forces qu'il subit sur ce trajet : $E_c(\text{B}) - E_c(\text{A}) = \sum_i W_{\text{AB}}(\vec{F_i})$

1.2. Dans le cadre des hypothèses choisies par Caroline, calculer la valeur de la force de poussée $F_{\text{poussée}}$ lors de la phase de roulage et justifier la nécessité ou non du fonctionnement des quatre réacteurs lors de la phase de roulage.

2. Le vol de croisière

En vol de croisière entre New-York et Hong Kong, l'A380 possède les caractéristiques suivantes :

- vitesse de croisière dans le référentiel terrestre : 945 km.h^{-1} ;
- altitude constante : 10 km ;
- surface utile : 845 m^2 ;
- coefficient de portance C_z = 0,32 ;
- coefficient de traînée C_x = 0,020 ;
- intensité de la pesanteur : g = 9,8 m.s^{-2}.

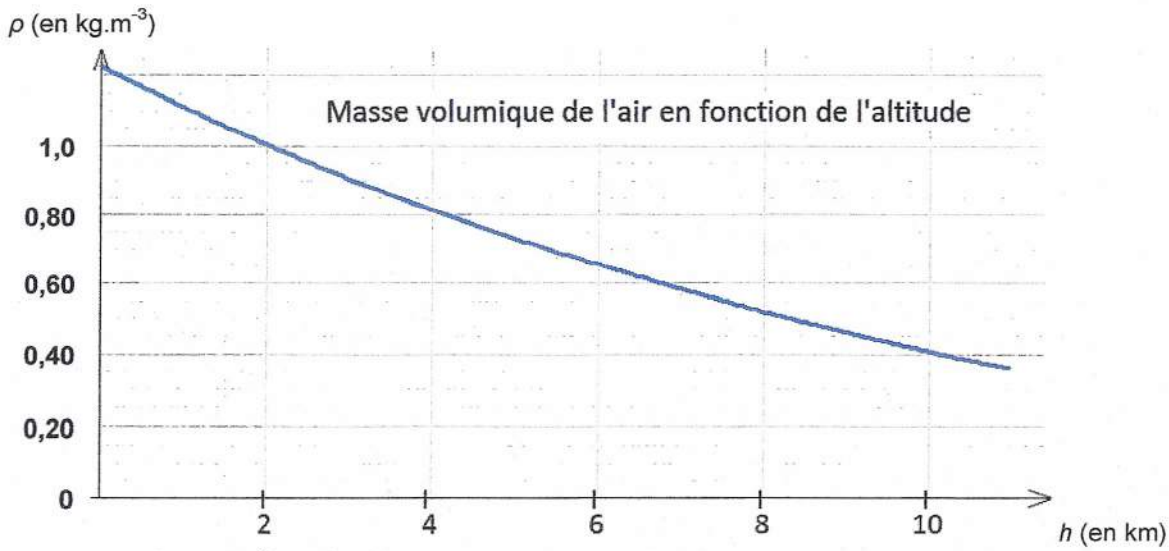

Figure 1. Évolution de la masse volumique de l'air ρ en fonction de l'altitude h
(Modèle de l'atmosphère type internationale ISA, norme ISO2533 :1975)

Durant le vol de croisière sur une durée suffisamment courte, on considère que :

- l'A380 est animé d'un mouvement rectiligne horizontal uniforme ;
- sa masse est constante ;
- l'atmosphère est supposée immobile dans le référentiel terrestre.

L'étude suivante se fera dans ces conditions.

On assimilera l'avion à un point qui sera considéré comme le point d'application des forces auxquelles il est soumis.

2.1. Représenter sans souci d'échelle mais en tenant compte de la réalité physique et en justifiant votre tracé, les forces appliquées sur l'avion en vol de croisière. Indiquer le sens de déplacement de l'avion.

2.2. Déterminer la valeur de la force de poussée et la comparer à la valeur de la force de poussée maximale des quatre réacteurs.

2.3. Pourquoi est-il pertinent de voler à haute altitude en vol de croisière ?

2.4. Calculer la masse de l'Airbus A380 sur la durée considérée et commenter la valeur obtenue.