

SIMULATEUR DE VOL

(centrale PSI 2017)



Figure 1 : simulateur de vol

Selon les informations de la Fédération Française Aéronautique (FFA), il y a actuellement près de 47 000 pilotes licenciés répartis dans 600 aéroclubs et environ 8000 pilotes nouvellement formés chaque année au plan national. Toutefois, la FFA cherche à augmenter le nombre de licenciés afin d'améliorer son développement et de continuer à promouvoir les activités aéronautiques.

Dans les aéroclubs français, chaque année, la formation des nouveaux pilotes est validée par deux certifications :

- le Brevet de Base (BB) qui permet de voler seul à bord d'un aéronef, au voisinage de l'aérodrome de départ ;
- la licence de pilote privé, PPL (Private Pilot Licence), titre européen qui autorise à voler dans des conditions météorologiques permettant le vol à vue. La licence PPL permet de voyager avec des passagers, sans limitation de distance et sous réserve que cela ne constitue pas une activité lucrative.

En complément d'une formation théorique spécifique, il faut avoir accompli 45 heures de vol, avec un minimum de 25 heures de vol en double commande (avec instructeur dans l'avion) et au moins 10 heures de vol en solo supervisé (avec instructeur au sol). Le reste est constitué d'heures de vol en solo (sans instructeur). Actuellement, sur les 45 heures de vol nécessaires pour la formation PPL, 5 heures de simulateur au maximum peuvent être officiellement validées comme des heures de vol en solo sur avion réel, sous réserve qu'elles soient effectuées en présence d'un instructeur et sur un simulateur de vol certifié comme celui de la **figure 1**. La formation en vol traditionnelle se fait sur des avions fiables et économiques tels que le Robin DR400. Les tarifs pratiqués pour un vol sur DR400 sont environ de 135 €/h en vol solo et de 160 €/h avec instructeur à bord ou au sol, carburant inclus.

Les simulateurs de vol disponibles sur le marché sont constitués de deux ensembles complémentaires :

- la cellule du simulateur de base, dotée d'un ordinateur équipé d'un logiciel de simulation de vol, de trois écrans panoramiques ainsi que des commandes de vol, de type manche et palonniers, avec ou sans retour d'efforts ;
- la plateforme dynamique qui met en mouvement la cellule du simulateur. Commandée par le logiciel de simulation de vol, la plateforme dynamique permet de faire ressentir au pilote des sensations proches de celles du vol à bord d'un avion réel.


Les aéroclubs souhaitent se doter de tels simulateurs afin de diminuer le coût de la formation et aussi d'inciter davantage de personnes à se lancer dans l'aventure aéronautique. Il faut prévoir environ 35 €/h pour une utilisation en solo du simulateur de vol et 60 €/h pour une utilisation avec instructeur.

Certaines phases de la formation telles que l'entraînement au vol sans visibilité ou la compréhension et l'utilisation des instruments de radionavigation sont plus efficaces sur un simulateur que dans un avion réel. En effet, il est plus aisé pour un instructeur de former le pilote sur un simulateur lors de ces phases car il n'y a pas la gêne du bruit de l'avion réel et il y a la possibilité de mettre la simulation en pause afin de donner des explications tant sur l'analyse de la situation de vol que sur le comportement à adopter.

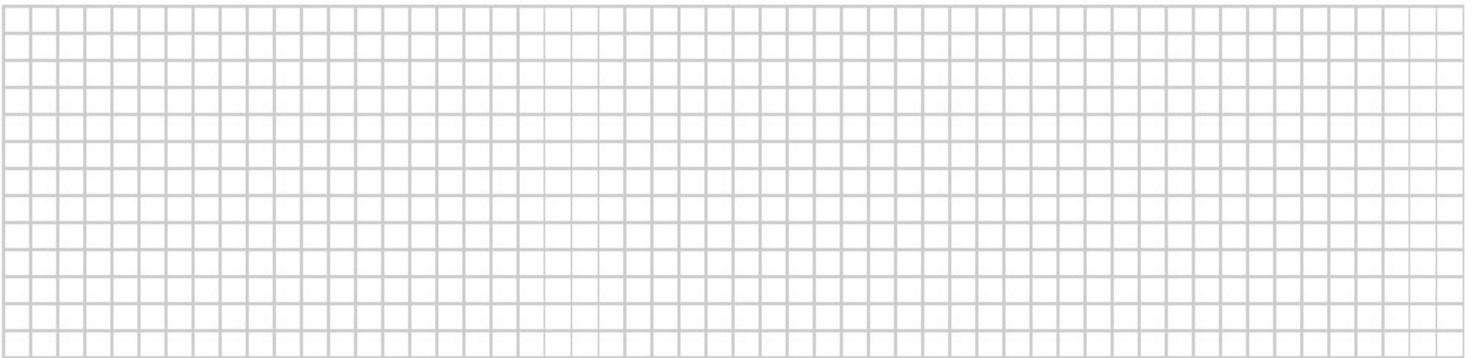
Le rôle du simulateur est ainsi de compléter la formation indépendamment des conditions météorologiques et en toute sécurité. Les aéroclubs dotés de simulateurs de vol peuvent alors avoir une activité de formation tout au long de l'année, quelles que soient les conditions météorologiques.

Q 1. À l'aide des figures 2 et 3 de l'annexe 1 :

- calculer le cout minimal de la formation en vol traditionnelle d'un élève pilote pour la licence PPL (c'est-à-dire uniquement à l'aide de vols en avion réel de type DR400) ;



- calculer le cout minimal de la formation multi-modale d'un élève pilote pour la licence PPL (c'est-à-dire à l'aide de vols en avion réel de type DR400 et sur simulateur de vol) ;



- en déduire l'économie substantielle faite par l'élève pilote, exprimée en pourcentage du cout d'une formation uniquement sur avion réel ;



- conclure quant à la pertinence de l'usage du simulateur de vol dans la formation PPL du point de vue de l'économie financière attendue par les futurs nouveaux pilotes et exprimée dans les exigences de la figure 3.



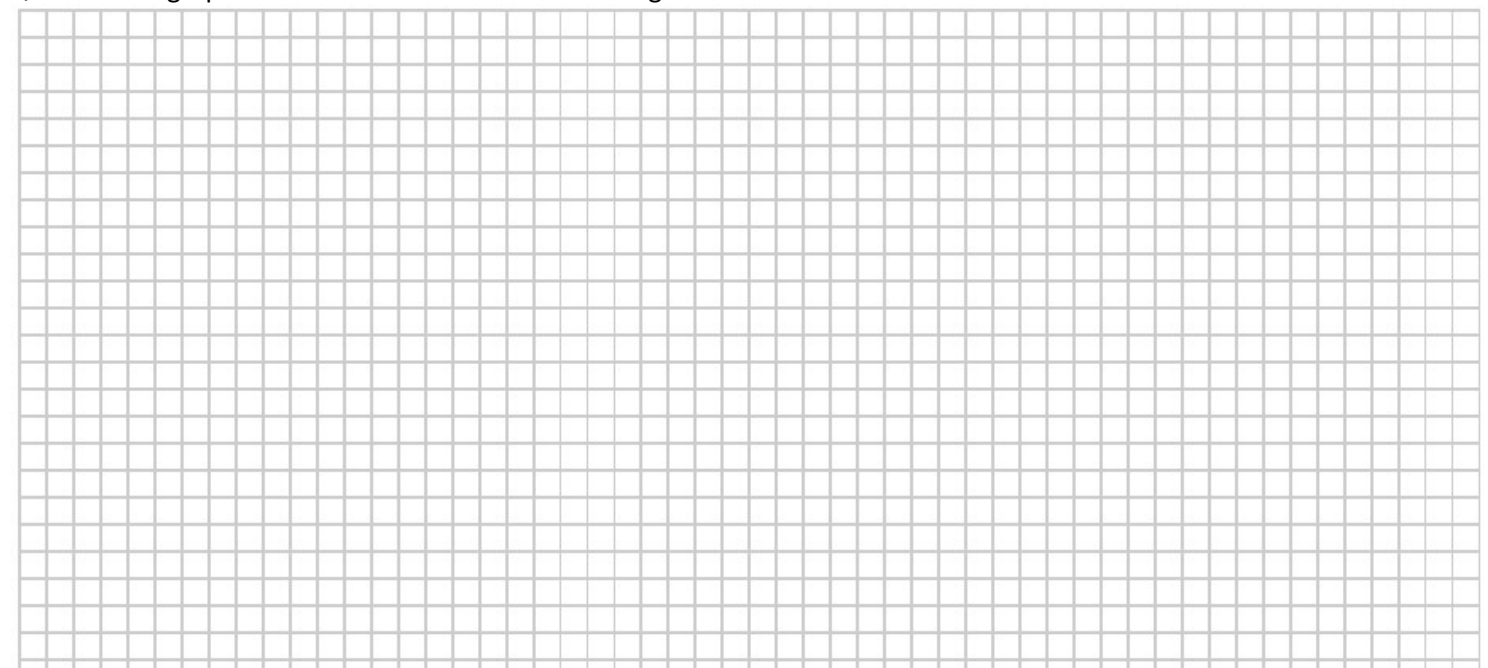
Les deux vérins à gaz se comportent comme des ressorts de compression et ont pour fonction de positionner verticalement le point C de la cellule du simulateur (3) à une position d'équilibre moyenne définie par l'angle θ_{60moy} , lorsque les biellettes (2), (4) et (4bis) ne sont pas liées respectivement aux manivelles (1), (5) et (5bis).

Dans cette situation et en utilisant le paramétrage de la **figure 4 de l'annexe 2** :

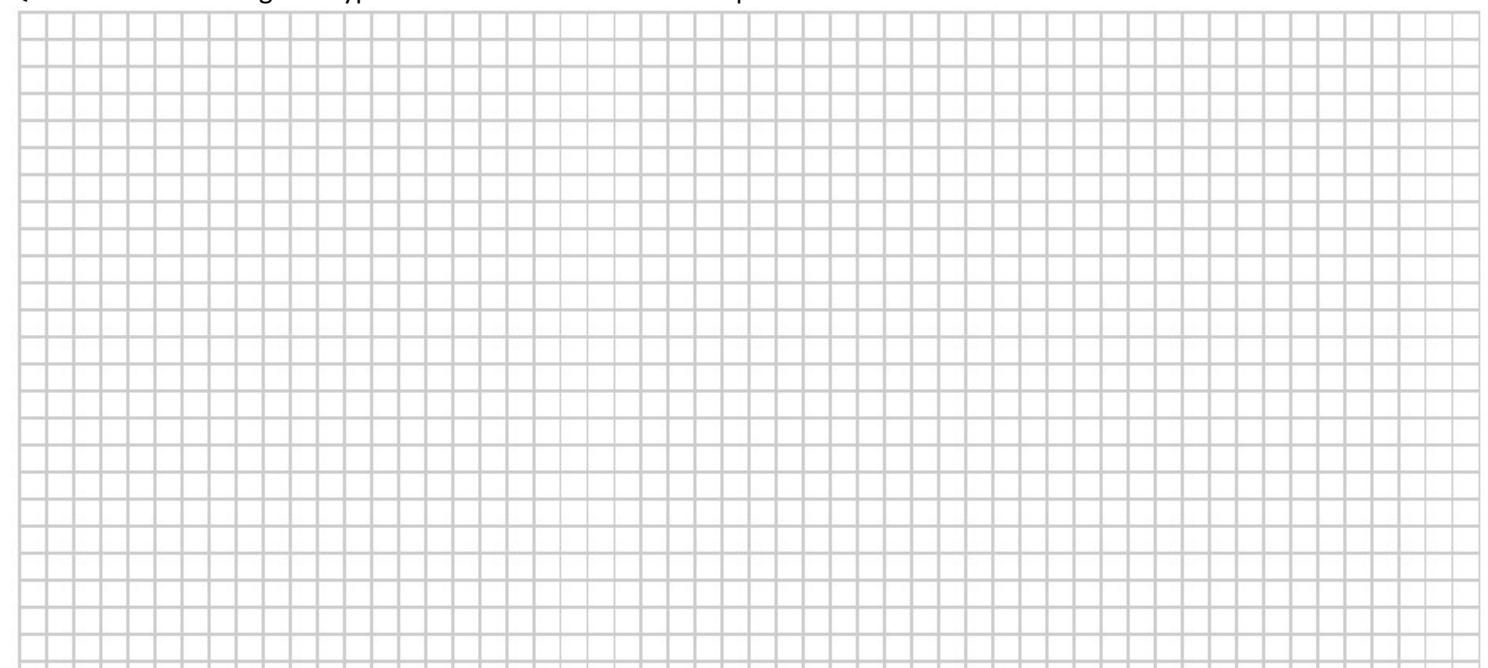
- $\theta_{30} = 0^\circ$ et $\overrightarrow{G_3C}$ est vertical ;
- l'action mécanique de (3) sur (6) est modélisée par un glisseur en C de résultante $-m_3g \cdot \overrightarrow{y_0}$, avec m_3 la masse de l'ensemble {cellule du simulateur + pilote} et g l'accélération de la pesanteur ;
- l'action mécanique des deux tiges (9) sur (6) est modélisée par un seul glisseur en F de résultante $Y_{96} \cdot \overrightarrow{y_9}$;
- l'action mécanique de la pesanteur sur (6) est négligeable vis-à-vis des actions mécaniques précédentes.

Afin de dimensionner les vérins à gaz, il est nécessaire de déterminer en particulier l'effort qu'ils doivent fournir dans la position d'équilibre moyenne.

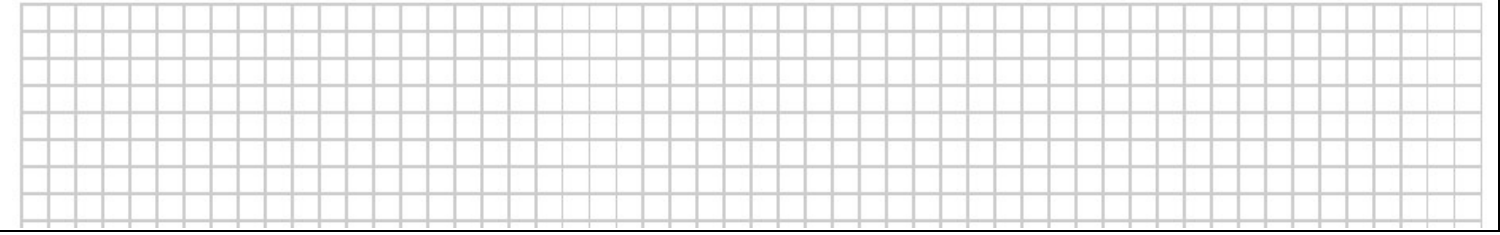
Q2. Tracer le graphe de liaisons du mécanisme de la figure 4 de l'annexe 2.



Q3. Déterminer le degré d'hyperstatisme du mécanisme complet.



Q4. Conclure quant à la possibilité de déterminer tous les efforts dans les liaisons.



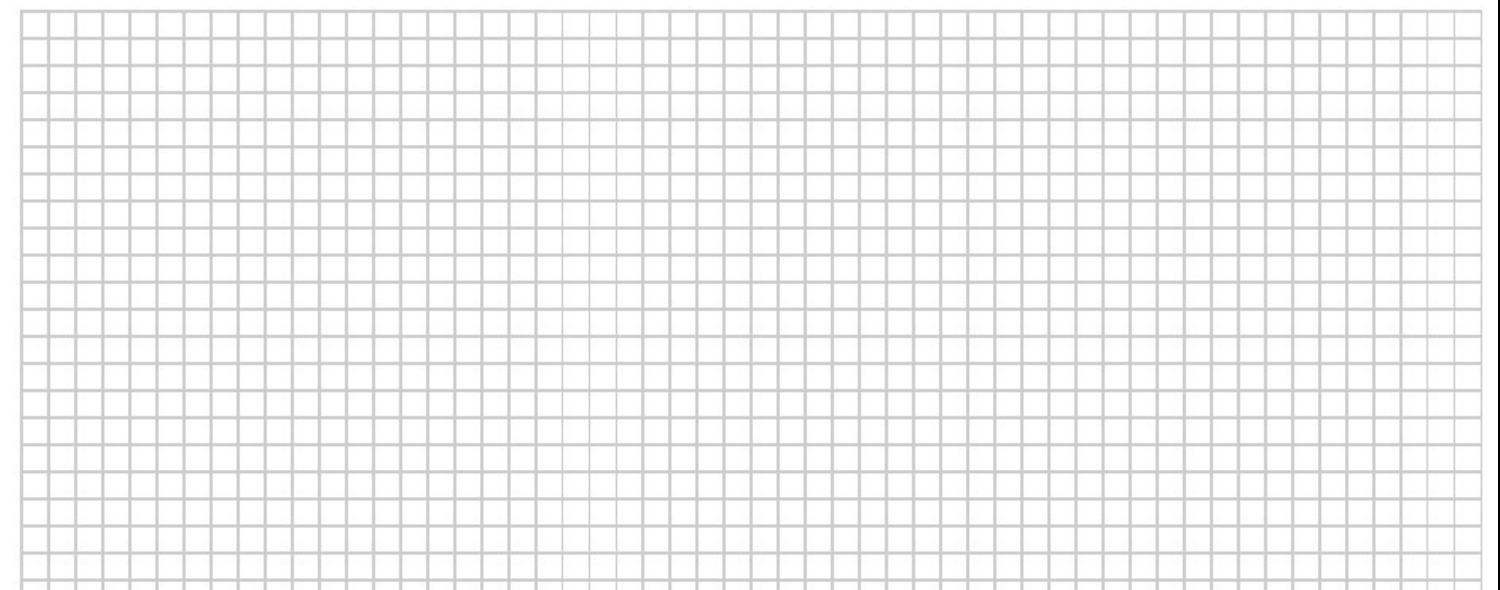
Pour toutes les questions suivantes, le torseur statique du solide i sur le solide j en un point M exprimé dans la base B_k sera noté ainsi :

$$\{T(i \rightarrow j)\}_M = \begin{pmatrix} X_{ij} & L_{ij} \\ Y_{ij} & M_{ij} \\ Z_{ij} & N_{ij} \end{pmatrix}_{B_k}$$

Q5. En isolant l'ensemble $\{8,9\}$ montrer que la résultante de l'action de 6 sur 9 est portée par \vec{y}_9 : $\overrightarrow{R(6 \rightarrow 9)} = Y_{69} \cdot \vec{y}_9$.

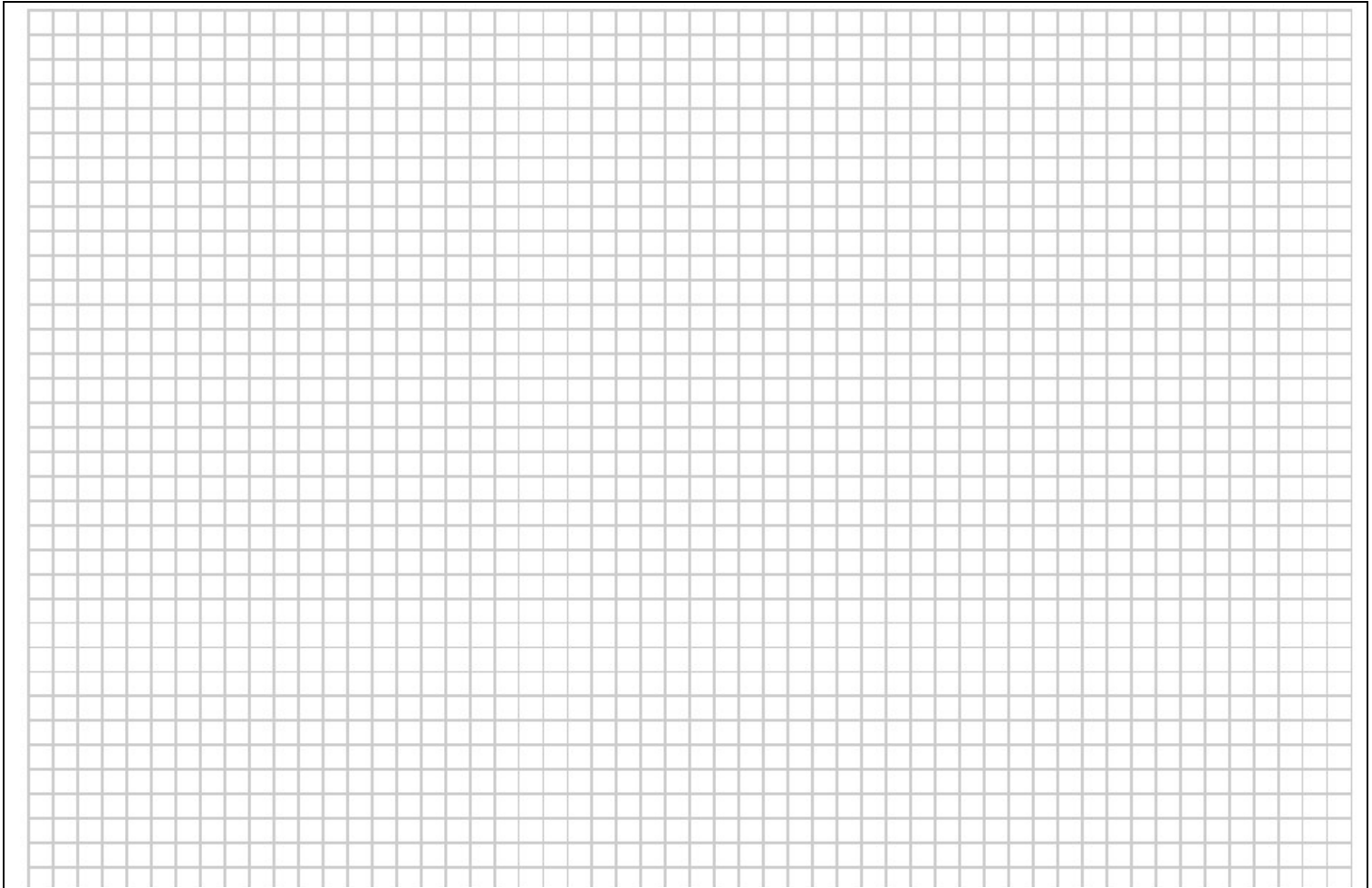


Q6. Isoler (6) en faisant le BAME. Ecrire les torseurs statiques modélisant les efforts extérieurs appliqués sur (6) au point et dans la base de votre choix.

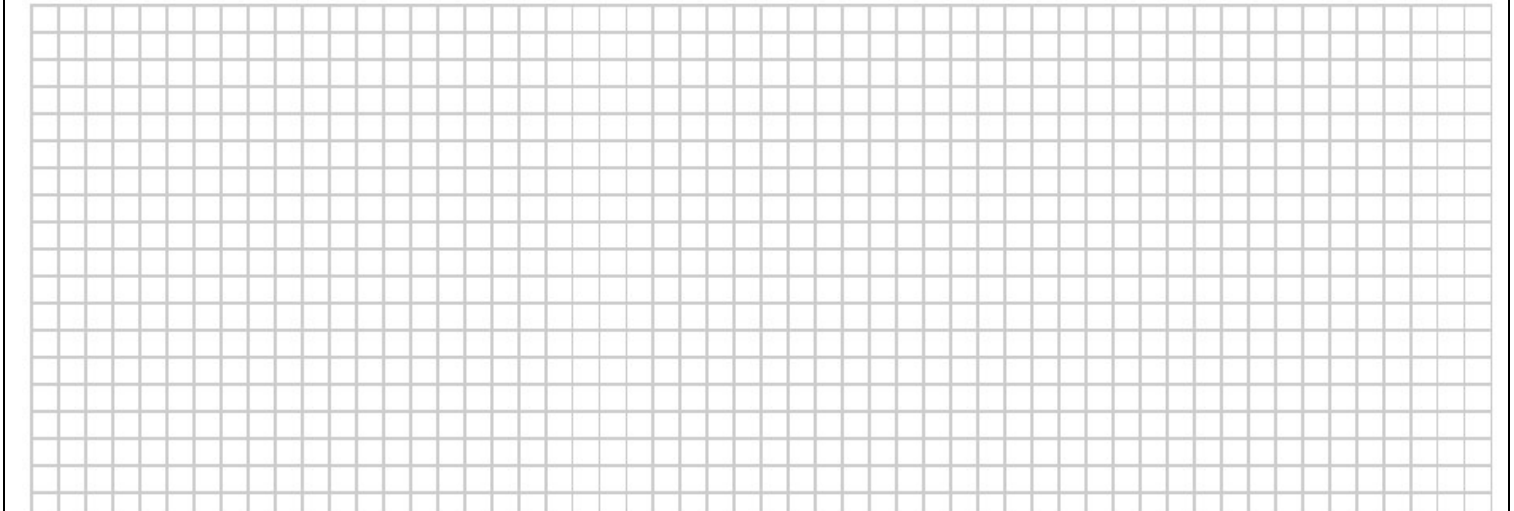


Q7. Ecrire toutes les équations d'équilibre issues du PFS écrites au point E .

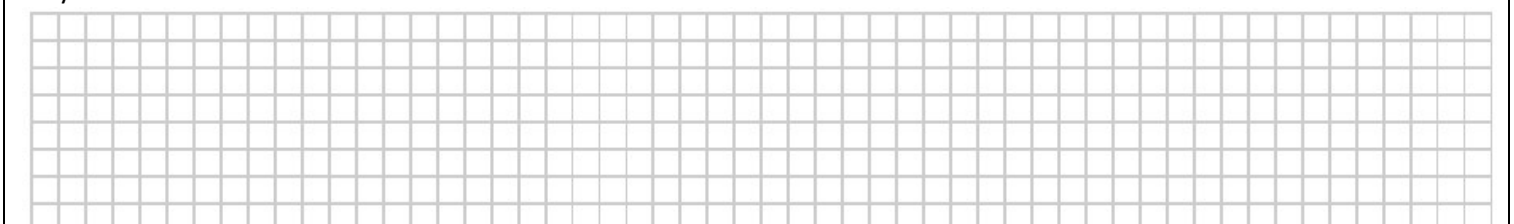




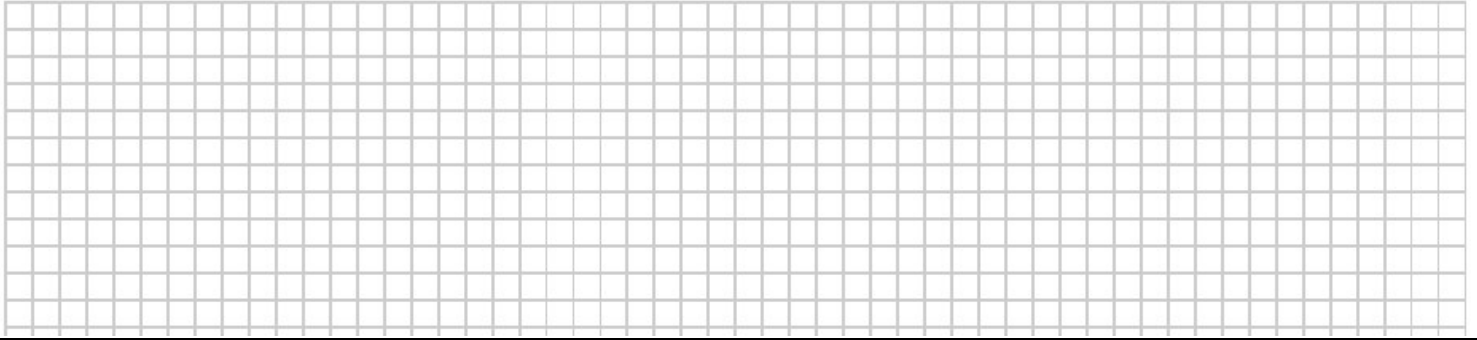
Q8. En déduire l'expression littérale de Y_{g6} en fonction des paramètres et données du problème.



Q9. Compte tenu de la masse importante de l'ensemble $\{\text{cellule du simulateur} + \text{pilote}\}$, justifier l'intérêt d'utiliser les deux vérins à gaz du point de vue des couples que doivent fournir les moteurs utilisés au voisinage de la position d'équilibre moyenne.



Q10. Justifier d'un point de vue énergétique l'intérêt d'avoir choisi des réducteurs irréversibles lorsque le système n'est pas en mouvement.



ANNEXE 1

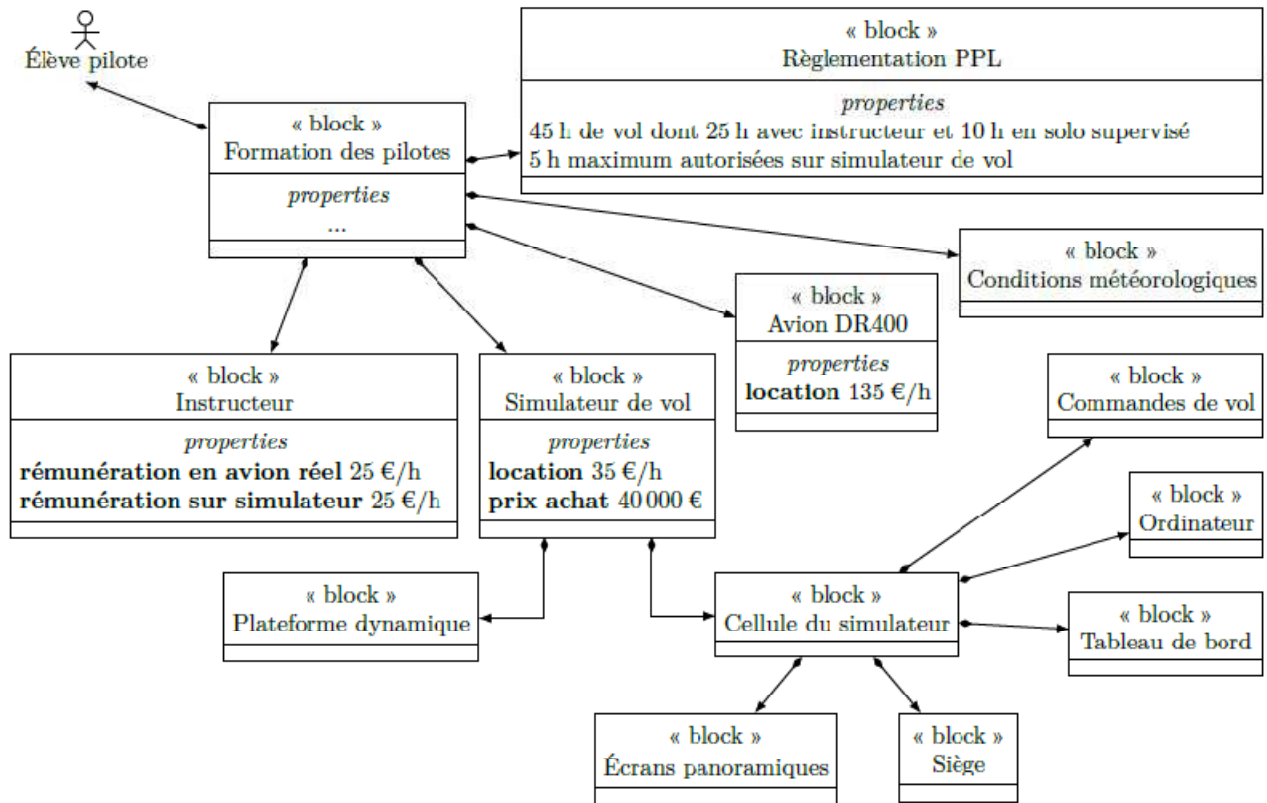


Figure 2 : BDD du simulateur de vol

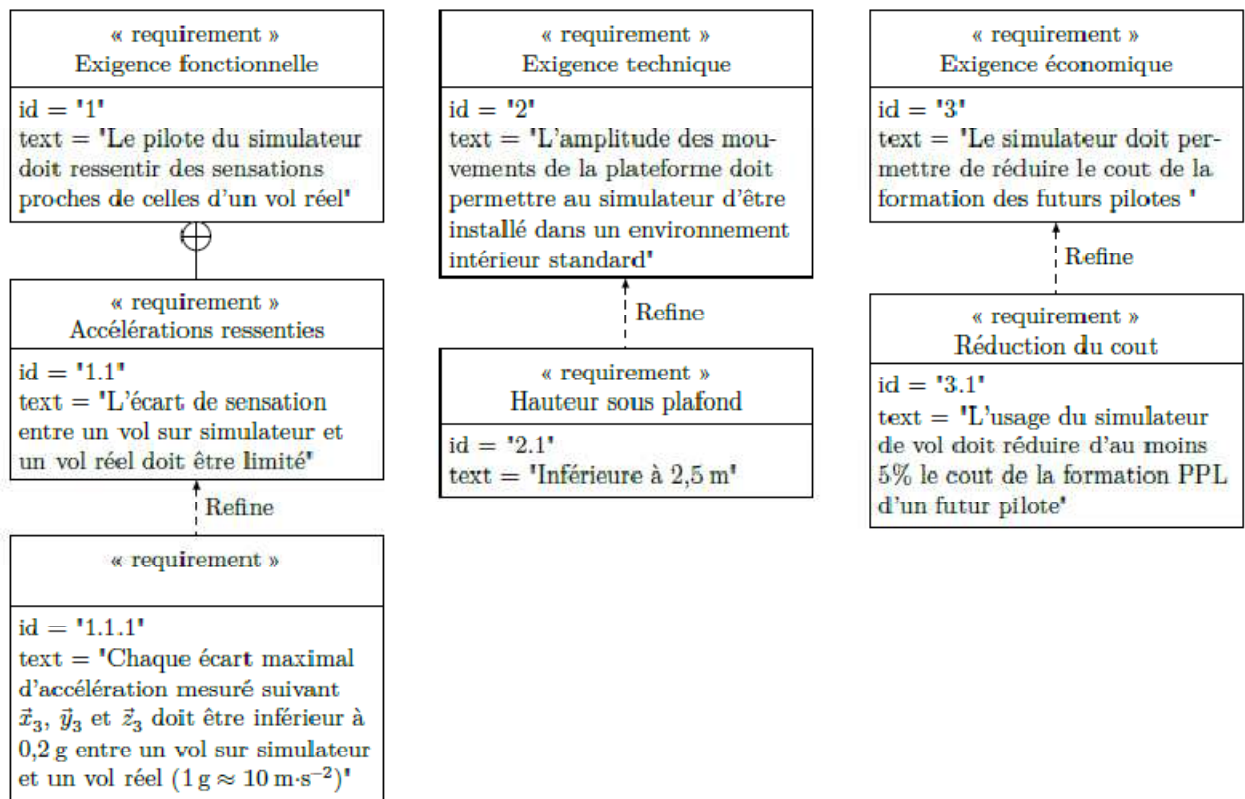


Figure 3 : REQ partiel du simulateur de vol

ANNEXE 2

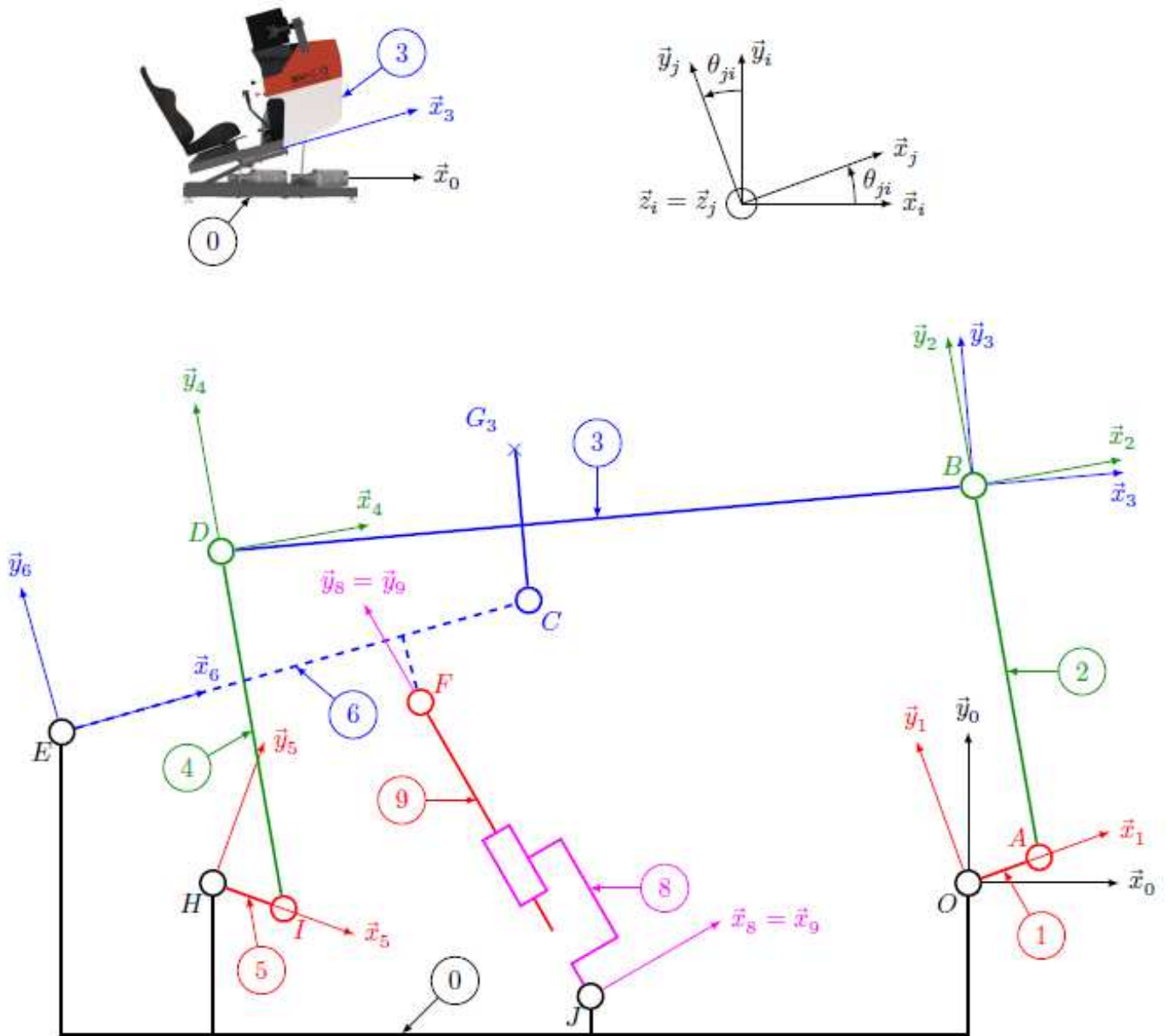


Figure 4 : schéma cinématique du simulateur

Définition des angles de rotation de j/i	Dimensions
	- $AB = ID = l$
	- $\overline{EF} = d_{61}\vec{x}_6 - h_{65}\vec{y}_6$; $\overline{EC} = L\vec{x}_6$
	- $HI = OA = r$
	- $\overline{JF} = \lambda\vec{y}_{59}$
	- $\overline{DC} = d_{31}\vec{x}_3 - h_{33}\vec{y}_3$; $\overline{CB} = d_{32}\vec{x}_3 + h_{35}\vec{y}_3$
	- $\overline{EH} = d_{01}\vec{x}_0 - h_{01}\vec{y}_0$; $\overline{EO} = d_{02}\vec{x}_0 - h_{02}\vec{y}_0$
	- $\overline{EJ} = d_{03}\vec{x}_0 - h_{03}\vec{y}_0$
	- $DB = HC = d = d_{32} + d_{31} = d_{02} - d_{01}$

Figure 5 : paramétrage