

## Analyse des systèmes : Frein d'appontage de porte avion

### Mise en situation

Le porte-avions Charles de Gaulle permet le décollage ou l'atterrissage d'aéronefs.

Le tableau ci-contre liste quelques caractéristiques du porte-avions.



Critères	Valeurs
Longueur de la piste de décollage	70m
Longueur de la piste d'appontage	100m
Capacité d'embarquement	40 aéronefs
Coefficient de frottement des pistes	0,6
Masse des avions	12 à 25 tonnes
Capacité d'appontage	8 à 10 avions toutes les 45 s

Pour respecter des cadences très rapides de décollage et d'appontage, 2 pistes sont disposées sur le pont supérieur.

L'organisation spatiale du pont supérieur d'un porte-avions est entièrement dédiée aux avions, seul un espace limité situé à tribord et au tiers avant est occupé par l'îlot de la passerelle.

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.

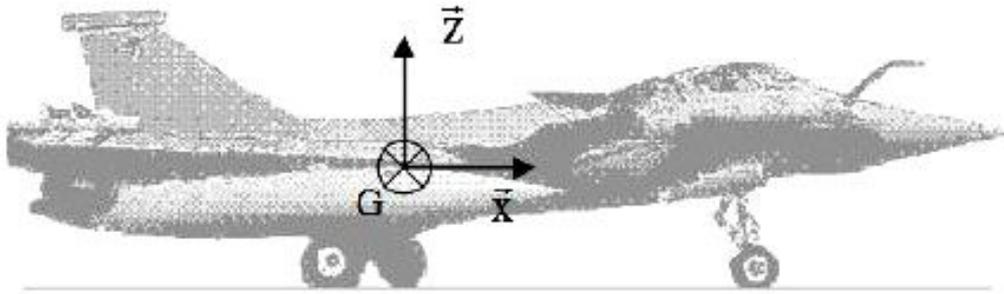
Malgré les dimensions du pont d'envol (environ 260 m de long et 65 m de large), les longueurs des pistes sont très réduites.

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

Leur masse au décollage est de 12 à 25 tonnes suivant les modèles (charge+carburant), celle à l'appontage est de 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.

### Etude 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 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 ci-dessus 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 et de direction  $\vec{x}$ .
- ✓ Tous les éléments sont symétriques par rapport au plan vertical noté  $(G, \vec{x}, \vec{y})$  plan de symétrie de l'avion.
- ✓ La conception et le fonctionnement des freins sont optimaux, c'est à dire que pour chacune des roues, le mécanisme de freinage impose un couple (action mécanique s'opposant à un mouvement de rotation) 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 sur chaque roue est modélisable, au point de contact  $li$ , par le vecteur  $\vec{R}(piste \rightarrow avion) = -(T_1 + T_2 + T_3) \cdot \vec{x} + (N_1 + N_2 + N_3) \cdot \vec{y}$  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 :

- ✓ le vecteur accélération  $\vec{a}(G \in avion / piste) = -a \cdot \vec{x}$  du centre d'inertie  $G$  de l'avion par rapport au repère terrestre supposé galiléen.
- ✓ le facteur de frottement de glissement  $f$  des pneus sur la piste. Ce facteur  $f$  est supposé constant  $f = 0,6$  et identique pour chaque roue

### Question 1

*Ecrire les équations obtenues en appliquant le Principe Fondamental de la Dynamique appliqué à l'avion*

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 :

$$T_i = f \cdot N_i$$

## Question 2

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

Le mouvement de l'avion est un mouvement de translation uniformément retardé de

décélération  $\frac{d^2 x(t)}{dt^2} = -a \cdot \vec{x}$  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  $V$  et l'origine des positions  $x = 0$  pour  $t = 0$ , instant initial du freinage.

## Question 3

Déterminer la loi horaire  $x(t)$  en fonction de  $a$  et  $V$ .

Déterminer  $t_f$ , la durée de la phase de freinage, ainsi que  $D$ , la distance parcourue 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 ».

## Analyse système des freins d'appontage

Le principe général des freins d'appontage est simple.

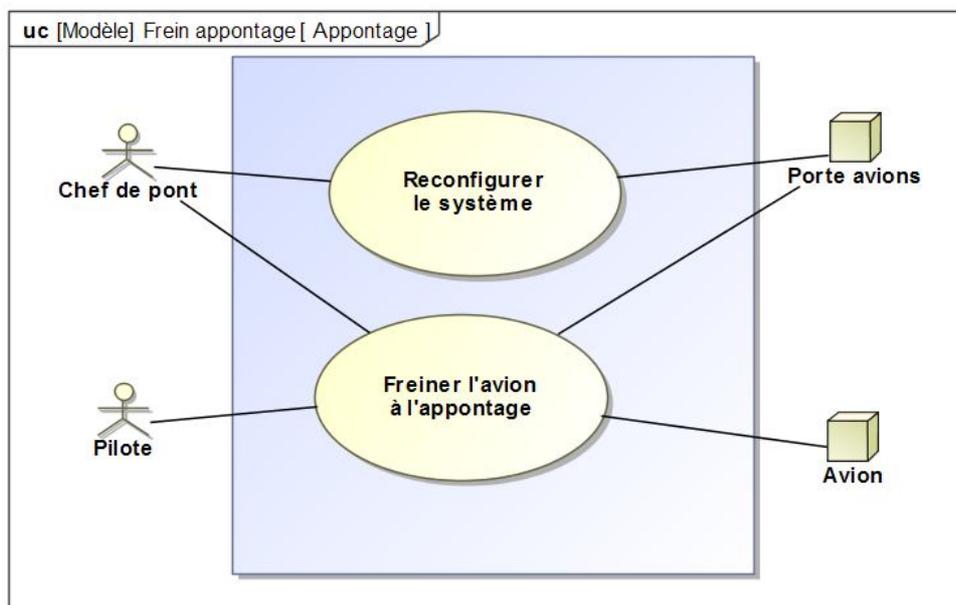
L'avion est muni d'un bras appelé crosse qui accroche un câble tendu en travers du pont.

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.

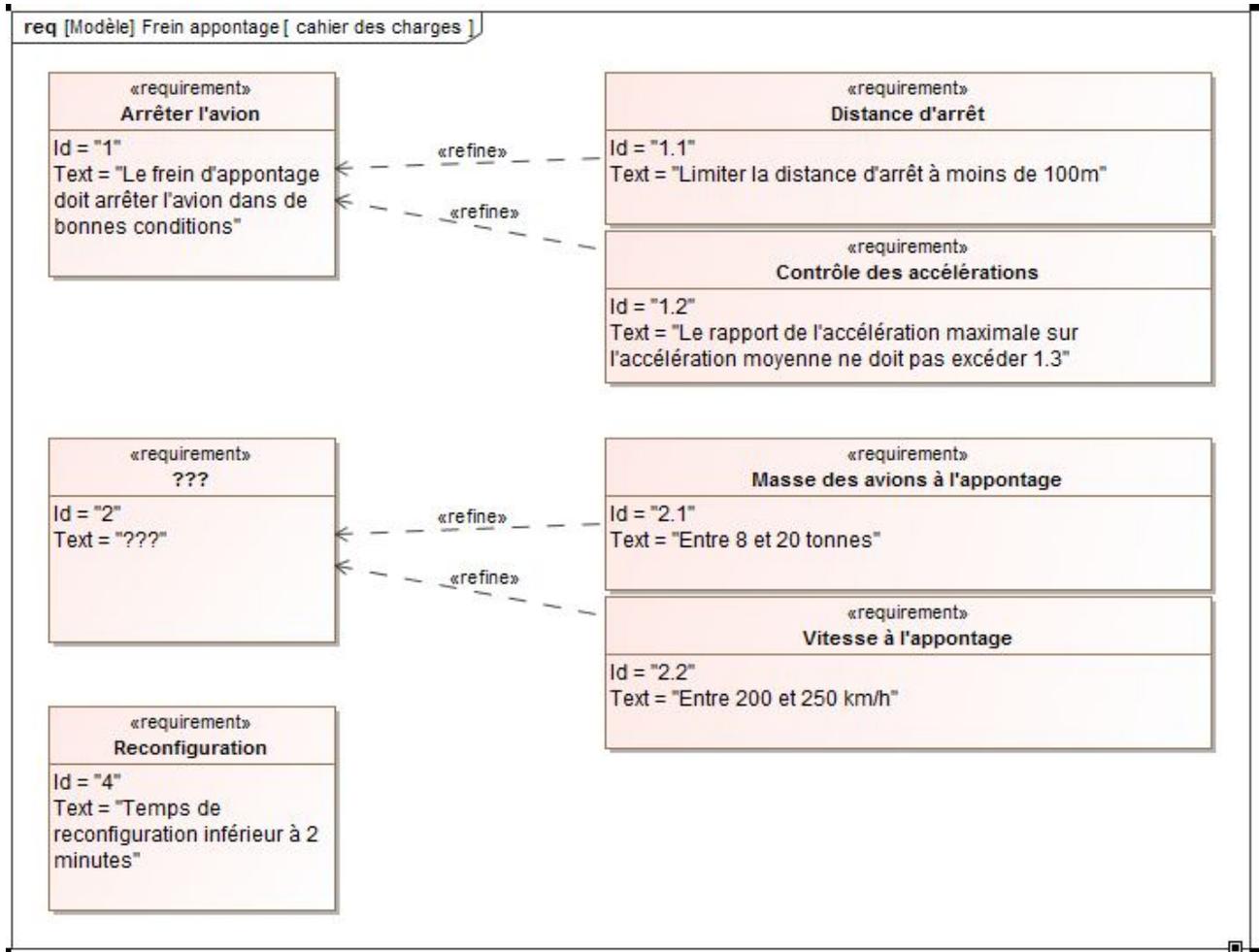
Le complément d'énergie est accumulé dans un système oléopneumatique et réutilisé pour remettre le système en configuration initiale.

L'analyse du cas d'utilisation conduit au diagramme ci-dessous.



Le système doit satisfaire à un certain nombre d'exigences, dont quelques unes sont précisées sur le diagramme des exigences ci-dessous.

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%.



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

#	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

### Question 4

Identifier l'expression des exigences numérotées 2 et 3.

Nous nous intéressons maintenant à l'exigence « Arrêter l'avion ».

L'avion est muni d'un bras appelé « crosse d'appontage » situé sous le fuselage à l'extrémité arrière.



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.

Ces brins sont maintenus à une dizaine de centimètres au dessus du pont par des arceaux.

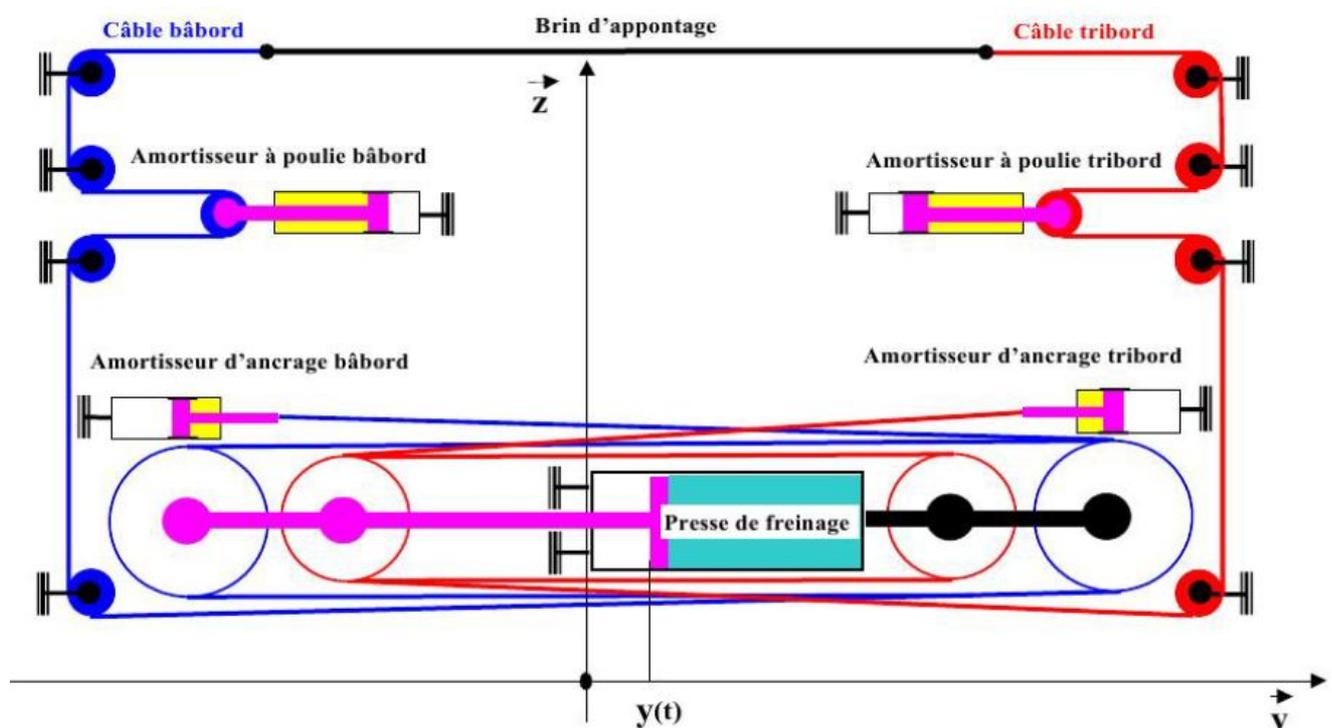
Leurs deux extrémités sont liées aux câbles principaux qui véhiculent l'énergie vers le frein hydromécanique (les brins sont distincts des câbles principaux car ils s'usent très vite et doivent être changés fréquemment).

L'énergie est transportée par les câbles principaux et est adaptée (réduction de la course et amplification de l'effort) par un « double moufle », l'un pour le câble bâbord, l'autre pour le câble tribord (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 poulies de diamètre  $db$  sur lesquelles s'enroule le câble bâbord, et un groupe de poulies de diamètre  $dt$  sur lesquelles s'enroule le câble tribord.

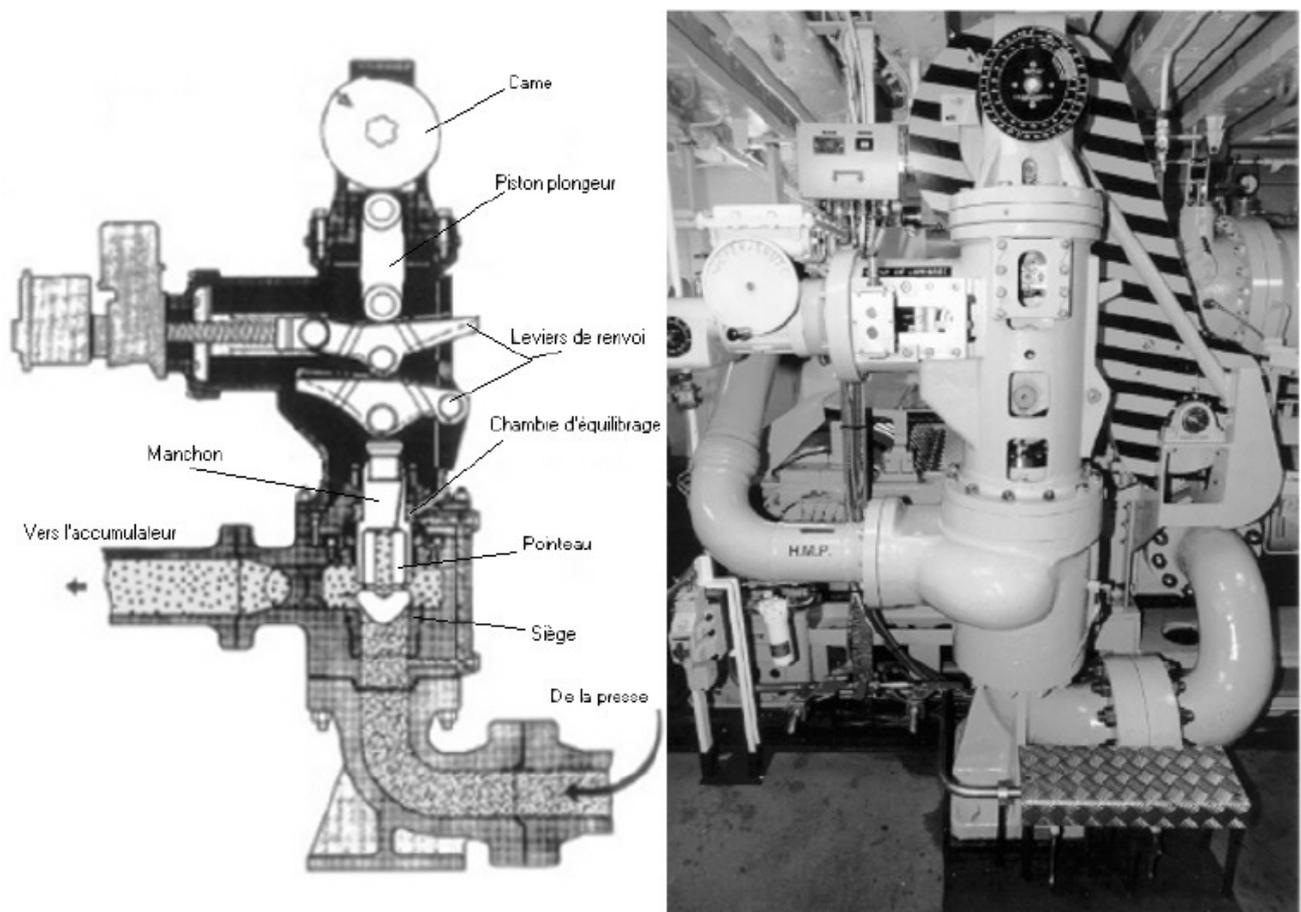


Immédiatement après la traversée de pont, les câbles passent sur des amortisseurs dits « à poulie » dont le but est de lisser les surtensions et d'assurer les reprises de mous dus aux effets dynamiques résultant du choc de la crosse d'appontage sur le brin.

Malgré ces amortisseurs à poulie, 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.

Un vérin hydraulique nommé « presse de freinage » transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique. 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.

Une vanne de laminage (ci-dessous) 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.



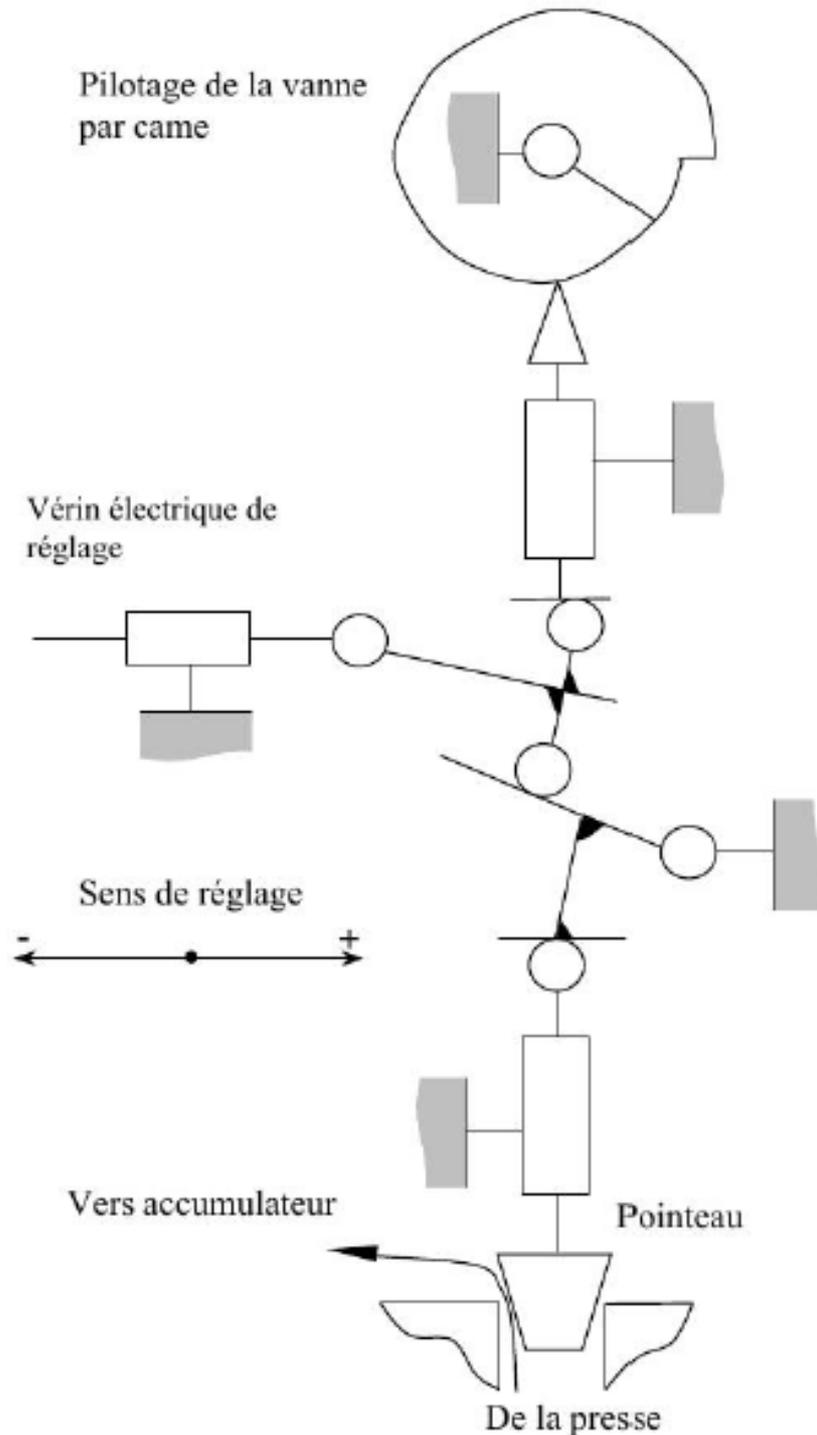
Pour éviter d'endommager la structure de l'avion et pour préserver la santé du pilote, il est nécessaire de contrôler les efforts de freinage appliqués à l'avion.

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 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.



**Question 5**

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

Compléter le diagramme de description interne du frein d'appontage en précisant les flux d'énergie traversant le système.

Compléter le diagramme de description interne du frein d'appontage en ajoutant le système de réglage du freinage et en précisant les flux d'information pilotant le système.

Documents réponses:

