TD3 : Statique des systèmes de solides

1 Train d'atterrissage

On se propose d'étudier le comportement de l'atterrisseur principal d'un avion lors de l'impact au niveau du sol. Cet atterrisseur est fixé à la structure de l'avion aux points A, B, C et le centre de la roue est situé en H (figure 1 et 2).

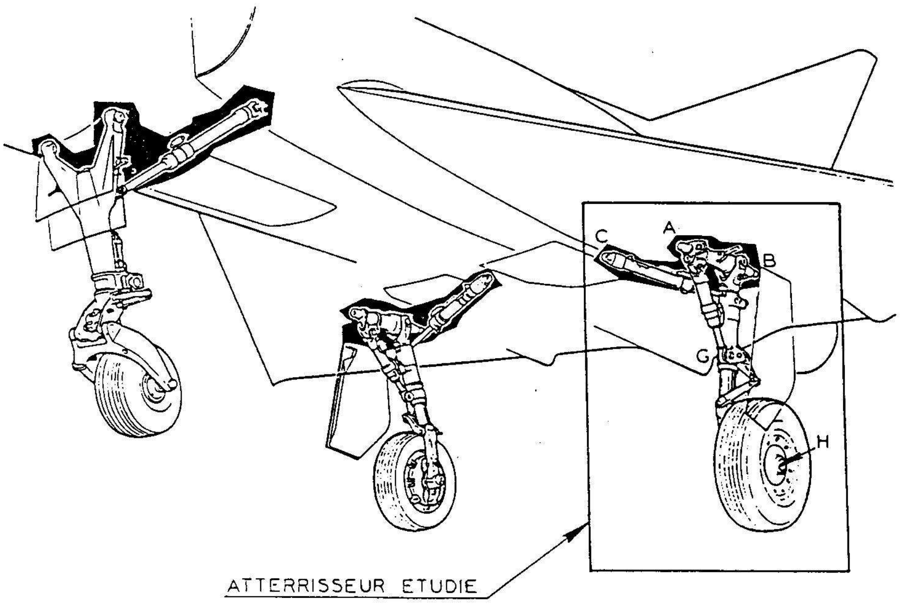

FIG. 1 – Trains d'atterrissage du Rafale.

Le montage du train peut être modélisé de la façon suivante :
- il est relié à la cellule (1) de l'avion par des rotules en A et C, et par une liaison linéaire annulaire d'axe parallèle à $\vec{x}_0$ en B,
- la contre fiche (3) est en liaison rotule en A sur la cellule (1) et en G sur la jambe (2),
- la contre fiche (5) est en liaison rotule en C sur la cellule (1) et en F sur la poutre EF.
- les poutres EF et OH sont encastrées en E et O sur la jambe (2),
- la jambe (2) est liée au bras d'articulation (4) par une liaison pivot d'axe $(D, \vec{y}_0)$.

Le cas de charge correspond à celui d'un atterrissage symétrique. Pour effectuer les calculs, on considère que :
- les points d'attache A, B et C sont fixes,
- on néglige les forces d'inertie,
- les actions exercées par la roue sur la jambe sont modélisées par le torseur : $\left\{\mathcal{T}\mathrm{R}/2\right\} = {}_H\left\{ \begin{array}{c} \vec{F} \\ \vec{0} \end{array} \right\}$.

Les composantes de $\vec{F}$ dans le repère R_0 sont F_x, F_y et F_z. Elles ont pour valeurs $F_x = -4\,000\ N$, $F_y = 0\ N$ et $F_z = 6\,000\ N$.

Pour une étude de dimensionnement des contrefiches, on souhaite déterminer les efforts auxquels elles sont soumises. On souhaite aussi déterminer les actions du train sur la cellule (1) aux points A, B et C.

Coordonnées des points :

A	400	0	900
B	-150	0	900
C	-150	-900	900
D	0	0	900
E	0	0	600
F	-150	0	600
G	0	0	300
H	0	150	0

Les cotes sont données en mm dans le repère $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$.

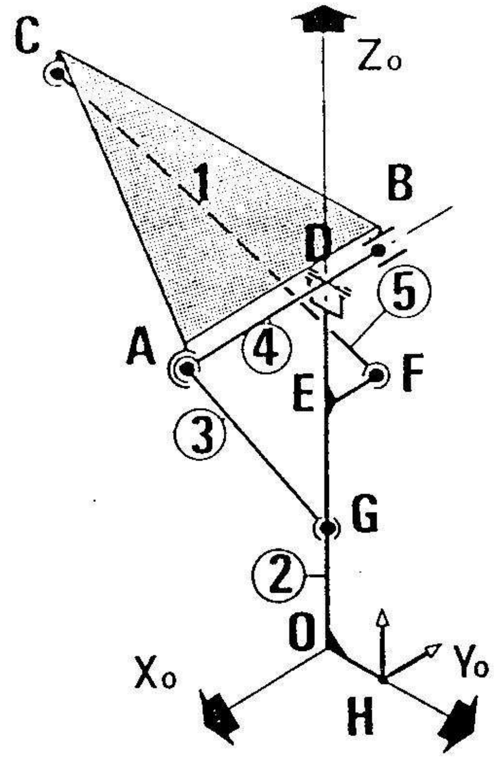

FIG. 2 – Modélisation du train d'atterrissage du Rafale.

1. Proposez une analyse du système sous forme de graphe de structure détaillé du point de vue des efforts.
2. Proposez une démarche claire permettant de déterminer les efforts recherchés. On indiquera pour chaque isolement les inconnues prévues et les équations utilisées.
3. Développez les calculs pour obtenir les résultats attendus sous forme littérale.
4. Réaliser l'application numérique.

2 Variateur à plateau

Un variateur à plateau est un mécanisme permettant de réduire la vitesse de rotation d'un arbre d'un coefficient variable (figure 3). Il est constitué d'une roue (fixée à l'arbre d'entrée E) roulant sans glisser sur un plateau (fixé à l'arbre de sortie S) en I. En faisant varier le rayon de roulement R, le rapport de réduction k entre la vitesse de sortie et la vitesse d'entrée varie ($k = \dfrac{\omega_s}{\omega_e}$).

1. On considère tout d'abord les liaisons parfaite et en particulier on suppose pour cette question la ponctuelle entre E et S en I *sans frottement*.

   Déterminer le nombre de mobilités du mécanisme. Montrer qu'il est hyperstatique et déterminer l'ordre d'hyperstatisme. Que faut-il prévoir pour éviter cet hyperstatisme et maitriser l'effort presseur en I.
2. On suppose maintenant que la seule liaison non parfaite est la liaison en I. Celle-ci présente un frottement sec de coulomb de coefficient de frottement f.

   Donner la loi du frottement de coulomb en I.

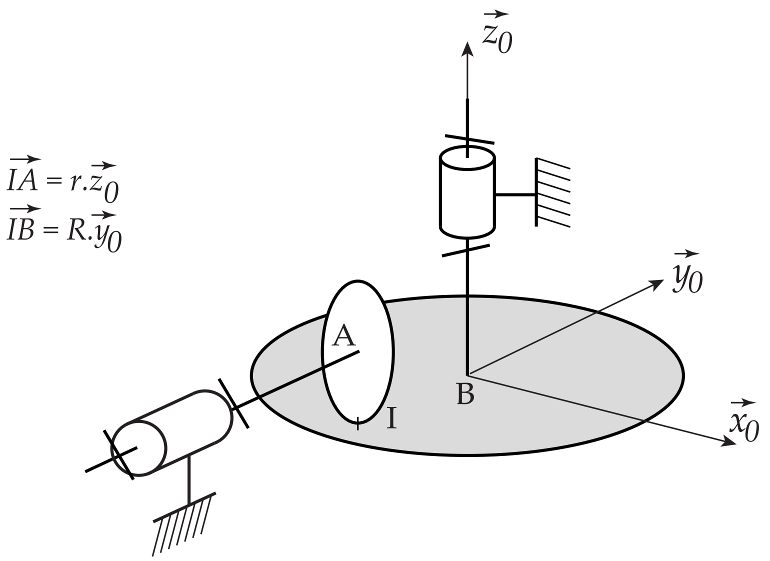

FIG. 3 – Variateur à plateau.

3. Donner les torseurs cinématiques des liaisons entre B et E, entre B et S et entre E est S dans le cas où il y a adhérence en I.
4. Ecrire la fermeture cinématique en vitesse au point I et en déduire le rapport de réduction.
5. Dans le cas où le couple transmis est trop important, la roue glisse sur le plateau. Déterminer alors la direction de la vitesse de glissement de E sur S : $\vec{V}_{I,E/S}$.
6. Ecrire les torseurs statiques des différentes liaisons dans le cas où le contact en I est légèrement glissant (couple trop important).
7. En déduire le couple de sortie maximal transmissible par le variateur à plateau.

Exercice 3 : Embrayage (A)

On se propose de déterminer l'effort minimal exercé par le ressort d'embrayage.

Un embrayage est un organe du bloc moteur des véhicules. Il permet de désolidariser l'arbre de sortie du moteur de l'arbre d'entrée de la boîte de vitesses afin de changer les vitesses.

Le boîtier de l'embrayage est lié au vilbrequin (arbre de sortie du moteur). Un disque est fixé à l'arbre primaire. En position normale (embrayée), le disque est pincé entre le boîtier d'embrayage et un plateau de pression, sous l'action du ressort à diaphragme. L'effort du ressort doit être suffisant pour transmettre le couple moteur par frottement.

Lorsque le conducteur appuie sur la pédale d'embrayage, un câble déplace le plateau de pression en comprimant le ressort afin de libérer le disque en rotation.

Le couple maximal C_m du moteur est de $200\ N.m$. On souhaite déterminer l'effort minimal F exercé par le ressort à diaphragme sur le plateau de pression permettant de transmettre le couple moteur. On modélise le frottement du disque sur le boîtier et le plateau par un frottement de Coulomb de coefficient $f = 0.3$. Les rayons internes et externes de friction valent : $R_i = 15\ cm$ et $R_e = 11\ cm$.

1. Donnez, en cas de glissement, le torseur cinématique du disque par rapport au boîtier d'embrayage et en déduire la vitesse en tout point M de la surface de contact.

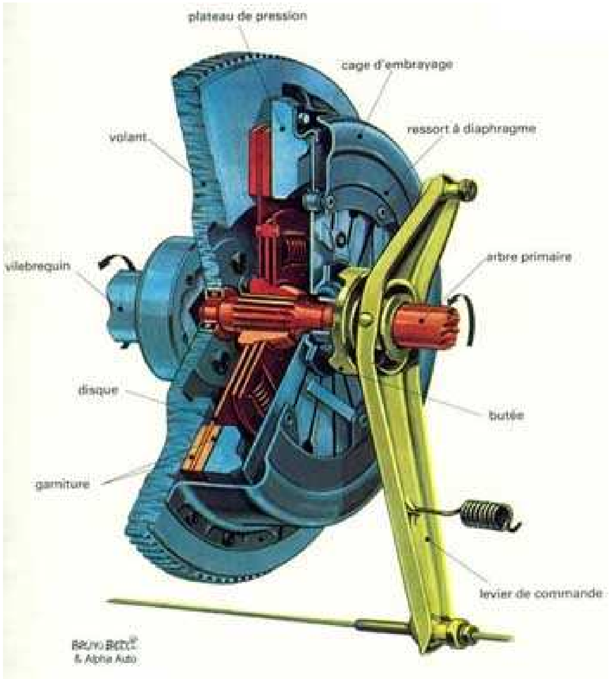

FIG. 4 – Vue écorchée d'un embrayage.

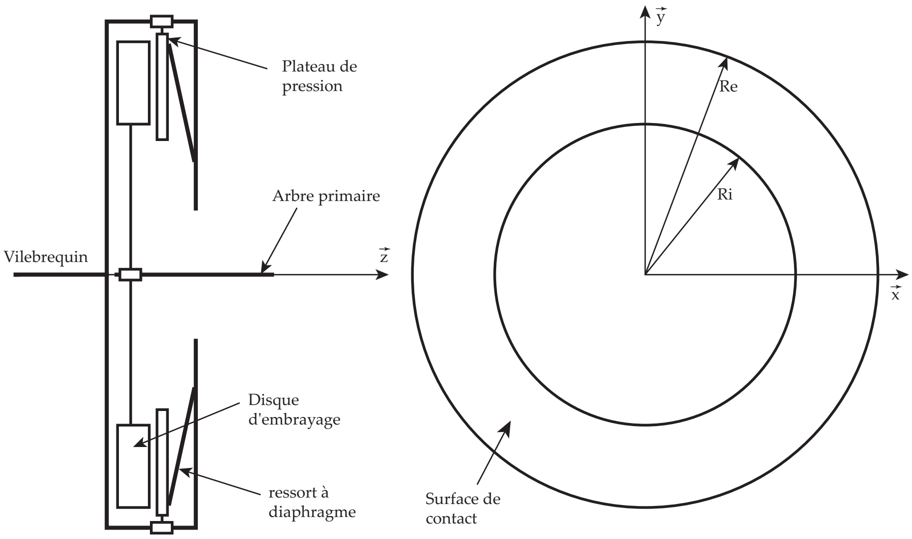

FIG. 5 – Schéma de principe de l'embrayage.

2. On suppose que la pression normale de contact est uniforme sur la surface. Écrire les lois de Coulomb et en déduire l'effort surfacique en tout point M de contact.
3. En déduire le couple moteur à la limite du glissement en fonction de F.
4. On suppose maintenant que, suite à l'usure du disque, la pression n'est plus uniforme après quelques heures d'utilisation de l'embrayage. On suppose que l'usure est proportionnelle à la vitesse de glissement, ce qui conduit à une pression évoluant proportionellement à l'inverse de la vitesse de glissement V_G : $p(M) = \dfrac{\alpha}{V_G(M)}$.

   Reprendre la démarche précédente et en déduire C_m en fonction de F. Proposez une conclusion quant à la différence entre les deux résultats.