

## Exercice 1 : technologie HSD de la toyota prius

**Objectif :** comprendre l'architecture du système HSD par une approche globale.

### Introduction

Dans le contexte actuel d'économie des énergies fossiles et de réduction des émissions de gaz nocifs, le système de propulsion hybride constitue une alternative intéressante à la propulsion classique par moteur thermique seul car il permet de réduire la consommation.

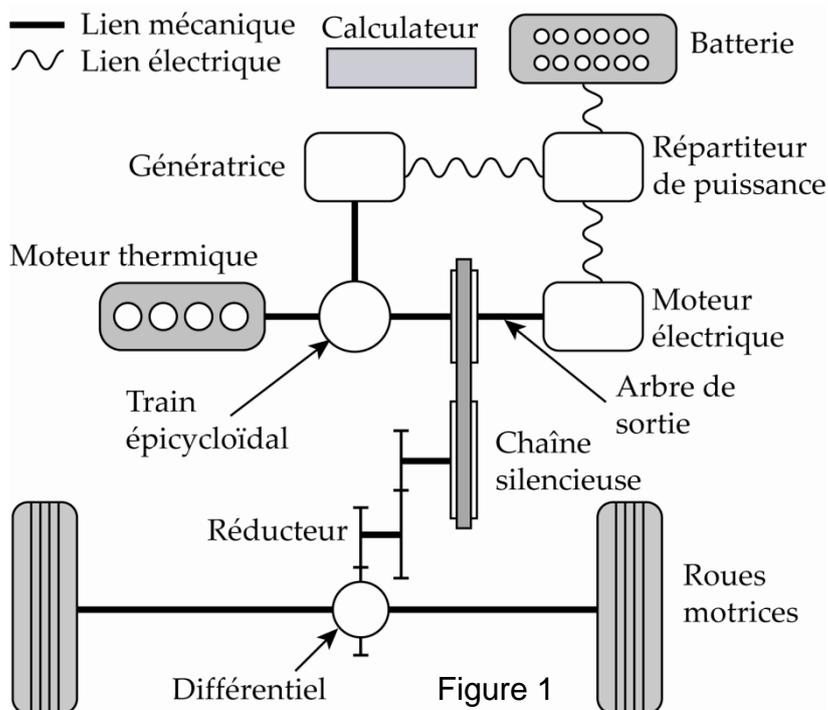


La spécificité de la solution retenue sur la Prius consiste à :

- Récupérer l'énergie du véhicule lors du freinage,
- Exploiter le moteur thermique à son rendement optimal.

### Architecture du système hybride HSD TOYOTA

Comme le montre le schéma de la figure 1, la technologie hybride de TOYOTA, nommée HSD (Hybrid Synergy Drive) associe un moteur thermique à essence et sa transmission, à deux machines électriques et une batterie de puissance. Le schéma de principe ci-contre met en évidence les deux machines électriques (le moteur électrique et la génératrice) reliées au moteur thermique par un réducteur de type train épicycloïdal.



A partir de la position de la **pédale d'accélérateur** et de la vitesse du véhicule, le **calculateur** détermine la **vitesse de rotation optimale** du **moteur thermique** et la consigne d'**ouverture du papillon des gaz**. La puissance en sortie du moteur thermique est transmise, grâce à un **train épicycloïdal**, à la **chaîne silencieuse** et à la **génératrice**. Un **asservissement en vitesse** de la génératrice permet de contrôler la vitesse de rotation du moteur thermique.

Le **répartiteur de puissance** gère les échanges de puissance électrique entre la **génératrice**, le moteur électrique et la batterie.

Le **moteur électrique** entraîne la chaîne silencieuse, seul ou en complément du moteur thermique. Il récupère également l'énergie cinétique ou potentielle du véhicule lors des phases de ralentissement.

Les chaînes d'énergie et d'information, figure 2, permettent de percevoir l'organisation des différents composants du HSD. Les fonctions des capteurs relatifs à l'enfoncement de la pédale de frein, au sélecteur de marche et à la température de l'eau du moteur thermique seront développées ultérieurement.

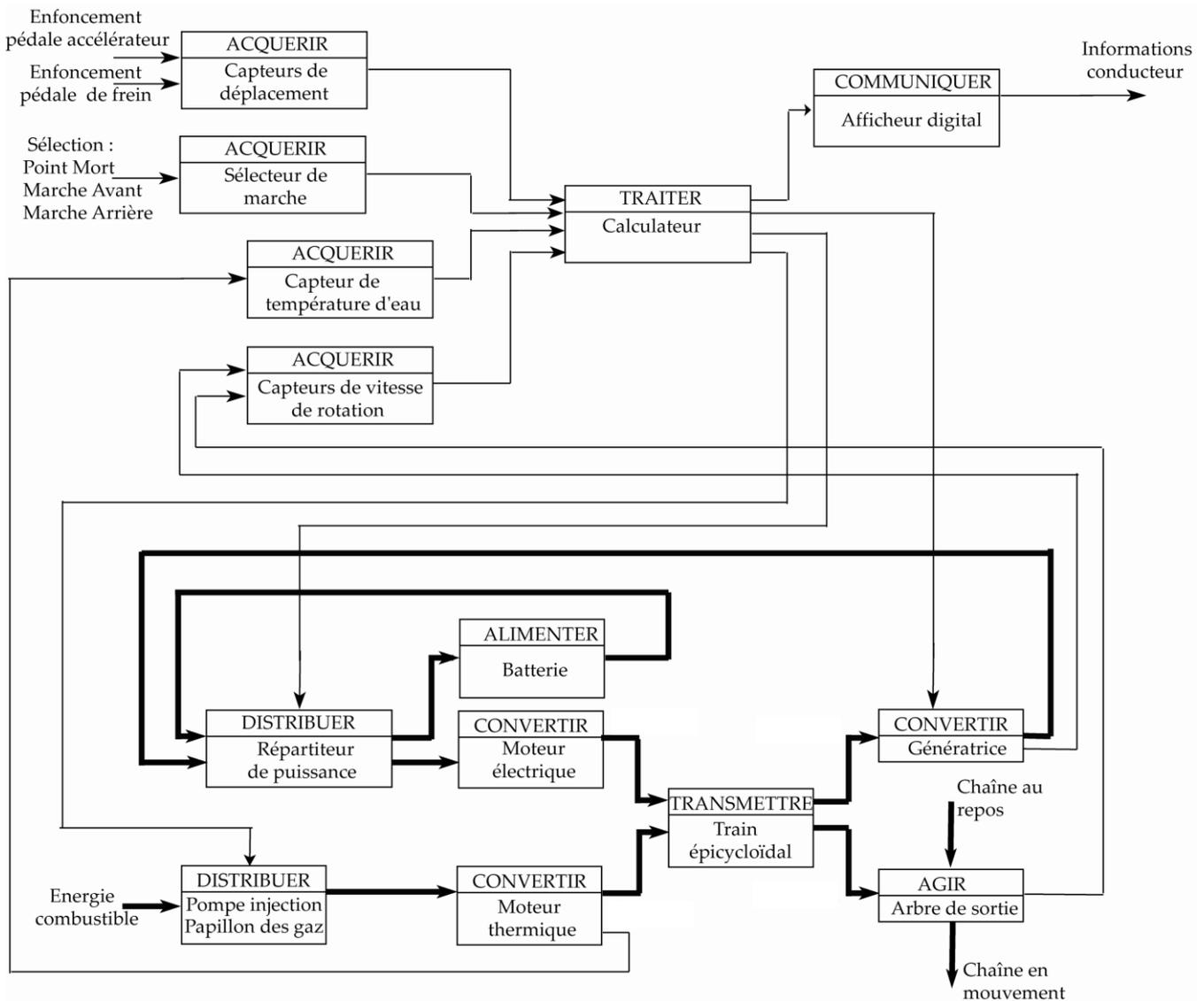
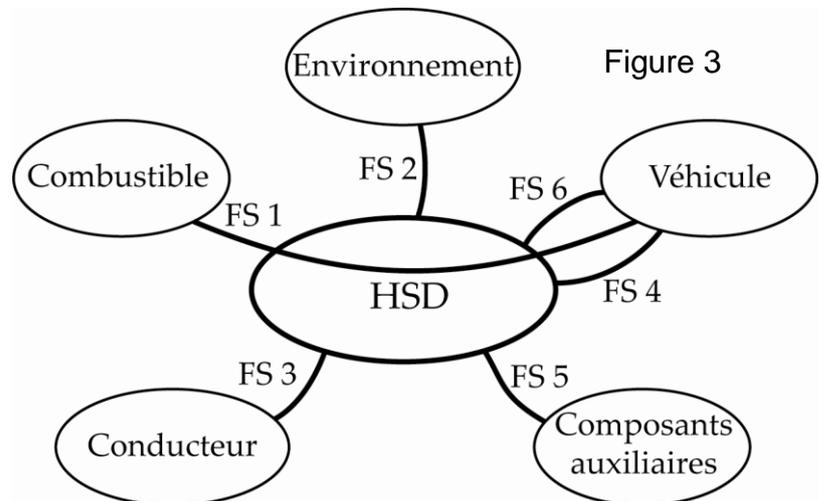


Figure 2 – Schéma topo-fonctionnel

Q1- Compléter le diagramme EMI du système HSD fourni dans le document réponse et donner la liste des constituants de l'interface

Caractérisation des fonctions de service en phase d'utilisation



Le Cahier des Charges, tableau 1, caractérise les fonctions de services du système HSD.

Fonctions de service	Critères	Niveaux
<b>FS1 :</b> permettre au combustible d'entraîner le véhicule	Réduction de la consommation par rapport aux véhicules traditionnels comparables	40 %
	Consommation en cycle mixte	4,3 l pour 100 km
	Vitesse maximale	170 km/h
	Temps d'accélération de 0 à 100 km/h	10,9 s
	Temps d'accélération de 50 à 80 km/h	4,4 s
	Puissance maximale du système hybride	110 kW à 85 km/h
<b>FS2 :</b> respecter l'environnement	Réduction des émissions nocives de CO <sub>2</sub>	40 % en dessous des normes européennes
<b>FS3 :</b> être commandé par le conducteur	Positions du sélecteur Enfoncements des Pédales	PM/MA/MAR Accélérateur/frein
<b>FS4 :</b> s'adapter à la vitesse du véhicule	Vitesse de passage du mode tout électrique au mode hybride (démarrage du moteur thermique)	50 km/h
<b>FS5 :</b> alimenter en énergie les composants auxiliaires	Puissance maximale absorbée par les « consommateurs » d'énergie (climatisation, direction assistée, confort, ...)	4 kW maxi
<b>FS6 :</b> récupérer l'énergie cinétique du véhicule en freinage	Pourcentage de l'énergie cinétique récupérable	70 %

Tableau 1

Remarque : la performance de consommation en cycle mixte est à comparer à une consommation de 7,7 l/ 100 km pour un véhicule à essence classique aux caractéristiques comparables .

Q2- Compléter le diagramme FAST partiel du document réponse de la fonction FS1, en précisant les solutions constructives ainsi que les fonctions techniques manquantes.

### Analyse des performances à partir de résultats de simulation

Un modèle numérique permet, après simulation, d'obtenir les courbes temporelles d'évolution (figure 4 du document réponse) :

- de la vitesse du véhicule  $V$  en km/h,
- de la puissance électrique consommée ou générée par le moteur électrique  $P_{ME}$  en Watt,
- de la puissance mécanique fournie par le moteur thermique  $P_{MT}$  en Watt.

Q3- En analysant la courbe de votre choix, valider les temps d'accélération figurant dans le cahier des charges.

## Exercice 2 : sèche-mains

### Contexte :

Les sèche-mains électriques propulsent de l'air chauffé afin de permettre un séchage relativement rapide des mains après lavage. Cependant l'air propulsé est issu de l'air ambiant qui contient un nombre important de bactéries, c'est pourquoi ces systèmes sont totalement absents des lieux médicaux (hôpitaux, cliniques...).

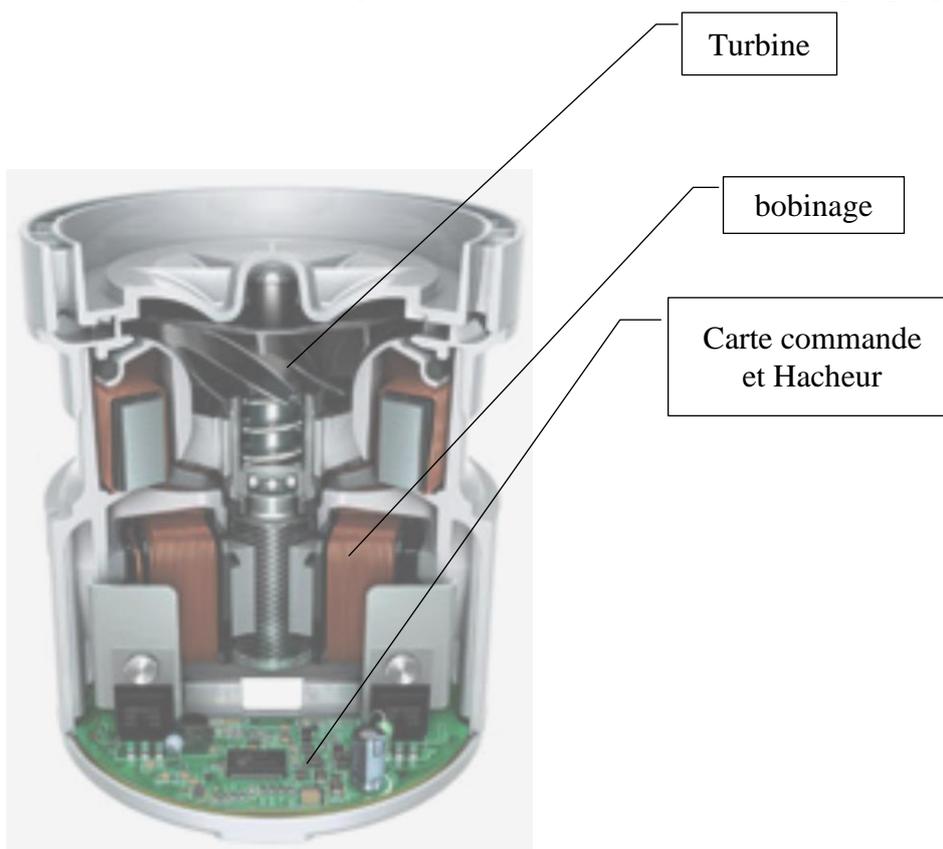
La société Dyson propose une nouvelle gamme de sèche-mains électriques qui se veut plus hygiénique, silencieuse, efficace et économique. Une nouvelle technologie de moteur associée à un filtre antibactérien et une reconception complète de l'architecture interne ont permis d'atteindre ce résultat.

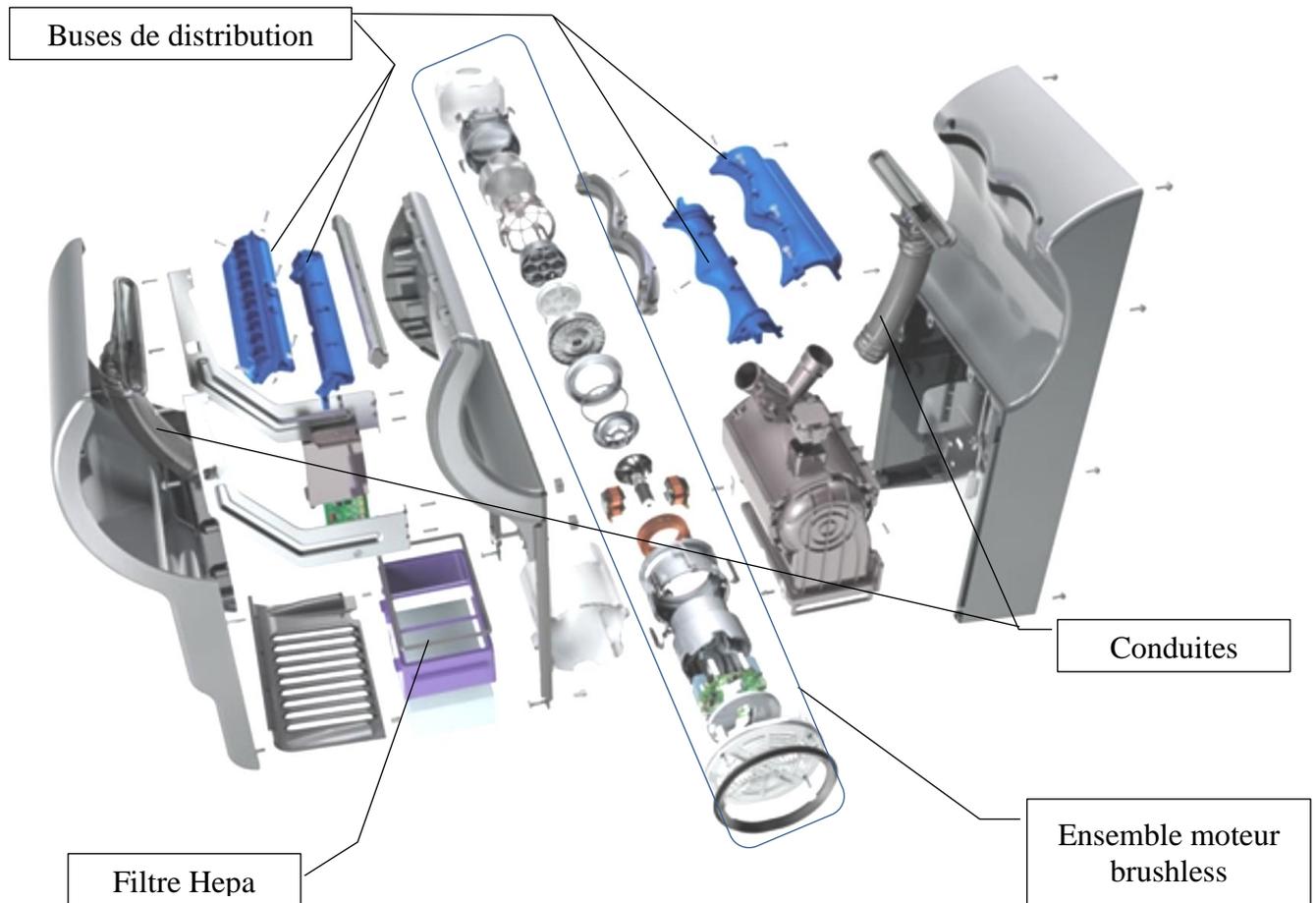
### Présentation du système :

L'association de la technologie Airblade et du tout dernier moteur numérique Dyson permet de générer des rideaux d'air à grande vitesse. Le sèche-mains Dyson Airblade Mk2 offre la méthode de séchage des mains la plus rapide.

Il est équipé d'un filtre HEPA (fibre de verre et pré-couche de feutrine). 99,9 % des bactéries et virus présents dans l'air des sanitaires sont ainsi capturés. Les mains sont donc séchées par un air plus propre, et non par un air vicié.

La fabrication du tout dernier moteur numérique Dyson a duré sept ans, il est l'un des plus petits moteurs de 1600 W entièrement intégrés au monde. Il est le seul moteur de sèche-mains assez puissant pour aspirer jusqu'à 30 litres d'air en une seconde à travers un filtre HEPA, puis sécher les mains en 10 secondes par propulsion d'air à 690 km/h.

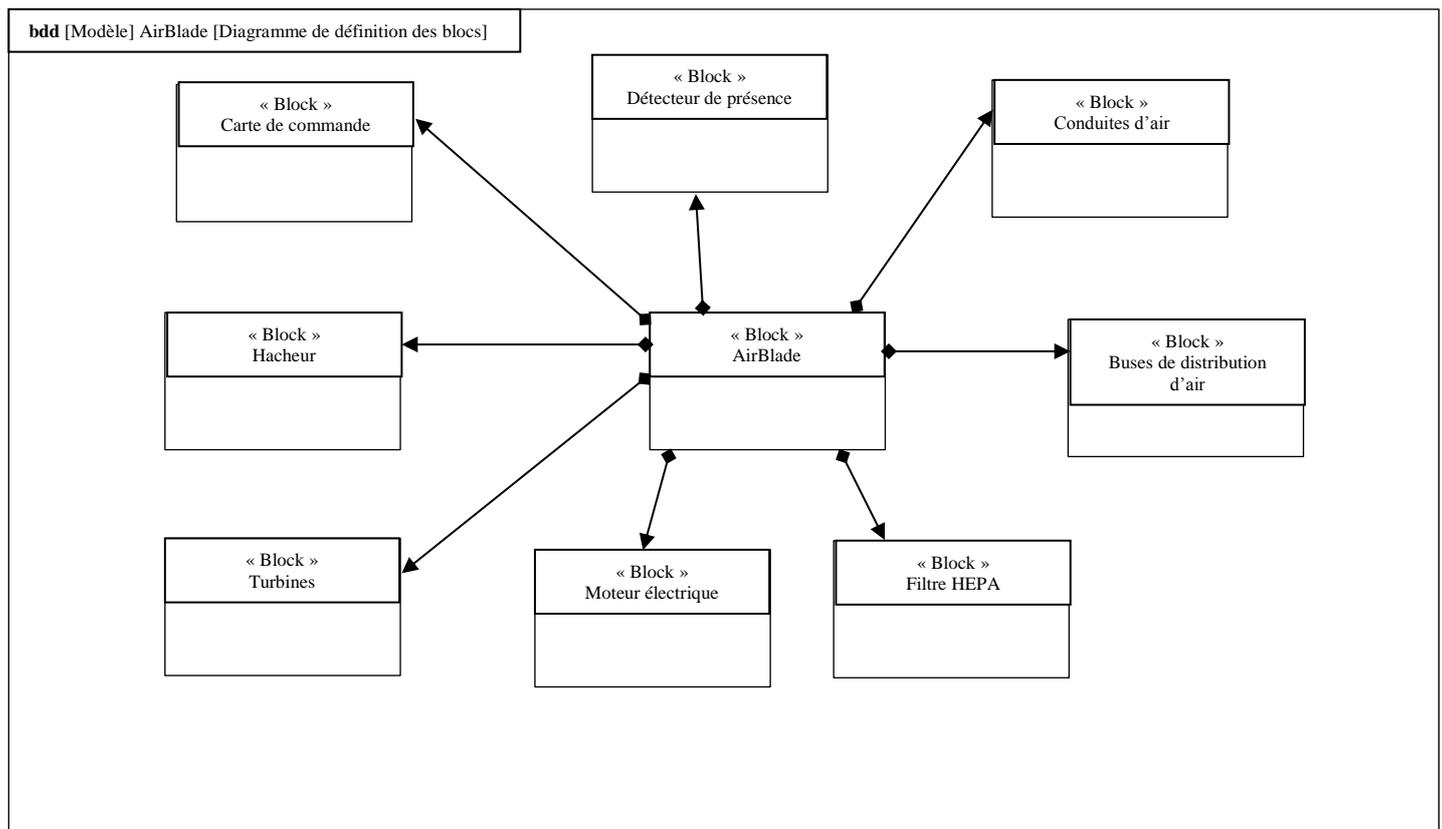




D'une longue durée de vie et économisant l'énergie, ce moteur à impulsions numériques tourne 6 000 fois par seconde pour entraîner une rotation de la turbine haute compression de 90 000 tours par minute. Il n'est composé que de trois pièces en mouvement. Cela évite l'usure de bagues collectrices ou de balais de charbon présents dans les technologies plus classiques de moteur électrique. L'alimentation du moteur se fait par un Hacheur qui est un convertisseur continu/continu mettant en œuvre plusieurs interrupteurs commandés. Il permet d'obtenir à partir d'une tension continue fixe, une tension continue réglable de plus forte valeur.

### Questions et travail demandé :

1. A partir du texte descriptif, de votre expérience personnelle et du diagramme de définition des blocs (**bdd**) fourni, compléter le diagramme de définition de blocs internes (**ibd**) de l'AirBlade du document réponse. Vous devez nommer les blocs ainsi que connecter et nommer ce qui transite entre les ports de chaque bloc. Vous utiliserez pour cela la liste des éléments à faire apparaître, fournie à côté du diagramme.
2. Deux types de ports apparaissent sur le diagramme **ibd** : les ports standard et ports de flux. Précisez leur différence de graphisme et la nature de ce qu'ils véhiculent.
3. Que signifie le graphisme des flèches ( $\blacklozenge \longrightarrow$ ) apparaissant sur le diagramme **bdd** ?
4. Quelle pourrait-être la technologie employée pour le capteur de présence ? expliquer son principe.



### Exercice 3 : frein d'appontage

#### Présentation du système

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, 3 pistes sont disposées sur le pont supérieur, 2 destinées au décollage et une à l'appontage (figures 1 et 2).



Figure 1 : le Charles de Gaulle



Figure 2 : pont du porte-avions

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, Hawkeye. Leur masse au décollage est de 12 à 25 tonnes suivant les modèles (charge + 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 .

### Analyse fonctionnelle des freins d'appontage

Le principe général des freins d'appontage est simple. L'avion est muni d'un bras appelé crose 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.

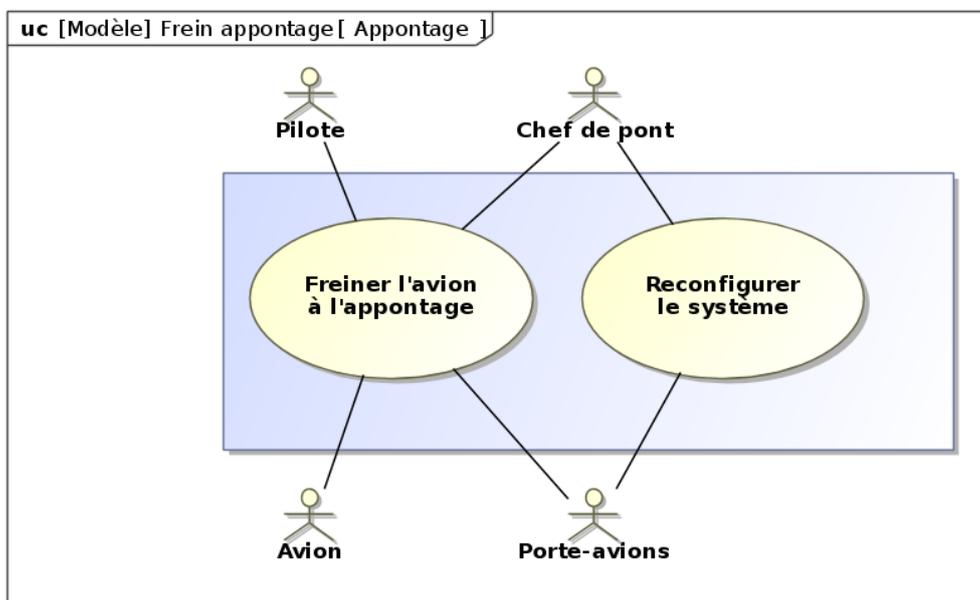


Figure 3 : Diagramme de cas d'utilisation

### Analyse fonctionnelle des milieux extérieurs

L'analyse du cas d'utilisation conduit au diagramme donné figure 3.

Le système étudié « freins d'appontage » est en relation avec les acteurs suivants : l'avion, le porte-avions, le pilote et le chef de pont.

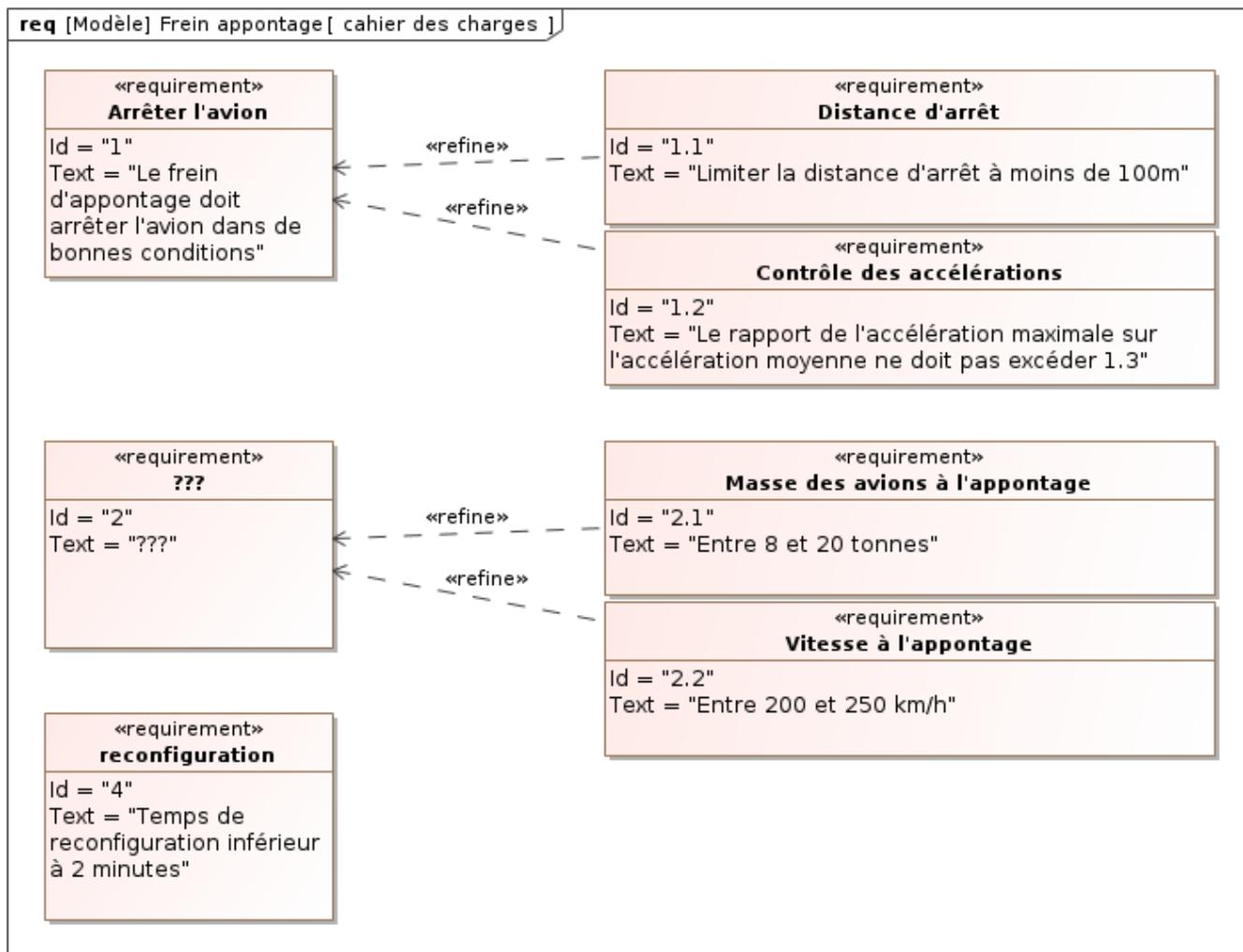


Figure 4 : extrait du diagramme d'exigences

Le système doit satisfaire à un certain nombre d'exigences, dont quelques-unes sont précisées sur le diagramme des exigences figures 4. 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

**Q1-** Identifier l'expression des exigences numérotées 2 et 3.

### Exigence « Arrêter l'avion »

L'objectif de cette partie est de compléter le diagramme de définition de bloc incomplet et le diagramme de description interne.

### Description des fonctions techniques :

- **Capter l'énergie cinétique de l'avion**



Figure 5 :  
Rafale marine crosse sortie



Figure 6 :  
Hawkeye à l'appontage

L'avion est muni d'un bras appelé « crosse d'appontage » situé sous le fuselage à l'extrémité arrière (figure 5). 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 5 et 6). 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.

- **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, l'un pour le câble bâbord, l'autre pour le câble tribord (figure 7).

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 9 poulies de diamètre  $d_b$  sur lesquelles s'enroule le câble bâbord, et un groupe de 9 poulies de diamètre  $d_t$  sur lesquelles s'enroule le câble tribord.

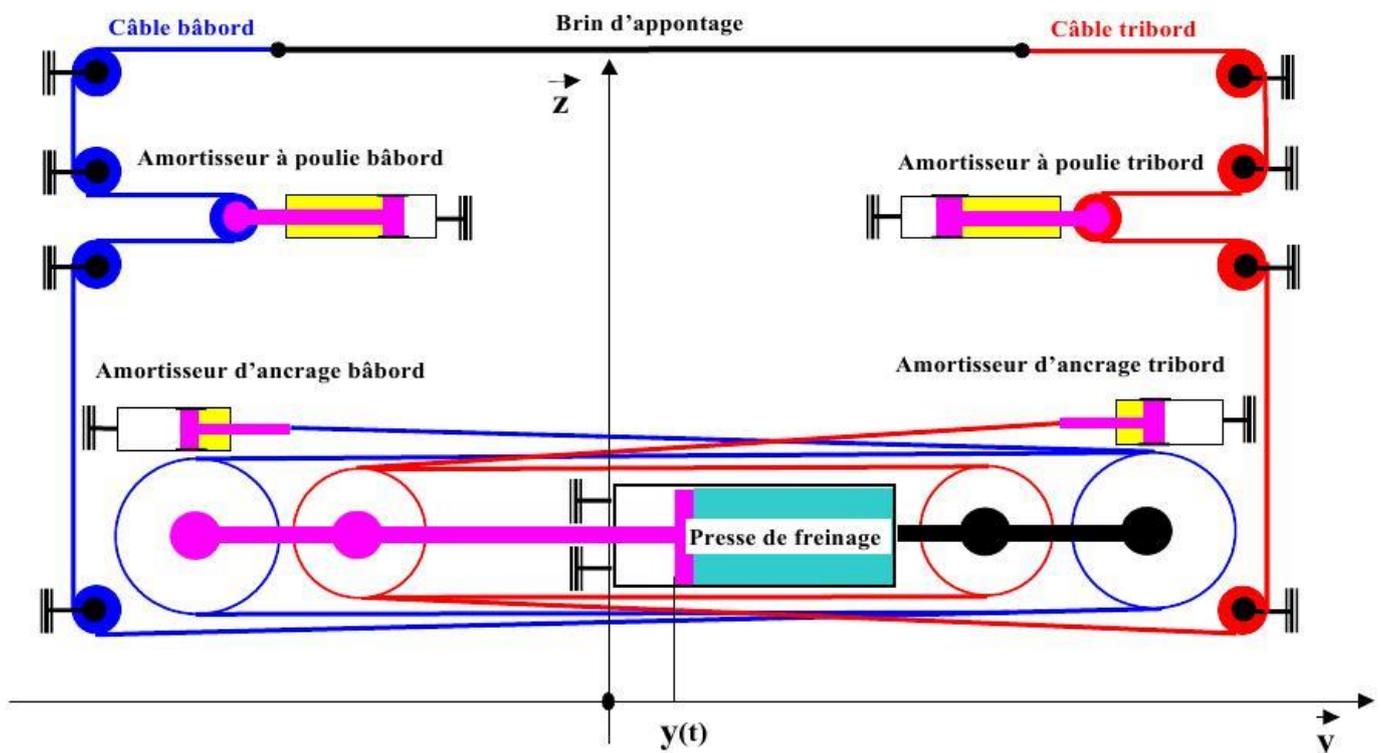


Figure 7 : Schéma du moufle et de la presse de freinage dans le plan  $x=0$

- **Protéger l'avion**

Immédiatement après la traversée de pont, les câbles passent sur des amortisseurs dits « à poulie » (figure 7) 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.

- **Convertir l'énergie mécanique en énergie hydraulique**

Un vérin hydraulique nommé « presse de freinage » transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique (figures 7 et 8). 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.

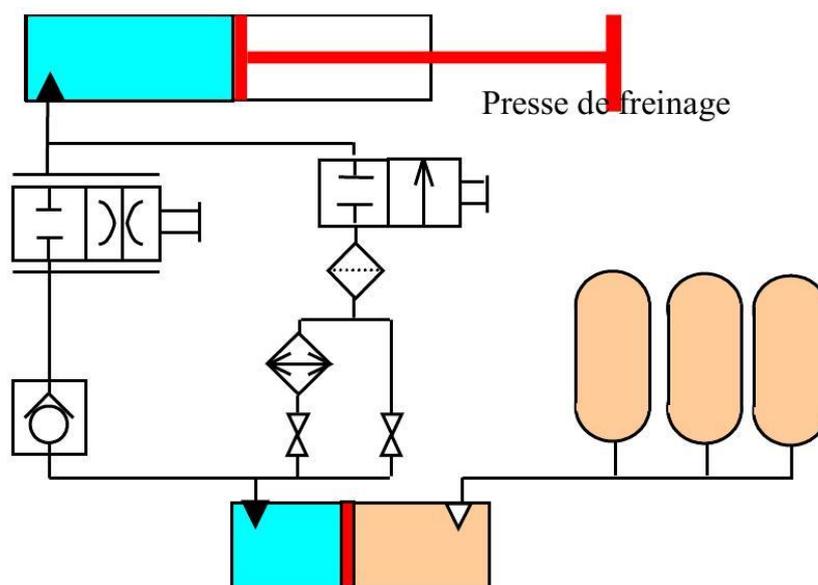


Figure 8 : schéma hydraulique du frein d'appontage

- **Dissiper l'énergie en contrôlant l'effort de freinage**

Une vanne de laminage (figure 9) 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 (figure 10) 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.

Figure 9 :  
vanne de laminage

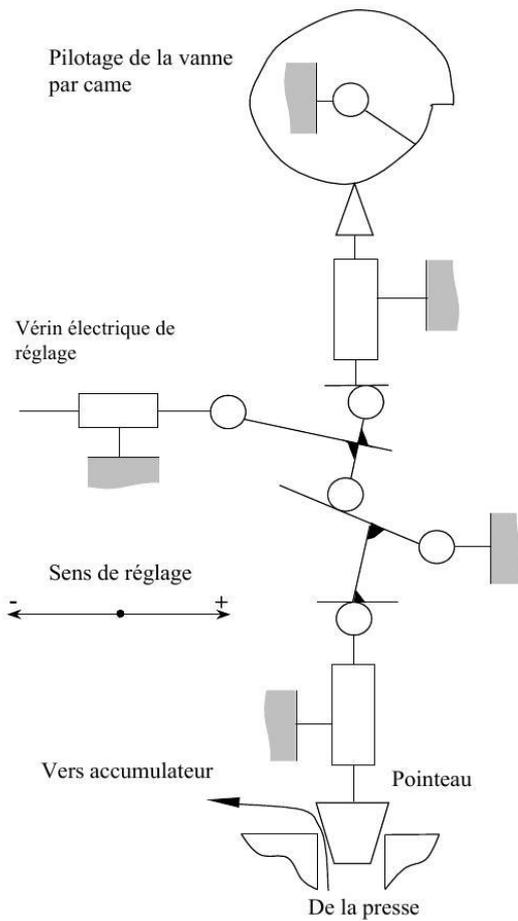
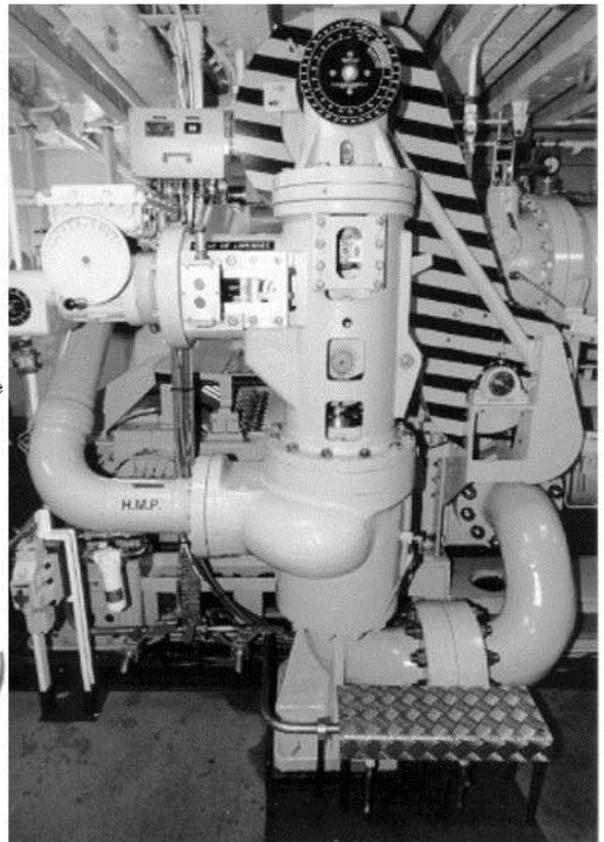
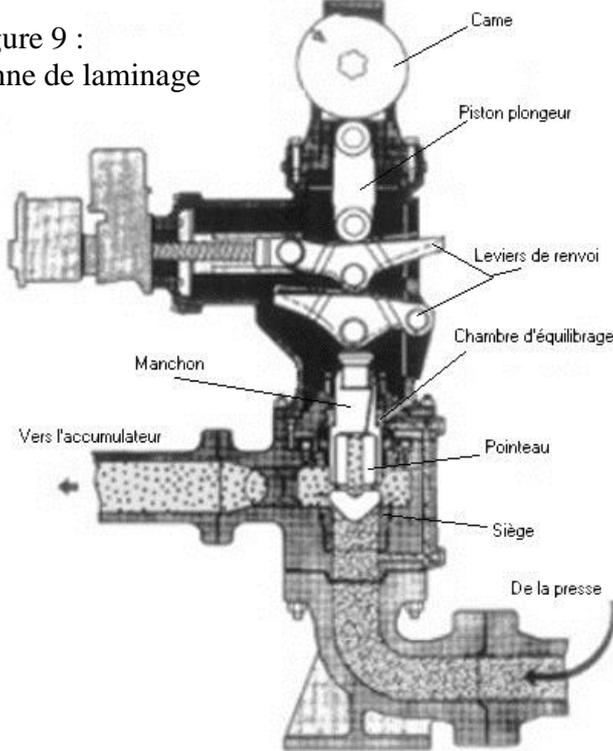
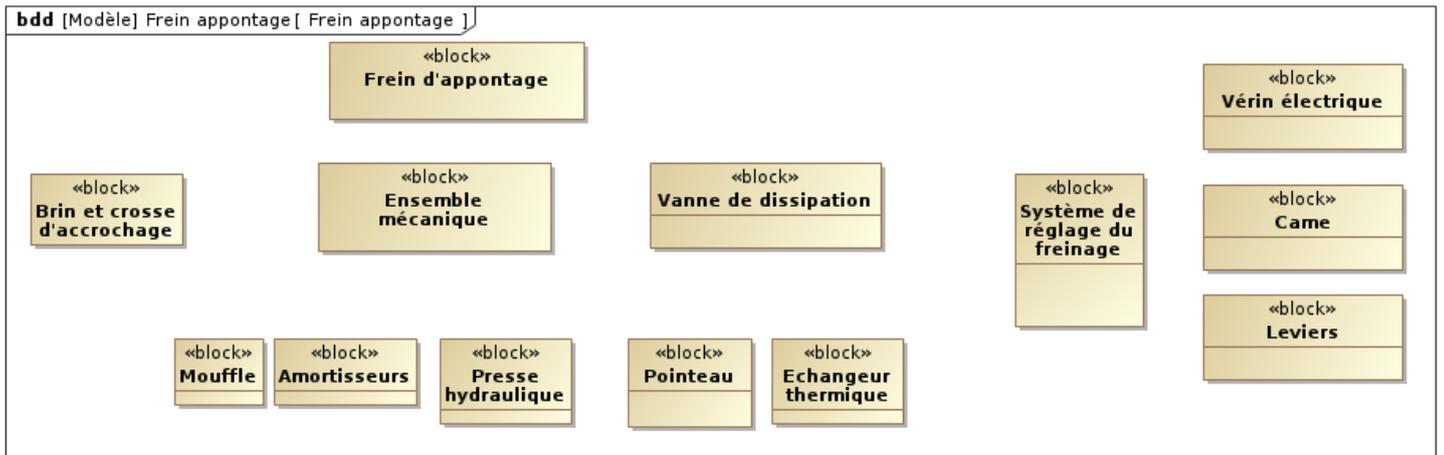
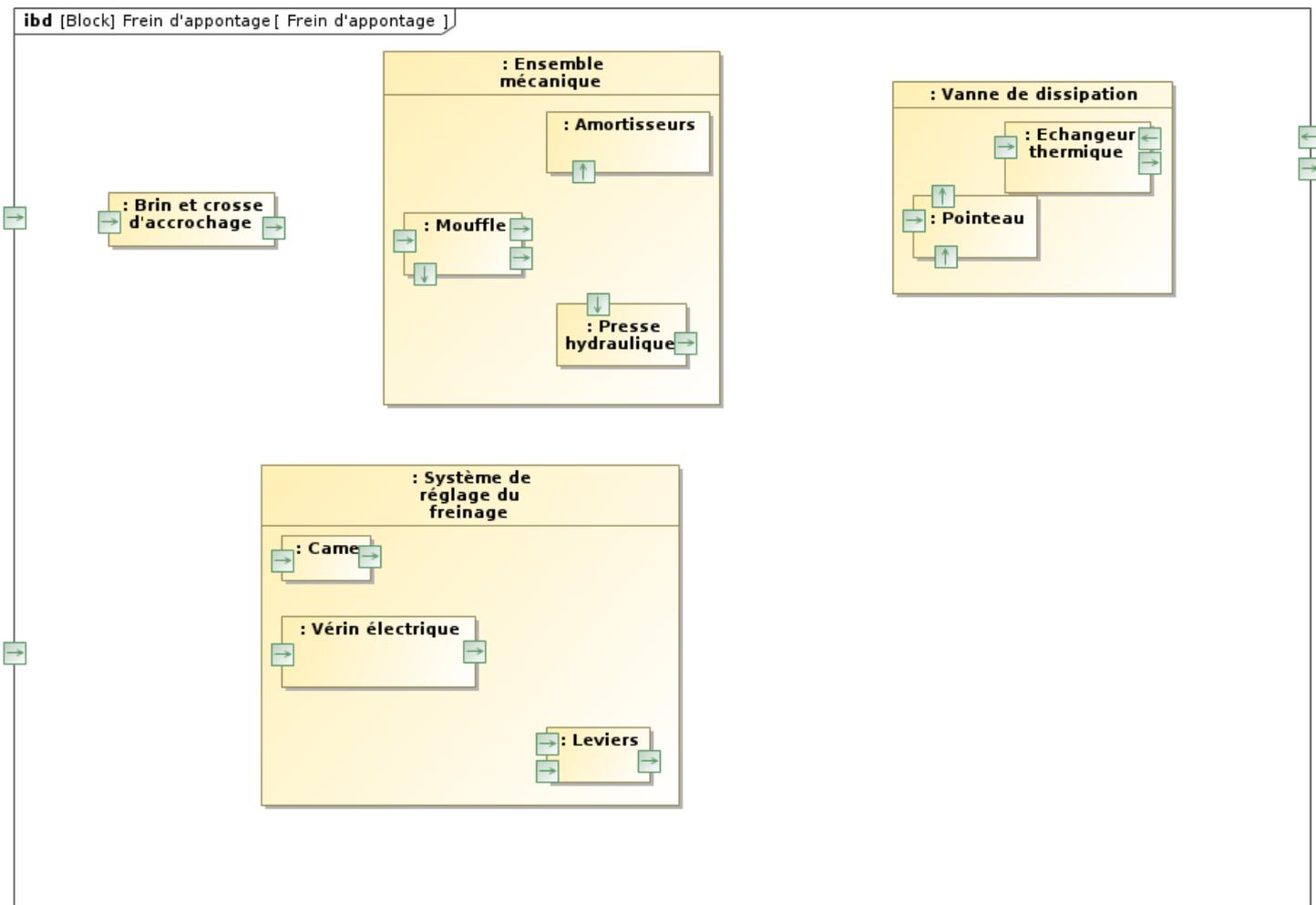


Figure 10 :  
Schéma cinématique de la vanne de laminage

Q2- Compléter le diagramme de définition de bloc donné en reliant les blocs sous forme hiérarchique (le niveau hiérarchique le plus élevé étant le bloc "Frein d'appontage").

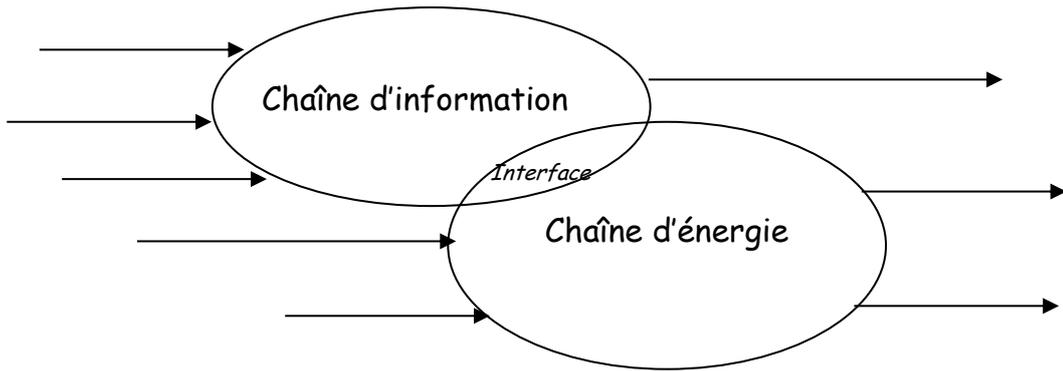


Q3- Compléter le diagramme de description interne du frein d'appontage en précisant les flux d'énergie traversant le système et les flux d'information le pilotant.



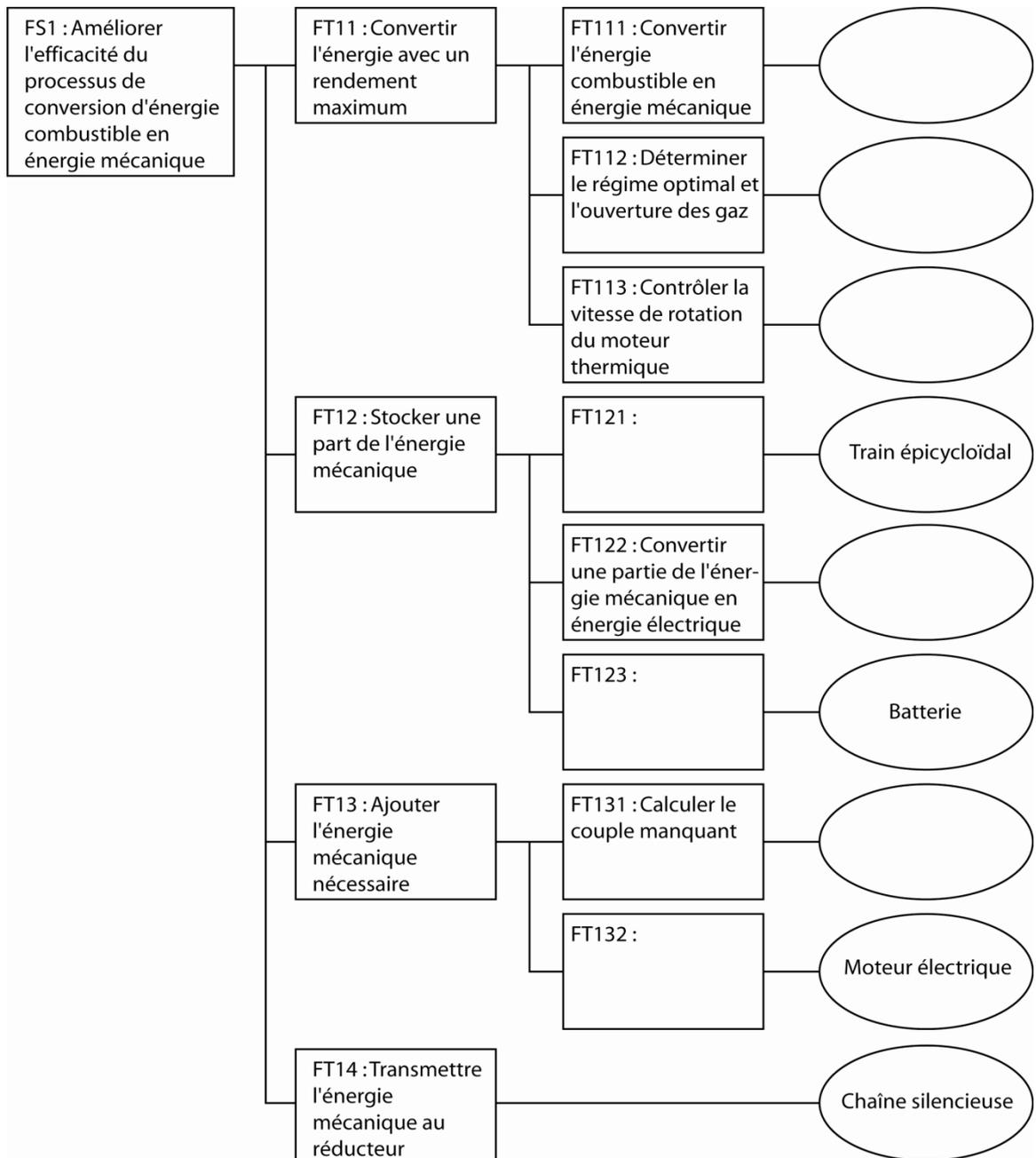
# Document réponse Exercice 1

Réponse à la question 1 :



Liste des constituants de l'interface : \_\_\_\_\_

Réponse à la question 2 :



Réponse à la question 3 :

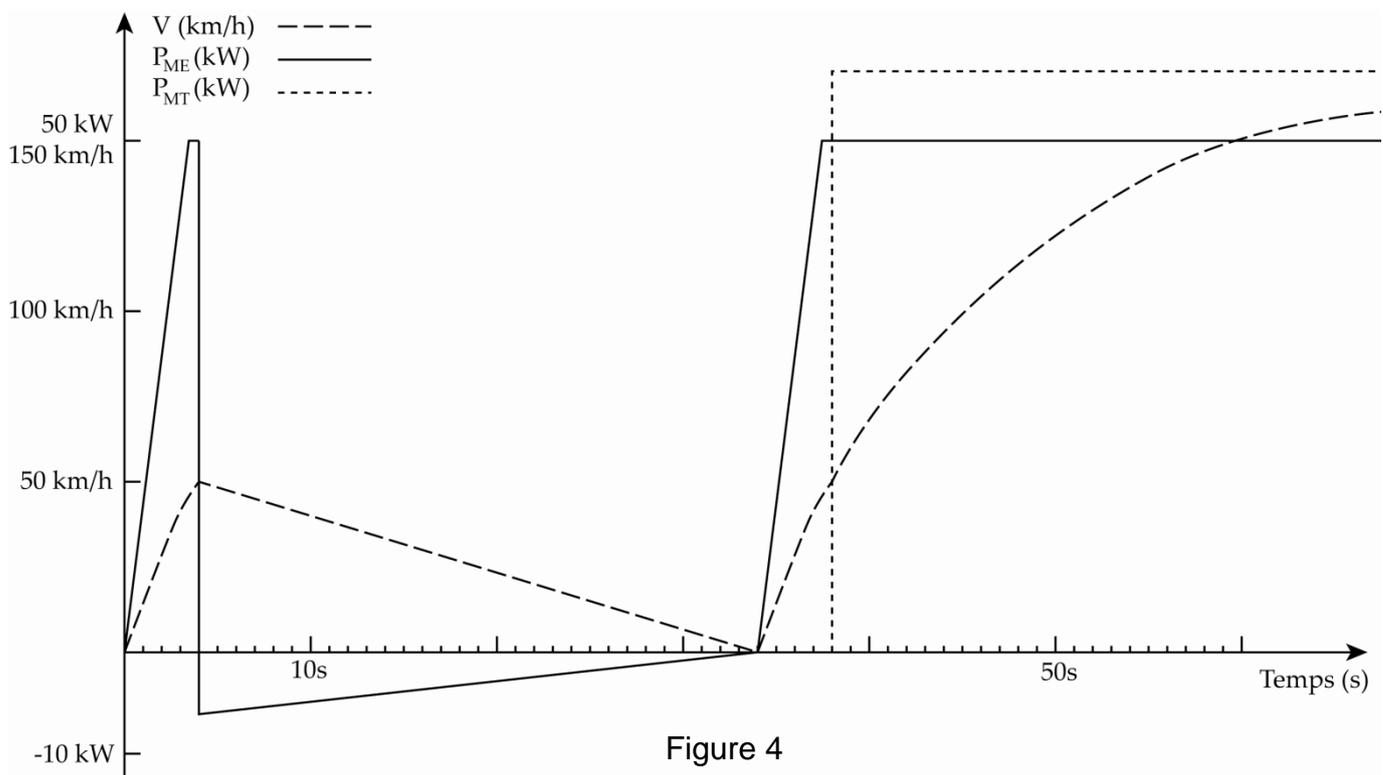
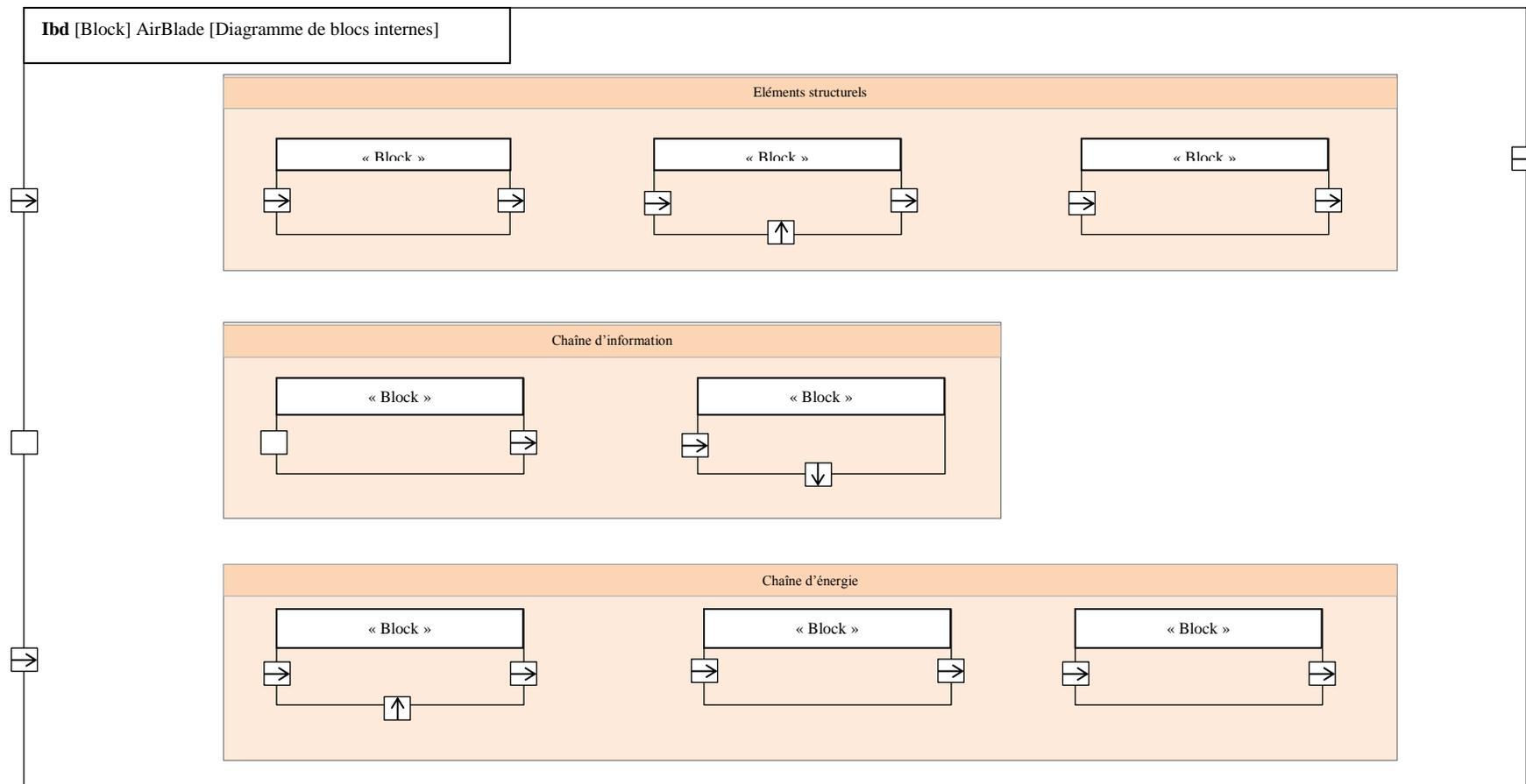


Figure 4

**Evolutions temporelles de :**

- La vitesse du véhicule V en km/h
- La puissance électrique consommée ou générée par le moteur électrique P<sub>ME</sub> en kW
- La puissance mécanique fournie par le moteur thermique P<sub>MT</sub> en kW.

## Document réponse Exercice 2



Liste des « éléments inter-blocs » :

- Energie mécanique
- Energie électrique
- Présence main
- Information présence main
- Energie électrique réseau
- Pression/dépression
- Air propre
- Air ambiant
- Air propre propulsé
- Air propre accéléré
- Consigne électrique commande