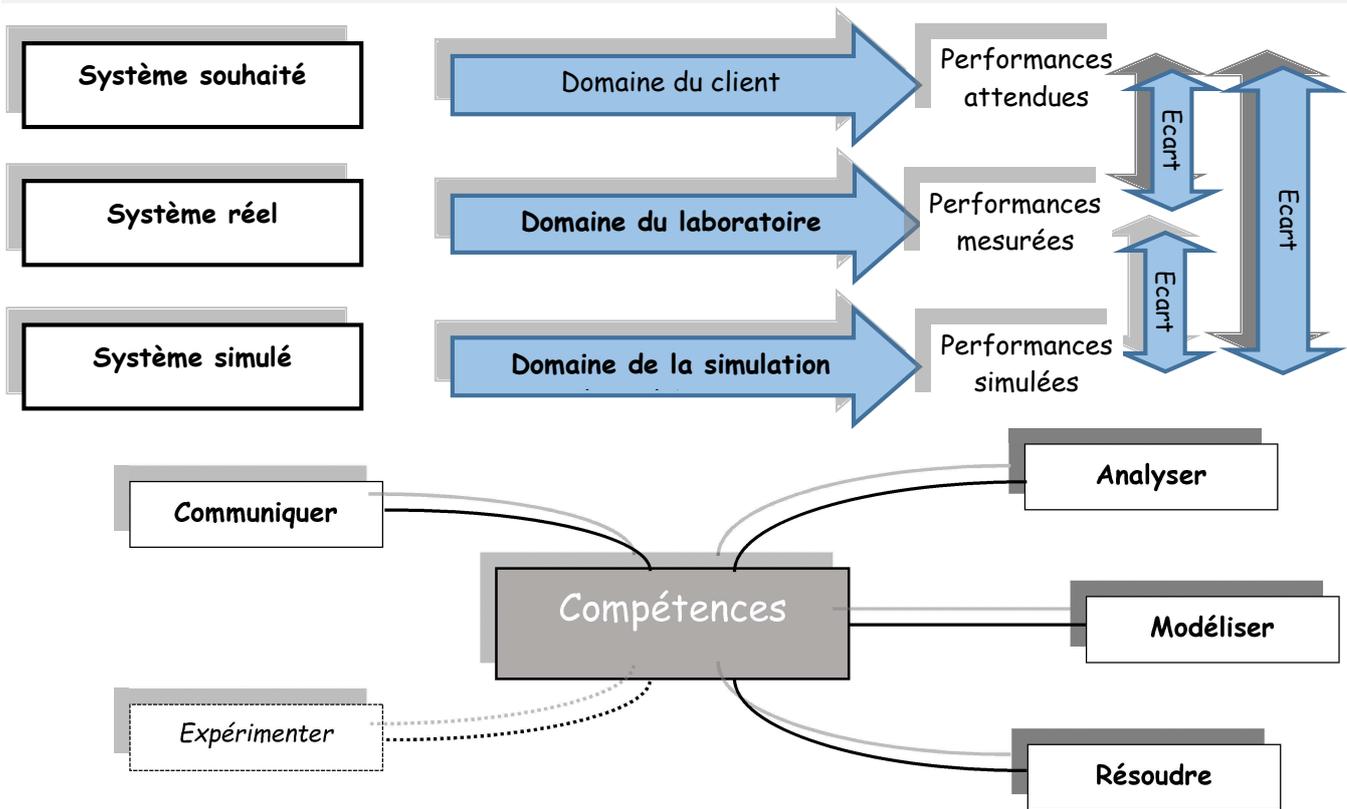


ÉTUDE DES FREINS D'APPONTAGE DU PORTE-AVIONS CHARLES DE GAULLE



I PRÉSENTATION DU PROBLÈME



Figure 1 : Porte-avions Charles de Gaulle

Le dispositif étudié est implanté sur le porte-avions Charles de Gaulle dont la capacité d'embarquement est de 40 avions. Pour respecter des cadences très rapides de décollage et d'appontage, trois pistes sont disposées sur le pont supérieur : deux destinées au décollage et une à l'appontage (figures 1 et 2).

L'organisation spatiale du pont supérieur d'un porte-avions est entièrement dédiée aux avions. Seul un espace limité situé sur tribord et au tiers avant est occupé par l'îlot de la passerelle. Le reste de la surface est occupé par les pistes et les parkings (figures 1 et 2).

La première piste de décollage est disposée sur le tiers avant et centrée, la deuxième sur la moitié arrière et déportée sur bâbord (à gauche). Des raisons de sécurité imposent que les extrémités de pistes ne puissent pas être encombrées ; pour ce faire, la première se termine au ras de la pointe avant, et la deuxième au ras du décrochement latéral.

La piste d'appontage est située sur la moitié arrière, elle est légèrement oblique ($8,5^\circ$) et se termine comme la deuxième piste de décollage au ras du décrochement latéral. Le reste de la surface du pont est consacré aux parkings, aux zones de circulation et aux arrivées des ascenseurs qui assurent le transfert des avions et du matériel vers les hangars situés sur un pont inférieur. Malgré les dimensions du pont d'envol (environ 260 m de long et 65 m de large), les longueurs des pistes sont très réduites, (environ 70 m pour celles du décollage et 100 m pour celle d'appontage).

Les avions embarqués sont des avions de chasse de type Super Etendard, Rafale Marine et Hawkeye.

Leur masse au décollage est de 12 à 25 tonnes suivant les modèles (charge embarquée + carburant), celle à l'appontage est 8 à 20 tonnes (retour avec très peu de carburant). La vitesse de décollage est de l'ordre de 250 km/h et celle d'appontage de 220 km/h.

Pour obtenir de telles variations de vitesse sur des distances de pistes aussi courtes, il faut développer des efforts bien plus importants que ceux que peuvent assurer les freins propres à l'avion. Ces derniers sont conçus pour des atterrissages sur pistes d'aéroport, longues de quelques milliers de mètres.

Atterrir fait donc appel à des systèmes spécifiques destinés à assurer ces efforts, ce sont « les freins d'appontage » objets de cette étude.

II ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

L'objectif de cette étude préliminaire est de justifier la nécessité du recours à un système spécifique pour arrêter l'avion sur une piste d'appontage de longueur inférieure à 100 mètres.

Avant d'entreprendre l'étude du freinage d'un avion sur piste d'appontage, il vous est proposé de faire l'étude du freinage optimal d'un avion atterrissant sur une piste d'aéroport. Cette étude peut s'appliquer à tout véhicule utilisant l'adhérence roue / sol pour son freinage.

La figure 3 représente le schéma d'un avion de masse M et de centre d'inertie G en phase de freinage sur une piste horizontale. L'étude est faite dans les conditions suivantes :

- la trajectoire est rectiligne de direction \vec{x} .
- tous les éléments sont symétriques par rapport au plan vertical noté (G, \vec{z}, \vec{x})
- la conception et le fonctionnement des freins sont optimums, c'est-à-dire que pour chacune des roues, le mécanisme de freinage impose un couple correspondant à la limite du glissement de la roue sur le sol.

L'avion possède trois roues : deux pour le train principal et une roulette de nez. L'action de la piste P sur chaque roue R_i est modélisable, au point de contact I_i , par le vecteur $\vec{R}(Piste \rightarrow R_i) = -T_i \vec{x} + N_i \vec{z}$ où N_i est la composante normale et T_i la composante tangentielle. Ces actions sont supposées constantes pendant toute la phase de freinage.

On note $\vec{a}(G / piste) = \vec{a} = -a \vec{x}$ (avec $a > 0$) le vecteur accélération du centre d'inertie G de l'avion par rapport au repère terrestre supposé galiléen. Le facteur de frottement de glissement des pneus sur la piste est noté f . Il est supposé constant et identique pour chaque roue. Lors des applications numériques, on prendra $f = 0,6$.



Figure 2 : Pont du porte-avions : position des pistes de décollage et d'appontage.

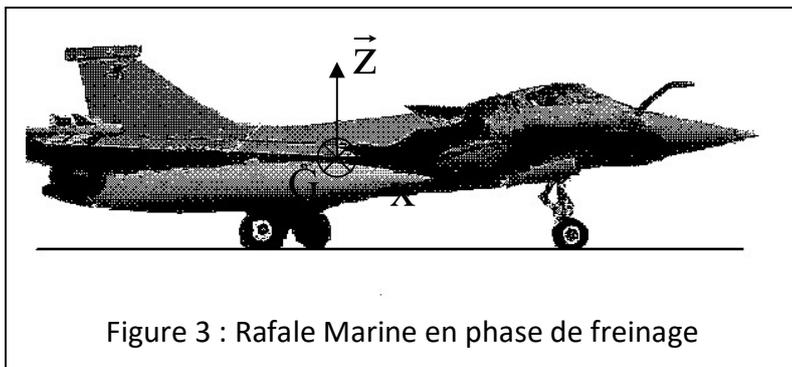


Figure 3 : Rafale Marine en phase de freinage

Q1/ Représenter les forces retenues dans la modélisation sur la figure 3. Par application du P.F.D (seconde loi de Newton) appliqué à l'avion, démontrer que l'accélération a de l'avion s'exprime par la

$$\text{formule } M \cdot a = \sum_{i=1}^3 T_i \text{ et le poids } M \cdot g \text{ de l'avion par la formule } M \cdot g = \sum_{i=1}^3 N_i$$

Pour chaque roue, la relation entre les actions tangentielles et normales, lorsque le freinage correspond à la limite du glissement des roues, est donnée par la loi de Coulomb qui s'écrit $T_i = f \cdot N_i$ pour chaque roue (cette loi sera (re)vue et développée au cours de l'année).

Q2/ Déterminer une expression de l'accélération a qui soit indépendante des efforts « piste / roue » et de la masse M de l'avion. Commenter cette dernière relation. Calculer la valeur de l'accélération a .

Q3/ Le mouvement de l'avion est un mouvement de translation uniformément décéléré $\ddot{x}(t) = -a$ où $x(t)$ désigne la position de l'avion à l'instant t . Les conditions initiales permettant de déterminer les constantes sont la vitesse d'appontage V_a et l'origine des positions $x = 0$ pour $t = 0$ instant initial du freinage : déterminer la loi horaire $x(t)$ en fonction de a et de V_a .

Q4/ Déterminer la durée de la phase de freinage t_f ainsi que la distance parcourue D_f jusqu'à l'arrêt complet. Justifier l'utilisation d'un système de freins d'appontage qui ne soit pas basé uniquement sur l'adhérence « roue / sol ».

III ANALYSE FONCTIONNELLE DES FREINS D'APPONTAGE

Le but de cette partie est, outre l'étude du système de freins d'appontage, de découvrir les différents outils de l'analyse fonctionnelle : il est donc demandé de se référer aux cours d'ingénierie système (IS) et langage SysML.

III.1 Présentation

Le principe général des freins d'appontage est simple :

- l'avion est muni d'un bras appelé crosse qui accroche un câble tendu en travers du pont
- ce câble est lié à un système hydromécanique qui transforme l'énergie cinétique de l'avion en énergie hydraulique.
- une vanne de laminage permet de dissiper une partie de cette énergie. Le complément d'énergie est accumulé dans un système oléopneumatique et réutilisé pour remettre le système en configuration initiale sur consigne du chef de pont.

III.2 Analyse des exigences du système

Le système doit satisfaire à un certain nombre d'exigences, dont quelques unes sont précisées sur le diagramme des exigences figures 5. Par exemple, la distance d'arrêt de l'avion doit être inférieure ou égale à 100m et la décélération maximale de l'avion ne doit pas dépasser la décélération moyenne de plus de 30%. Ces exigences sont répertoriées dans un diagramme dont on donne un extrait ci-dessous (fig.5).

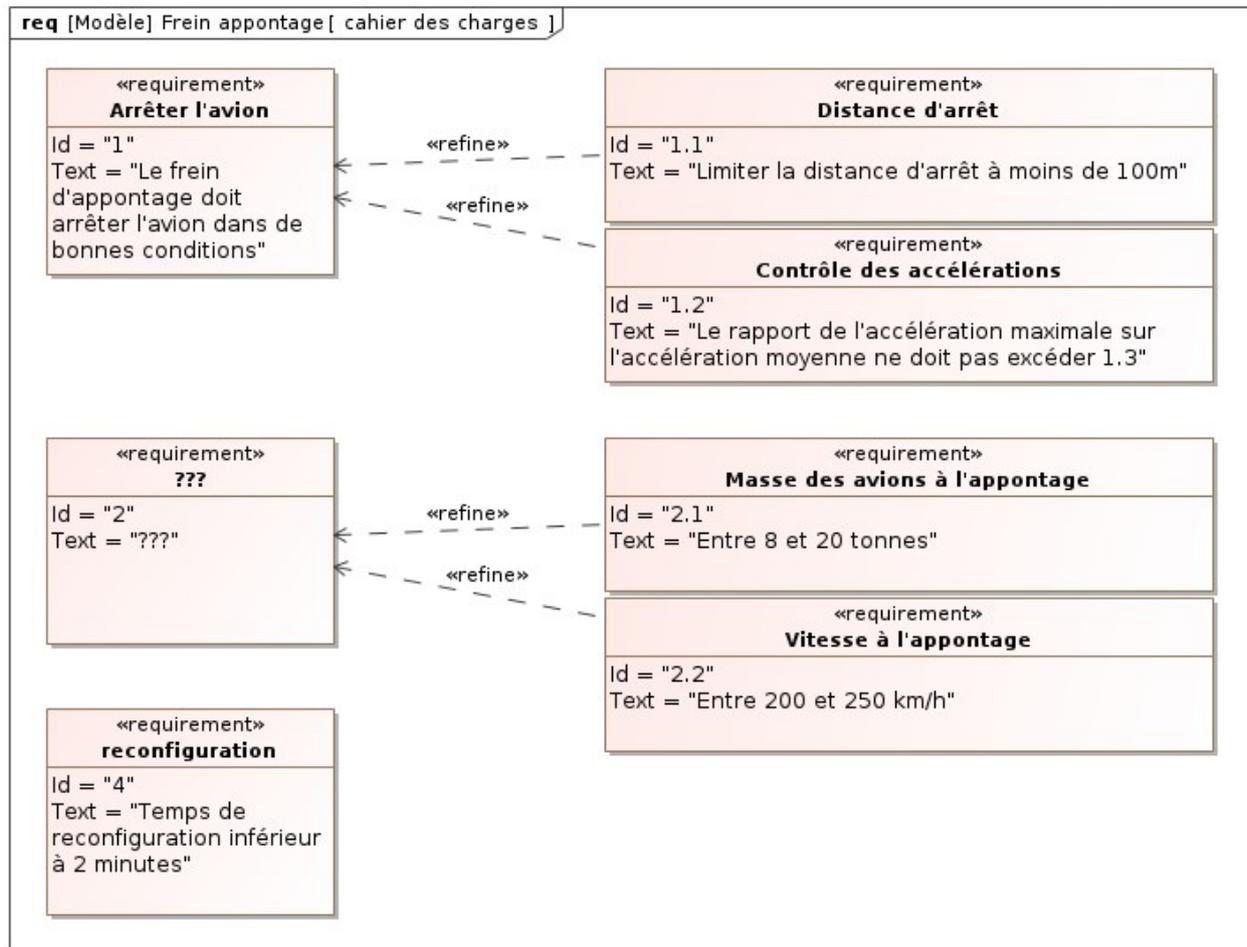


Figure 5 : Extrait du diagramme des exigences.

L'extrait de Cahier des Charges Fonctionnel, volontairement donné incomplet, est traduit sous la forme de la table des exigences ci-dessous (Fig. 6).

▲ #	ID	Name	Text
1	1	Arrêter l'avion	Le frein d'appontage doit arrêter l'avion dans de bonnes conditions
2	1.1	Distance d'arrêt	limiter la distance d'arrêt à moins de 100m
3	1.2	Contrôle des accélérations	Le rapport de l'accélération maximale sur l'accélération moyenne ne doit pas excéder 1.3
4	2	???	???
5	2.1	Masse des avions à l'appontage	Entre 8 et 20 tonnes
6	2.2	Vitesse à l'appontage	Entre 200 et 250 km/h
7	3	??	Accélération maximale de 5g
8	4	Reconfiguration	Temps de reconfiguration inférieur à 2 minutes

Figure 6 : Table des exigences

Q5/ Identifier des expressions possibles des exigences numérotées 2 et 3.

III.3 Exigence « Arrêter l'avion »

L'objectif de cette partie est de compléter le diagramme de définition de bloc incomplet (fig.11) et le diagramme de description interne (fig.12).

III.3.1 Description des fonctions techniques

III.3.1.a Capturer l'énergie cinétique de l'avion



Figure 7a : Rafale Marine crose sortie



Figure 7b : Hawkeye à l'appontage

L'avion est muni d'un bras appelé « crose d'appontage » situé sous le fuselage à l'extrémité arrière (figure 7a). Ce bras est déployé au moment de l'appontage et permet au crochet qui équipe son extrémité de saisir l'un des trois brins d'appontage.

Les brins d'appontage sont des câbles tendus en travers du pont et en début de piste d'appontage (figures 7a et 7b). Ces brins sont maintenus à une dizaine de centimètres au-dessus du pont par des arceaux. Leurs deux extrémités sont liées aux câbles principaux qui véhiculent l'énergie vers le frein hydromécanique. Les brins sont distincts des câbles principaux car ils s'usent très vite et doivent être changés fréquemment.

III.3.1.b Adapter l'énergie mécanique

L'énergie est transportée par les câbles principaux et est adaptée (réduction de la course et amplification de l'effort) par un double moufle (système à poulies mobiles), l'un pour le câble bâbord, l'autre pour le câble tribord (figure 8). Le système de moufle est implanté sur un pont intermédiaire situé juste au-dessous du pont d'appontage. Un ensemble de poulies de renvoi, non complètement représenté, permet de passer du plan horizontal dans lequel se déplace le brin (plan parallèle au pont), au plan vertical dans lequel se trouvent les poulies du moufle. Ce moufle est constitué par deux ensembles de poulies à axes fixes et deux ensembles de poulies à axes mobiles.

Chacun de ces ensembles comporte un groupe de neuf poulies de diamètre d_b sur lesquelles s'enroule le câble bâbord, et un groupe de neuf poulies de diamètre d_t sur lesquelles s'enroule le câble tribord.

III.3.1.c Protéger l'avion

Immédiatement après la traversée de pont, les câbles passent sur des amortisseurs dits « à poulie » (figure 8) dont le but est de lisser les surtensions et d'assurer les « reprises de mous » dus aux effets dynamiques résultant du choc de la crose d'appontage sur le brin.

Malgré ces amortisseurs, des ondes longitudinales de tension se propagent le long des câbles : pour absorber ces ondes, des amortisseurs d'ancrage sont montés, comme leur nom l'indique, aux extrémités des câbles, au niveau des points d'ancrage sur la structure du bateau.

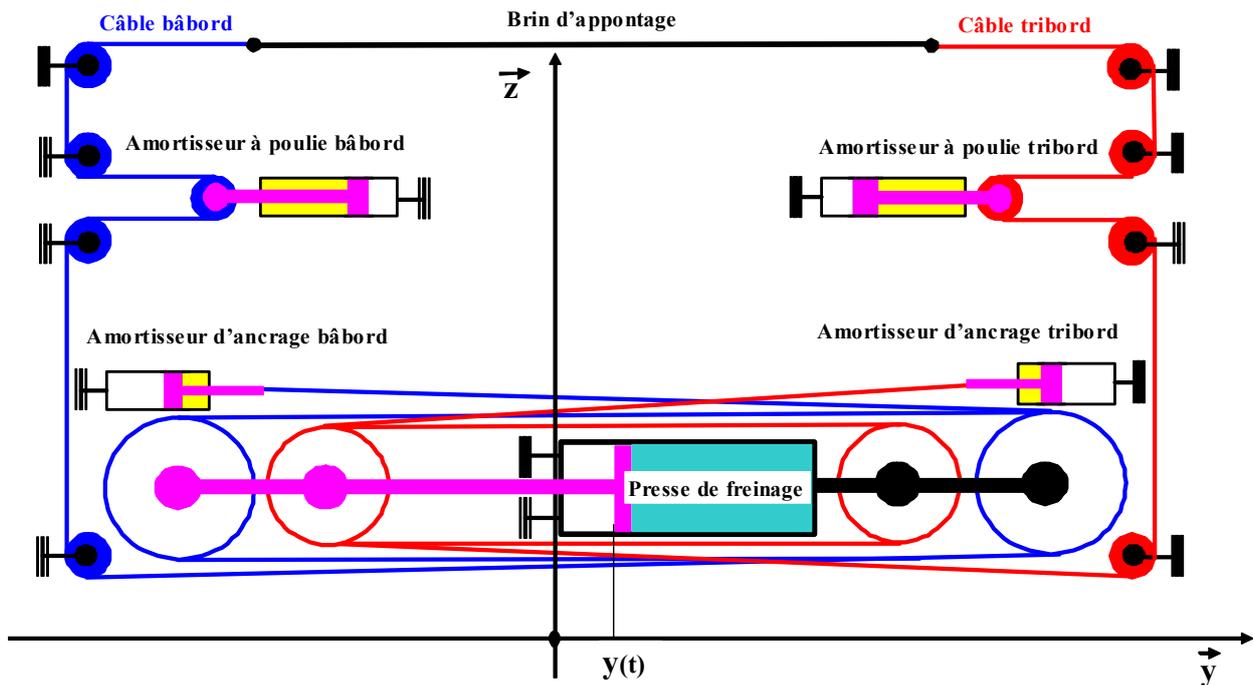


Figure 8 : Schéma du moufle et de la presse de freinage dans le plan $x = 0$

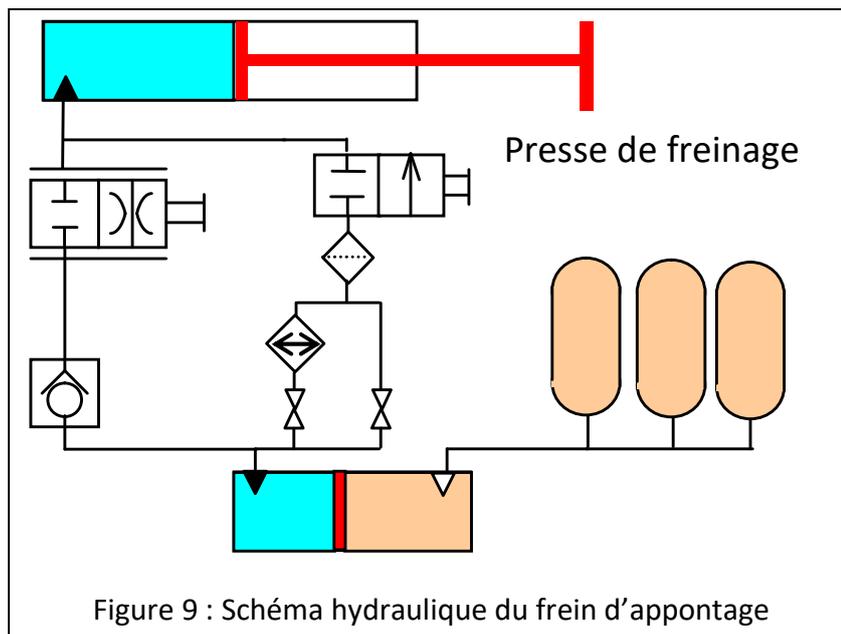


Figure 9 : Schéma hydraulique du frein d'appontage

III.3.1.d Convertir l'énergie mécanique en énergie hydraulique

Un vérin hydraulique nommé «presse de freinage » transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique (figures 8 et 9). Le fluide utilisé est un mélange « éthylène - glycol » en phase liquide supposé incompressible. Le corps de la presse est fixe, et porte l'ensemble de poulies à axes fixes du moufle. Le piston est mobile, et porte l'ensemble de poulies à axes mobiles du moufle.

III.3.1.e Dissiper l'énergie en contrôlant l'effort de freinage

Une vanne de laminage (figure 10a) permet de dissiper la majorité de l'énergie, l'énergie résiduelle étant envoyée vers un accumulateur. Un échangeur thermique refroidi par une circulation d'eau de mer permet de maintenir la température du fluide hydraulique à une valeur voisine de 50°C et en tout état de cause inférieure à 70°C.

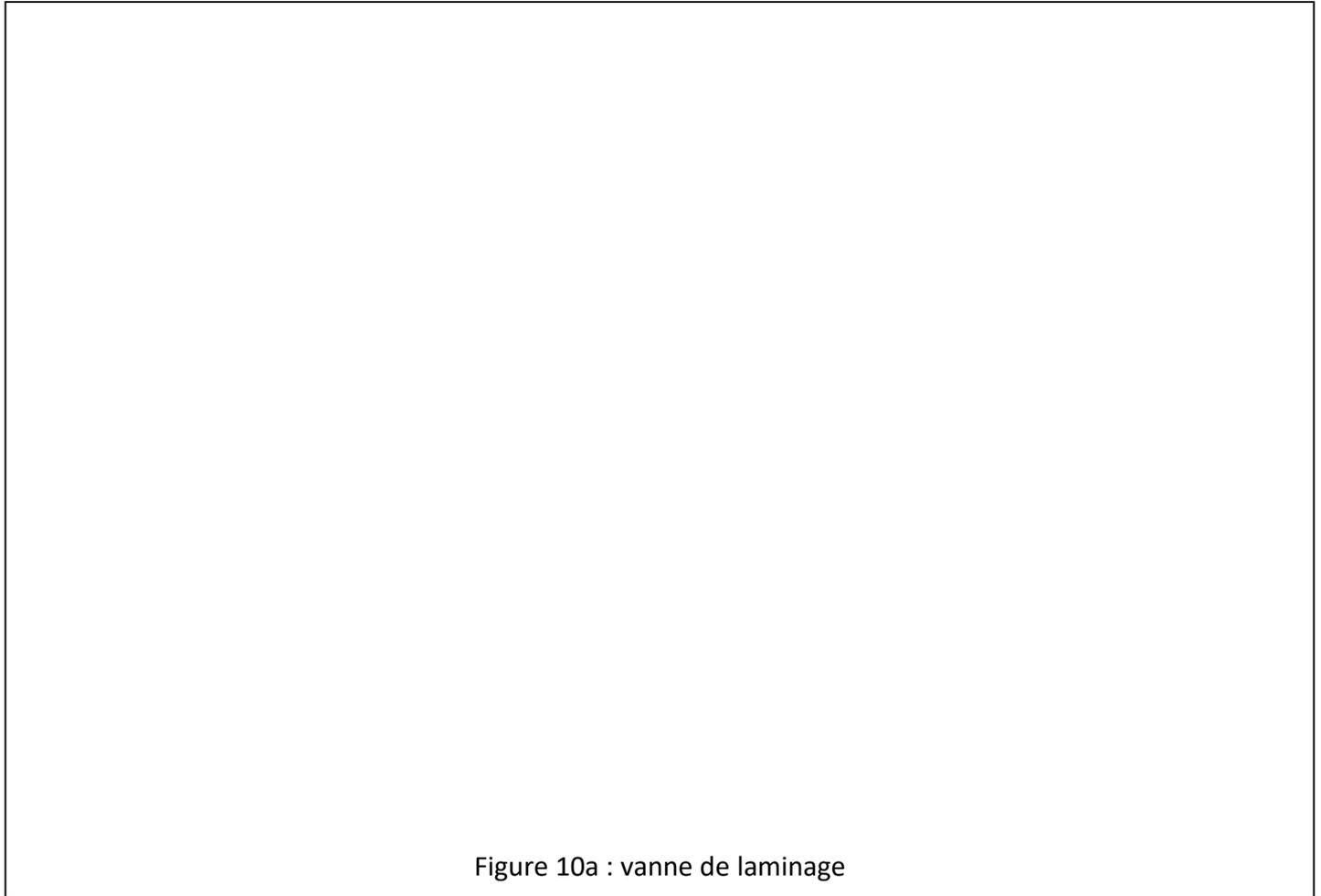


Figure 10a : vanne de laminage

Pour éviter d'endommager la structure de l'avion et pour préserver la santé du pilote, il est nécessaire de contrôler les efforts de freinage appliqués à l'avion. Pour cela, la section de passage de la vanne de laminage est adaptée en fonction de la masse et vitesse à l'appontage de l'avion et de sa position sur la piste.

La commande de la vanne de laminage (figure 10b) est réalisée à partir d'un ensemble de deux leviers sur lesquels agissent une came et un vérin électrique.

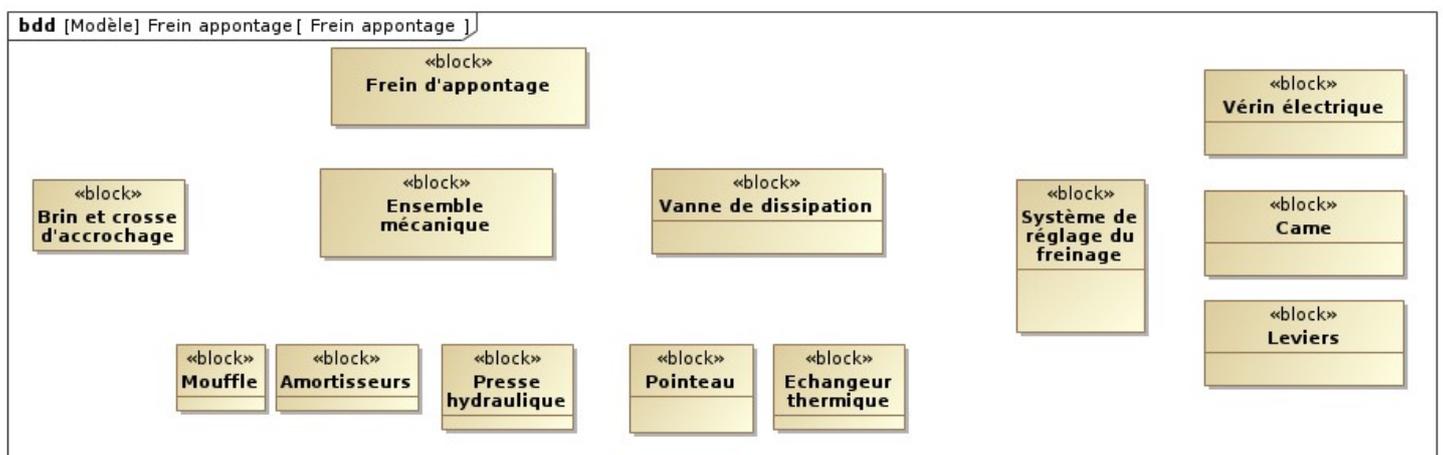
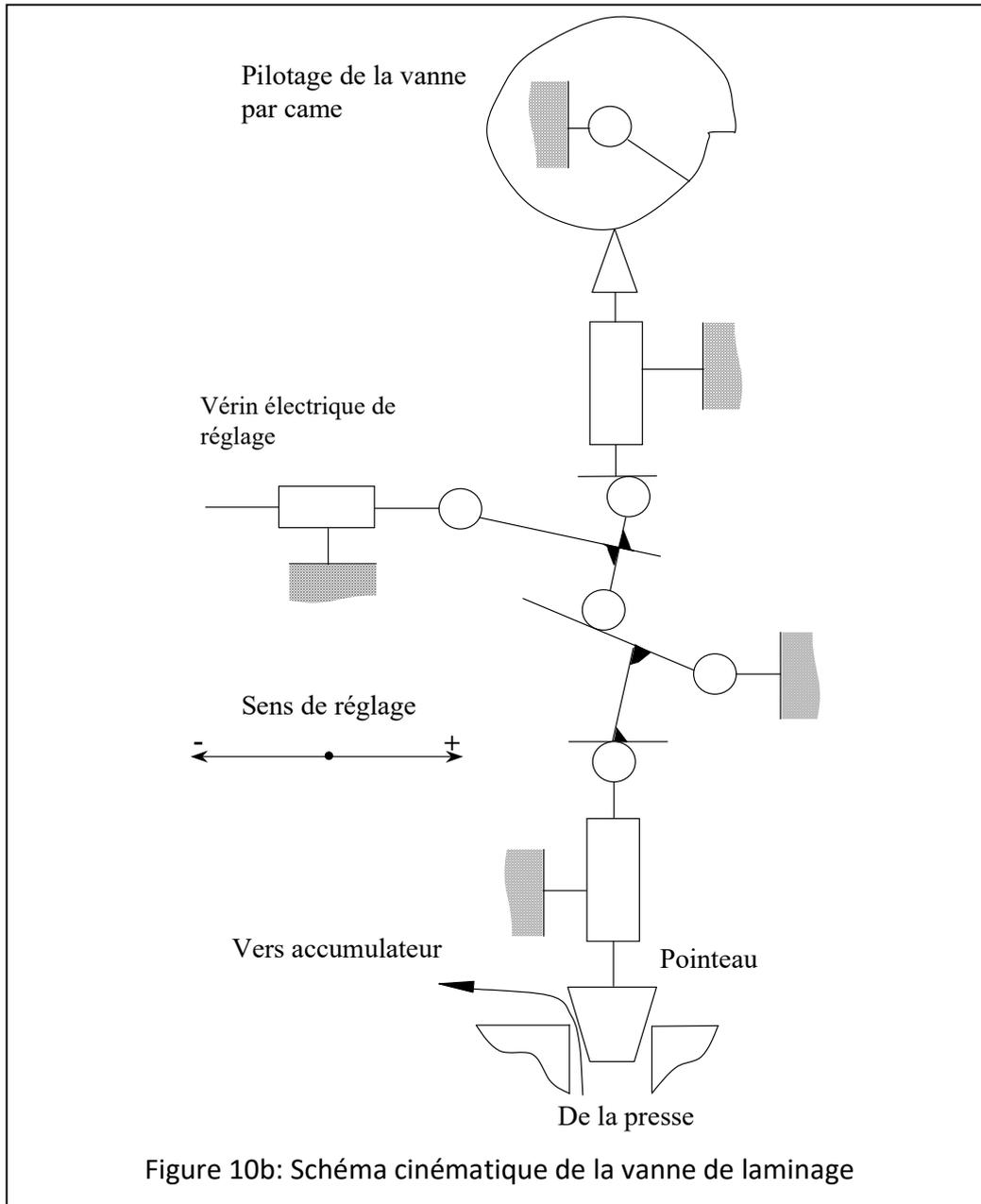
La came est entraînée par l'équipage mobile de la presse par l'intermédiaire d'un câble, elle permet de corriger l'ouverture de la vanne en fonction de la position de l'avion.

Le vérin électrique permet au Chef de pont de régler la position de la vanne en fonction de la masse et la vitesse d'appontage de l'avion.

Q7/ Compléter le diagramme de définition de blocs fourni figure 11 en reliant les blocs sous forme hiérarchique (le niveau hiérarchique le plus élevé étant le bloc "Frein d'appontage").

Q8/ Compléter le diagramme de blocs internes du frein d'appontage fourni figure 12 précisant les flux d'énergie traversant le système.

Q9/ Compléter le diagramme de blocs internes du frein d'appontage fourni figure 12 en ajoutant le système de réglage du freinage et en précisant la nature des flux.



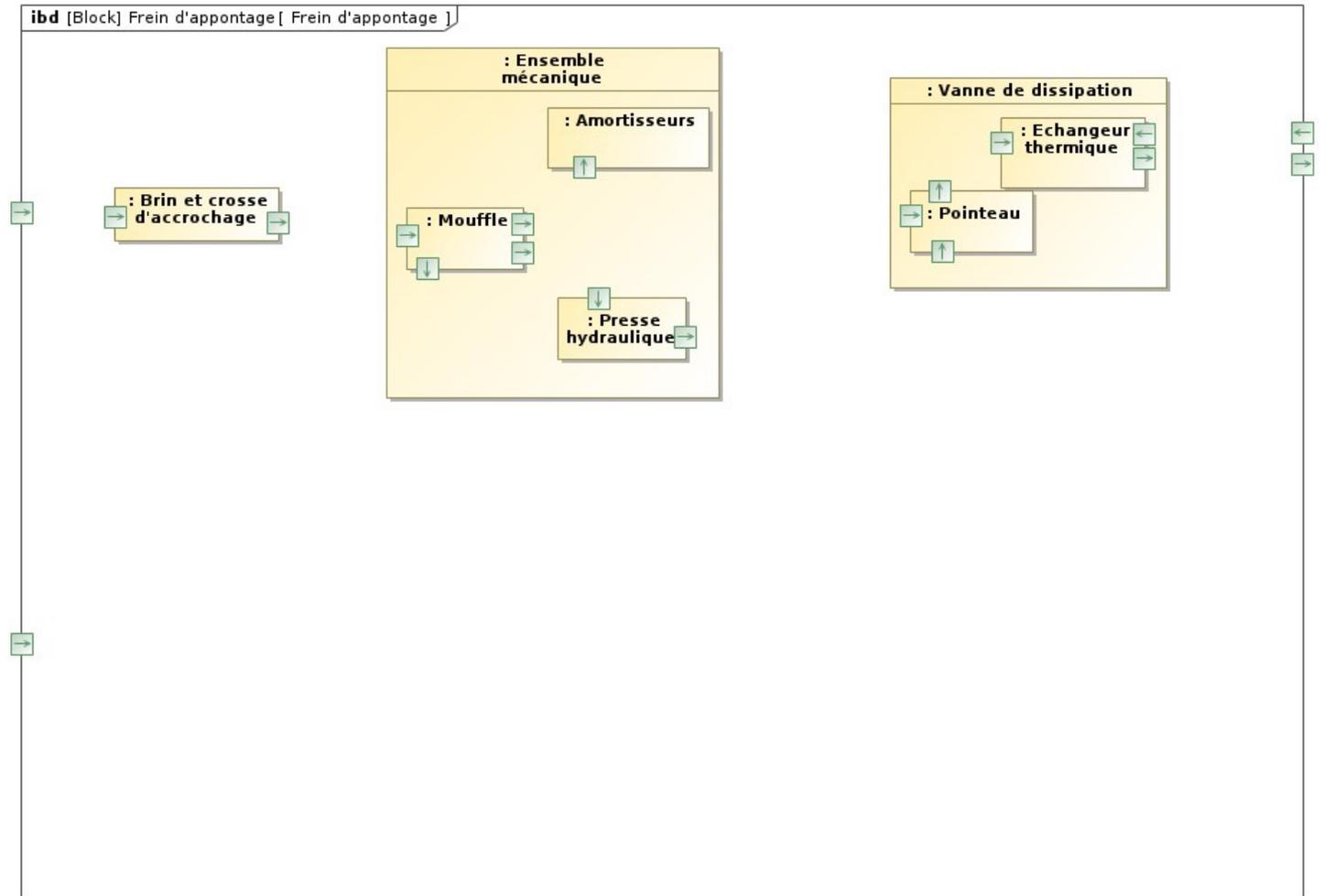


Figure 12 : Diagramme de blocs internes