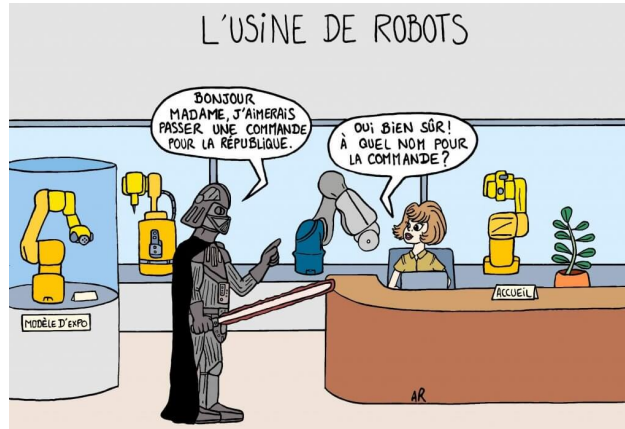


## Séquence 1.{1,2,3}

**Analyser et décrire les besoins et les systèmes industriels**

## Mise en bouche

(entraînement de cours – à faire après le cours et à vérifier régulièrement)

### Exercice 1 : Définitions de cours

**Question 1** Rappeler la structure d'une chaîne fonctionnelle. Préciser quels flux correspondent à de l'information, de la matière ou de l'énergie.

**Question 2** Faire apparaître sur un schéma les systèmes réel, souhaité et le modèle ainsi que leurs performances et les écarts entre celles-ci. Associer à chaque écart le sens de celui-ci : "qualité du modèle", "satisfaction du client", "pertinence de la conception".

**Question 3** Rappeler les éléments devant apparaître dans un cahier des charges. Que doit vérifier le *critère*?

**Question 4** Rappeler ce qu'est un asservissement et les deux rôles qu'il peut avoir.

# Entrée

(pour revoir les bases – pour vérifier qu'on connaît le cours)

## Exercice 1 : Prothèse active transtibiale

(inspiré de CCP MP 2013)

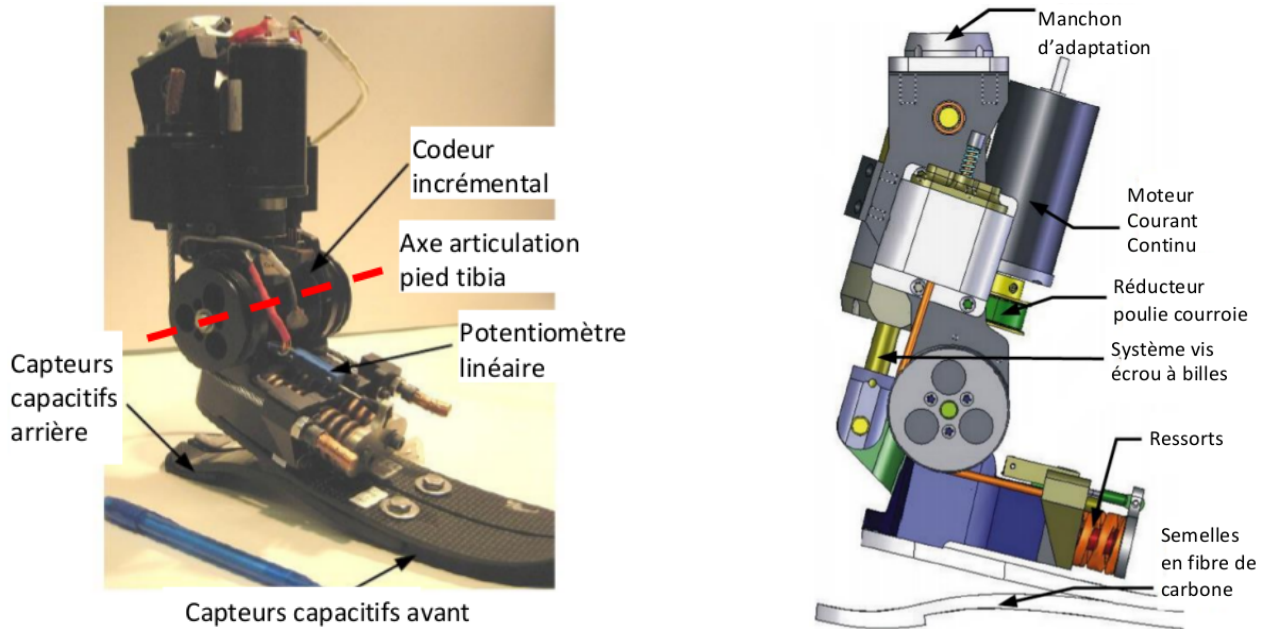


FIGURE 1 – Prothèse active transtibiale (à gauche) et un modèle de l'assemblage (à droite).

La majorité des prothèses transtibiales (pour une amputation en dessous du genou) utilisées aujourd'hui sont purement passives, c'est-à-dire que leurs propriétés mécaniques restent fixes pendant la marche. Ces prothèses sont constituées en général de semelles ressorts en carbone qui emmagasinent et restituent l'énergie mécanique pendant la marche par déformation. Des études cliniques montrent que les amputés qui utilisent ce type de prothèse doivent fournir de 20 à 30 % d'énergie en plus pour obtenir une vitesse de déplacement équivalente à celle d'une personne non amputée effectuant le même déplacement. Ils souffrent également d'une dissymétrie de la marche (différence de comportement entre le côté amputé et le côté non amputé) qui fatigue les articulations des membres sains. Des ingénieurs du M.I.T. ont mis au point une prothèse active transtibiale capable de proposer un comportement similaire à celui des membres non amputés (cf. figure 1).

L'actionneur de la prothèse est un moteur à courant continu alimenté par une batterie rechargeable de 16 Volts via un hacheur. L'énergie mécanique est transmise par un réducteur de type poulies-courroie suivi d'un système vis-écrou qui adapte cette énergie mécanique pour la prothèse (ensemble de liaisons entre le pied artificiel constitué d'une semelle en fibres de carbone et le manchon ou tibia artificiel). Des ressorts permettent d'ajuster également l'énergie mécanique fournie au pied artificiel. L'effort exercé par les ressorts est directement relié au couple exercé par l'actionneur. Le système comprend aussi un potentiomètre linéaire qui mesure l'allongement/écrasement des ressorts, un codeur incrémental placé au niveau de l'articulation pied/tibia, plusieurs capteurs capacitifs disposés sous la semelle du pied au niveau du talon (2 capteurs) et à l'avant du pied (4 capteurs). Les informations délivrées par les capteurs sont traitées par un calculateur qui élabore la commande du moteur.

**Question 1** Compléter la chaîne fonctionnelle de la figure 2 en y précisant les composants majeurs, leur rôle et la nature des flux existant entre eux. On précisera également la matière d'œuvre.

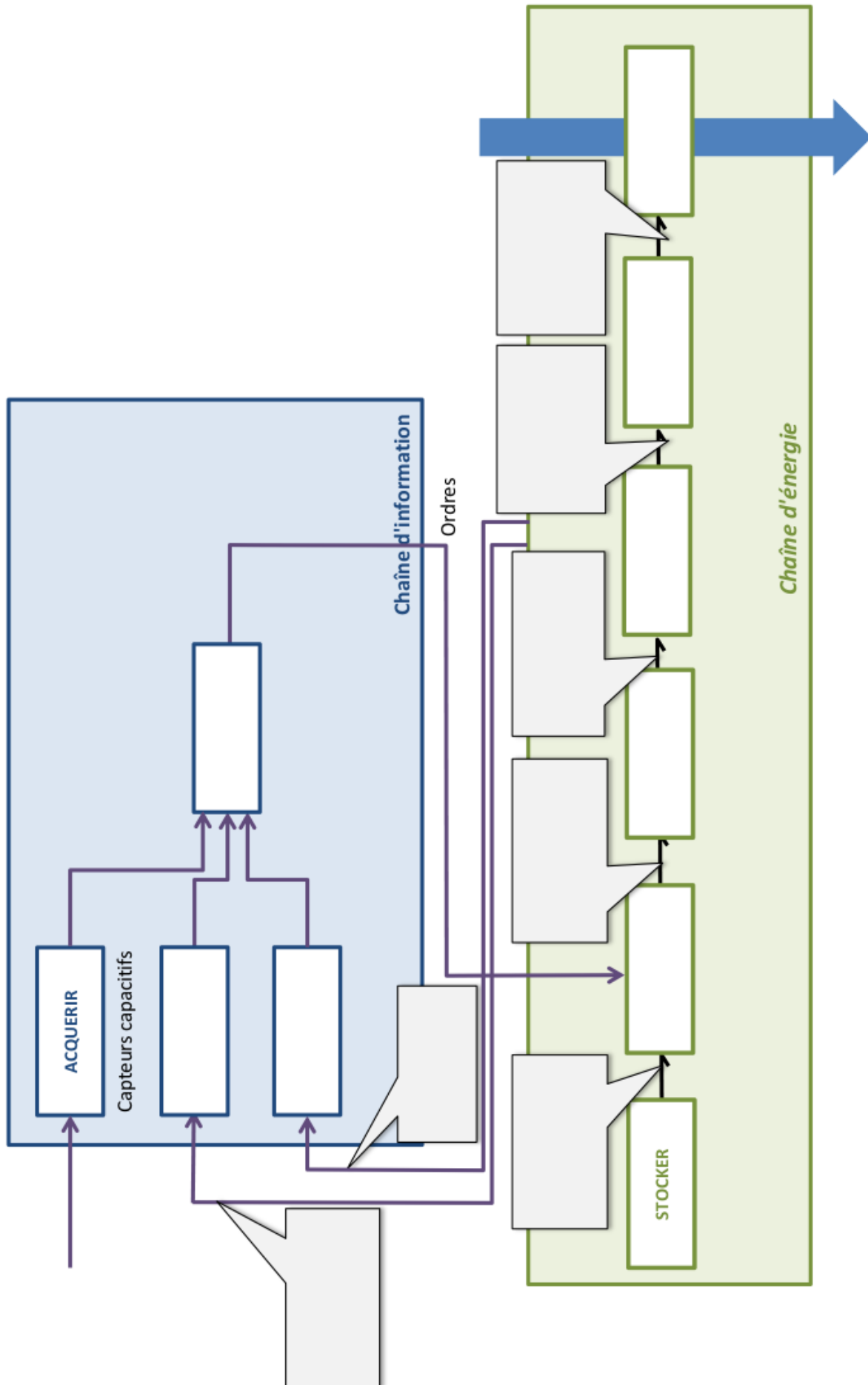


FIGURE 2 – Chaîne fonctionnelle principale de la prothèse active transibiale (à compléter).

# Plat

(exercice de TD – à préparer et à corriger pendant la séance)

## Exercice 1 : Étude d'un banc d'essai de boîte de transmission principale d'hélicoptère

(inspiré de CCP TSI 2015)

Airbus Helicopters commercialise des hélicoptères civils et militaires. Pour les États ou les Entreprises faisant l'acquisition de ces machines, un des critères de choix est la masse qui peut être embarquée ou déplacée. Ainsi, pour les hélicoptères de la gamme EC 145, la masse à transporter est de 3 585 kg. Cette charge va influencer sur les dimensions de l'appareil et sur la puissance à fournir par les turboréacteurs. Le déplacement des hélicoptères est assuré par un rotor principal permettant la sustentation et la translation de l'appareil. Un rotor arrière permet de compenser le couple de réaction engendré par le rotor principal et de contrôler les mouvements de lacet de l'appareil (cf. figure 1). La puissance est délivrée par deux turboréacteurs (certains hélicoptères ne sont équipés que d'un turboréacteur). Ces turboréacteurs entraînent en rotation une boîte de transmission principale (BTP) qui elle-même entraîne d'une part le rotor principal et d'autre part le rotor arrière, par l'intermédiaire d'un arbre de transmission et d'une boîte de transmission arrière (BTA). La BTP assure aussi l'entraînement d'une série d'accessoires permettant le fonctionnement de l'appareil (alternateur, pompe hydraulique...).

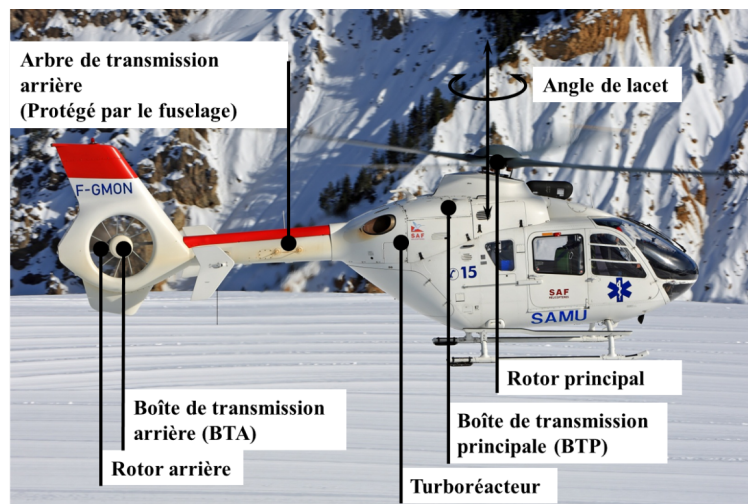


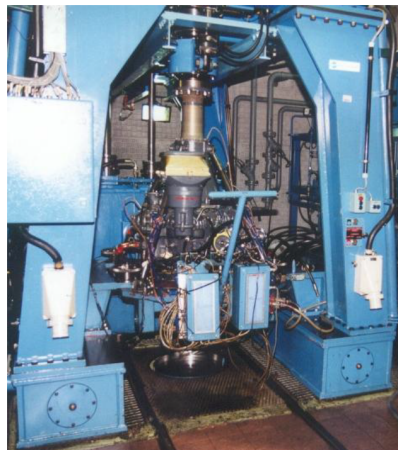
FIGURE 1 – Constituants principaux de la motorisation d'un hélicoptère

Pour chaque association hélicoptère - turboréacteur, Airbus Helicopters conçoit, fabrique et assemble une BTP. Cet ensemble étant au cœur du fonctionnement et de la sûreté de l'appareil, il nécessite une attention particulière et c'est ainsi qu'un banc d'essai permet de vérifier qu'il répond au cahier des charges. Dans le cadre de notre étude on s'intéresse aux BTP équipant les hélicoptères de la gamme EC 145. Ces hélicoptères sont utilisés par la sécurité civile (pour participer à des opérations de sauvetage en mer, en montagne...), par la gendarmerie nationale ou encore par les compagnies pétrolières ou gazières pour accéder aux installations offshore. Suivant les configurations, ces hélicoptères peuvent transporter jusqu'à 10 passagers et 2 pilotes. Ils sont équipés d'un rotor principal de 11 m de diamètre et d'un rotor de queue de 1,96 m de diamètre. Ils peuvent transporter jusqu'à 3 585 kg.

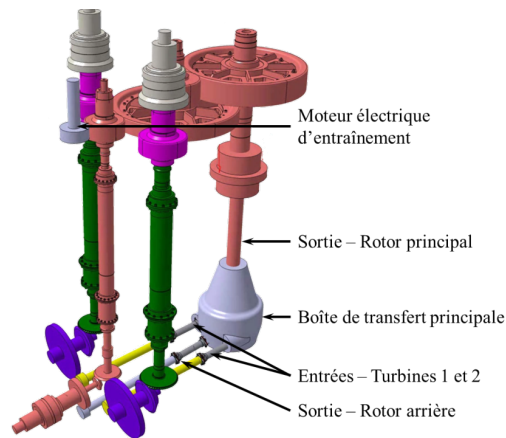
### 1 Chaîne d'énergie du banc d'essai

Le banc d'essai se présente sous la forme d'un châssis permettant d'assurer la liaison avec la BTP (cf. figure 2a). Il est équipé d'un moteur à courant continu piloté par un variateur lui-même alimenté par un transformateur. Ce moteur entraîne une succession de réducteurs entraînant eux-mêmes deux arbres reliés aux deux entrées de la BTP (cf. figure 2b). La BTP agit alors sur le rotor principal de l'hélicoptère. Le respect des caractéristiques des cycles d'essais est assuré par un asservissement en vitesse et en couple.

Des vérins (intégrés au système de simulation des efforts) permettent d'appliquer les efforts simulant la portance de l'appareil en sortie de la BTP. Ces informations sont synthétisées sur le diagramme de bloc interne partiel du banc (cf. figure 3).



(a) Banc d'essais BTP.



(b) Chaîne cinématique.

FIGURE 2

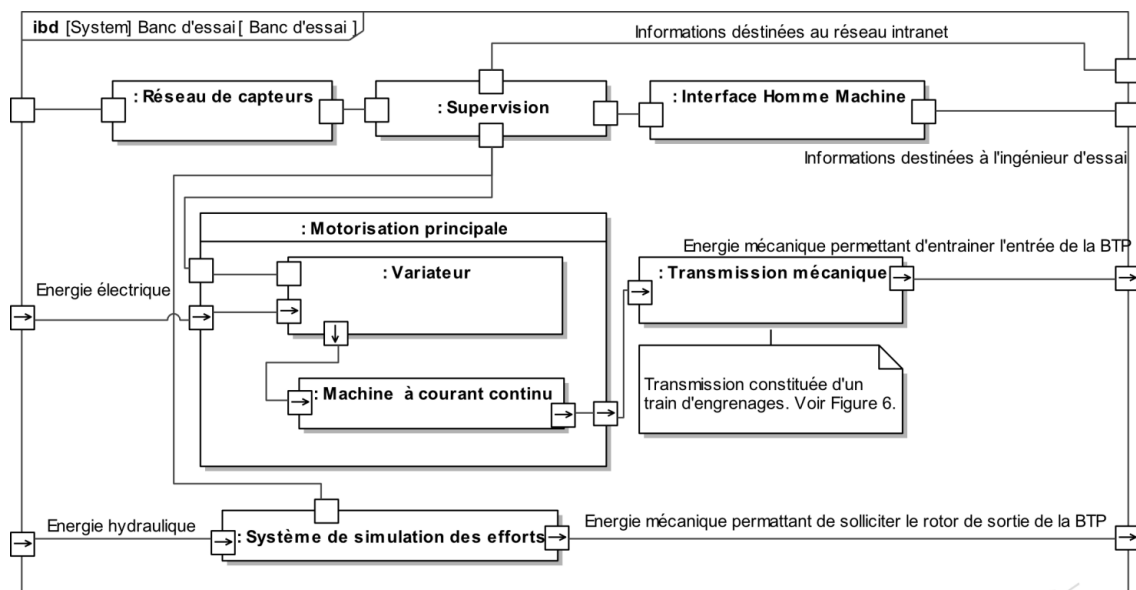


FIGURE 3 – Diagramme de bloc interne partiel du banc d'essai

## 2 Chaîne d'acquisition du banc d'essai

Un système de supervision permet de gérer les diverses acquisitions disponibles sur le banc d'essai (vitesse, couple, température, pression...). Pour cela, il est relié par réseau ETHERNET à des centrales de mesures permettant de gérer jusqu'à 32 capteurs. Les informations sont transférées par trame MODBUS et sont stockées dans des bases de données. L'ensemble des équipements se trouve dans la salle de contrôle (salle climatisée et insonorisée) située à plusieurs dizaines de mètres du banc.

## 3 Fonctionnement d'un cycle d'essai

Le cycle d'essai est programmé depuis le superviseur du banc ou récupéré à partir de la base de données du constructeur. Il peut durer plusieurs centaines d'heures. Il comprend différentes phases de tests de la boîte de vitesse (couple constant, vitesse constante, cycles spécifiques de mise en couple et de montée en vitesse qui proviennent de l'expérience de l'entreprise). La boîte de vitesse tourne toujours dans un seul sens. Cependant, le banc de test permet la rotation en sens inverse à vitesse très lente.

**Question 1** Complétez la chaîne fonctionnelle du système.

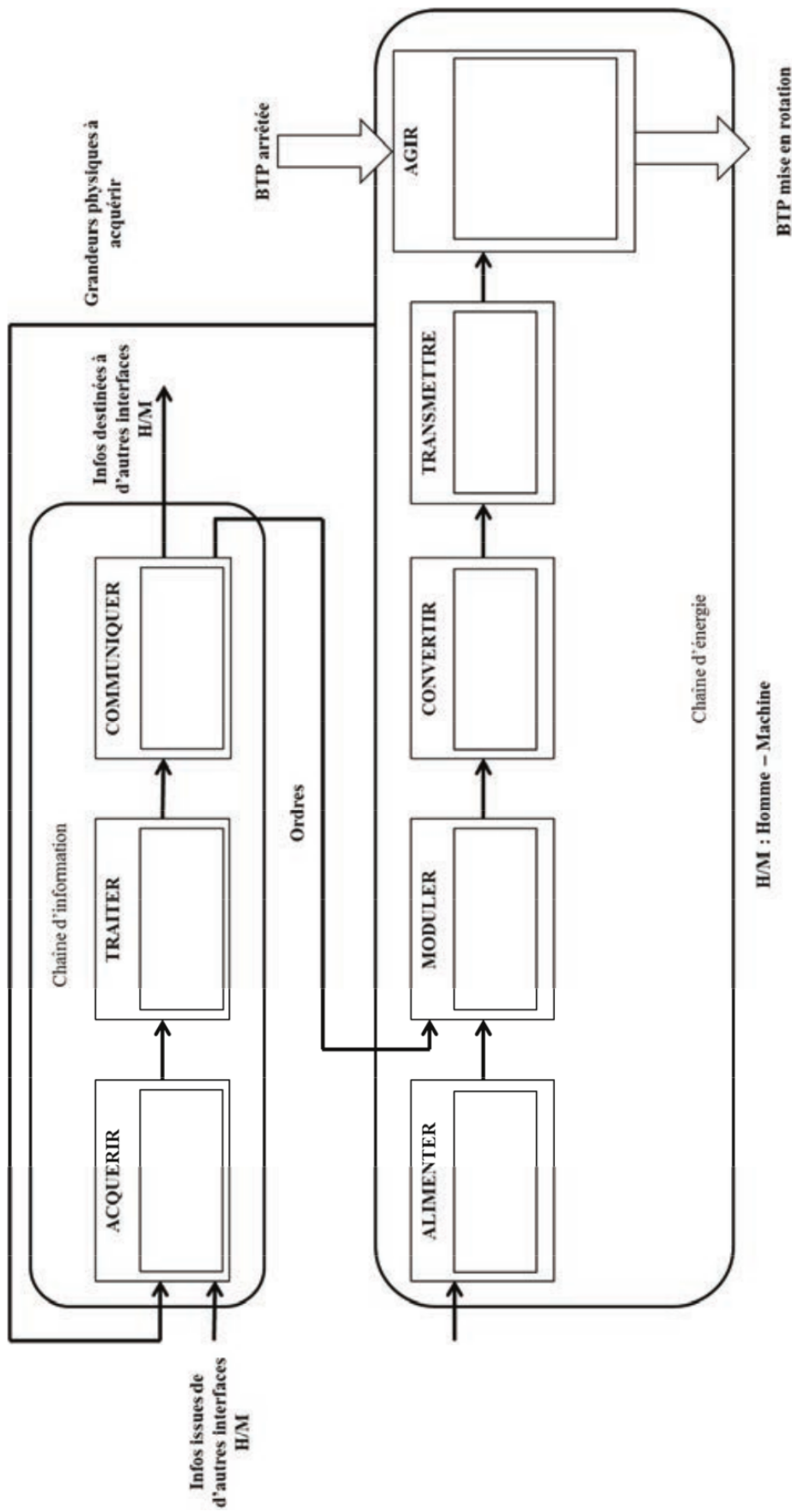


FIGURE 4 – Chaîne fonctionnelle du banc d'essais BTP à compléter

## Exercice 2 : Direction automobile découplée

(inspiré de Banque PT SIA 2017)

### 1 Présentation

Depuis maintenant de nombreuses années, les commandes de vol d'avions sont passées d'une technologie purement mécanique à la technologie par fil (Fly by Wire). Le secteur automobile suit cette tendance qui présente de nombreux avantages. On trouve ainsi, le Throttle by Wire (accélérateur), le Clutch by Wire (embrayage), le Brake by Wire (freins) et le Steer by Wire (direction). C'est le système de direction par fil (Steer by Wire), encore nommé direction découplée, qui fait l'objet de l'étude proposée. Actuellement la législation ne permet pas de mettre totalement en œuvre cette technologie et exige qu'une liaison mécanique reste présente sur le système de direction entre le volant et le boîtier de direction. Elle représente cependant la prochaine étape du développement des systèmes de direction, suite, notamment, à l'essor de la conduite automatisée. Cette technologie offre des fonctionnalités nouvelles, comme :

- de simplifier la conception de l'habitacle et permettre un montage indifférent pour une conduite à droite ou à gauche;
- de libérer de la place dans le compartiment moteur;
- de protéger le conducteur de la remontée de la colonne de direction en cas de choc frontal;
- d'optimiser en temps réel la vivacité et le retour de la direction, ainsi que son rapport de démultiplication;
- d'éviter la remontée de vibrations dans le volant, quel que soit l'état de la chaussée sur laquelle l'automobile évolue.

En 2013, Infiniti, filiale de Nissan, équipe en série, l'Infiniti Q50 (cf. figure 1) d'une direction découplée paramétrable par le conducteur selon quatre modes, mais conserve, pour respecter la législation, une liaison mécanique débrayée en mode normal et embrayée en cas de panne, malgré une forte redondance du système.



FIGURE 1

L'actualité met l'accent sur les véhicules autonomes. Chaque constructeur développe des solutions en ce sens. Le groupe PSA proposera dans un avenir proche une technologie de conduite baptisée "Highway Chauffeur" qui permettra de déléguer la conduite du véhicule sur de longs trajets autoroutiers. Le guidage du véhicule dans sa voie sera complètement automatisé sur les voies express à chaussées séparées. Pour y parvenir, il faut un système qui reconstruit virtuellement, en temps réel, l'environnement physique du véhicule, mais aussi une direction qui intervient en douceur, y compris sur un sol glissant, pour empêcher un dérapage du véhicule lors des changements de voie et des manœuvres de dépassement. Une direction découplée constitue à cet égard une bonne solution.

### 2 Direction découplée

Le principe de la direction découplée est de substituer à la liaison mécanique entre le volant et les roues, une architecture de type télémanipulateur à un degré de liberté qui consiste à coupler un robot maître, manipulé par un opérateur, avec un robot esclave, distant, qui effectue la tâche. Cette structure peut être schématisée par l'organisation qui suit (cf. figure 2).

Dans le cas de la direction découplée, le site maître est l'habitacle du véhicule et le site distant le véhicule même. L'interface maître est l'unité de pilotage à retour d'effort, constituée du volant équipé d'un actionneur qui génère le retour d'effort (couple de direction), indispensable à la restitution d'une sensation de conduite usuelle au conducteur. Le robot esclave est l'unité de braquage des roues constituée d'un actionneur électrique monté sur le boîtier de direction commandant la crémaillère qui oriente les roues par l'intermédiaire des biellettes de direction et du train avant. La figure 3 décrit l'organisation générale sur un véhicule, d'une direction découplée tout électrique.

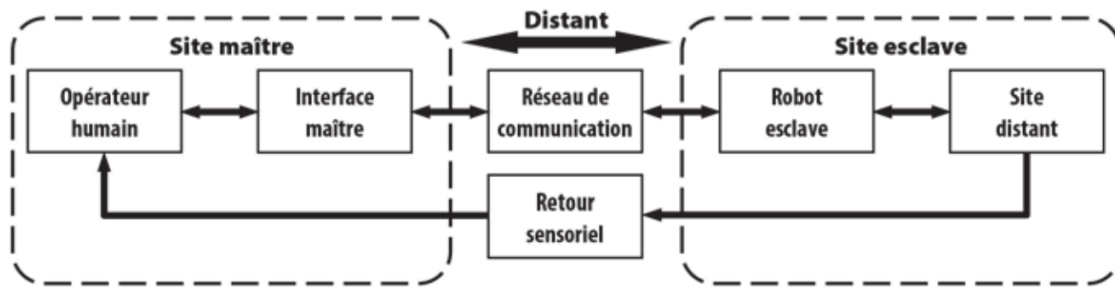


FIGURE 2

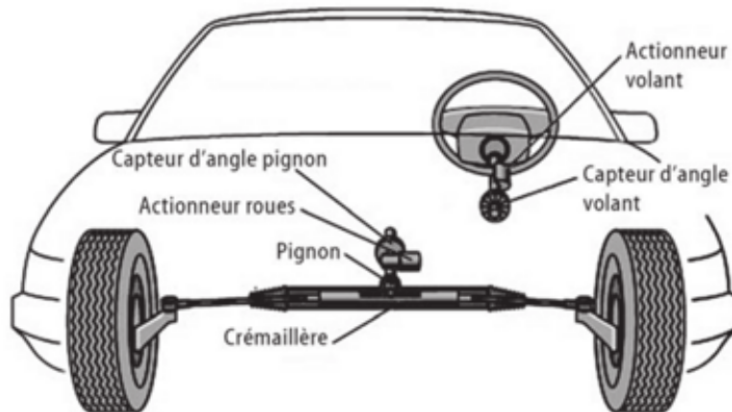


FIGURE 3

La sécurité reste dans le domaine automobile une préoccupation majeure et en cas de défaillance de la chaîne d'information ou d'un actionneur, le véhicule doit rester manœuvrable. Deux solutions sont envisageables :

- Système à sûreté intégrée : une liaison mécanique est établie entre le volant et les roues (la seule possible actuellement pour répondre à la législation).
- Système tolérant aux erreurs : les chaînes d'information et d'énergie sont doublées ou triplées. On parle de système redondant, identique aux systèmes connus et utilisés depuis longtemps en aviation.

Les systèmes tolérant les erreurs offrent des avantages supplémentaires comme la sécurité active et passive, la flexibilité de la conception de l'habitacle, permettant d'envisager des architectures automobiles novatrices.

Le diagramme de bloc interne (cf. figure 5) précise la structure interne et les flux échangés entre les différents composants de la direction dé耦plée dont l'architecture est fournie par le diagramme de définition de blocs (cf. figure 4).

**Question 1** Le rôle du système est d'orienter les roues en fonction de la position du volant. Proposer une phase d'utilisation au cours de laquelle l'asservissement est suiveur et une autre phase pendant laquelle il est régulateur. Identifiez dans ce cas les perturbations possibles.

**Question 2** Les unités de pilotage et de braquage comportent une interface de puissance (I.P.). Préciser la fonction et le nom génériques de ce constituant au sein d'une chaîne fonctionnelle.

**Question 3** Préciser la nature (énergie ou information) des flux repérés 1, 2, 3, 4 et 5 sur le diagramme de bloc interne figure 5.

**Question 4** Surligner sur le diagramme de blocs interne figure 5 les éléments et flux intervenant dans la boucle d'asservissement en positionnement des roues.

**Question 5** Préciser le rôle de chacun de ces composants et proposer une chaîne fonctionnelle de l'asservissement.



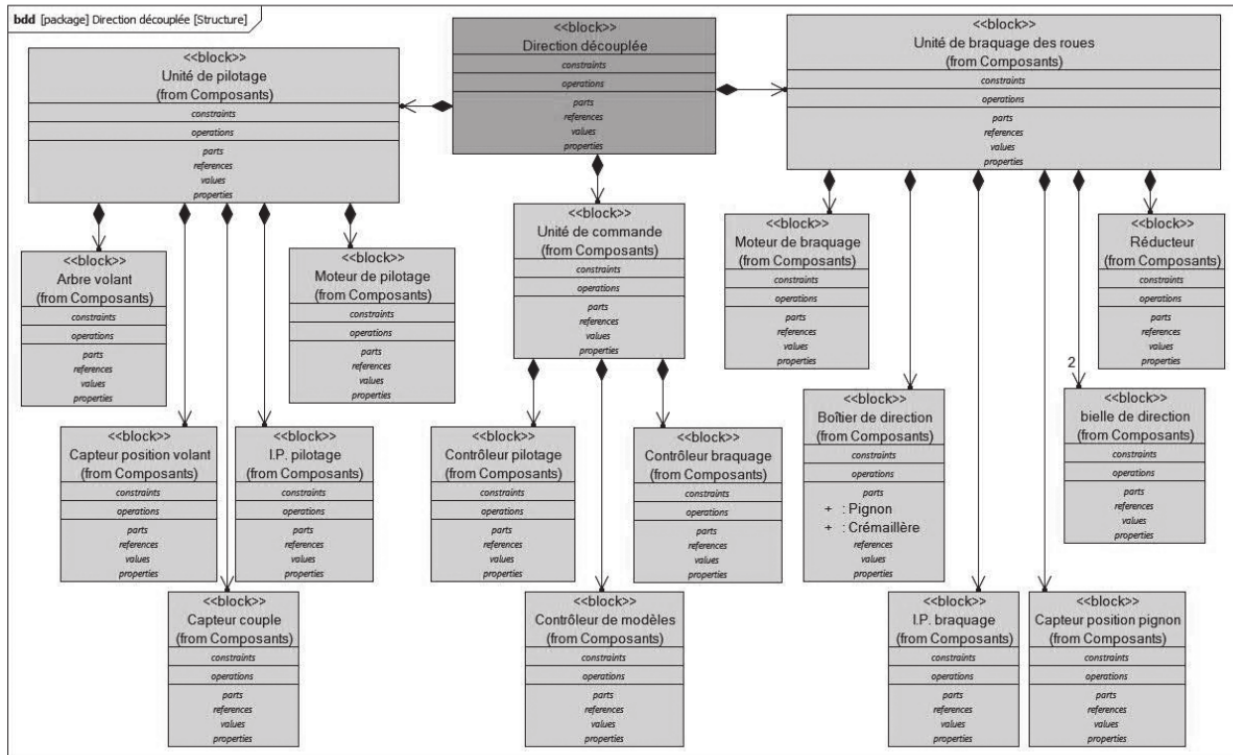


FIGURE 4

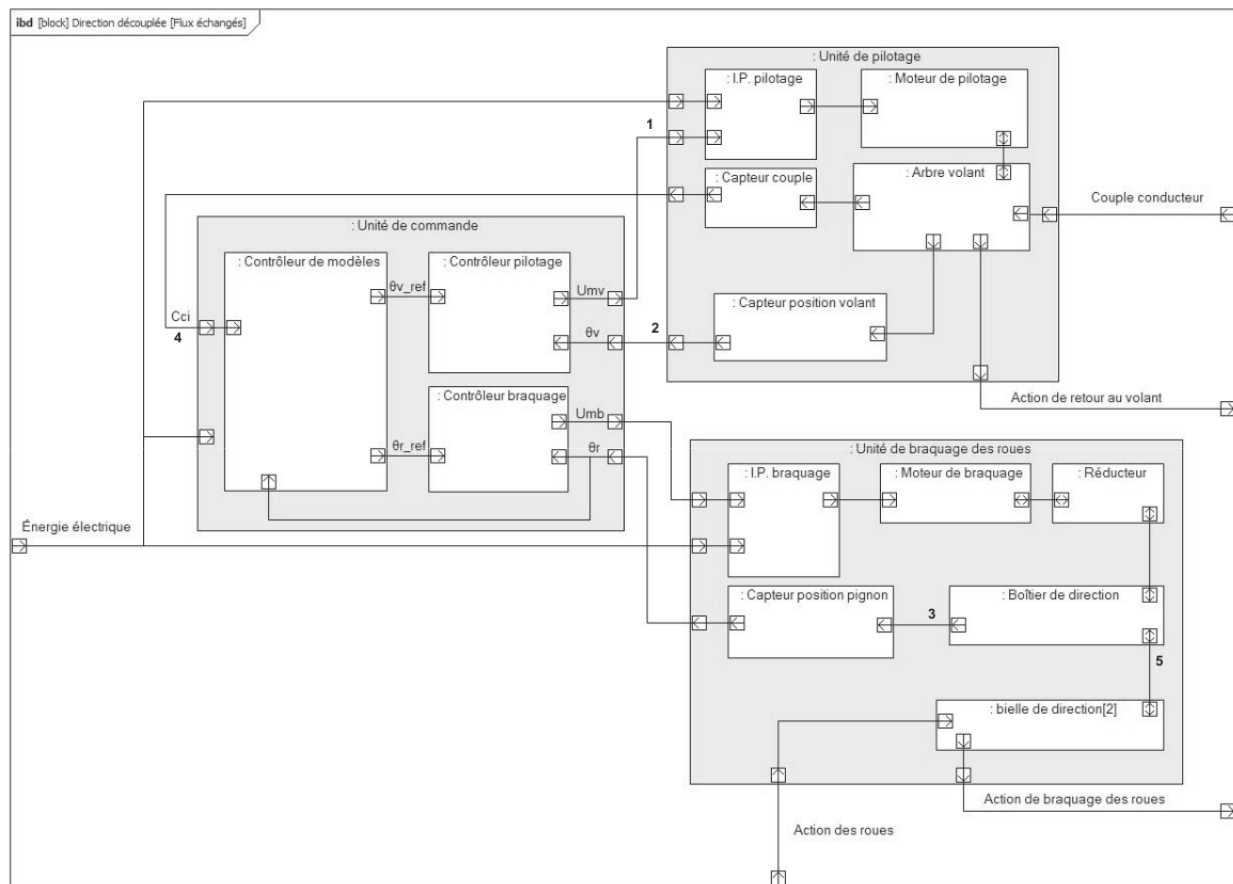


FIGURE 5

# Dessert

(pour aller plus loin)

## Exercice 1 : Système d'appontage du porte-avions Charles de Gaulle



FIGURE 1 – Deux avions, Super Etendard (à gauche) et Rafale (à droite), en cours d'appontage sur le porte-avions Charles de Gaulle.

L'objet de l'étude est le système d'appontage implanté sur le porte-avions Charles de Gaulle dont la capacité d'embarquement est de 40 aéronefs. La piste d'appontage est située sur la moitié arrière, elle est légèrement oblique ( $8,5^\circ$ ) et se termine comme la deuxième piste (spécifique au décollage, à l'avant du porte-avions) à la limite du pont. 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 seuls avions de chasse embarqués sont depuis 2016 du type Rafale Marine. Leur masse au décollage et à l'appontage est d'entre 8 et 20 tonnes selon les configurations. La vitesse d'appontage est de 200 km/h à 250 km/h. Pour annuler leur 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 plusieurs centaines de mètres. L'appontage fait donc appel à des systèmes spécifiques destinés à assurer ces efforts : les « freins d'appontage ».

Le principe général des freins d'appontage est simple. Après discussion entre le pilote et le chef de pont, l'appontage peut avoir lieu. 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 récupère l'énergie cinétique de l'avion. Une vanne de laminage permet de dissiper une partie de cette énergie sous forme de chaleur. Le complément d'énergie est accumulé dans un système oléopneumatique puis est réutilisé pour remettre le système en configuration initiale à la demande du chef de pont. Le système est alors prêt pour le prochain appontage.

**Question 1** Listez les sous-systèmes de même niveau composant le frein d'appontage grâce à la lecture du diagramme de définition de blocs de la figure 3.

**Question 2** Listez, dans l'ordre, les composants intervenant dans la dissipation de l'énergie cinétique provenant de l'appontage, ainsi que le type d'énergie échangée entre ces composants. Précisez sous quelle forme est évacuée l'énergie vers l'environnement extérieur.

**Question 3** Listez les composants intervenant dans le réglage du pointeau et donc du freinage.

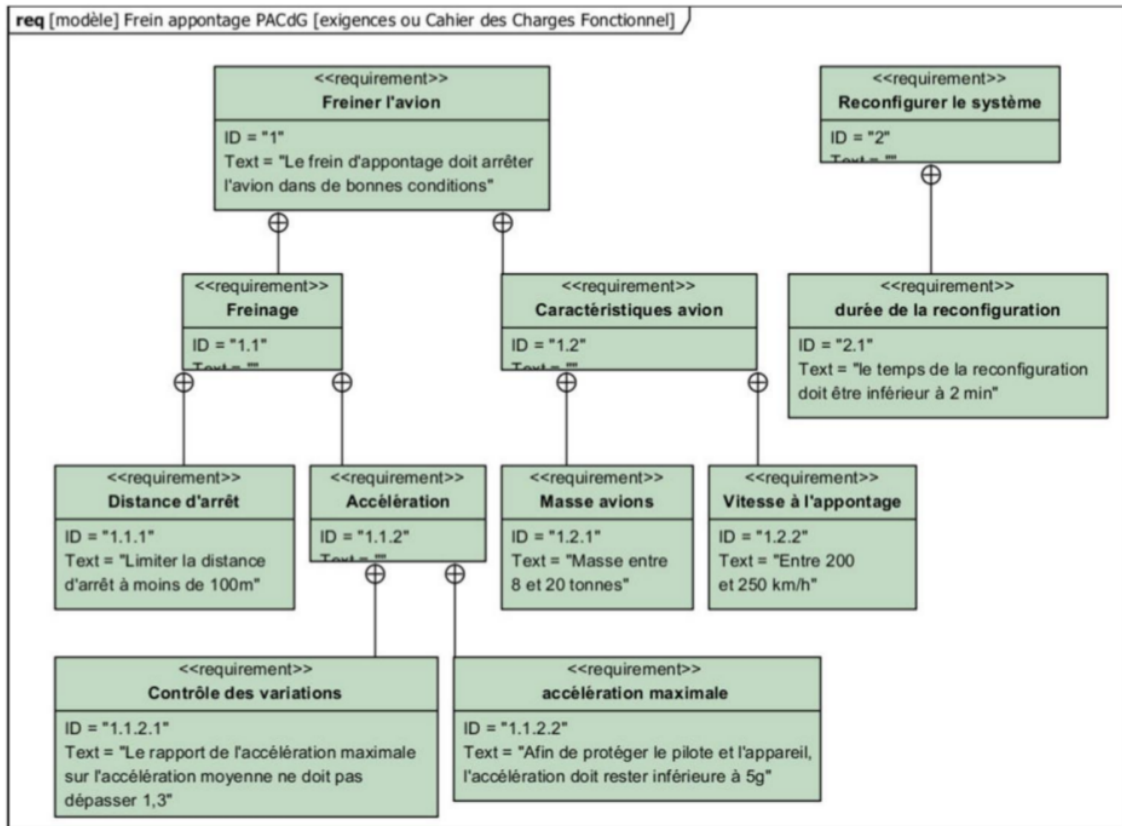


FIGURE 2 – Diagramme des exigences partiel du système d'appontage du porte-avions Charles de Gaulle.

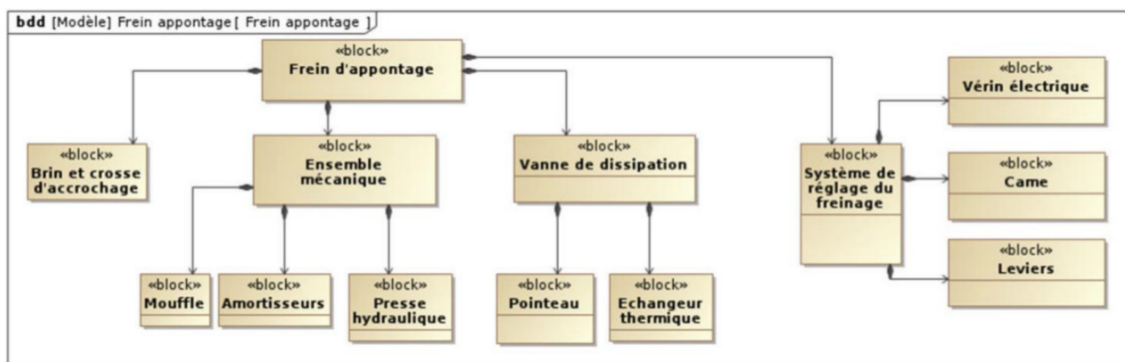


FIGURE 3 – Diagramme de définition de blocs partiel du système d'appontage du porte-avions Charles de Gaulle.

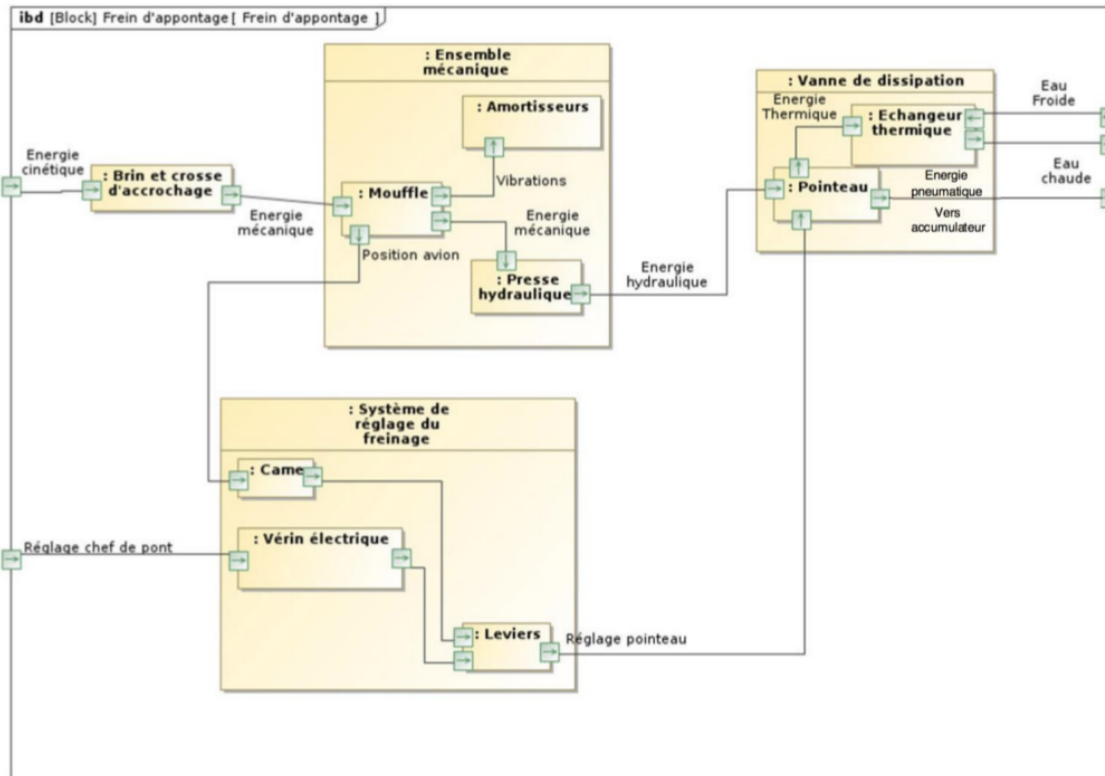


FIGURE 4 – Diagramme interne de blocs du système d'appontage du porte-avions Charles de Gaulle.

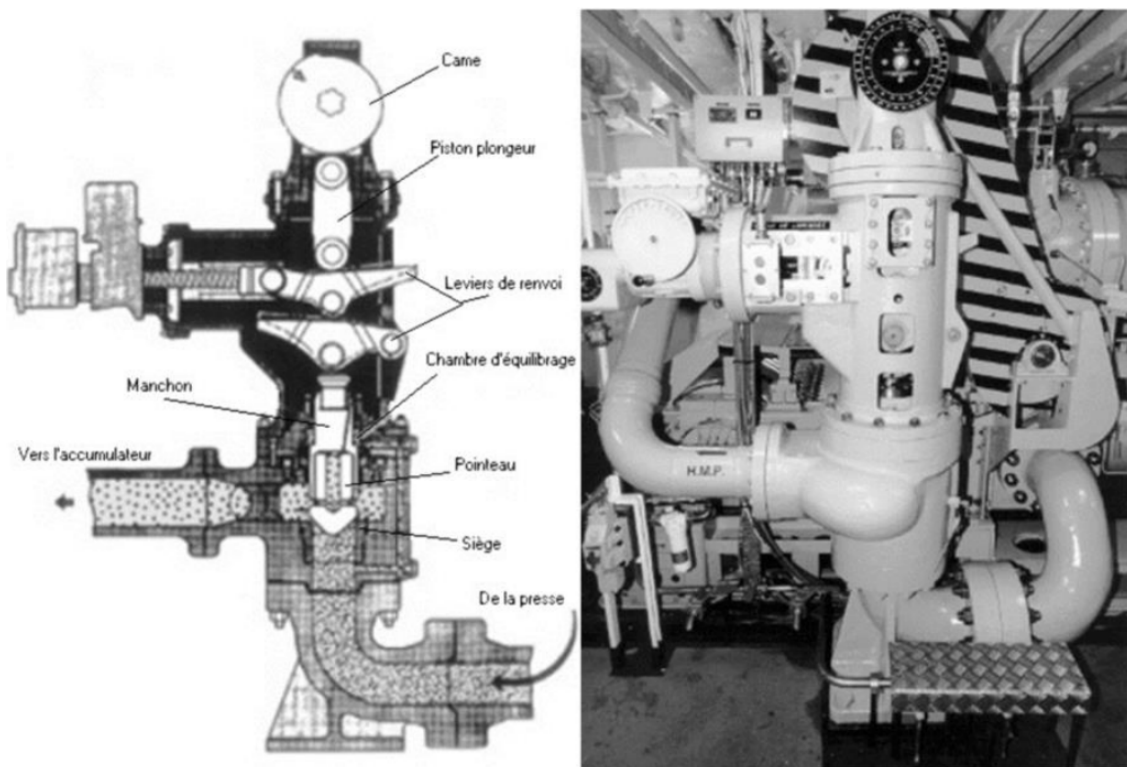


FIGURE 5 – Vanne de dissipation d'énergie du système d'appontage.