BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR AÉRONAUTIQUE

Épreuve E4 – sous épreuve U41
ÉTUDE DE MODIFICATIONS PLURITECHNOLOGIQUES

Session 2018

Coefficient 4 – Durée 6 heures

Aucun document autorisé

Les calculatrices électroniques de poche sont autorisées conformément à la règlementation en vigueur.

Le dictionnaire Anglais/Français, spécialisé aéronautique ou pas, est autorisé.

Kit malonnier sur avion Diamond DA 40

Constitution du sujet :

- **Dossier Sujet** *(mise en situation et questions à traiter par le candidat)*
  - **PARTIE 1** .....Page 3
  - **PARTIE 2** .....Page 3
  - **PARTIE 3** .....Page 4
  - **PARTIE 4** .....Pages 5 à 9
  - **PARTIE 5** .....Page 9
- **Dossier Technique**.....Pages 10 à 32
- **Documents Réponse** .....Pages 33 à 40

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Il est conseillé de commencer par la lire la totalité du sujet.

Le sujet comporte cinq parties indépendantes qui peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Les documents réponses DR1 à DR8 seront à rendre (même vierges) avec les copies.

S'il apparaît au candidat qu'une donnée est manquante ou erronée, il pourra formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires pour résoudre les questions posées. Il justifiera, alors, clairement et précisément ces hypothèses**.**

Mise en situation

Les commandes d'un avion ne sont pas conçues pour permettre à une personne paraplégique de piloter. La paraplégie est la paralysie plus ou moins complète des deux membres inférieurs et de la partie basse du tronc.

Le pilote sans handicap agit sur le palonnier avec les pieds, tandis que le pilote paraplégique n'ayant plus l'usage de ses jambes ne pourra se servir que de ses mains pour le pilotage.

Il est donc nécessaire d'adapter les commandes de l'avion en réalisant un système appelé « malonnier », afin de permettre à un pilote paraplégique de piloter un avion léger.

Certaines études ont déjà été réalisées. En effet, une quinzaine de machines évoluant en France sont équipées, cumulées à la dizaine d'autres avions répartis en Europe. Ces avions constituent une flotte dont la moyenne d'âge est de 30-35 ans. Les propriétaires, quasiment exclusivement des aéroclubs, amorcent une stratégie de renouvellement de leur flotte.

Une entreprise agréée PART 21 souhaite développer ce système sur plusieurs séries d'avions : TB20, DA20, DA40, DA42, afin de permettre le pilotage d'avions récents par une personne paraplégique.

Les objectifs pour l'entreprise sont :

- d'obtenir la certification et réaliser un prototype du kit « malonnier » testé sur un avion Autrichien Diamond AIRCRAFT DA 40, avion moderne répandu dans les centres de formation (ce kit pourra être proposé en option par le constructeur),
- de réaliser une petite série de 10 kits dans un premier temps.

L'étude portera donc sur l'adaptation de ce kit sur les DA40.

Pilote paraplégique utilisant le système de malonnier

Travail demandé

PARTIE 1 - Étude fonctionnelle de la modification du palonnier en « malonnier »

Sur l'avion non modifié :

Question 1.1 DR1	En vous inspirant de l'exemple du bloc fonctionnel de niveau A-0 donné pour les freins différentiels, **compléter** les deux blocs fonctionnels de niveau A-0 pour le palonnier et la commande des gaz du DA40 avant modification. **Préciser** l'évolution de la matière d'œuvre avec la valeur ajoutée, les contraintes (W : énergie, C : configuration, R : réglage, E : exploitation), les sorties annexes (informations, pertes, …) le cas échéant.

Sur l'avion équipé du système « malonnier » :

Question 1.2 DR2	**Compléter** le bloc fonctionnel de niveau A-0 pour le système « malonnier » ajouté à l'avion.

Question 1.3 DR2	Sur le document réponse, le diagramme pieuvre incomplet du malonnier est représenté et les données d'environnement initiales du palonnier y sont indiquées (dans les bulles). **Compléter** ce diagramme avec les nouvelles données d'environnement à prendre en considération pour l'adaptation du kit « malonnier ».

PARTIE 2 - Recherche d'une solution théorique « malonnier »

Hypothèses :

- dans un premier temps, on ne tient compte ni des efforts, ni des déformations, ni de l'encombrement de l'habitacle ;
- pour la commande des gaz, de nombreux avions sont commandés par un FADEC, le constructeur autrichien n'autorise pas sa modification. De ce fait, pour la suite du sujet, aucune modification de ce système ne sera abordée ;
- pour les croquis, une représentation à main levée est envisageable ;
- on pourra s'aider de la modélisation 3D proposée dans le dossier technique.

La difficulté est d'obtenir trois commandes regroupées en « une main ». Dans cette partie, on recherche une solution par fonction sans se soucier des contraintes avec les autres fonctions.

Question 2.1 DR3	**Représenter** sous forme de schéma technologique ou cinématique une solution « réalisable techniquement », permettant d'agir sur le palonnier à l'aide d'une main. L'action de la main du pilote sera indiquée par une flèche.

Question 2.2 DR3	**Indiquer** la signification de l'acronyme « FADEC » et **préciser** son rôle.

Question 2.3 DR3	**Représenter** sous forme de schéma technologique ou cinématique une solution « réalisable techniquement » permettant d'agir sur la commande des gaz à l'aide de la main droite, mais sans avoir de contact direct avec la manette existante. L'action de la main du pilote sera indiquée par une flèche.

Question 2.4 DR4	**Représenter** sous forme de schéma technologique ou cinématique une solution « réalisable techniquement » permettant d'agir sur les pédales de frein gauche et droite

	de façon indépendante à l'aide d'une main. L'action de la main du pilote sera indiquée par deux flèches, une pour chaque pédale.

PARTIE 3 - Réglementation aéronautique et facteurs humains

Toute modification sur un avion existant impose des contraintes réglementaires et des risques de mauvaise manipulation par le pilote.

Hypothèse : la modification est envisageable, mais elle devra être réalisée en « Fail safe ».

Question 3.1	**Définir** la démarche pour certifier une modification sur un aéronef (Qui ? Quel agrément ? Comment ?).
Feuille de copie	

Question 3.2	**Préciser** quel document normatif européen doit être respecté pour étudier la modification envisagée : • **nommer** ce document, • **préciser** son rôle, • **préciser** dans quel cas on l'utilise en dehors des modifications.
Feuille de copie	

Question 3.3	Dans l'hypothèse où la modification était certifiée et acceptée par l'autorité aéronautique, **préciser** quel document serait produit pour officialiser cette acceptation.
Feuille de copie	

Question 3.4	**Spécifier** la (les) différence(s) entre un SB (service bulletin) et un STC (supplemental type certificate) lorsque l'on veut modifier un avion.
Feuille de copie	

Question 3.5	**Indiquer** ce que signifie « Fail safe ».
Feuille de copie	

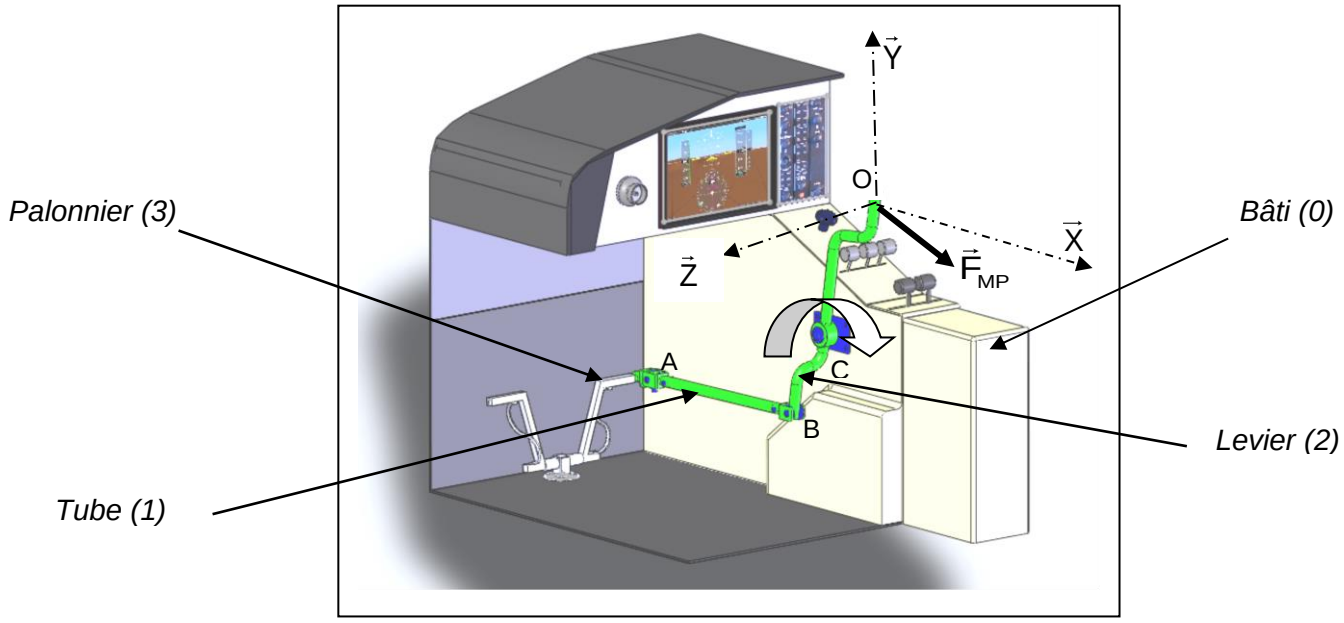
Question 3.6	Sur le plan de l'étude des facteurs humains de la modification, **identifier** les éléments que le concepteur doit prendre en compte au niveau de l'installation du kit, de son utilisation et de la remise en configuration initiale des commandes.
Feuille de copie	

Question 3.7	**Préciser** les conséquences prévisibles pour le programme de maintenance de l'aéronef.
Feuille de copie	

PARTIE 4 - Étude d'une proposition de solution

4.1 Étude de la fonction « déplacement du palonnier »

Le bureau technique de l'entreprise propose une solution (DT8 à DT14) qui semble envisageable pour un pilote paraplégique. On propose d'étudier la faisabilité de cette solution.



Hypothèses :

- on étudiera le dispositif soumis à un effort du pilote appliqué au point O, incliné de 30° par rapport à l'axe $\vec{X}$ dans le plan $(O,\vec{x},\vec{y})$;
- le tube (1) est en liaison pivot d'axe $\vec{Z}$ avec le palonnier (3) et le levier de commande (2) aux points A et B ;
- le levier (2) est en liaison pivot d'axe $\vec{Z}$ avec la console (bâti) et le tube (1) aux points C et B ;
- les liaisons sont considérées parfaites, sans frottement ;
- l'étude est faite en phase de vol à mouvement constant à une vitesse de 120 kt ;
- le poids des pièces sera négligé pour l'étude statique.

Calcul de l'effort à fournir par le pilote $\overrightarrow{F_{\text{main pilote}}}$ **noté :** $\vec{F}_{MP}$

Question 4.1	**Préciser** la valeur de l'effort à fournir au pied par un pilote valide.
DT1 Feuille de copie	

Question 4.2	À partir de cette valeur et à l'aide d'une étude de statique analytique, **calculer** l'effort à fournir par la main du pilote. Pour cela on demande : • d'isoler {S1} = (tube 1) et de déterminer entièrement les actions $\overrightarrow{A_{3 \rightarrow S1}}$ et $\overrightarrow{B_{S2 \rightarrow S1}}$; • d'isoler {S2} = (levier 2 + axes) et de déterminer l'action $\vec{F}_{MP}$.
DT4 Feuille de copie	

Question 4.3	**Vérifier** si l'effort du pilote calculé est acceptable par rapport au cahier des charges.
DT1 Feuille de copie	

Choix des matériaux du tube (1) et du levier de commande (2)

Hypothèses :

- on ne tient pas compte des concentrations de contraintes ;
- le coefficient de sécurité est s = 3 ;
- les axes d'articulation sont en acier faiblement alliés 41 Cr 4 ;
- quelle que soit la valeur obtenue précédemment, on prendra :

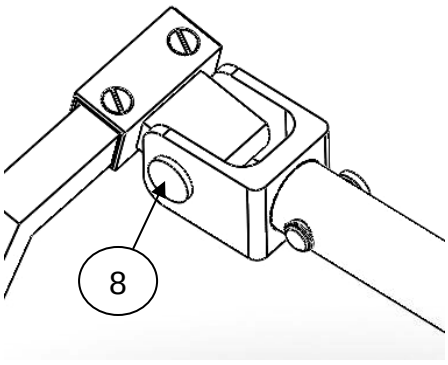
$\vec{F}_{MP}$ = 240 N.

Aciers faiblement alliés		
Nuances usuelles	Traitement de référence	
	R min	R_e min
38 Cr 2	800	650
34 Cr 4	880	660
37 Cr 4	930	700
41 Cr 4	980	740
55 Cr 3	1 100	900
100 Cr 6	HRC ≥ 62	
25 Cr Mo 4	880	700
35 Cr Mo 4	980	770
42 Cr Mo 4	1 080	850
16 Cr Ni 6	800	650
17 Cr Ni Mo 61	1 130	880
30 Cr Ni Mo 81	1 030	850
51 Cr V 4	1 180	1 080
16 Mn Cr 5	1 080	835
20 Mn Cr 5	1 230	980
36 Ni Cr Mo 16	1 710	1 275
51 Si 7	1 000	830
60 Si Cr 7	1 130	930

Alliages d'aluminium				
Nuances usuelles *	R min	R_e min	Emplois	
EN AW-1350 [EAL 99,5] **	65	-	Matériels électromécaniques. Chaudronnage. Matériel pour industries chimiques alimentaires	Bonne résistance aux agents atmosphériques et à l'air salin. Bonne soudabilité
EN AW-1050 [AL 99,5]	100	75		
EN AW-5154 [AL Mg 3,5]	220	130	Pièces chaudronnées : citernes, gaines, tube, Tuyauteries	
EN AW-5754 [AL Mg 3]	270	190		
EN AW-5086 [AL Mg 4]	310	230		
EN AW-2017 [AL Cu 4 Mg Si]	390	240	Pièces usinées et forgées	Éviter de les utiliser à l'air salin. Se soudent difficilement
EN AW-2017 [AL Cu 4 Mg Si]	420	280	Pièce décolletées (fragmentation des copeaux)	
EN AW-7075 [AL Zn 5,5 Mg Cu]	520	440	Pièces usinées et forgées à hautes caractéristiques mécaniques	
EN AW-7049 [AL Zn 8 Mg Cu]	600	560		
* Produits filés, étirés, laminés ou forgés. ** Pour les applications électriques particulières, le symbole AL est précédé de la lettre E				

Question 4.4	Après avoir justifié le type de sollicitation, **déterminer** la contrainte dans le tube sans tenir compte des trous d'axe et **proposer** un matériau parmi ceux proposés ci-dessus.
DT9, DT11 Feuille de copie	

Question 4.5	Sur la coupe C-C du DR5 **indiquer** la (les) zone(s) sollicitée(s) et **préciser** le type de sollicitation**.** **Vérifier** que l'axe d'articulation (repéré 8 sur la figure ci-dessous) d'un diamètre 12 mm résiste.
DR5 Feuille de copie	



Relation entre la résistance élastique à la traction (R_e) et la résistance au cisaillement (R_{eg})	
Matériaux	**Relation R_{eg} = f (R_e)**
Aciers doux (Re ≤ 270 MPa) Alliages d'aluminium	$R_{eg} = 0,5\ R_e$
Aciers mi-durs (320 ≤ R_e ≤ 500 PMa)	$R_{eg} = 0,7\ R_e$
Aciers durs (R_e ≥ 600 PMa) Fontes	$R_{eg} = 0,8\ R_e$

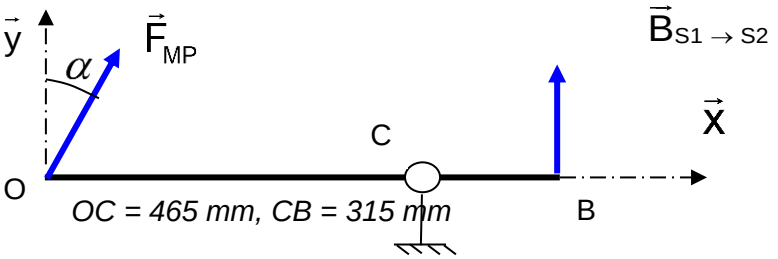
Question 4.6	**Recalculer** la contrainte au niveau du trou diamètre 12 mm en prenant en considération l'accident de forme dû au perçage. Le coefficient Kt sera déterminé à l'aide de l'abaque fourni (calcul ou graphique).
DT15 Feuille de copie	

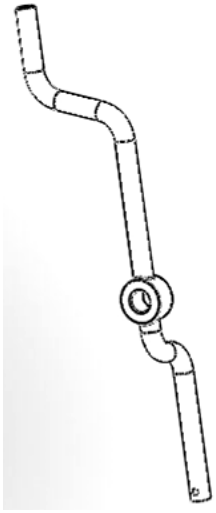
Question 4.7 Feuille de copie	**Vérifier** le choix du matériau. Le cas échéant, en **proposer** un autre.

Étude du levier (2) à la flexion

Hypothèses :

- l'étude est faite dans le plan (O,x,y) ;
- l'action de la main est ramenée sur l'axe, inclinée de α = 30° ;
- le levier est modélisé par une poutre : tube de diamètre 30 mm, d'épaisseur 1,5 mm ;
- Le matériau de la poutre est : EN AW- 5154 ;
- le coefficient de sécurité est s = 3 ;
- la liaison en C est une liaison pivot ;
- $\vec{F}_{MP}$ = 240 N et $\overrightarrow{B_{S1 \rightarrow S2}}$ = 305 N ;
- le modèle d'étude simplifié est défini sur le schéma ci-dessous :





Levier (2)

Données : *OC = 465 mm, CB = 315 mm*

Question 4.8	**Isoler** le levier et **déterminer** les inconnues statiques en C.
DT10 Feuille de copie	

Question 4.9	**Écrire** le torseur de cohésion le long du levier de commande 2. **Tracer** le diagramme du moment fléchissant uniquement.
Feuille de copie	

Question 4.10	**Déterminer** la contrainte de flexion maxi. On rappelle que le moment quadratique d'un tube est donné par la formule : $I_{Gz} = \frac{\pi.\left(D^4 - d^4\right)}{64}$, avec D : diamètre extérieur et d : diamètre intérieur du tube
Feuille de copie	

Question 4.11	**Justifier** la résistance à la flexion, ou pas, du matériau.
Feuille de copie	

Question 4.12	**Conclure** quant au choix du diamètre du tube et de son matériau.
Feuille de copie	

Modification de la conception du tube 1

Afin d'éviter des problèmes de montage, on souhaite avoir un dispositif de réglage de l'entraxe AB.

Les critères retenus sont les suivants :

- simplicité et rapidité de réglage ;
- amplitude d'environ 30 mm ;
- blocage du dispositif une fois réglé ;
- seule la partie centrale du tube peut être modifiée ;
- outillage à prévoir limité (clé plate, pince, marteau, …).

Question 4.13	**Dessiner** une solution permettant d'obtenir un réglage de l'entraxe AB, en tenant compte des critères ci-dessus.
DR5 Feuille de copie	

4.2 Étude de la fonction « freinage »

Étude de l'existant

Question 4.14 DT5, DR6	Le copilote actionne le frein sur la roue droite uniquement. À partir du schéma existant, **colorier** en rouge le circuit sous pression.

Question 4.15 DT5, DR6	**Figurer** par des flèches les mouvements des tiges de vérins

Question 4.16 DT5, DR6, Feuille de copie	**Préciser** le rôle des éléments repérés A, B, C.

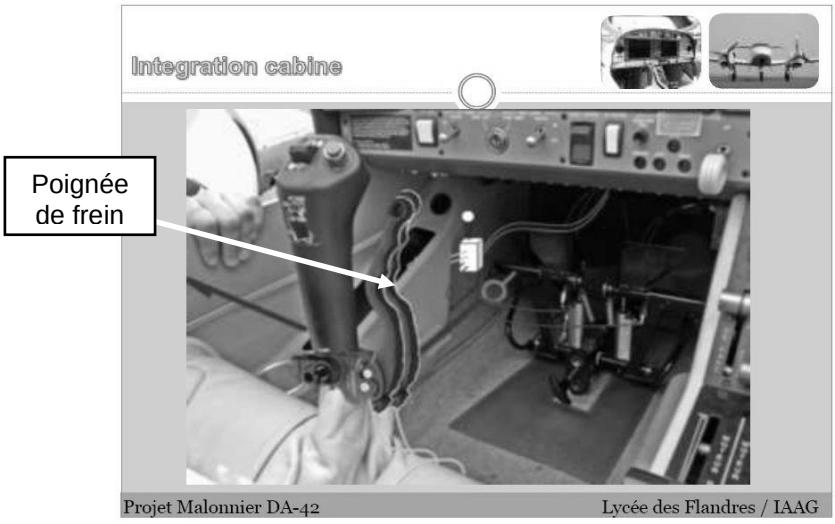
Question 4.17 DT5, DR6, Feuille de copie	**Définir** la façon dont se fait le retour en position initiale lorsque le pilote relâche la pédale de frein.

Question 4.18 DT5 Feuille de copie	Le pilote fournit une force de 100 N sur la pédale du palonnier droit, **calculer** la force agissant sur le disque de frein de la roue droite.

Question 4.19 DT5 Feuille de copie	**Préciser** si cette valeur est suffisante. **Justifier**.

Modification du circuit

Le pilote paraplégique ne pouvant agir directement sur les pédales de freins, le bureau technique envisage d'utiliser une poignée de frein (comme sur un vélo) avec un maître cylindre, afin d'agir sur le circuit hydraulique existant.



Question 4.20 DR6	**Indiquer** par une ou des flèches noires le ou les endroits où il faudrait réaliser un « piquage » sur le circuit hydraulique.

Question 4.21 Feuille de copie	**Préciser** sous quelles conditions le système pourrait être adapté.

4.3 Étude de la fonction « commande électrique des gaz »

On rappelle que la tension aux bornes de batterie qui assure l'alimentation du malonnier, notée Vcc, est de 6 V.

Étude du circuit U1 de la partie commande du servomoteur

Question 4.22 DT12, DT13, DT14 Feuille de copie	**Déterminer**, à l'aide des informations constructeur (DT14 feuillet 1/2), le mode de fonctionnement du circuit U1. (DT14 feuillet 2/2),

Question 4.23 DT14 Feuille de copie	**Exprimer** le temps à l'état haut, noté Th, en fonction de R1, R2 et C2. **Calculer** Th.

Question 4.24 DT14 Feuille de copie	**Exprimer** le temps à l'état bas, noté Tb, en fonction de R2 et C2. **Calculer** Tb.

Question 4.25 DR6	**Compléter** le chronogramme de la sortie de U1, noté Vs1.

Étude du circuit U2 de la partie commande du servomoteur

Question 4.26 DT12, DT13, DT14 Feuille de copie	**Déterminer** le mode de fonctionnement du circuit U2.

Question 4.27 DT14 Feuille de copie	**Exprimer** le temps de la largeur d'impulsion, noté tw, en fonction de R3, P1 et C3. **Calculer** les valeurs maximum et minimum de tw.

Question 4.28 DR6	**Compléter** le chronogramme de la sortie de U2, noté $V_{commande}$, pour la valeur maximale de tw.

PARTIE 5 Conclusion

Dans l'hypothèse où le projet malonnier serait certifié par la réglementation aérienne, deux documents devraient alors être modifiés :

- la check-list pilote avant vol (DT7),
- le manuel d'entretien pour le kit.

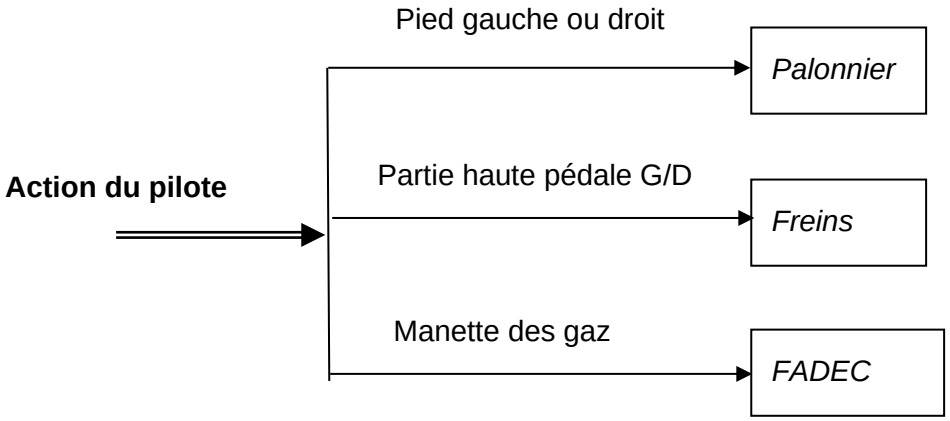
Question 5.1 DR7	**Ajouter** en rouge les modifications nécessaires (correspondant aux trois flèches).

Question 5.2 DR8	**Compléter** le document réponse pour chacune des 12 flèches.

DT1 – Cahier des charges *(feuillet 1/2)*

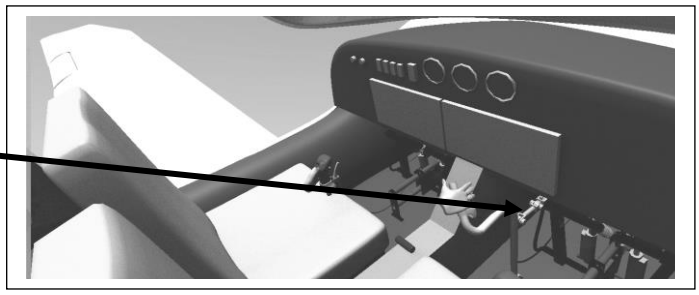
Expression fonctionnelle du besoin

- Solution actuelle non modifiée sur le DA 40

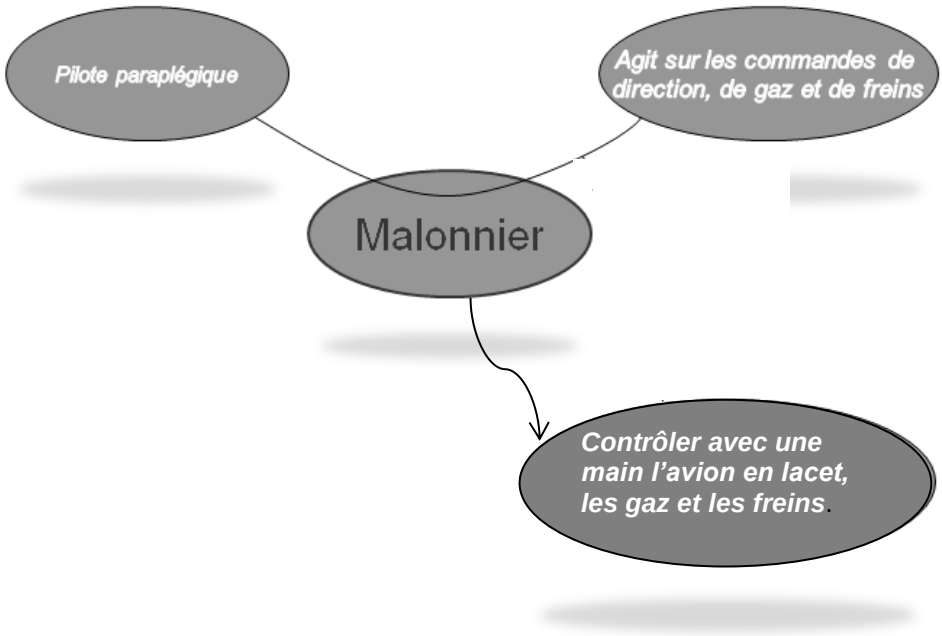


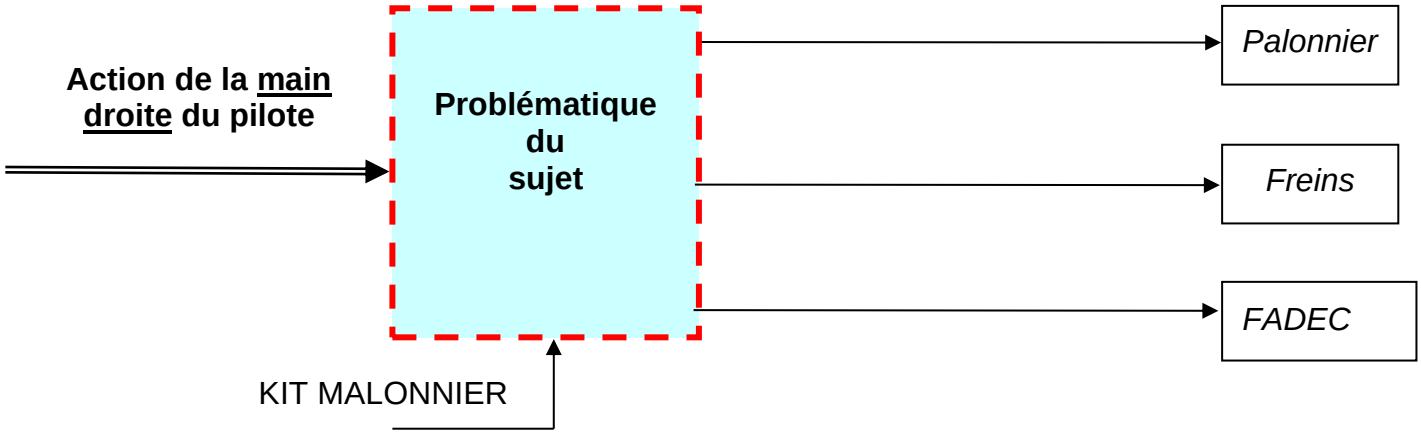
Fonctions à satisfaire

- Adaptation du kit « Malonnier »



L'objectif est de réaliser un système (mécanique, électrique, hydraulique…), permettant à une personne paraplégique, de piloter un avion léger.





Cahier des charges technique

Modalités d'exécution

- Coût du kit inférieur à 3000 €
- Délai de livraison : 5 mois

Contraintes principales

- Dans les phases critiques du vol, le pilote doit avoir la maîtrise conjointe :
  - des trois mouvements (roulis, tangage, lacet),
  - de la puissance du moteur,
- Au roulage, il doit avoir la maîtrise des freins.
- Efforts sur les palonniers (au pied) :

Au sol	140 N
En vol, vitesse 80 kt	270 N gauche/droite
En vol, vitesse 120 kt	305 N gauche/droite

- Effort maxi à fournir sur le « malonnier » en vol à une vitesse de 120 kt : 250 N,
- Contrôles et ergonomie :
  Afin de tenir compte des normes d'effort à respecter (forces biceps/triceps brachial, avant-bras et poignets) pour le contrôle du lacet et des gaz :
  - mouvement pousser / tirer pour le lacet,
  - rotation du poignet pour les gaz, un débattement de 90 degrés entre le ralenti et le plein gaz est le plus satisfaisant.
- Masse du kit < 40 kg,
- Kit démontable / montable en moins d'une heure,
- Personnel qualifié, mécanicien agréé Licence B1,
- Garantir un freinage différentiel,
- Si apport d'énergie électrique extérieure, tension maxi de 12V,
- Une fois le kit démonté, l'avion doit retrouver sa configuration initiale,
- Possibilité de modifier le circuit hydraulique de freinage,
- Empêcher toute erreur d'inversion lors du montage (facteurs humains).

Exclusion

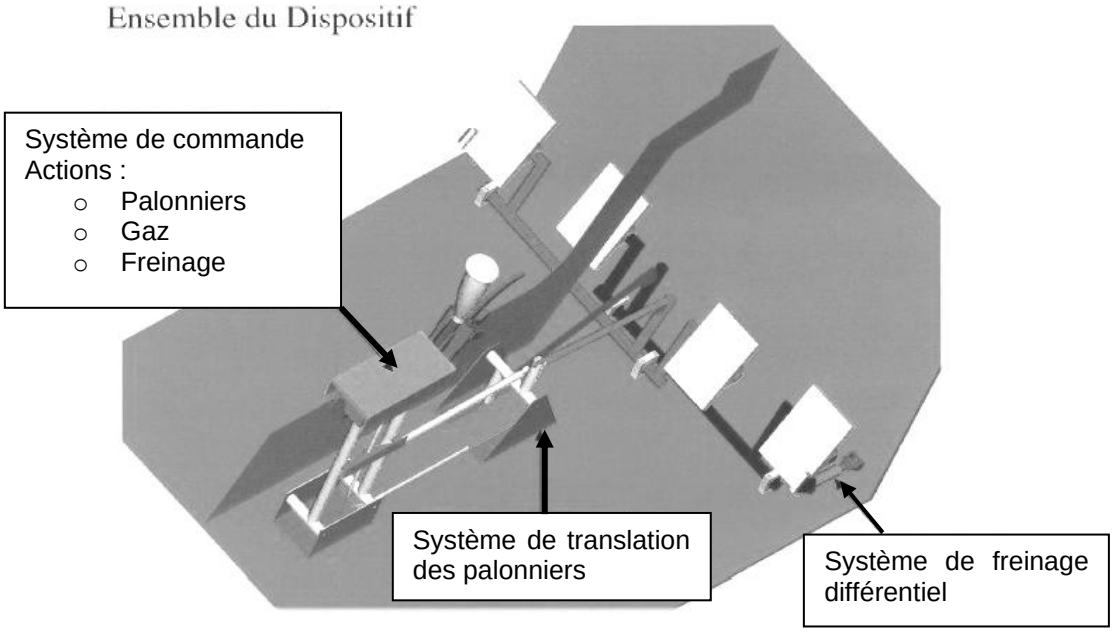
Le constructeur interdit les modifications suivantes :

- FADEC,
- Palonnier,
- Tableau de bord,
- Utilisation de l'alimentation électrique existante de l'appareil.

DT2 – Étude de l'existant *(feuillet 1/2)*

Quelques solutions ont déjà été développée :

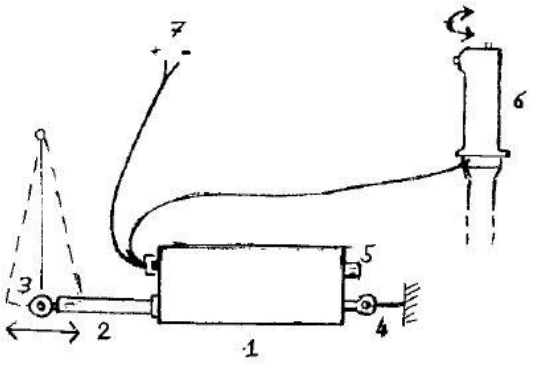
- *Sur ROBIN Aiglon*



Depuis 2000 : des innovations très importantes ont été réalisées pour une simplification du dispositif, tant en terme d'installation que d'ergonomie. Les progrès les plus significatifs réalisés récemment sont :

- la conception (encore en phase de certification par France Aviation) de commande de lacet électrique développée par Dassault Aviation.

- le principe de malonnier plus léger et performant et surtout amovible, dont la partie mobile en cabine (extension des parties fixes restant en place) peut être démontée en quelques secondes par le pilote lui-même. Actuellement en France, sont équipés de ce type de malonnier amovible : 2 PA28, un PA32, un Robin R2160 (un DR400-160 avait également été pourvu de la sorte).



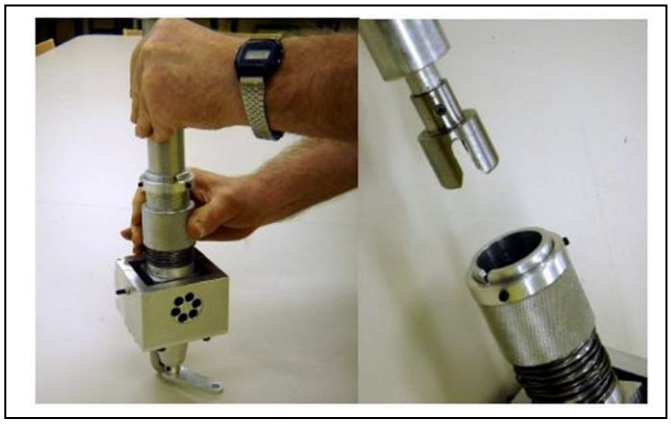
1. Corps du vérin. 2. Tige coulissante 3. Fixation sur un palonnier
4. Fixation sur la structure 5. Trim 6. Poignée de manche tournante (+/- 30°)
7. Alimentation 12 volts.

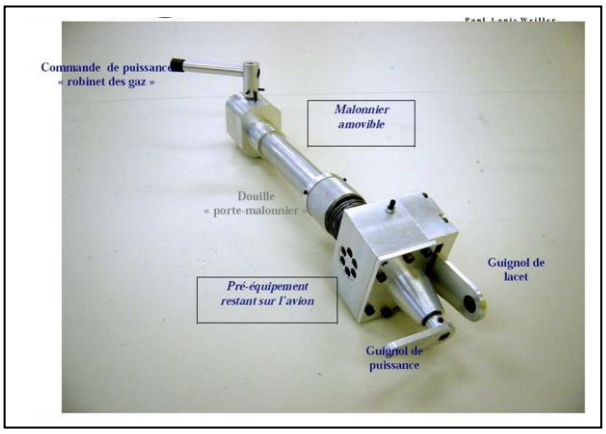
CARACTERISTIQUES TECHNIQUES PRINCIPALES

- Masse vérin+poignée: 2,5 kg
- Puissance vérin > 100 daN
- Position tige du vérin asservie à l'angle de rotation poignée.
- Vitesse tige coulissante de 30 à 50 mm/s, soit le plein braquage gouverne en 1 sec. mini.
- Effort artificiel par ressort de rappel angulaire dans la poignée.

Ci-dessus, schéma de principe de **malonnier électro-mécanique**

DT2 – Étude de l'existant *(feuillet 2/2)*

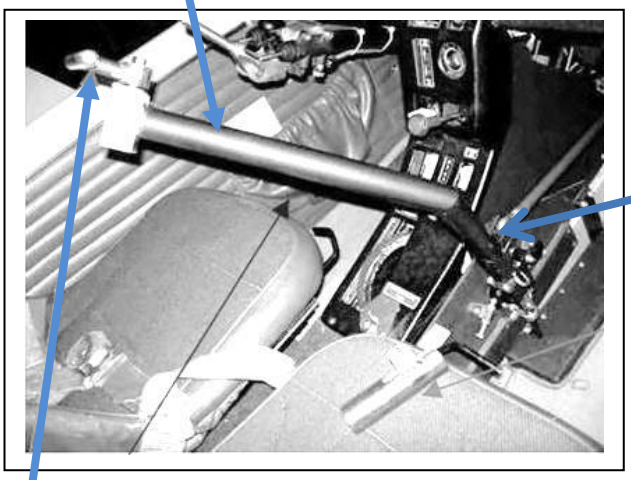


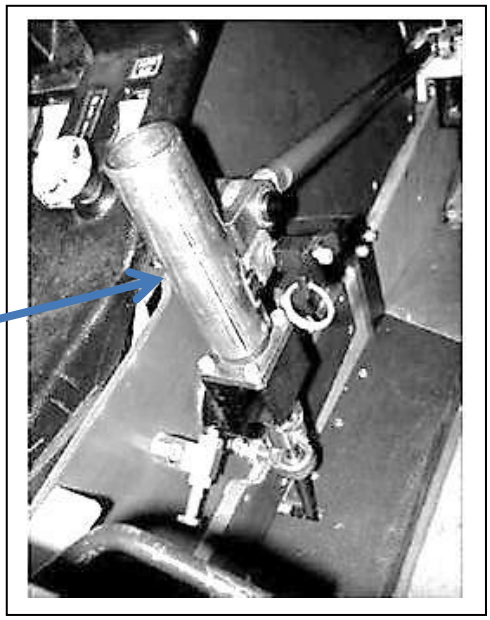


2008 : à l'heure des changements de réglementation, les malonniers pour Piper ont été les premiers certifiés et homologués aux normes européennes AESA, grâce notamment à l'expertise acquise par la DGAC depuis 30 ans dans l'étude technique des dossiers et des vols d'essais. À noter que pour les systèmes additionnels intervenant notamment sur les commandes de vols, il s'agit de modifications dites « majeures » qui nécessitent un Standard Type Certificate (S.T.C.) EASA adéquat, obtenu nécessairement par l'intermédiaire d'un atelier JAR 145.

- Malonnier mécanique sur ALPHA R2160

Levier de commande manuel des palonniers gauche et droit respectivement par action pousser et tirer



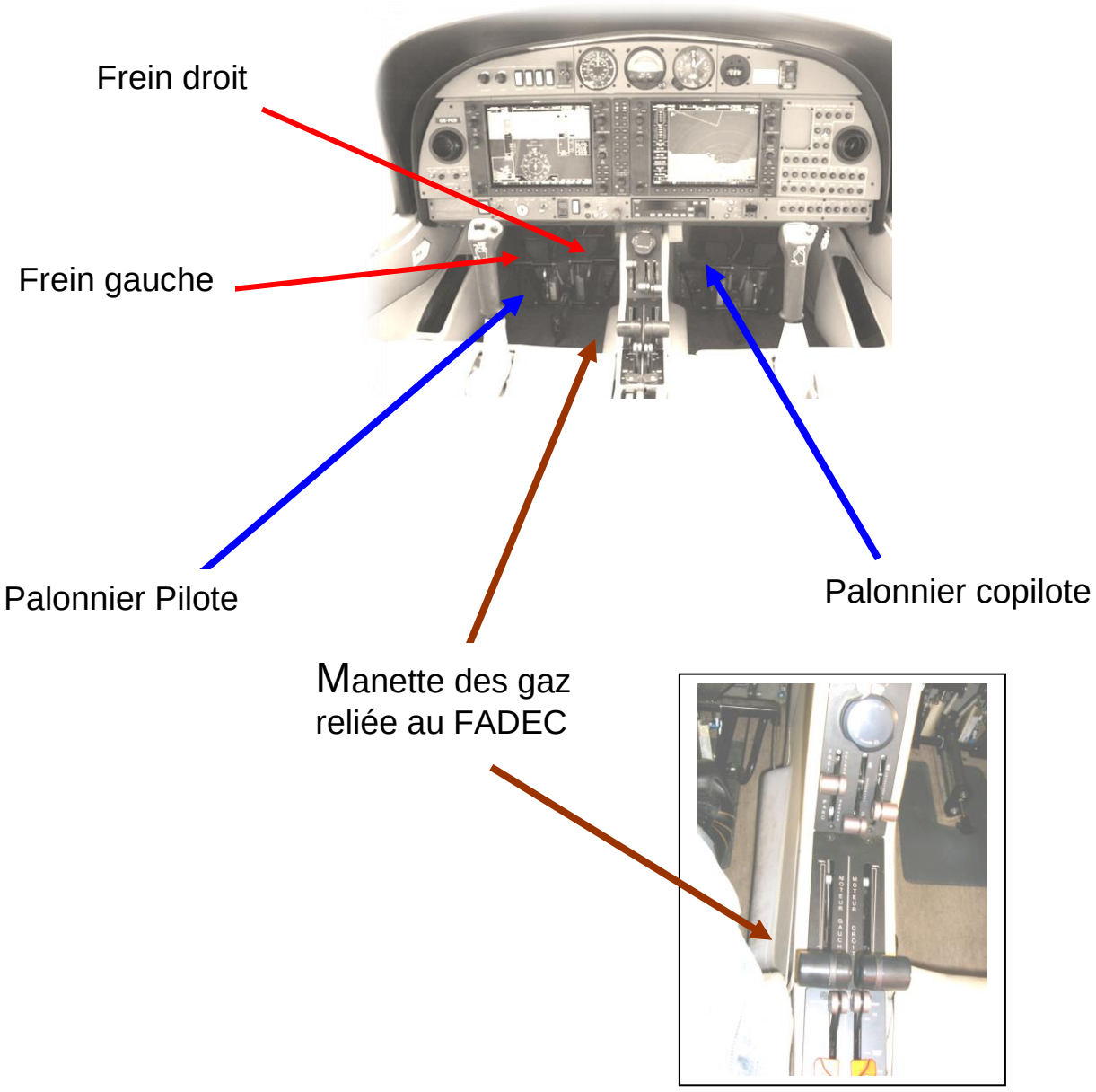


L'ajustement des gaz peut s'effectuer à l'aide de la commande additionnelle située à l'extrémité haute du levier, toutes les commandes d'origine sont évidemment conservées et opérationnelles.
Un mouvement de rotation du poignet agit sur la puissance. Action sur la partie haute pédale Gauche/Droite.

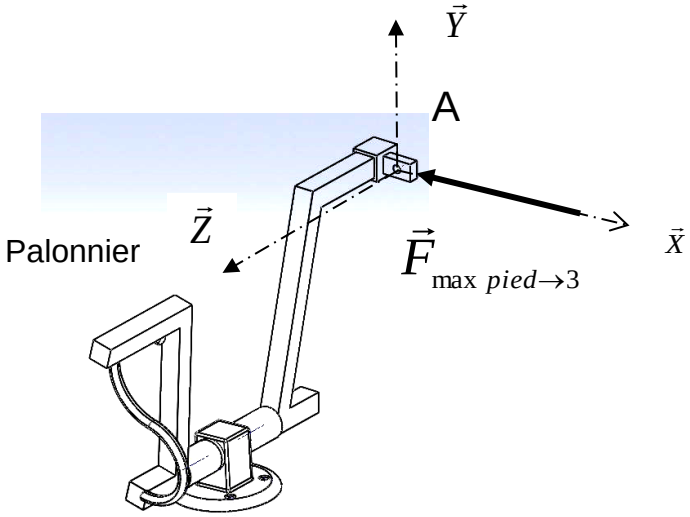
Lorsque la partie levier du malonnier est déconnectée, ne restent en place qu'un manchon de protection et bien évidemment le châssis fixe monté de part et d'autre de la console centrale au niveau du plancher ainsi que les autres éléments de connexion qui rejoignent les palonniers et le carburateur. Action sur la manette des gaz.

L'ensemble du levier est amovible (montage démontage au moyen d'une goupille « push pin » par le pilote en quelques secondes et sans compétence mécanique particulière). Action à gauche ou à droite.

DT3 – Vue du cockpit avant modification



DT4 – Données étude statique



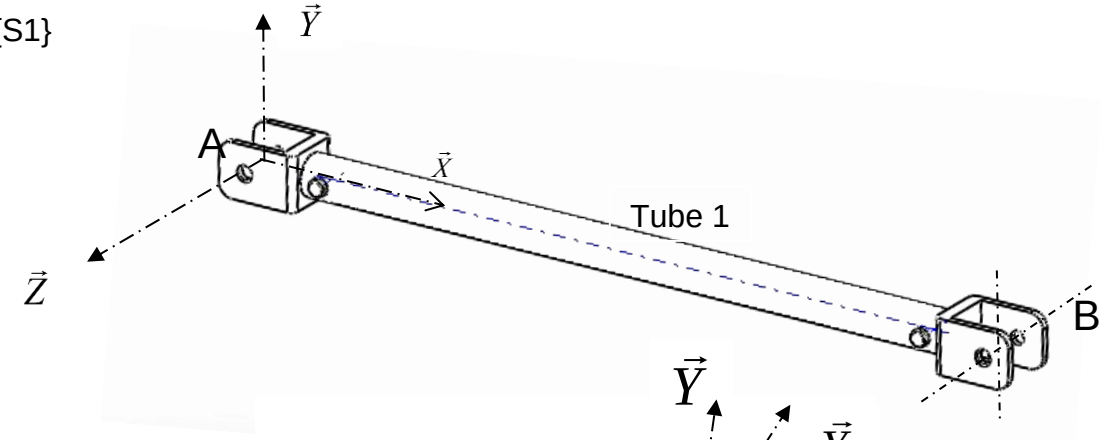
$\vec{F}_{\max\ pied\to 3} = -F.\vec{x}$

$\overrightarrow{CB} = -315.\vec{y} + 80.\vec{z}$

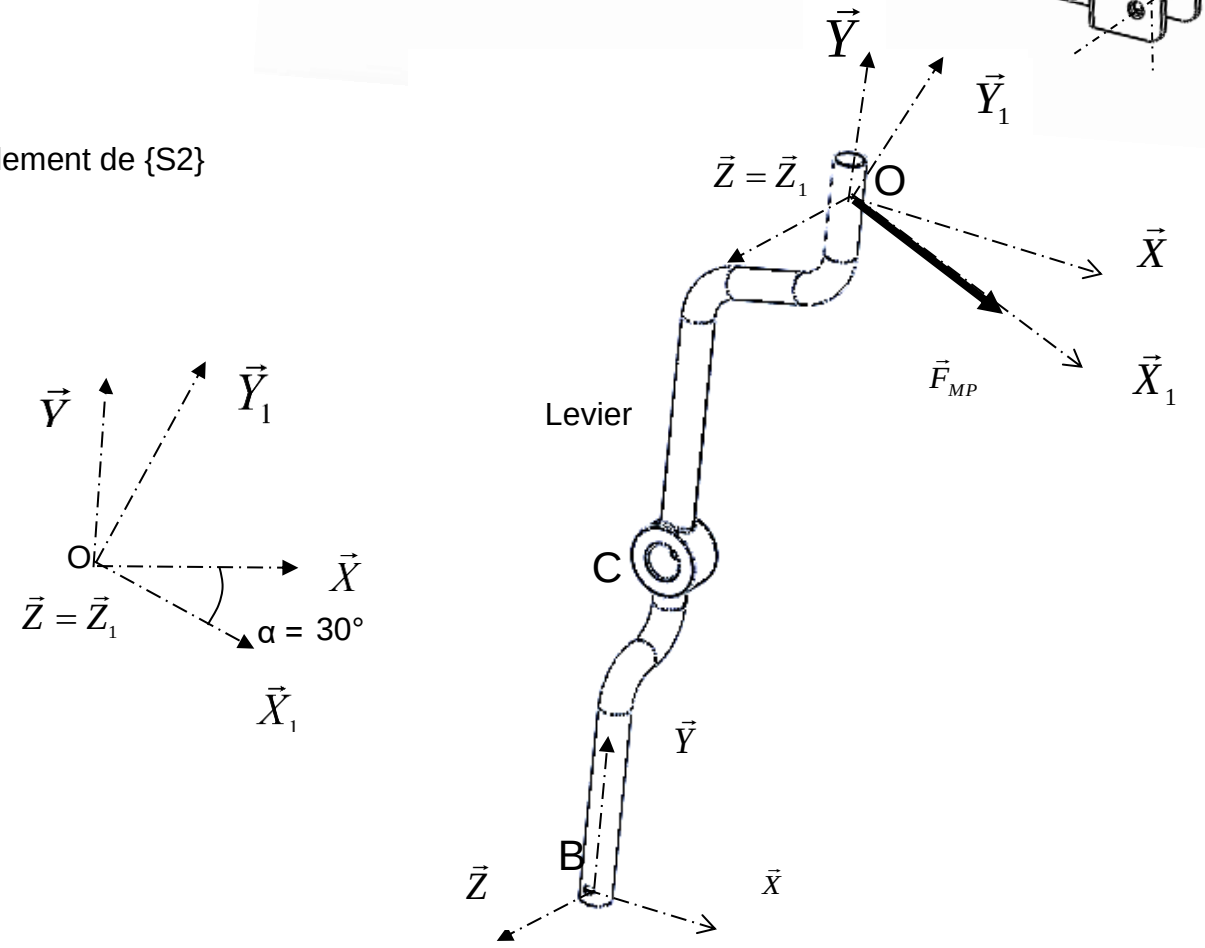
$\overrightarrow{CO} = 146.\vec{x} + 465.\vec{y}$

les cotes sont en mm

Isolement de {S1}



Isolement de {S2}



DT5 – Extrait de l'IPC *(feuillet 1/6)*

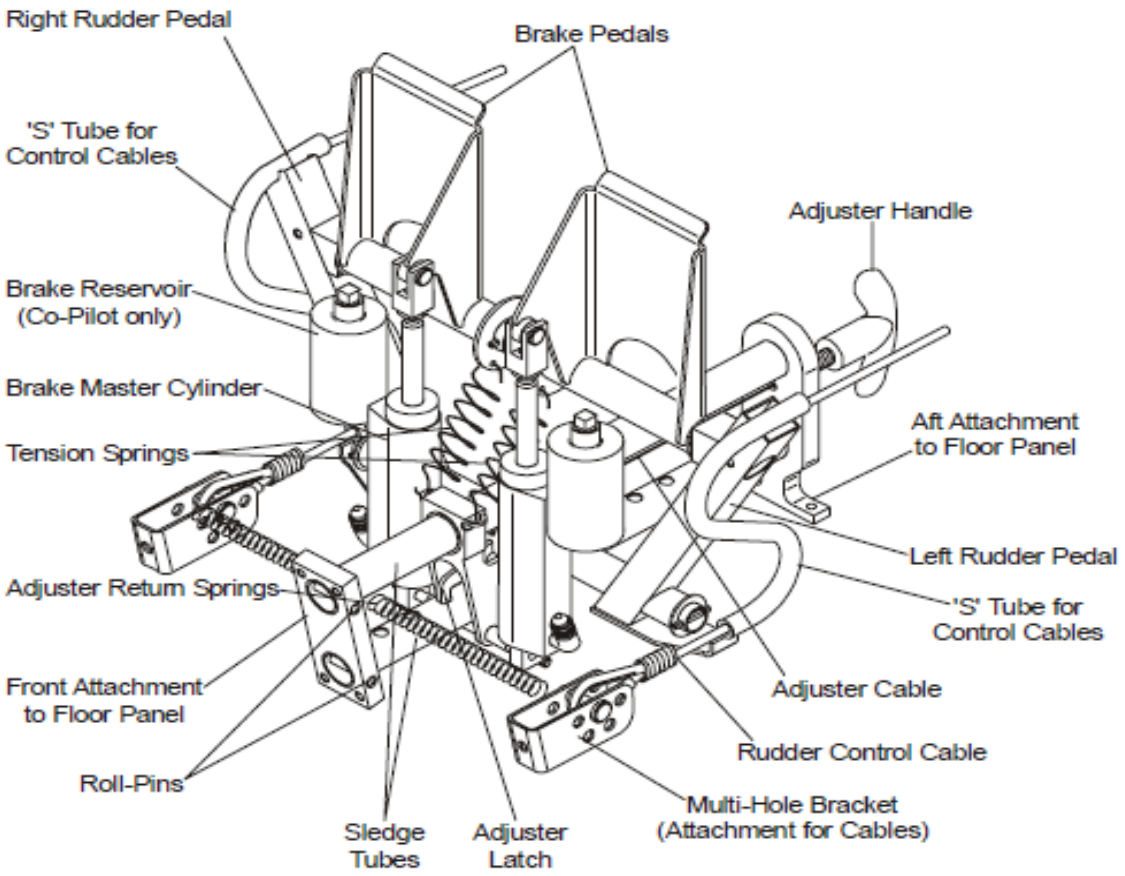
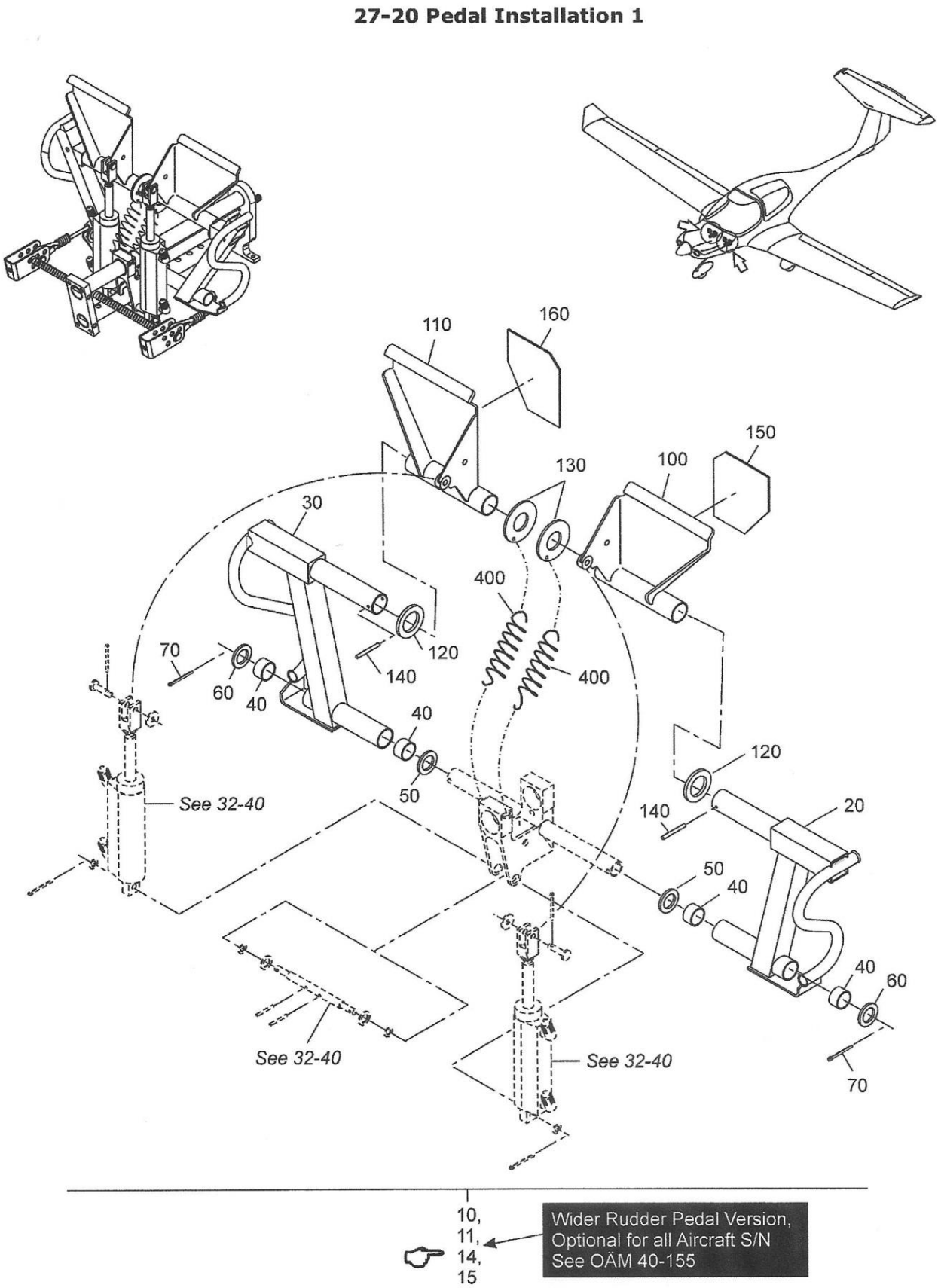


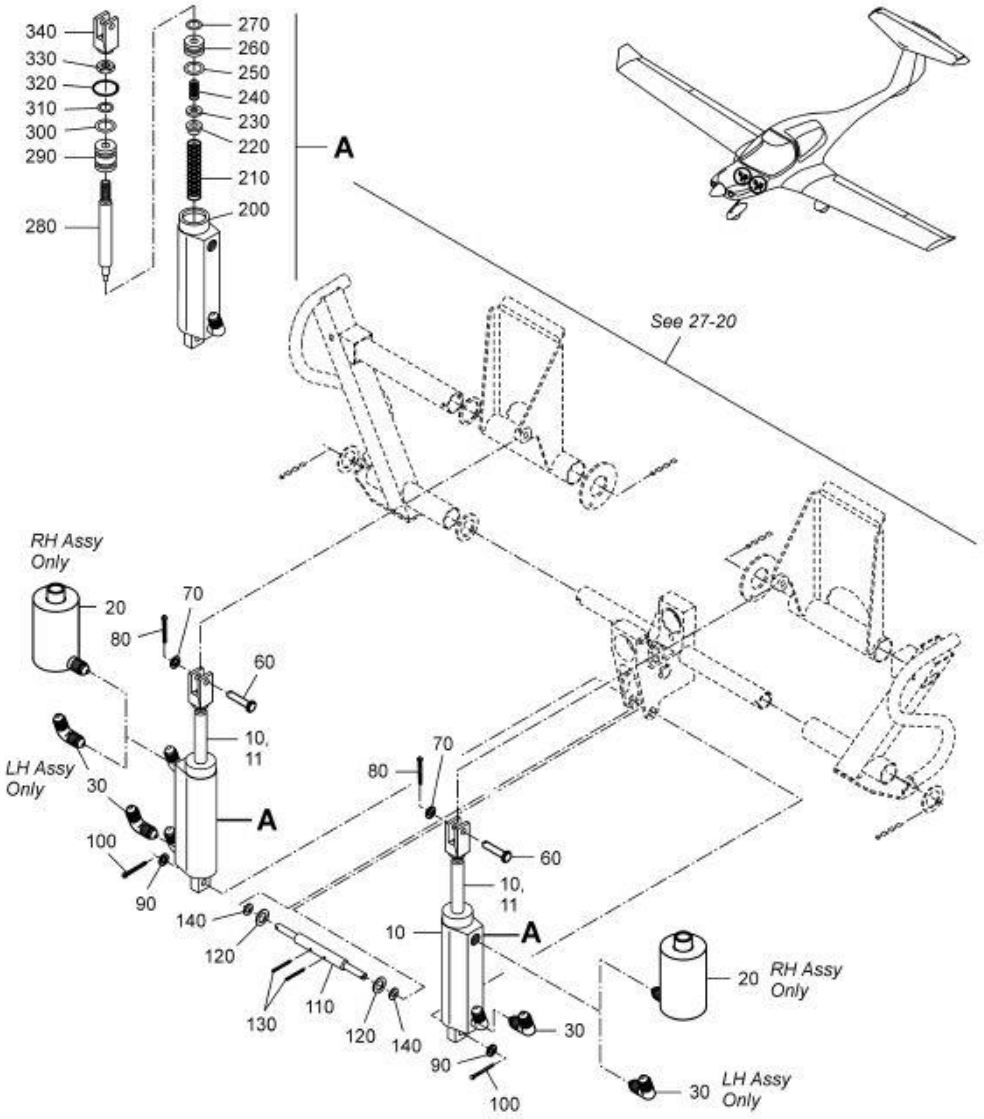
Figure 2: Rudder Pedal Assembly

DT5 – Extrait de l'IPC *(feuillet 2/6)*



DT5 – Extrait de l'IPC *(feuillet 3/6)*

32-40 Brake System Master Cylinders



Caractéristiques des vérins repérés A :

- ø tige d1 = 6 mm
- ø tête D1 = 9,6 mm

DT5 – Extrait de l'IPC *(feuillet 4/6)*

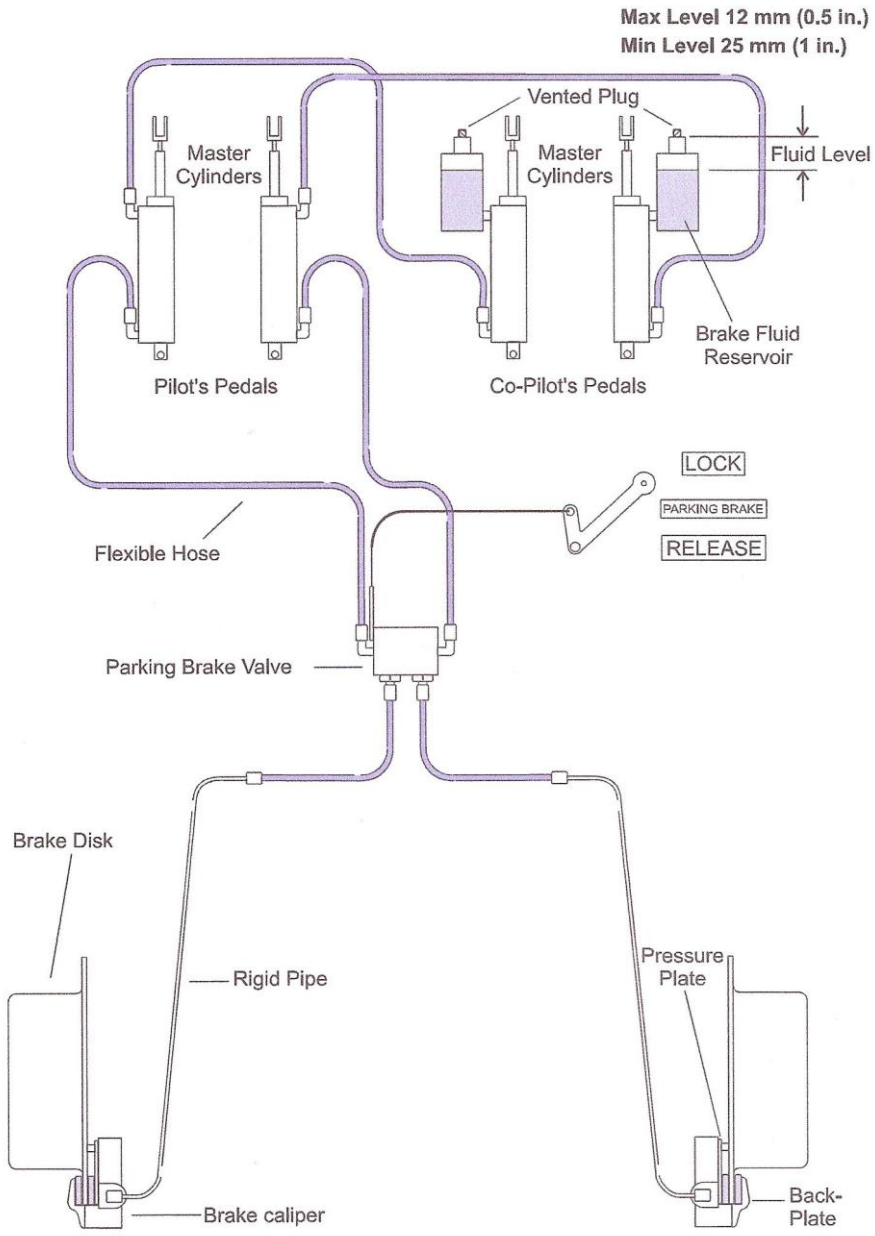
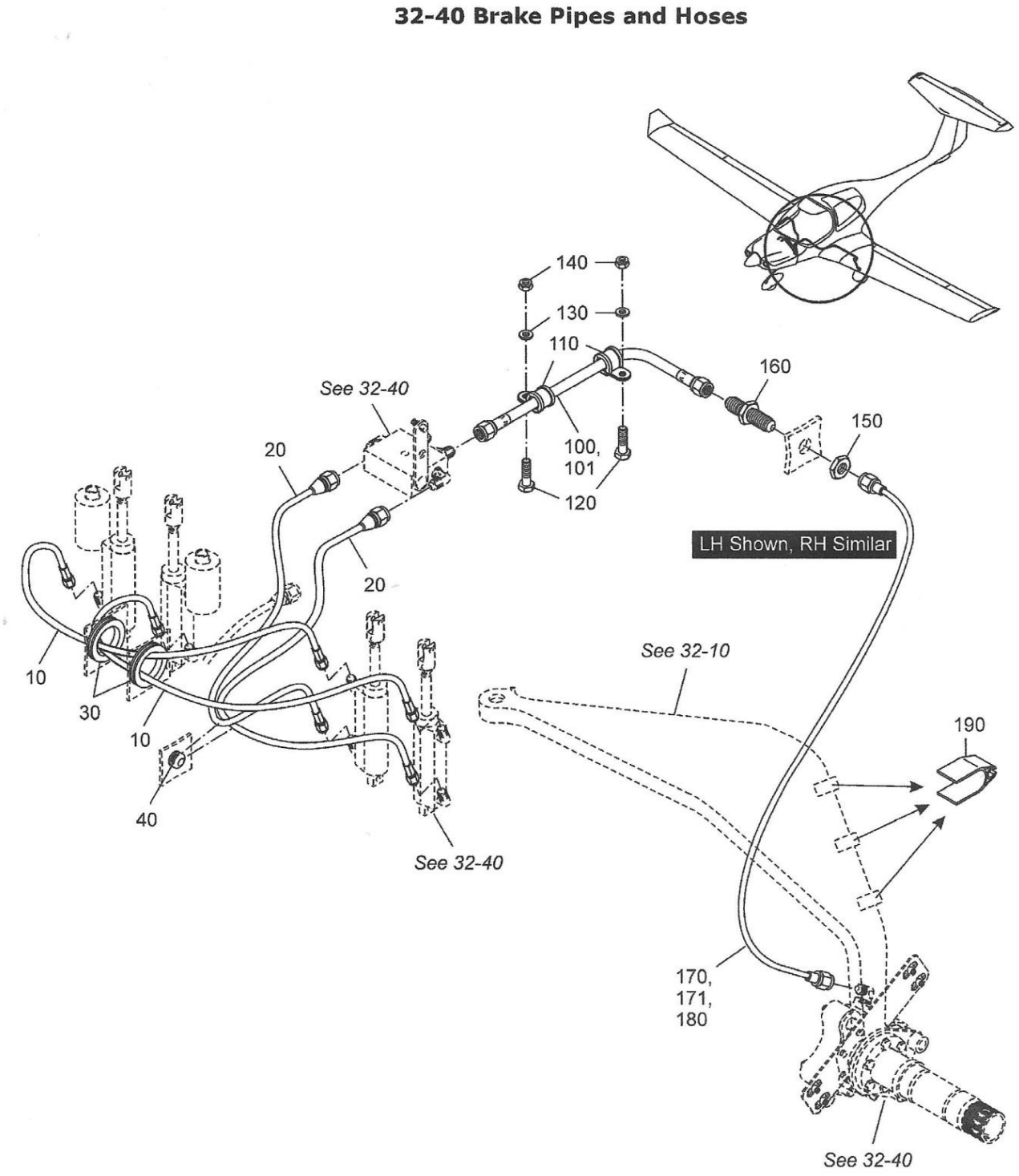


Figure 2: Brake System Schematic

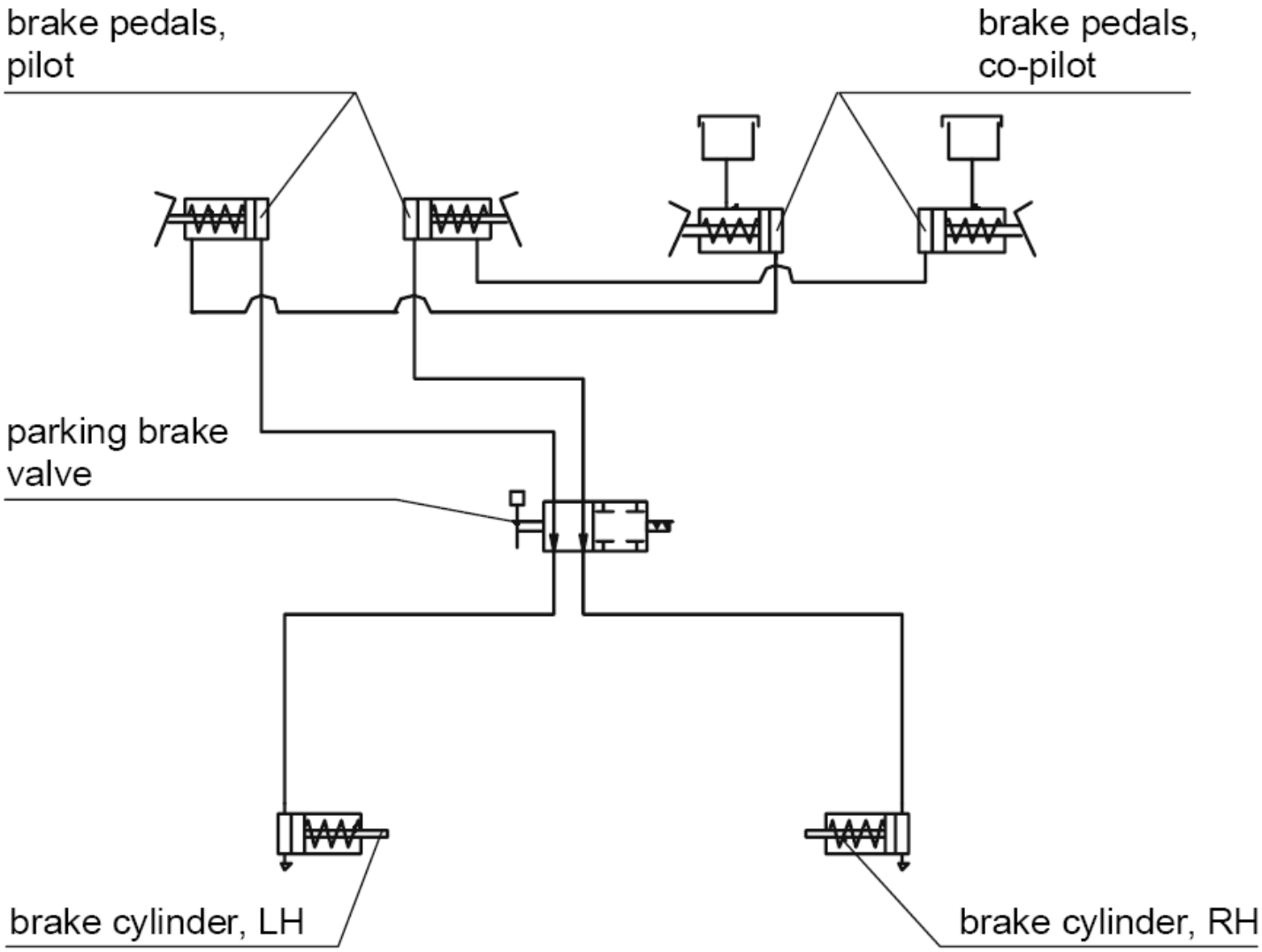
DT5 – Extrait de l'IPC *(feuillet 5/6)*



DT5 – Extrait de l'IPC *(feuillet 6/6)*

Étude hydraulique - Commande des freins

Schéma hydraulique de l'avion avant modification :



Caractéristiques des pistons de freins LH et RH :

- ø tige de piston d2 = 20 mm ;
- ø tête de piston D2 = 50,6 mm ;
- un piston par bloc de frein ;
- un bloc frein par roue.

L'effort sur le « brake cylinder » doit être au minimum de 2500 N afin d'assurer un freinage convenable.

CONTROLLABILITY AND MANOEUVRABILITY

CS 23.143 General

(a) The aeroplane must be safely controllable and manoeuvrable during all flight phases including –

(1) Take-off;

(2) Climb;

(3) Level flight;

(4) Descent;

(5) Go-around; and

(6) Landing (power on and power off) with the wing flaps extended and retracted.

(b) It must be possible to make a smooth transition from one flight condition to another (including turns and slips) without danger of exceeding the limit load factor, under any probable operating condition, (including, for multi-engined aeroplanes, those conditions normally encountered in the sudden failure of any engine).

(c) If marginal conditions exist with regard to required pilot strength, the control forces required must be determined by quantitative tests. In no case may the control forces under the conditions specified in sub-paragraphs (a) and (b), exceed those prescribed in the following table:

Values in Newton (pounds force) applied to the relevant control	Pitch	Roll	Yaw
For temporary application –			
Stick	267 N (60 lbf)	133 N (30 lbf)	- –
Wheel (two hands on rim)	334 N (75 lbf)	222 N (50 lbf)	- –
Wheel (one hand on rim)	222 N (50 lbf)	111 N (25 lbf)	- –
Rudder pedal			667 N (150lbf)
For prolonged application –	- –	- –	89 N (20 lbf)
	44,5 N (10 lbf)	22 N (5 lbf)	

CS 23.145 Longitudinal control

(a) With the aeroplane as nearly as possible in trim at 1·3 VS1, it must be possible, at speeds below the trim speed, to pitch the nose downward so that the rate of increase in airspeed allows prompt acceleration to the trim speed with –

(1) Maximum continuous power on each engine;

(2) Power off; and

(3) Wing flaps and landing gear –

(i) Retracted; and

(ii) Extended.

(b) It must be possible to carry out the following manoeuvres without requiring the application of single handed control forces exceeding those specified in CS 23.143 (c), unless otherwise stated. The trimming controls must not be adjusted during the manoeuvres:

(1) With landing gear extended and flaps retracted and the aeroplane as nearly as possible in trim at 1·4 VS1, extend the flaps as rapidly as possible and allow the airspeed to transition from 1·4 VS1 to 1·4 VS0, with –

(i) Power off; and

(ii) Power necessary to maintain level flight in the initial condition.

DT7 – Check-list pilote avant vol DA-40

PRÉPARATION POSTE

- Cales	Enlevées
- Frein de parc	Appliqué
- Documentation	En place
- Gilets	Si nécessaire
- Extincteur	Vérifié
- Micro main secours	En place et débranché
- Montre	Réglée
- ECU SWAP	Automatique
- Engine Master	OFF
- Turn Coordinator	Vérifié
- Alternate Air	Fermé
- Manette de puissance	Ralenti
- Compensateur	T/O
- Emergency fuel valve	Normal
- Panneau breakers	Vérifié
- Moyens COM et NAV	Préréglés
- Altimètre	QNH...hPa
- Temoin water level	Vérifié éteint
- Test panneau annonciateur	Effectué

AVANT MISE EN ROUTE

- Quantité carburant	Annoncée ... litres
- Avionics Master	OFF
- Porte arrière	Fermée, verrouillée
- Verrière avant	Position 1 ou 2
- Position light	ON

APRÈS MISE EN ROUTE

- Mano suction	Vérifié
- Charge alternateur	Vérifiée
- Avionics Master	ON
- Fuel transfer	Comme nécessaire
- Directionnel	Recalé
- Volets	UP

ROULAGE

- Heure bloc	Notée
- Freins	Essayés
- Instruments gyros	Vérifiés
- Commandes de vol	Essayées

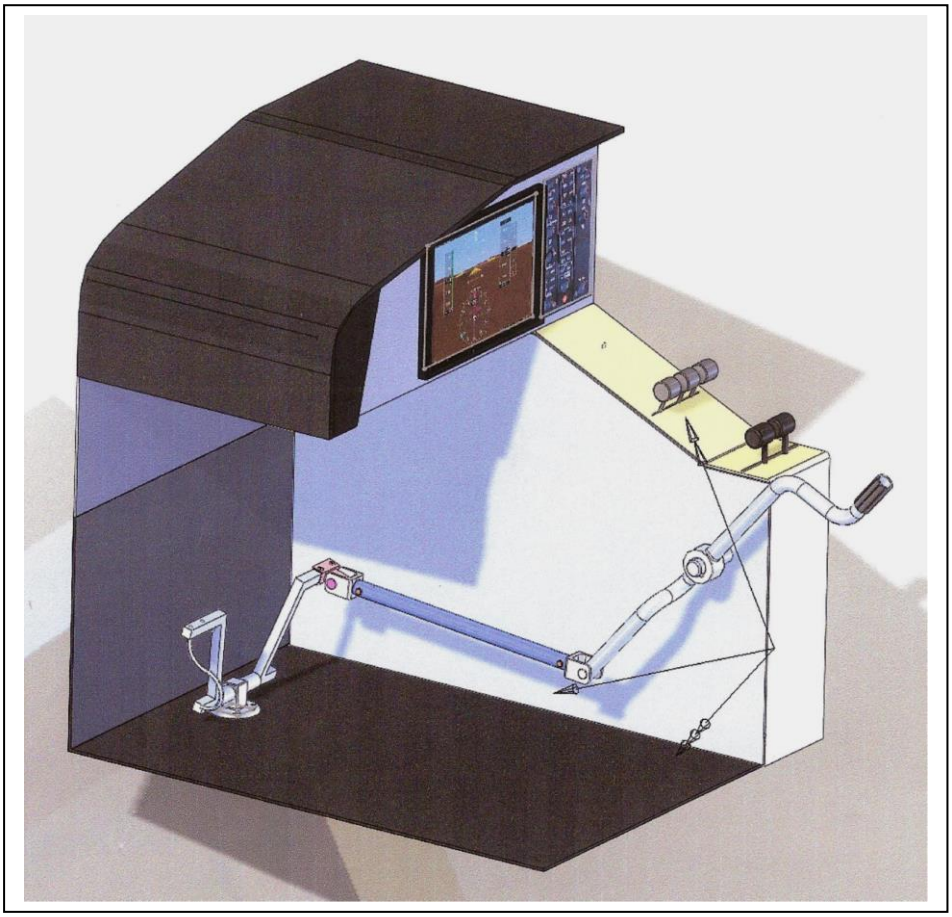
AVANT DÉCOLLAGE

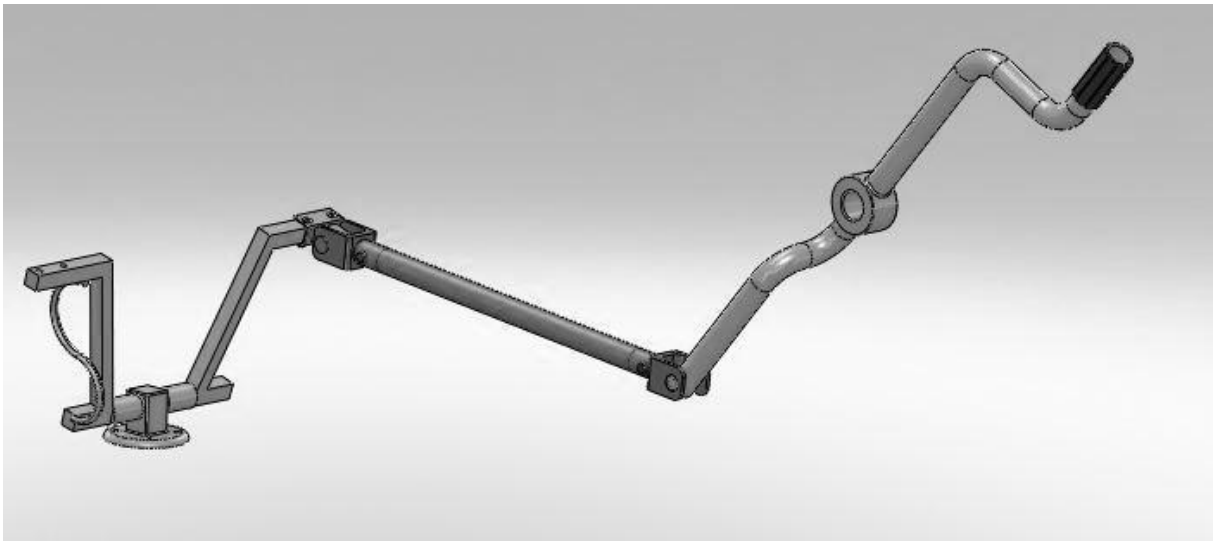
- Panneau annonciateur	Vérifié
- Altimètre	QNH ... hPa, vérifié
- Horizon	Préréglé + 2°
- CED – AED	Vérifiés
- Fuel transfer	OFF
- Compensateur	T/O
- Volets	T/O
- Porte et verrière	Fermées, verrouillées
- PEQ et PAX	Attachés
- Briefing décollage	Effectué

ESSAI MOTEUR

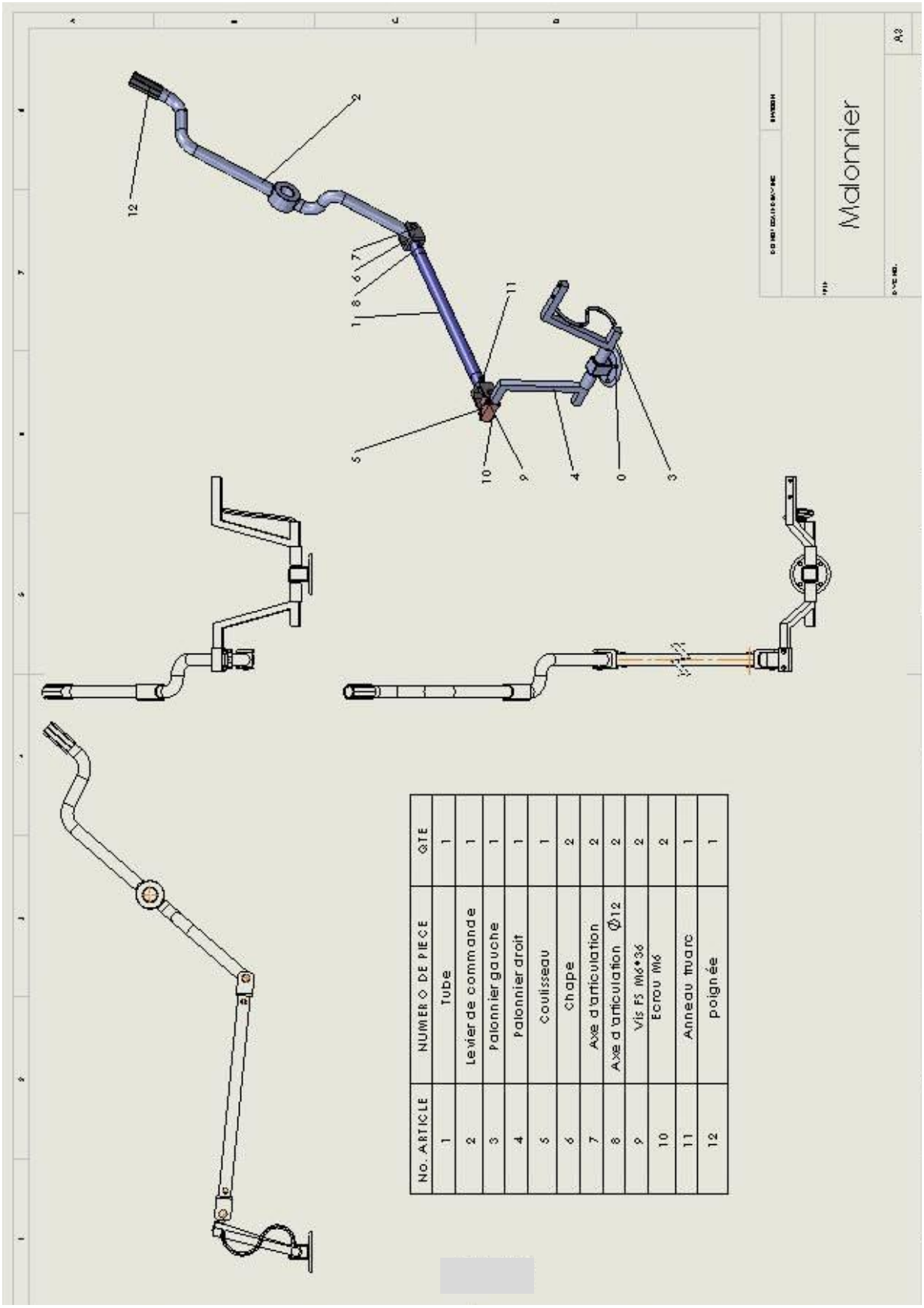
- Plein gaz

DT8 – Étude d'une solution du bureau technique



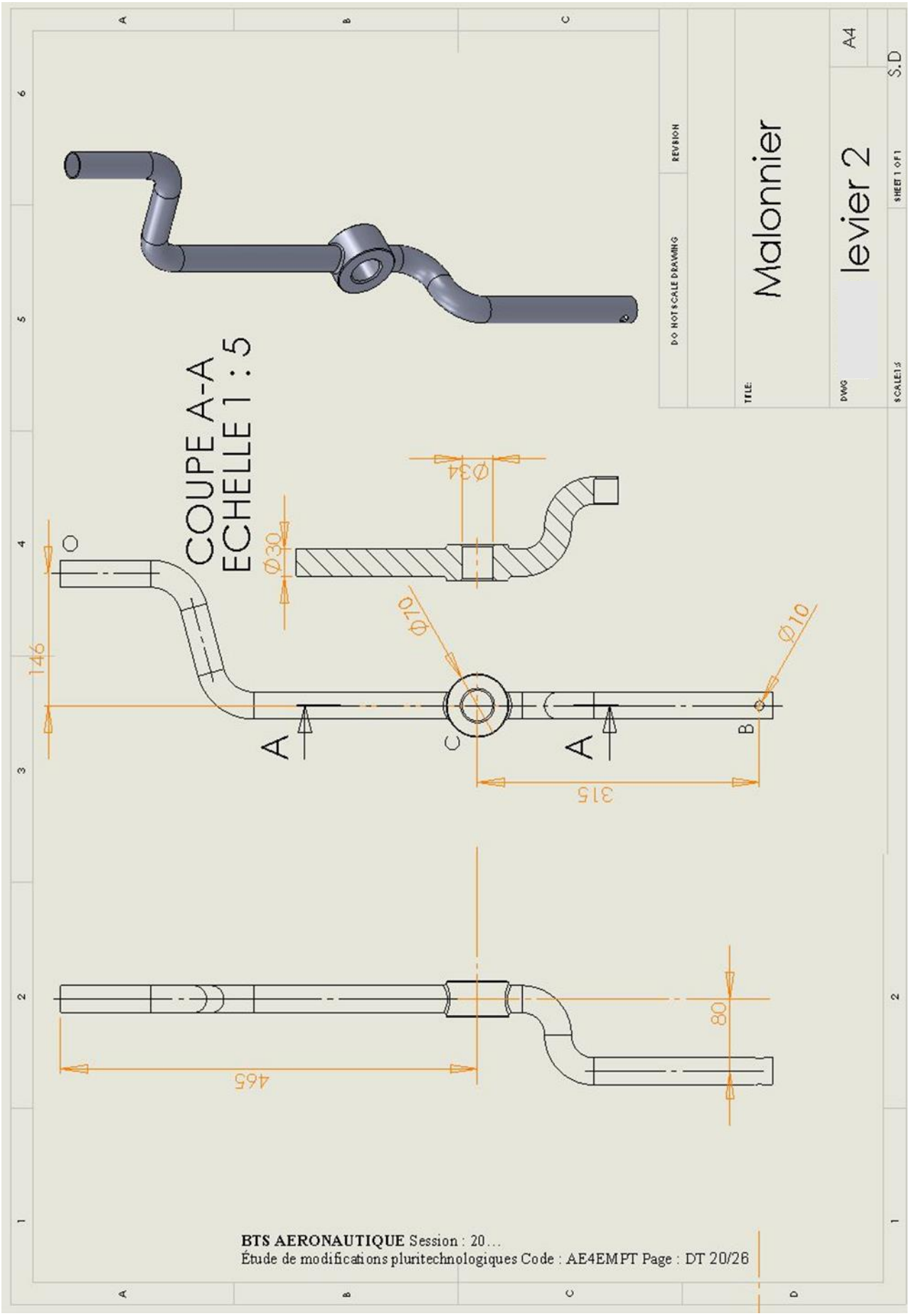


DT9 – Dessin et nomenclature du malonnier

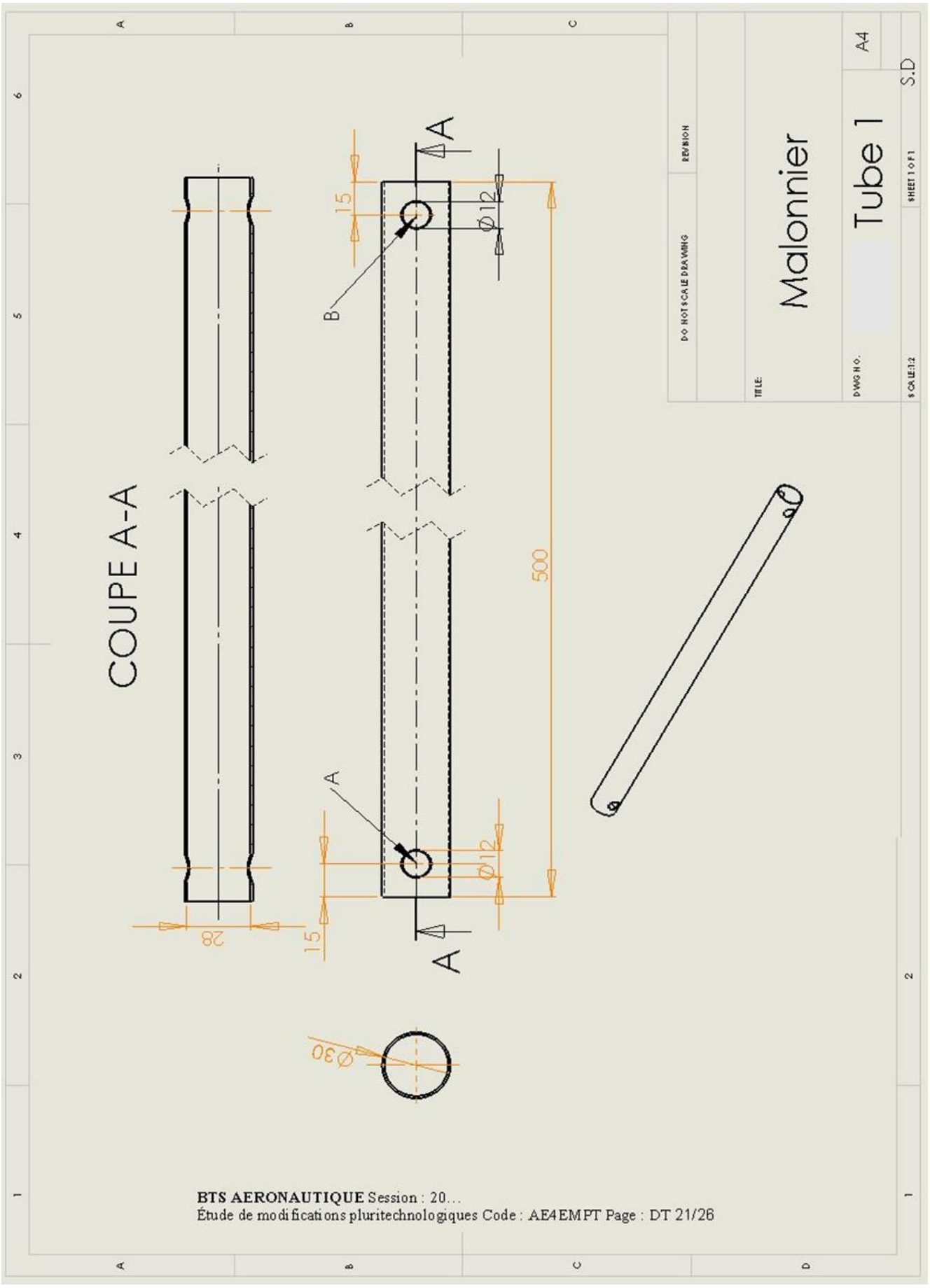


NO. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	QTE
1	Tube	1
2	Levier de commande	1
3	Palonnier gauche	1
4	Palonnier droit	1
5	Coulisseau	1
6	Chape	2
7	Axe d'articulation	2
8	Axe d'articulation Ø12	2
9	Vis FS M6*36	2
10	Ecrou M6	2
11	Anneau mare	1
12	poignée	1

DT10 – Dessin de définition du levier 2



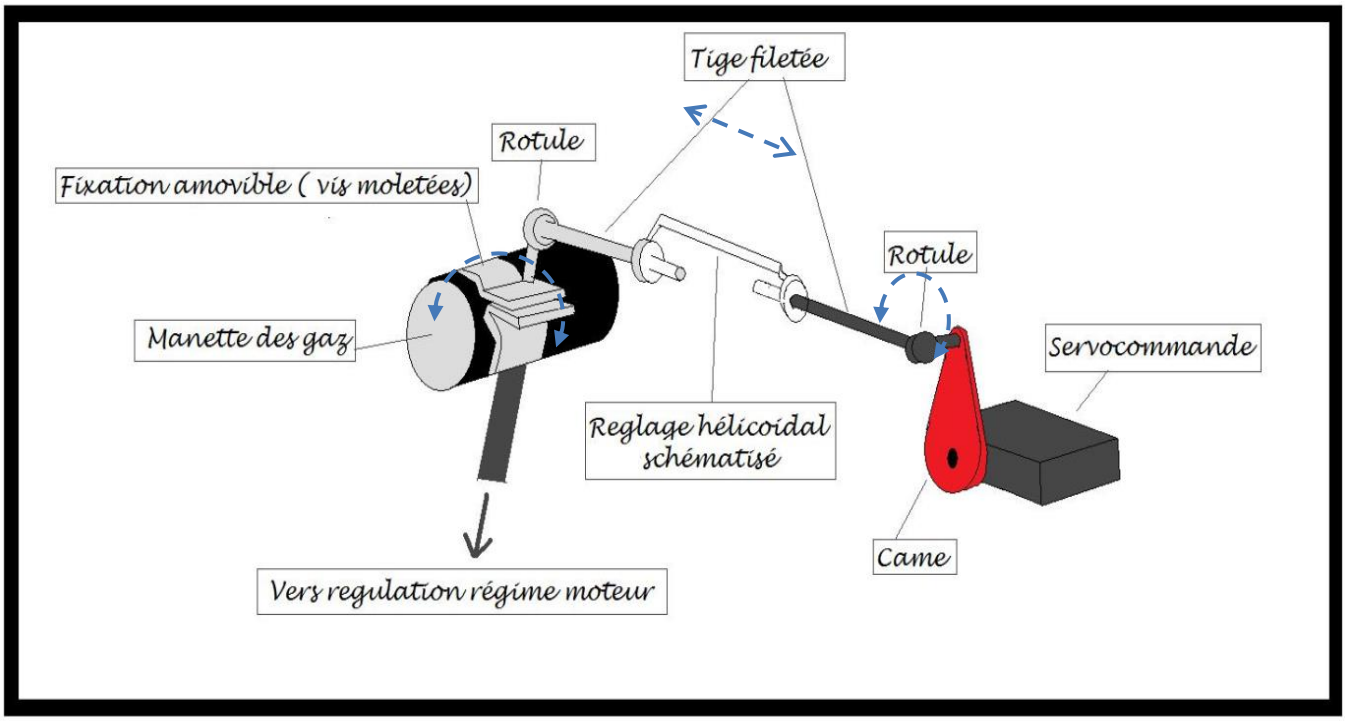
DT11 – Dessin de définition du tube 1



DT12 – Étude électrique de la commande des gaz

D'après le constat dressé qui nous prive d'un système rattaché directement sur le potentiomètre de la manette des gaz (et donc au FADEC), la solution envisagée est basée sur une commande électrique montée parallèlement au système d'origine de l'avion en ne causant aucune interférence néfaste avec celui-ci. Le choix se porte sur un système mécanique de transmission et de conversion de mouvement par l'intermédiaire d'une servocommande. L'action du bras du pilote sera robotisée avec un système électrique.
Ce dernier, en actionnant un potentiomètre de précision monté sur le bras du malonnier, fera pivoter la servocommande dans un sens ou dans l'autre qui elle, transmettra le mouvement à la manette des gaz par l'intermédiaire d'un bras qui ne sera pas étudié durant l'épreuve.
Ce système permettra au pilote de commander son moteur tout en gardant le contrôle du malonnier.
Afin d'assurer l'indépendance de l'alimentation du système rendue obligatoire par le cahier des charges, des batteries rechargeables seront utilisées (normal et secours), faciles à mettre en œuvre et occupant peu d'espace.

Schéma de l'installation :



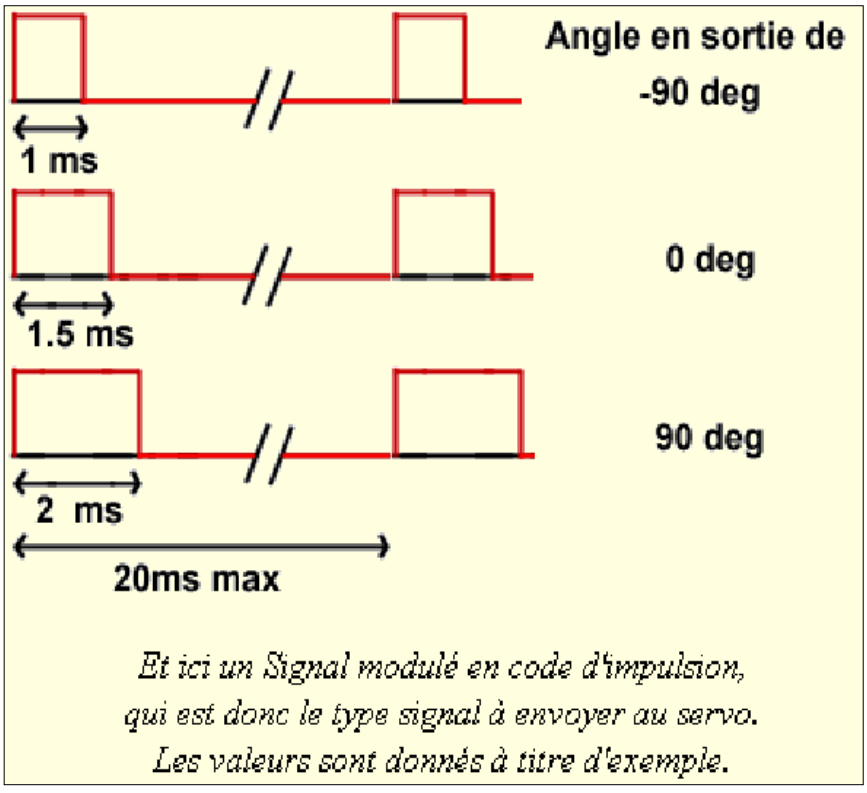
DT13 – Servocommande : DS 3288 BB MG

Afin d'assurer la génération d'un mouvement de rotation nécessaire au fonctionnement, on utilise une servocommande. En effet, ce type de composant électronique offre l'avantage d'être robuste, précis et peu encombrant, ce qui correspond aux critères de fiabilité et d'utilisation imposés. D'un point de vue mécanique, la génération du mouvement est assurée par un système de pignonnerie métallique, assurant une bonne résistance dans le temps.

Caractéristiques techniques

Tension d'alimentation : 4,8 - 6,0 V
Consommation à vide : environ 9 mA
Consommation max. avec 4,8 V : environ 1110 mA
Consommation max. avec 6,0 V : environ 1240 mA
Couple avec 4,8 V : environ 64 N·cm
Couple avec 6,0 V : environ 76 N·cm
Couple max. avec 4,8 V : environ 135 N·cm
Couple max. avec 6,0 V : environ 159 N·cm
Débattement avec trim : environ 2 x 45
Temps de résolution avec 4,8 V : environ 0,11 s / 40°
Temps de résolution avec 6,0 V : environ 0,09 s / 40°
Poids : environ 21,5 g
Pignonnerie : MG
Paliers : 2 x BB
Dimensions (L x l x h) : environ 30 mm x 11 mm x 29 mm

Concernant la commande du servomoteur, celle-ci s'effectue par signal à largeur d'impulsion variable. L'entrée du composant est composée de trois fils :
- la borne d'alimentation +Vcc
- la masse
- la commande

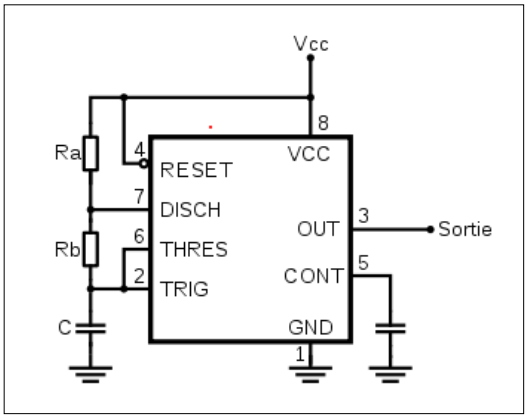


La période du signal de commande ne doit pas excéder 20 ms (0.02 s) et la largeur des impulsions est proportionnelle à l'angle de rotation de la servocommande. On parle de « signal-code modulated signal » ou signal modulé en code d'impulsion. Ce type de signal est obtenu grâce une carte de commande capable de créer un signal de 50Hz rectangulaire à sa sortie mais qui permet en même temps la modification de la largeur des impulsions pour la commande de l'angle affiché par la servocommande.

DT14 – Carte de commande *(feuillet 1/2)*

Utilisation d'un circuit intégré NE555, composé de deux amplificateurs opérationnels en mode comparateur dont un en inverseur et l'autre non-inverseur, ainsi que d'une bascule Set-Reset.
Pour cela, on va utiliser un montage astable qui, entre autres, permet de générer un signal à deux états variables quasi stables et une oscillation entre les deux, sans signal externe de déclenchement.

La configuration astable permet d'utiliser le NE555 **comme oscillateur**.



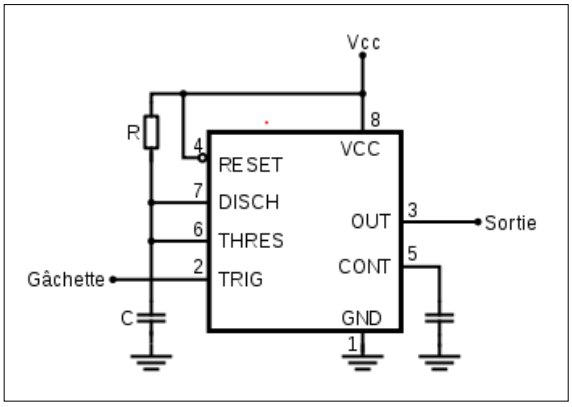
Deux résistances et un condensateur permettent de modifier la fréquence d'oscillations ainsi que le rapport cyclique. L'arrangement des composants est tel que présenté par le schéma ci-contre.

Afin d'obtenir une période maximale de 20 ms, la résistance Rb sera calculée et aura une valeur fixe. De plus un condensateur peut être rajouté en parallèle entre la borne 8 et 1 pour éviter une oscillation parasite du signal.

$$Th = 0{,}69(Ra + Rb).C \quad \text{et} \quad Tb = 0{,}69.Rb.C$$

Th : temps haut — Tb : temps bas

Modification de la largeur d'impulsion du signal de commande :



Afin de pouvoir modifier l'angle affiché par la servocommande, il faut donc agir sur la largeur d'impulsion. On utilise pour cela un circuit intégré monostable avec une résistance variable qui sera en fait le potentiomètre de commande des gaz.
L'utilisation du NE555 en configuration monostable permet de **générer une impulsion unique d'une durée définie** à l'aide d'une résistance et d'un condensateur comme illustrée dans le schéma ci-contre. **Une impulsion est engendrée** suite **à l'application d'un front descendant à l'entrée du circuit**.

La durée de l'impulsion t_w est donnée par la formule suivante : $t_w = 1{,}1.R.C$

Ici, **R** représente la somme de la résistance (fixe) et de la résistance du potentiomètre (variable). t**w**, la durée de l'impulsion, devra être calculée en fonction de la valeur maximale et minimale du potentiomètre et être comprise entre 1 et 2,5 millisecondes. La précision du système dépend en grande partie de la précision du potentiomètre.
Au final, par la réalisation d'un montage astable envoyant un signal vers un montage monostable, la commande de la servocommande est réalisée de manière simple et efficace à l'aide d'un potentiomètre de précision.

Batteries 6 V

L'alimentation de la carte de commande est assurée par des accumulateurs rechargeables. La tension maximum d'alimentation de la servocommande est de 6V. La batterie a été sélectionnée après étude de la consommation du circuit au repos et en fonction.

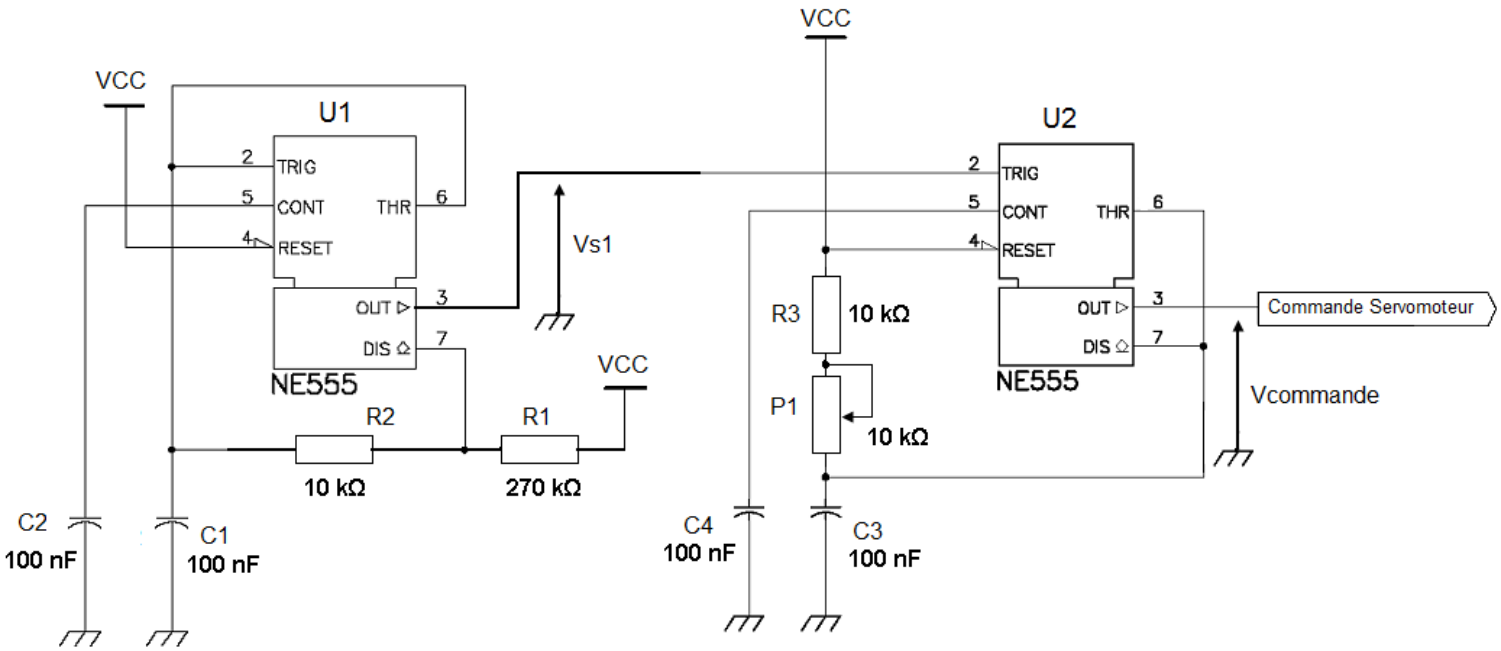
Capacité	1800 mAh
Courant de charge	170 mA
Dimensions L x l x H	72 x 50 x 47
Format du boîtier	CS
Tension nominale	6 V

Kit de test de la servocommande

Ce kit est une carte génératrice d'impulsions à largeur variable permettant de commander une servocommande sur un secteur angulaire de 180°, avec un potentiomètre intégré. Cela va donc permettre de l'insérer directement dans le manche du malonnier.

Le schéma de structure retenu est le suivant :

Schéma de commande du Servomoteur



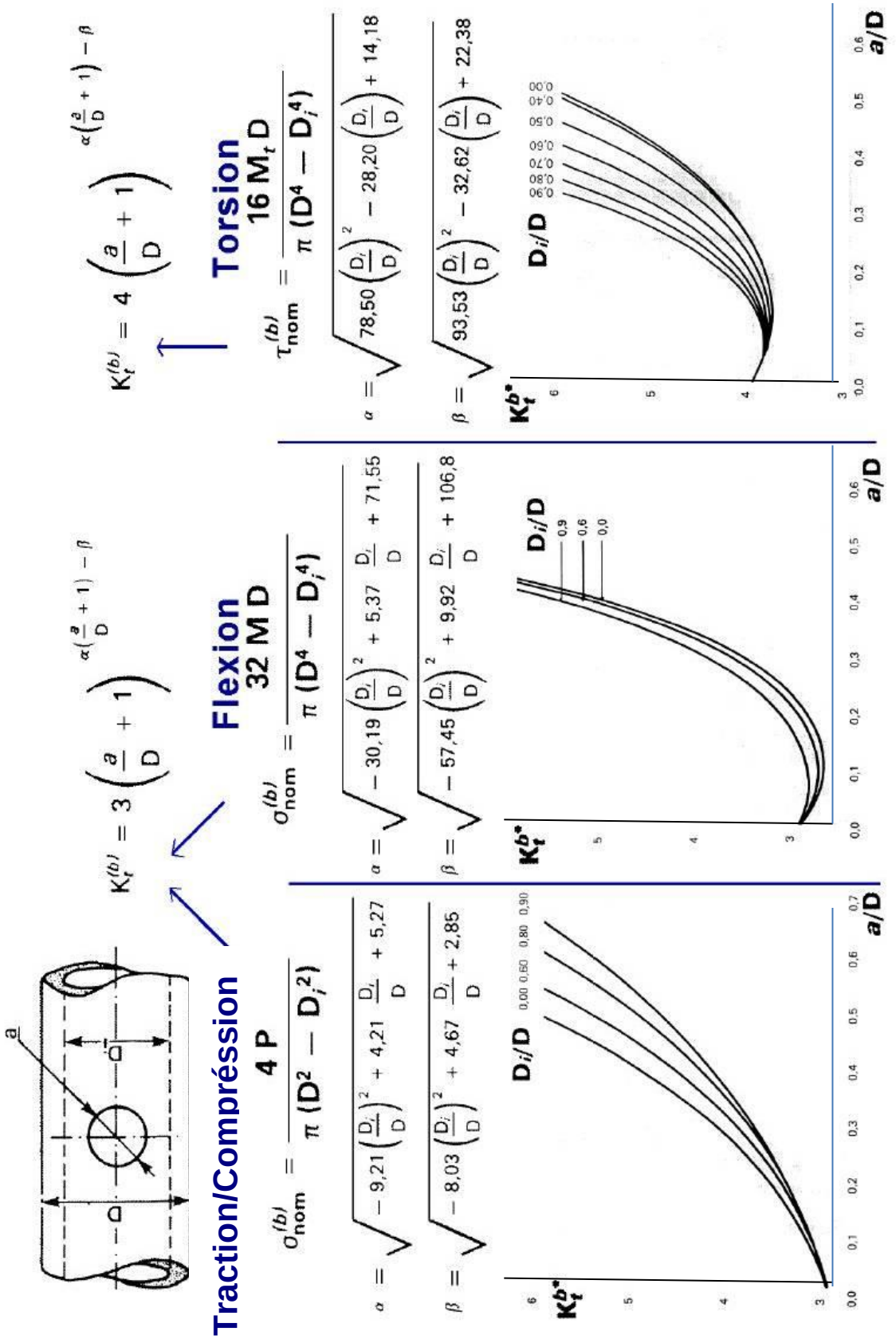
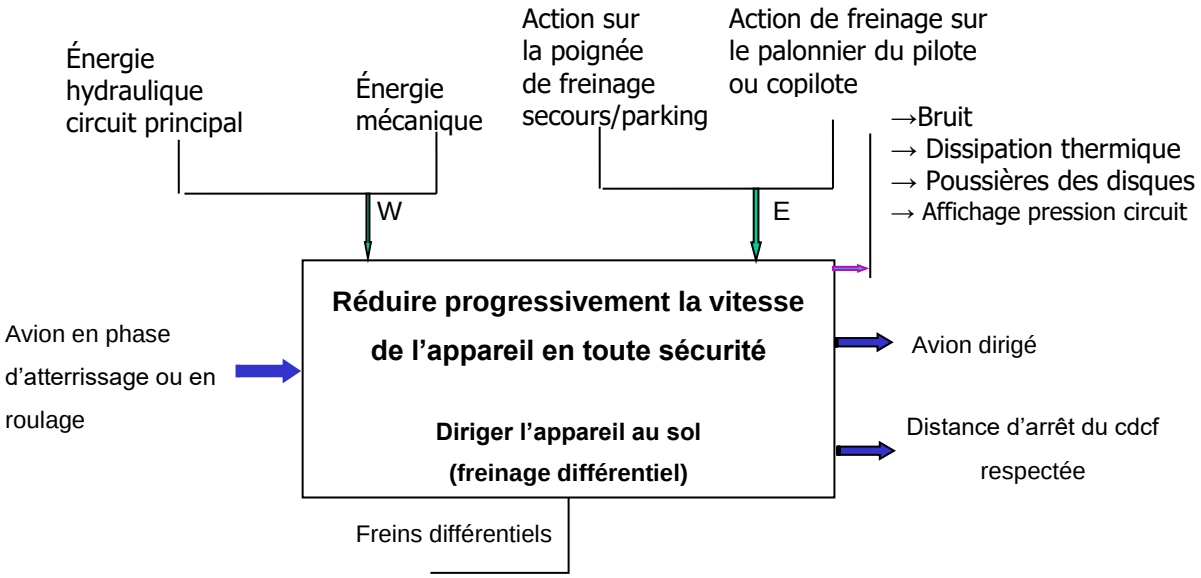


Figure 7 : Détermination de K_t pour un arbre creux avec trou transversal

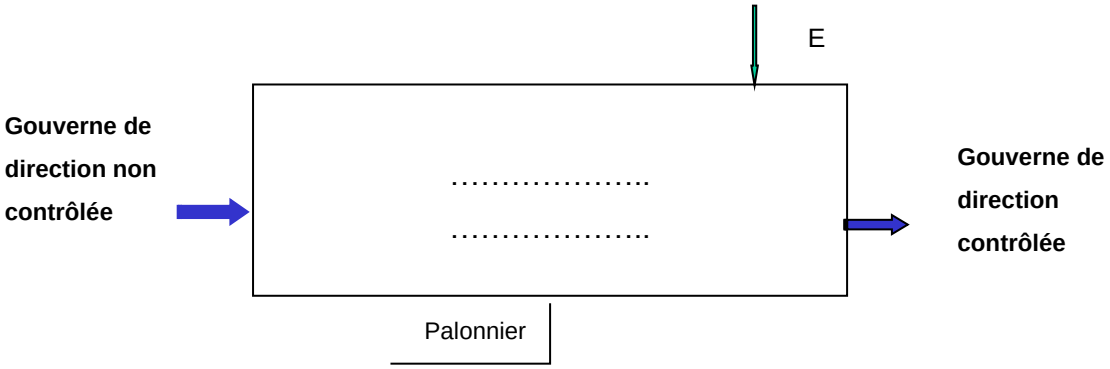
DR1 – Document réponse 1

Question 1.1

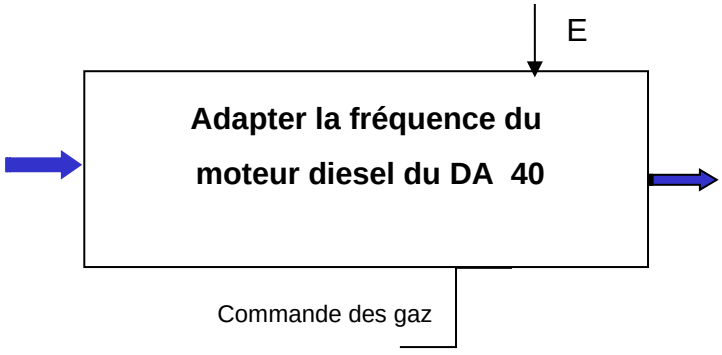
Exemple résolu de bloc fonctionnel A-0 pour les freins différentiels :



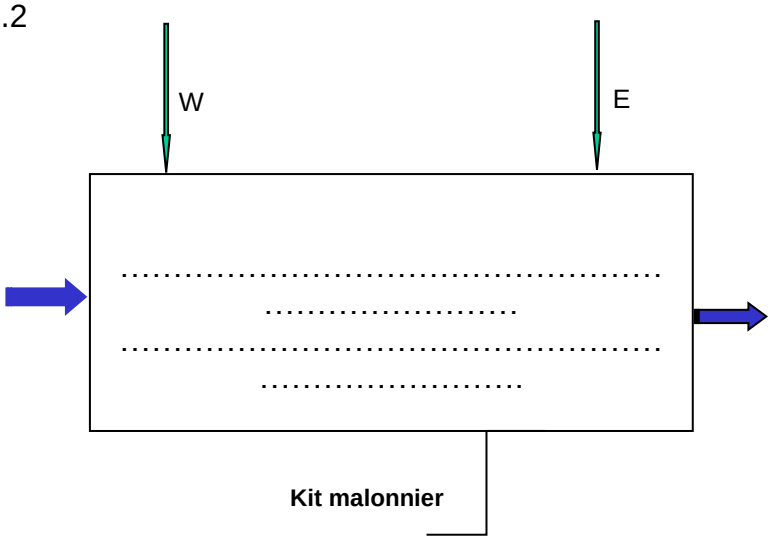
À compléter : Bloc fonctionnel de niveau A-0 pour le palonnier :

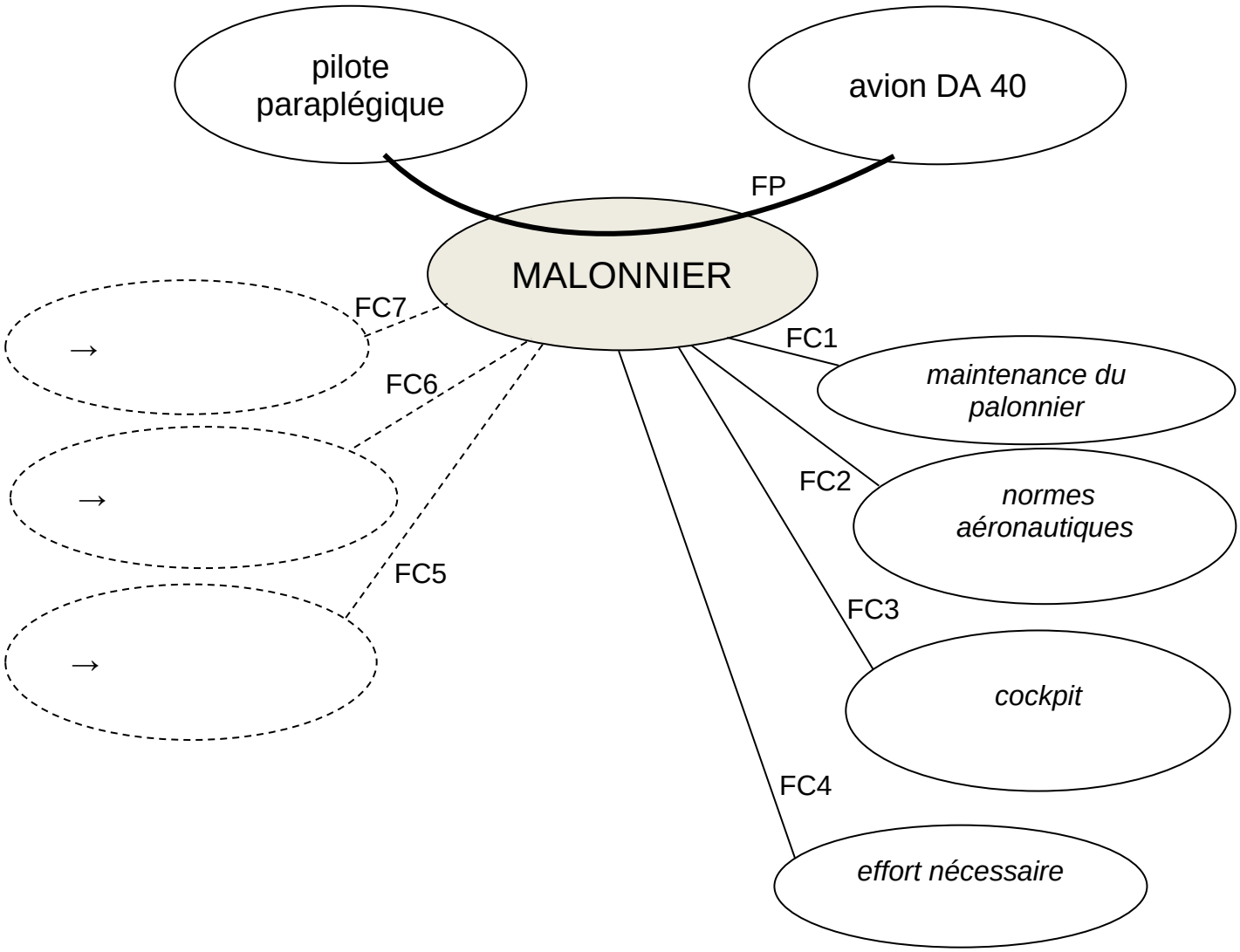


À compléter : Bloc fonctionnel de niveau A-0 pour la commande des gaz :



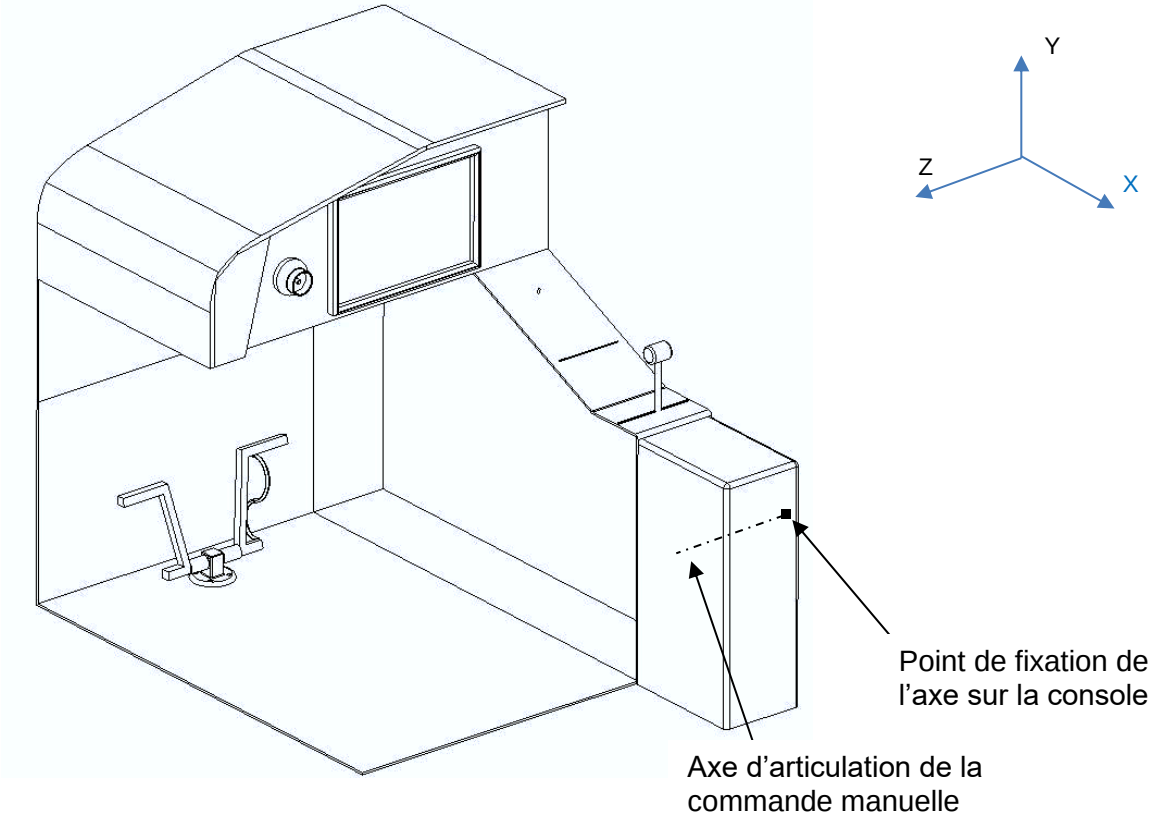
Question 1.2


W
E
.....
.....
.....
.....
Kit malonnier


pilote paraplégique
avion DA 40
FP
MALONNIER
FC7
FC6
FC5
FC1
FC2
FC3
FC4
→
→
→
maintenance du palonnier
normes aéronautiques
cockpit
effort nécessaire

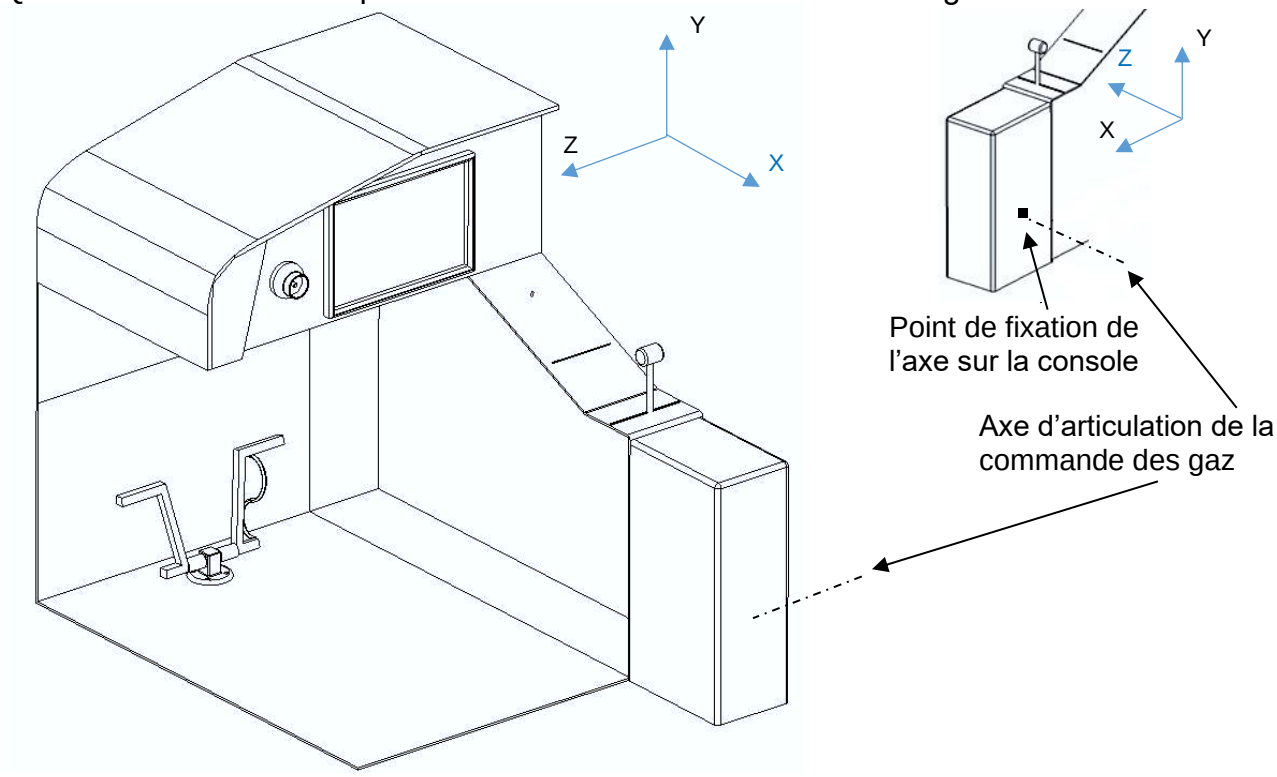
DR3 – Document réponse 3

Question 2.1 : schéma représentant l'action sur le palonnier à l'aide d'une main :



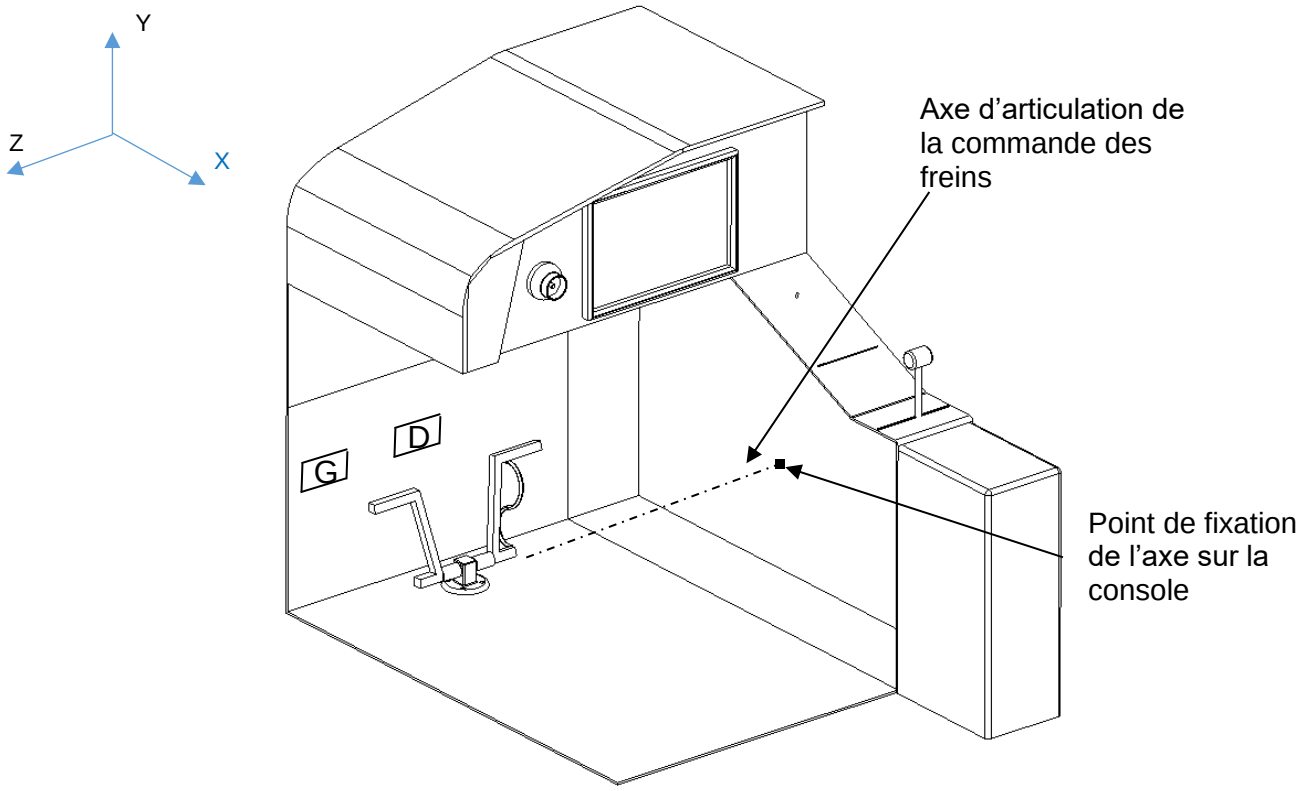
Question 2.2 : FADEC : →

Question 2.3 : schéma représentant l'action sur la commande des gaz :



DR4 – Document réponse 4

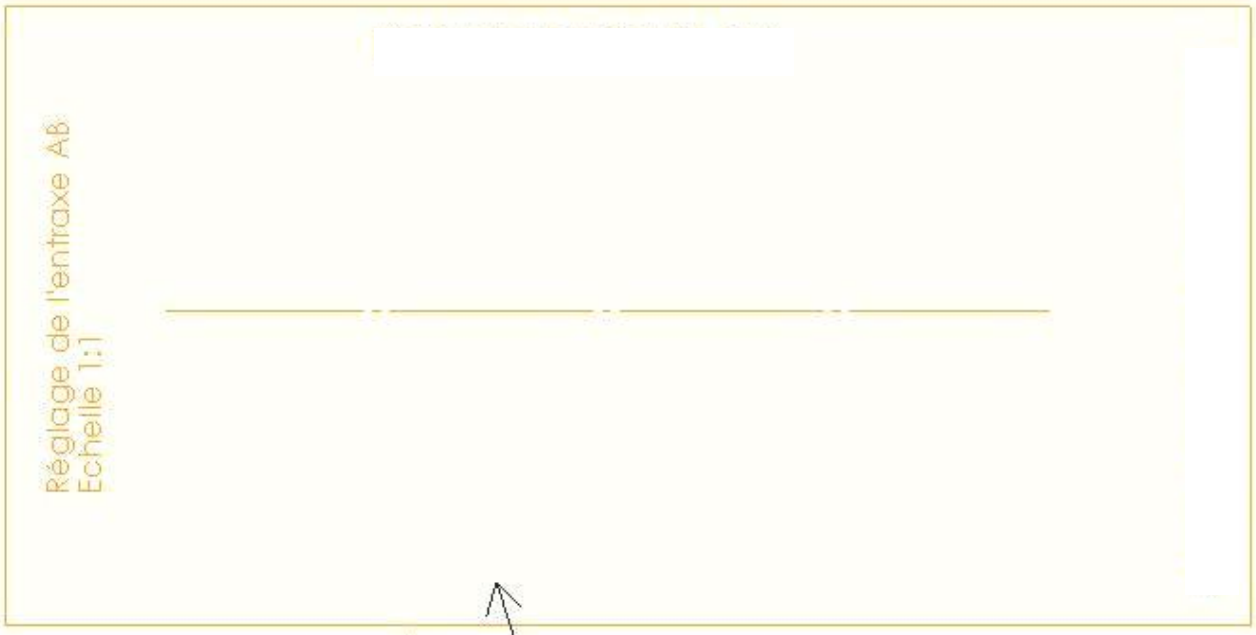
Question 2.4 : schéma représentant l'action sur les pédales gauche et droite :



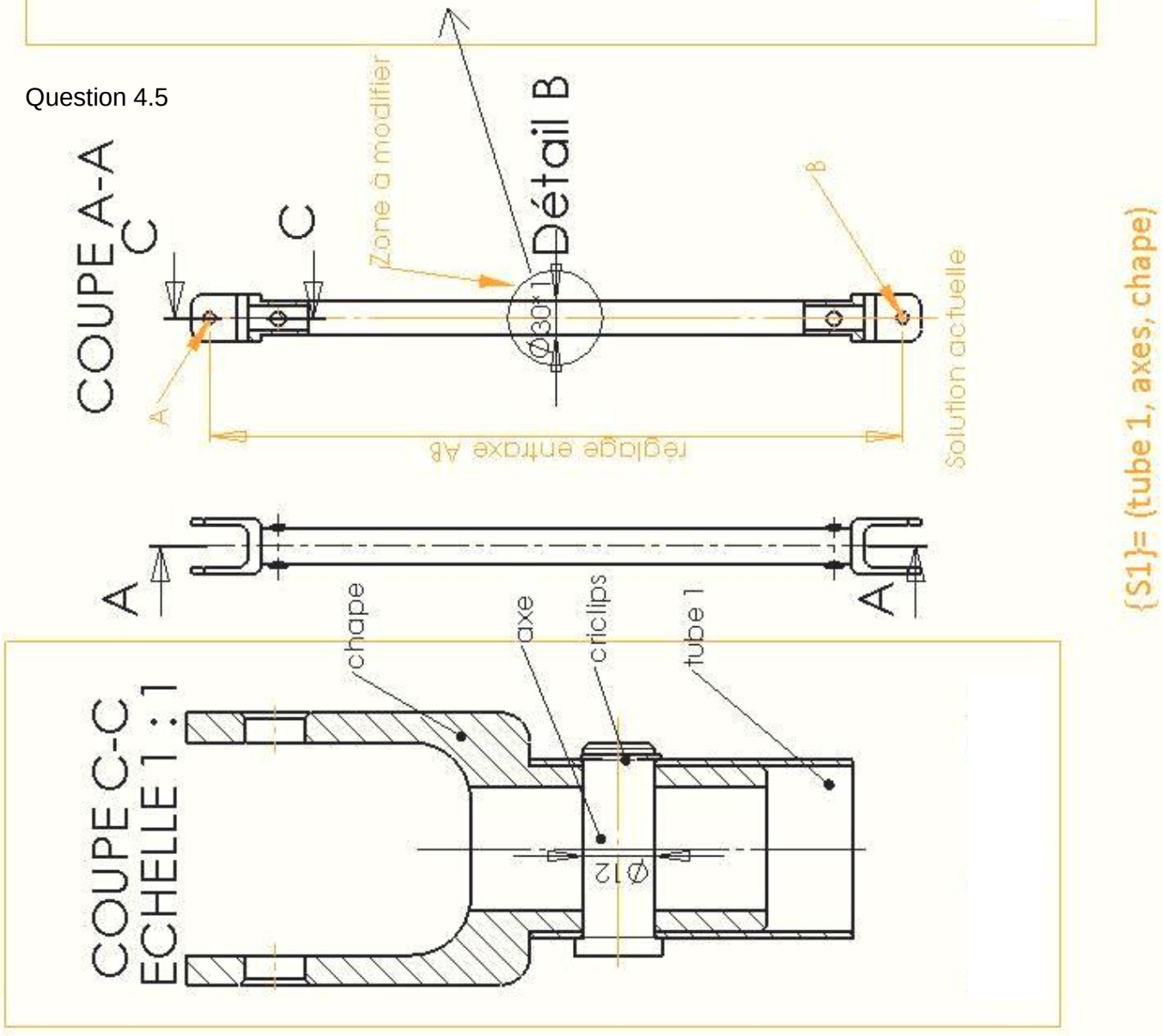
« D » partie haute du palonnier pour la pédale de droite
« G » partie haute du palonnier pour la pédale de gauche

DR5 – Document réponse 5

Question 4.13



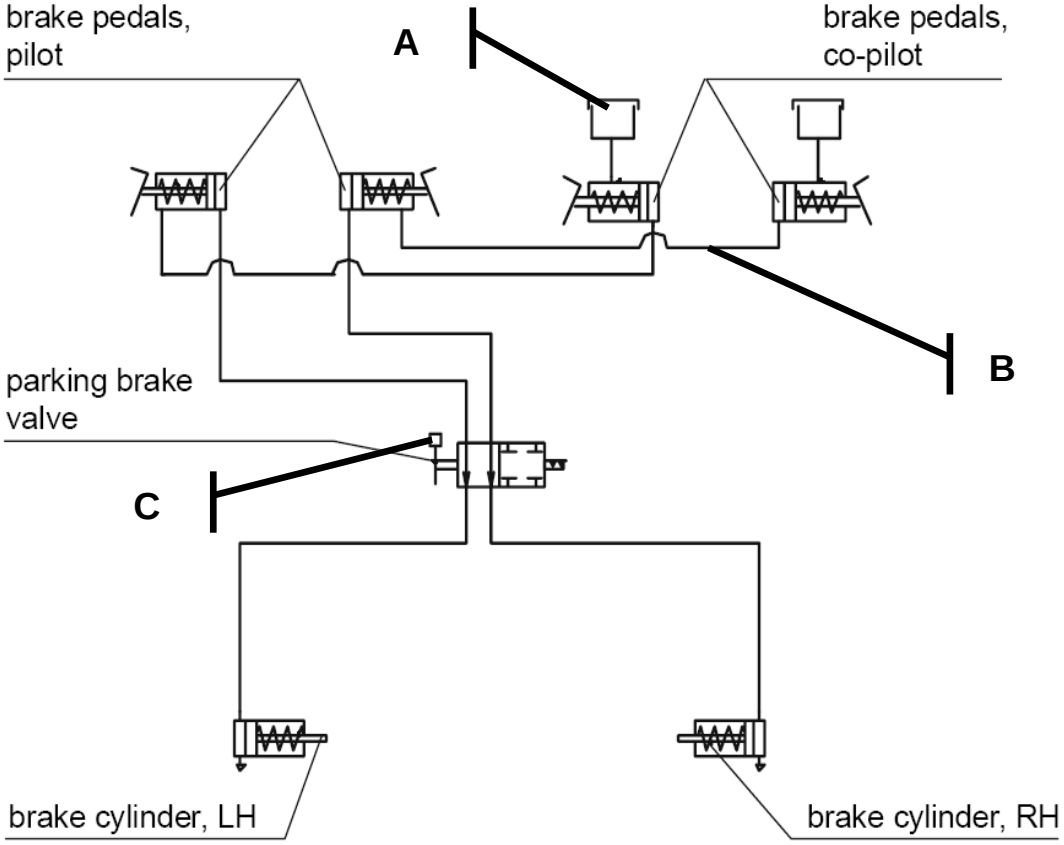
Question 4.5



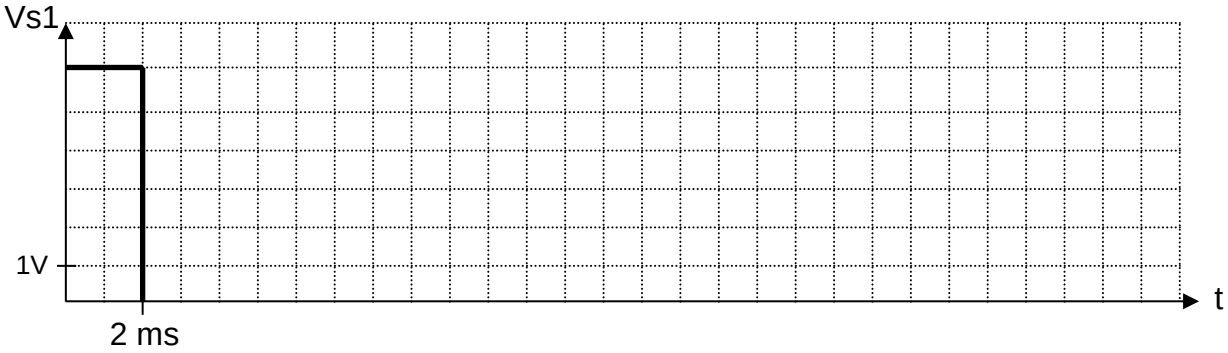
DR6 – Document réponse 6

Questions 4.14, 4.15, 4.20

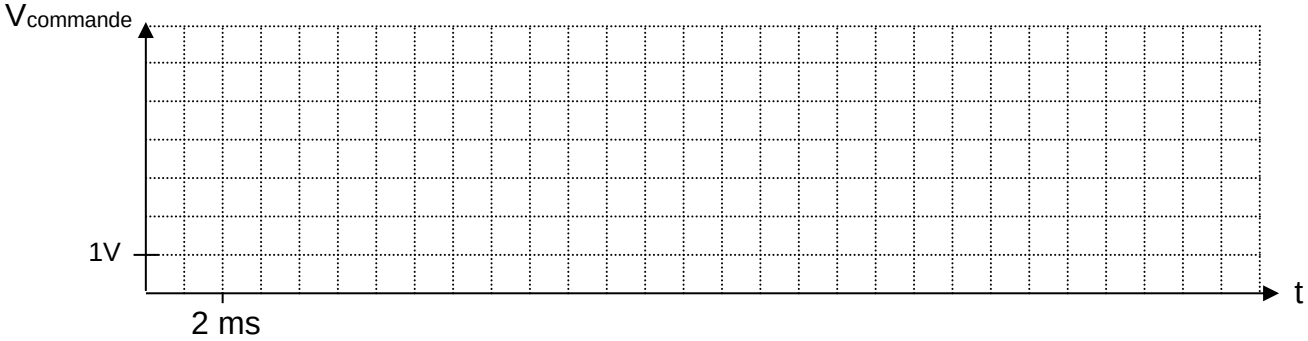
Étude du circuit hydraulique pour le freinage différentiel



Question 4.25



Question 4.28



DR7 – Document réponse 7

Question 5.1

ROULAGE

-	Heure bloc	Notée
-	Freins	Essayés
-	Instruments gyros	Vérifiés
-	Commandes de vol	Essayées

→

→

AVANT DÉCOLLAGE

-	Panneau annonciateur	Vérifié
-	Altimètre	QNH ... hPa, vérifié
-	Horizon	Préréglé + 2°
-	CED - AED	Vérifiés
-	Fuel transfert	OFF
-	Compensateur	T/O
-	Volets	T/O
-	Porte et verrière	Fermées, verrouillées
-	PEQ et PAX	Attachés
-	Briefing décollage	Effectué

ESSAI MOTEUR

- Plein gaz

→

DR8 – Document réponse 8

Question 5.2

Manuel d'entretien pour le kit

- Visite pré vol :

  · ⟶

  · ⟶

  · ⟶

  · ⟶

- Révision :

  · vérification du système complet à 50FH,
  · puis 100FH,
  · prévoir les révisions en fonction de l'entretien que requiert le système.

- Entretien journalier :

  · ⟶

Ébauche de programme d'entretien :

Fonction « Direction »	**Fonction «Gaz »**	**Fonction «Frein »**
⟶ État des fixations des commandes de direction sur le malonnier	⟶	⟶
⟶ Graissage des liaisons	⟶	⟶
⟶ Absence de criques sur le manche et la connexion aux pédales	⟶	⟶
⟶ Contrôle de l'état des différentes liaisons	⟶	

Nota : on peut envisager un vol de contrôle après la délivrance d'une APRS sous réserve.