

Mécanismes - Cinématique - Statique

devoir 1- Simulateur de vol
adapté à partir de - icna 2012 - PSI

Corrigé page 12

A. Présentation et problématique

A.1. Intérêt et principe de fonctionnement des simulateurs de vol

L'apprentissage du pilotage ou la qualification des pilotes sur un nouveau type d'appareil requiert de nombreuses heures de formation "en situation".

A cet effet, le simulateur de vol (Figure 1c) se substitue avantageusement au vol réel, tant au niveau du coût de la formation que de l'étendue des situations qui peuvent être reproduites en toute sécurité.

Dans un simulateur, le pilote est isolé du monde extérieur et perçoit uniquement les informations que le simulateur lui communique.

Pour donner la sensation au pilote qu'il est dans un avion réel, le simulateur agit sur 3 aspects :

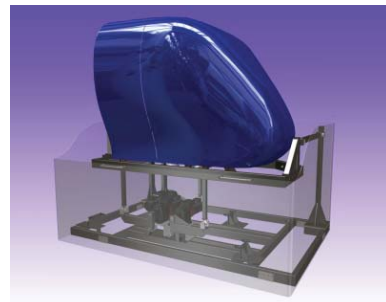
1. Donner une vue de l'extérieur qui est le résultat de la simulation de vol. Ce résultat est visualisé sur des écrans LCD (Figure 1b) sensés représenter ce que l'on voit au travers des fenêtres du cockpit. Le cerveau du pilote perçoit au travers du système de vision les mouvements de l'avion. Il y a cependant deux lacunes à cette perception : elle est lente et ne permet pas de sentir physiquement les effets de l'accélération.
2. Faire subir au pilote les effets de l'accélération. Cette accélération est perçue par le système vestibulaire humain (cavité de l'oreille interne), un peu dans son intensité, mais surtout dans son orientation. Le simulateur devra donc s'orienter pour donner au pilote la sensation qu'il accélère.
3. La sonorisation reproduit exactement les bruits perçus dans le cockpit (bruit de moteur, bruit de l'air...).

La cinématique des simulateurs les plus complets est basée sur un hexapode (ou plate-forme de Stewart) doté de 6 axes. Ces simulateurs permettent de reproduire :

- les mouvements angulaires de roulis, tangage et lacet ;
- les déplacements longitudinaux, transversaux et verticaux.

Une solution moins coûteuse consiste à n'installer que 3 axes, de façon à ne reproduire que les mouvements principaux de l'avion : roulis, tangage et déplacement vertical.

C'est le principe du simulateur FLY-HO de la société 6mouv, support de cette épreuve.



(a)



(b)



(c)

Figure 1

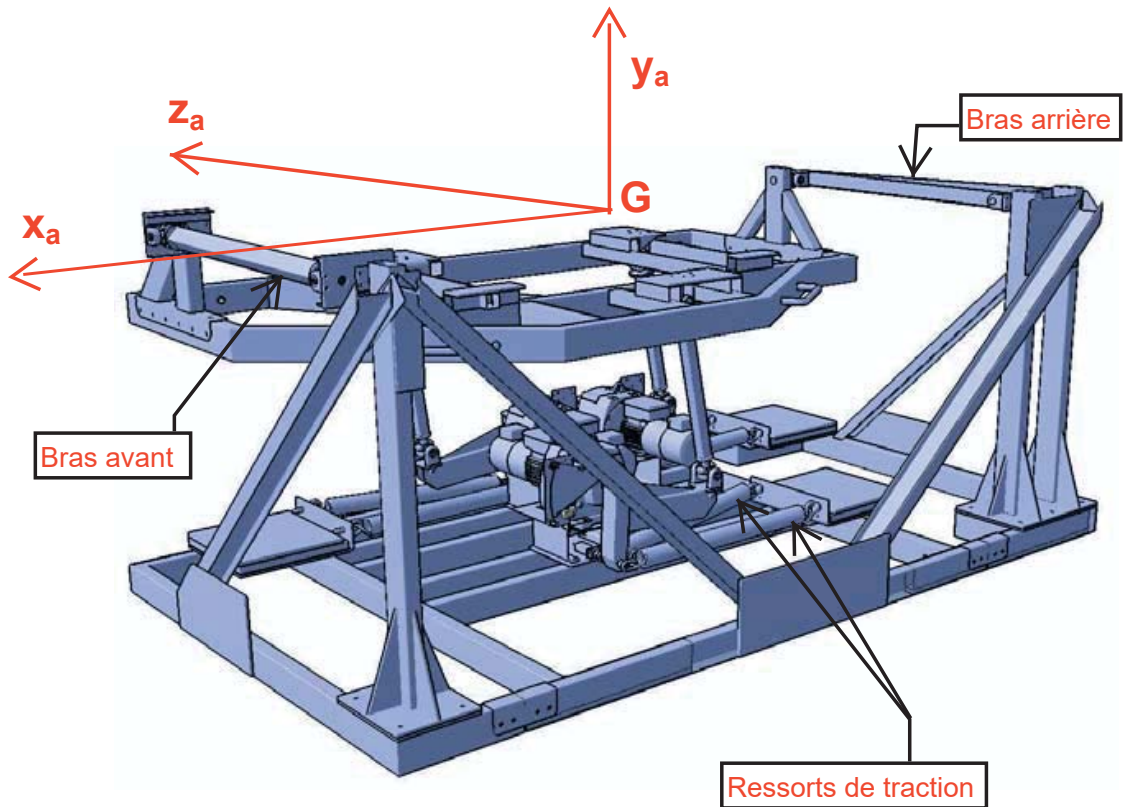


Figure 2 – Structure du simulateur de vol

A.2. Analyse fonctionnelle

Les caractéristiques générales de ce simulateur, modulaire et facilement démontable, sont données dans les documents techniques DT1 et DT2. Le simulateur, constitué de 3 axes (*) M1, M2 et M3 d'architecture identique, ne nécessite qu'une alimentation électrique et requiert très peu de maintenance grâce à un choix de composants industriels qualifiés pour une durée de vie importante.

* Nota : on appelle « axe » un ensemble de composants liés à une mobilité du cockpit.

Q1. En vous aidant de la documentation technique (DT1 et DT2), Compléter les chaînes d'énergie et d'information de l'axe M1.

Q2. Énoncer l'exigence principale du système.



Figure 3

A.3. Étude de la fonction FS2 : « Lier le cockpit au sol par une structure à 3 Degrés De Liberté »

Le modèle FLY-HO, simulateur 3 axes, reproduit les sensations des principales phases de vol (accélération, décélération, décollage, atterrissage, virages, pertes d'altitude, touché des roues, etc.), en s'appuyant sur 3 des mouvements principaux de l'avion (Figure 4).

- Roulis : rotation autour de l'axe (G, \vec{x}_a) ;
- Tangage : rotation autour de l'axe (G, \vec{z}_a) ;
- Déplacement vertical suivant \vec{y}_a .

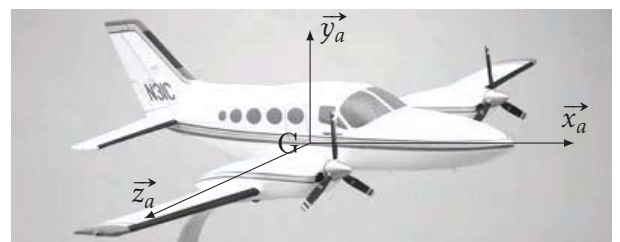
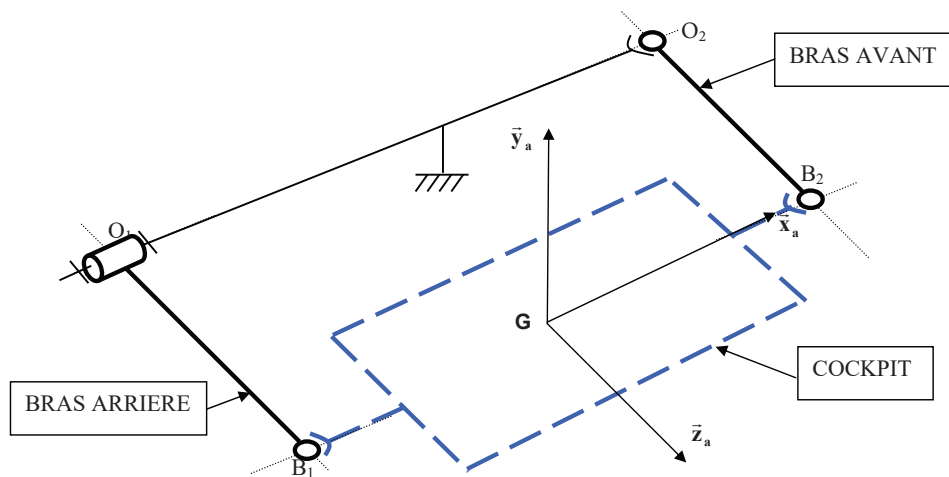
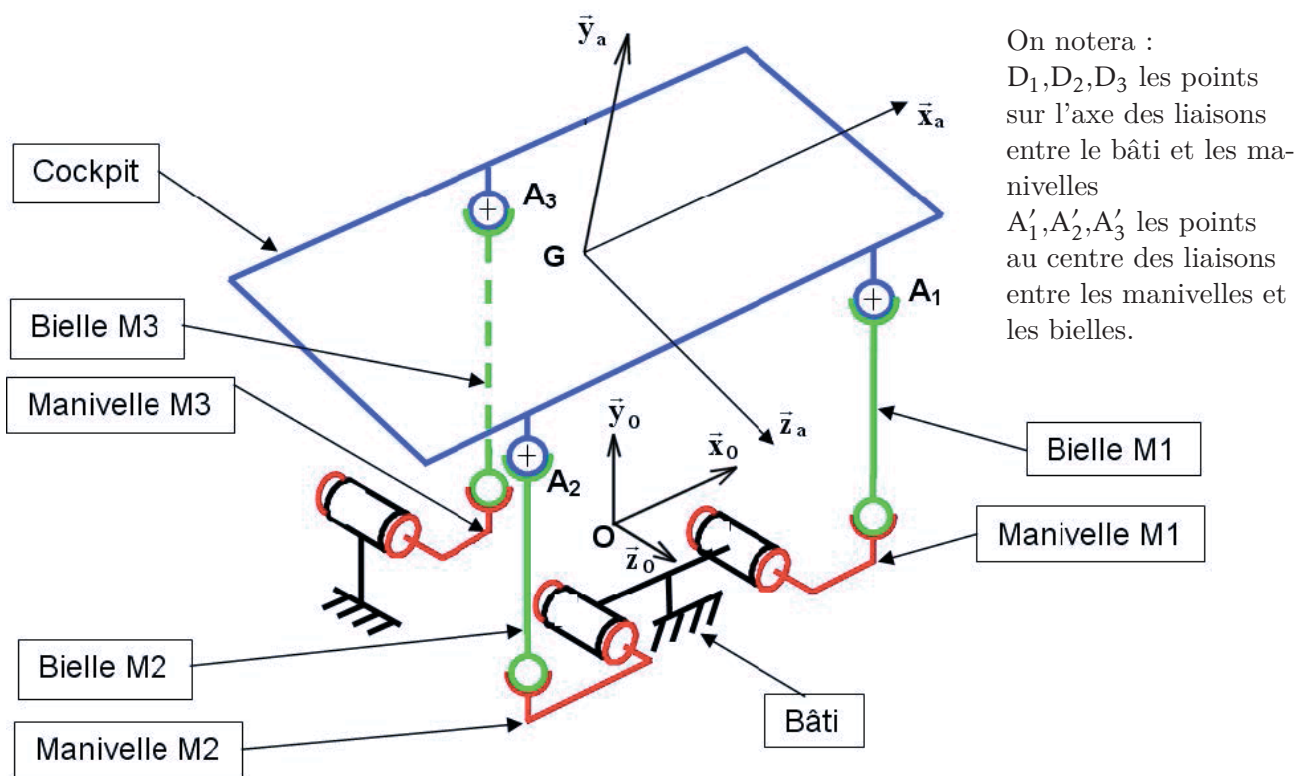


Figure 4

Afin de ne pas rendre le schéma cinématique illisible celui-ci est décrit sur deux figures ,le mécanisme de mise en mouvement sur la figure 5b et celui de positionnement du simulateur sur la figure 5a.



(a) Mécanisme de liaison avec le bâti



(b) Mécanisme de mise en mouvement

Figure 5 – Schémas cinématiques du simulateur

La figure 5b représente le schéma cinématique spatial partiel du simulateur avec le mécanisme de mise en mouvement. Les bras arrière et avant du simulateur n'ont pas été représentés, ils servent à assurer la liaison du cockpit avec le bâti, et ils ne sont pas motorisés et ne participent pas à la mise en mouvement du cockpit. Les moteurs associés à chacun des axes M1, M2 et M3 ne sont pas non plus représentés.

L'autre partie du mécanisme est décrit sur la figure 5a, elle présente la liaison entre le bâti et le cockpit grâce aux bras avant et arrière.

$(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est la base liée au bâti fixe, \vec{y}_0 est vertical ascendant et $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est un repère galiléen.

Hypothèse : Le point G, centre d'inertie du pilote est supposé immobile pour les mouvements de roulis et de tangage.

La base $(\vec{x}_a, \vec{y}_a, \vec{z}_a)$ est la base liée au cockpit.

On considère le mécanisme complet (figures 5b et 5a)

Q3. À partir des figures 5b et 5a, tracer le graphe de structure du mécanisme, préciser les liaisons et le nombre d'inconnues cinématiques de chaque liaison.

Par construction, le mécanisme doit posséder trois mobilités utiles, les mouvements de tangage, roulis et de translation verticale.

Q4. Identifier le nombre de boucles cinématiques indépendantes. Recenser en les justifiant les mobilités internes du mécanisme. Que peut-on dire de la mobilité totale du mécanisme ?

On considère maintenant, le mécanisme de mise en position de la figure 5b.

On notera :

- Y+ : le déplacement vertical d'un point A_i suivant l'axe des \vec{y}_0 positifs.
- Y- : le déplacement vertical d'un point A_i suivant l'axe des \vec{y}_0 négatifs.

	Déplacement vertical >0	Roulis >0	Tangage >0
A_1	Y+		
A_2			
A_3			

Q5. Reproduire et compléter le tableau des mouvements du cockpit ci-dessus en indiquant les déplacements des points A_i (centres des rotules). Conclure sur la possibilité des réaliser les trois mobilités utiles du souhaitées avec ce mécanisme.

On note \vec{y}_i avec $i \in [1, 2, 3]$ le vecteur unitaire porté par la droite $(A'_i A_i)$ avec $\overrightarrow{A'_i A_i} = d \cdot \vec{y}_i$.

Q6. Montrer que la liaison équivalente entre la manivelle M_i et le cockpit en A_i est une liaison sphère-plan. Justifiez par ce calcul, les mobilités internes définies précédemment.

On se place dans deux cas particuliers du fonctionnement,

1. tous les vecteurs \vec{y}_i sont parallèles ;
2. les droites (A_i, \vec{t}_i) sont sécantes en un point I.

Q7. Déterminer, sans calculs, en raisonnant uniquement sur les mouvements possibles, la liaison équivalente dans les deux cas ? Justifier alors que si le mécanisme ne comportait que le sous système décrit par la figure 5b il ne serait pas fonctionnel.

On considère maintenant le mécanisme de la figure 5a.

Q8. Déterminer la liaison équivalente entre le cockpit et le bâti réalisée par le bras arrière au point B_1 . Préciser ses caractéristiques géométriques à partir des points et des axes définis figure 5a, on posera si nécessaire $\overrightarrow{O_1 B_1} = \ell \cdot \vec{z}_a$.

Q9. Préciser de même la liaison équivalente entre le cockpit et le bâti réalisée par le bras avant au point B_2 . Préciser ses caractéristiques géométriques, on posera si nécessaire $\overrightarrow{O_2 B_2} = \ell \cdot \vec{z}_a$.

On se propose de déterminer maintenant sur la liaison équivalente entre le cockpit et le bâti réalisée par l'assemblage des deux liaisons équivalentes précédentes entre le cockpit et le bâti. On pose $\overrightarrow{B_1 B_2} = L \cdot \vec{x}_a$.

Q10. Déterminer le torseur cinématique du cockpit par rapport au bâti réalisé par les deux liaisons équivalentes en parallèle et vérifier qu'il est bien compatible avec les mobilités utiles du mécanisme (roulis, tangage et déplacement vertical).

Q11. Nommer, si elle existe, la liaison équivalente réalisée par ces deux liaisons, dans le cas contraire, proposer un nom pour cette liaison. En déduire les mobilités utiles du mécanisme.

Q12. Finalement, en conclusion de cette étude, pouvez vous évaluer le degré d'hyperstaticité global du mécanisme. Justifier le choix de ce type de montage par le concepteur.

B. Analyse de la Fonction FT22 « Compenser le poids du cockpit »

Pour éviter de sur-dimensionner les moteurs du simulateur, on souhaite installer un système permettant de compenser les effets de la pesanteur et ainsi d'équilibrer le poids du cockpit à l'arrêt.

B.1. Justification de l'intérêt d'un système de compensation de la pesanteur

On se place dans le cas simplifié d'un seul mouvement de translation verticale de vitesse et d'accélération suivant \vec{y} .

Dans cette partie, on s'appuie sur un schéma fortement simplifié du mécanisme (figure 6). Dans ce schéma, les trois moto-réducteurs sont remplacés par un seul (M).

Ce mécanisme simplifié est supposé plan.

On considère que le cockpit (1) est supposé ici en liaison glissière avec le bâti (0) tel que $\vec{OG} = y \cdot \vec{y}_0$.

Le Moto-Réducteur (M) entraîne en rotation la manivelle (3) autour de l'axe (C, \vec{z}_0) tel que $\beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_3)$

et on note $\dot{\beta} = \frac{d\beta}{dt}$. On note $\vec{C}_m = C_m \cdot \vec{z}_0$ le couple fourni par le moteur sur la manivelle (3).

La bielle (2) est liée au cockpit (1) et à la manivelle (3) par des liaisons pivot d'axe (A, \vec{z}_0) et (B, \vec{z}_0) avec $(\vec{x}_0, \vec{x}_2) = (\vec{y}_0, \vec{y}_2)$.

Enfin on pose $\vec{CB} = d \cdot \vec{x}_3$, $\vec{OC} = c \cdot \vec{x}_0$, $\vec{GA} = a \cdot \vec{x}_0$ et $\vec{BA} = b \cdot \vec{y}_2$.

Seule la masse du cockpit est prise en compte, on note M cette masse, le poids du cockpit est appliqué en G.

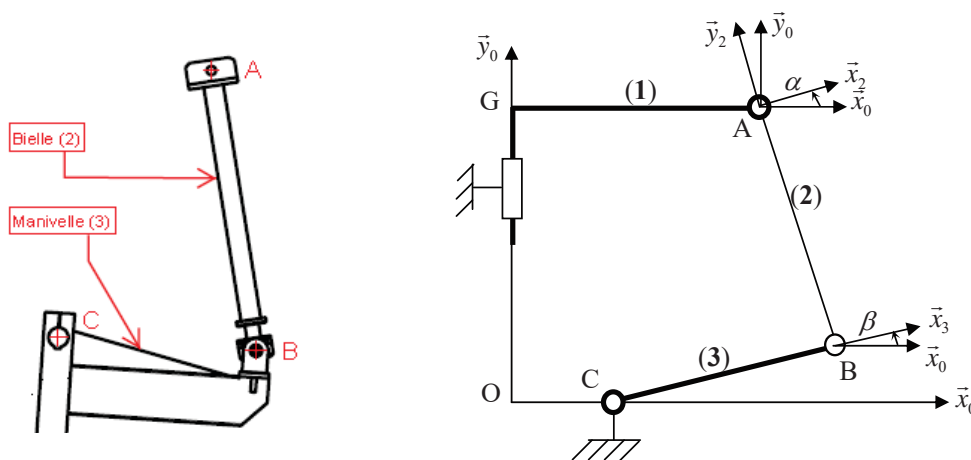


Figure 6 – Modèle cinématique simplifié

Q13. Écrire la fermeture géométrique. en déduire les deux relations reliant y , β et α .

Q14. Simplifier ces relations en considérant que la manivelle (3) reste pratiquement horizontale au cours du mouvement de translation du cockpit et que la bielle (2) reste pratiquement perpendiculaire au plan du cockpit (β et α petits)., en déduire une relation reliant y à β .

On se propose de déterminer le couple moteur C_m que doit délivrer le moteur.

Q15. Tracer le graphe de structure en précisant les torseurs des actions transmissibles par les liaisons dans le cas du modèle plan et les actions mécaniques.

On isole successivement les solides (2), (1) puis (3).

Q16. Écrire les équations relatives au solide (2).

Q17. Déterminer l'action de liaison en A en fonction de la masse M du cockpit et α .

Q18. Déterminer C_m en fonction de M.

On constate que pour maintenir le cockpit en équilibre, il est nécessaire de fournir un couple moteur non négligeable. Afin de minimiser l'énergie nécessaire, le concepteur a placé deux ressorts (un de chaque coté) qui agit sur la manivelle pour maintenir le cockpit au repos à l'arrêt.

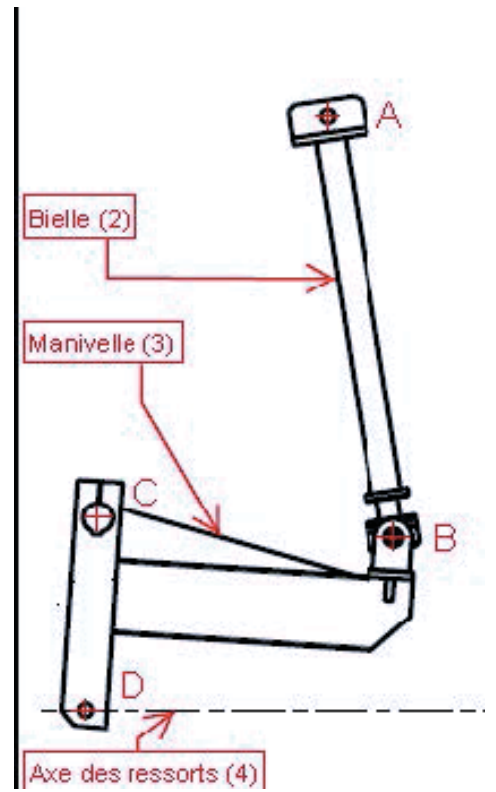
On note $\vec{DC} \cdot \vec{y}_0 = f$.

Au repos ($\beta = 0^\circ$), le moteur doit fournir un couple nul ($C_m = 0$) seul les deux ressorts compensent le poids du cockpit (on note $\vec{F}_r = F_r \cdot \vec{x}_0$ l'action d'un ressort sur la manivelle).

Q19. Reprendre l'équilibre de la manivelle, déterminer F_r en fonction de M.

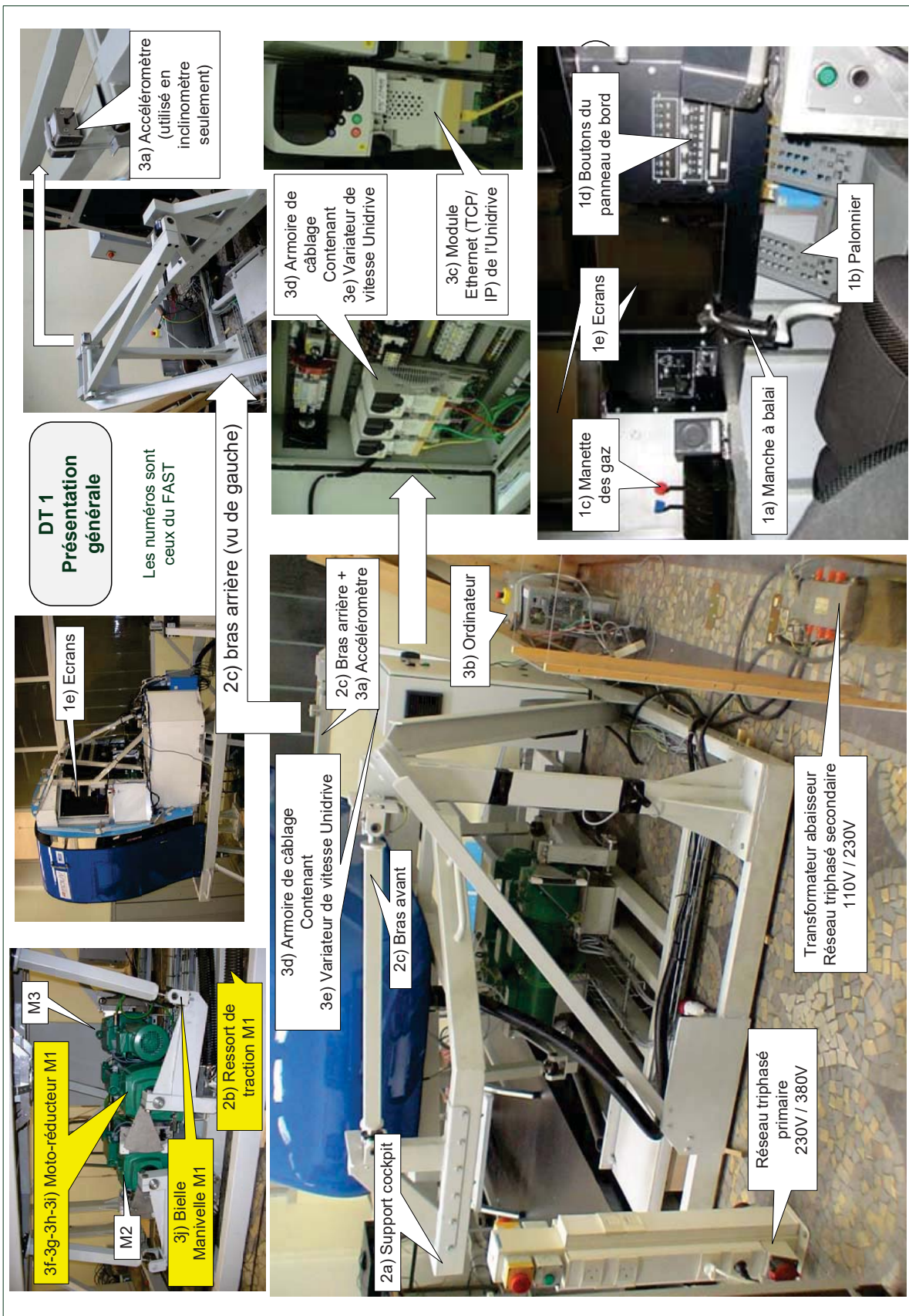


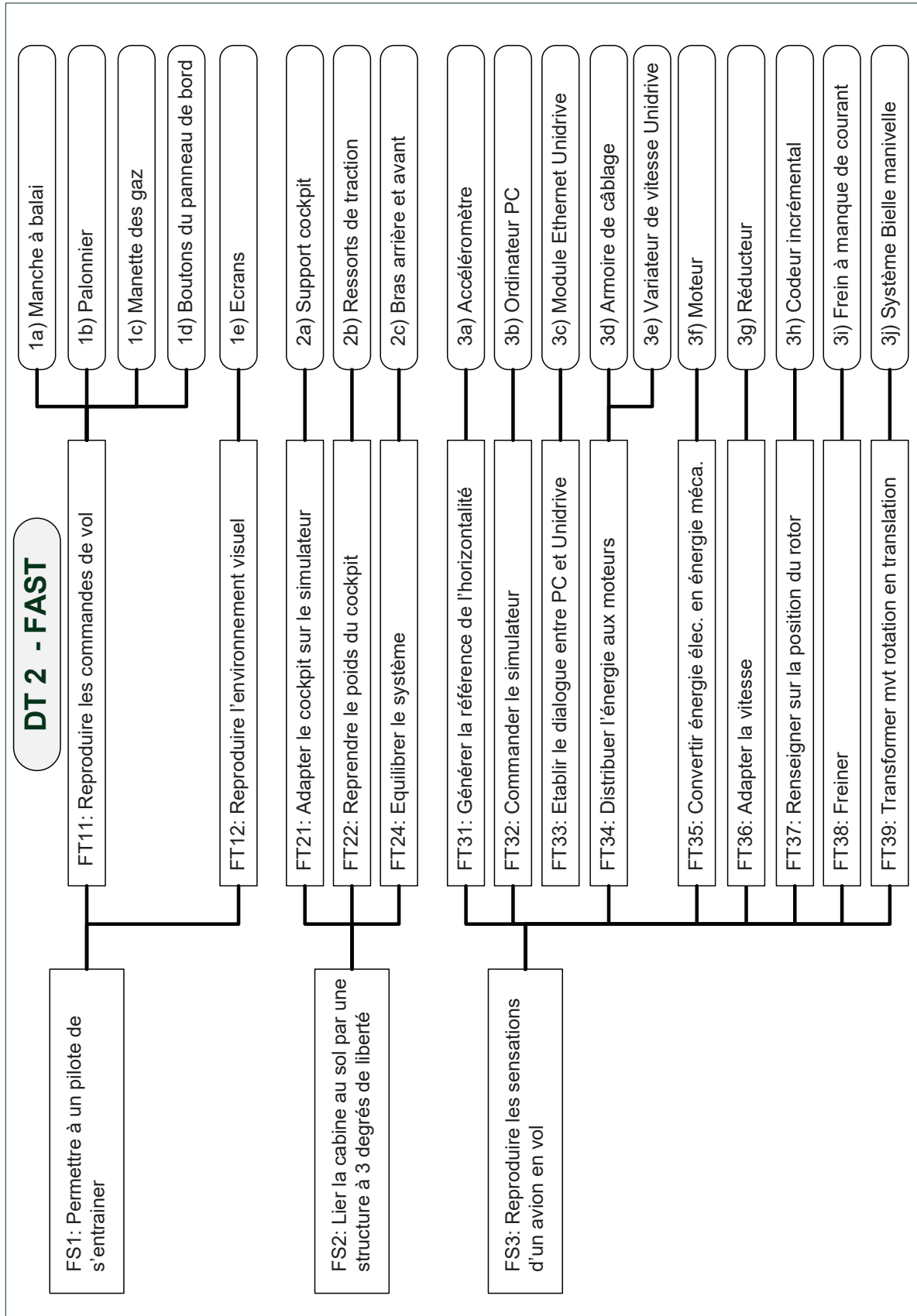
(a)



(b)

Figure 7 – Système de compensation par ressorts





D. Doc réponses

D.1. À compléter

