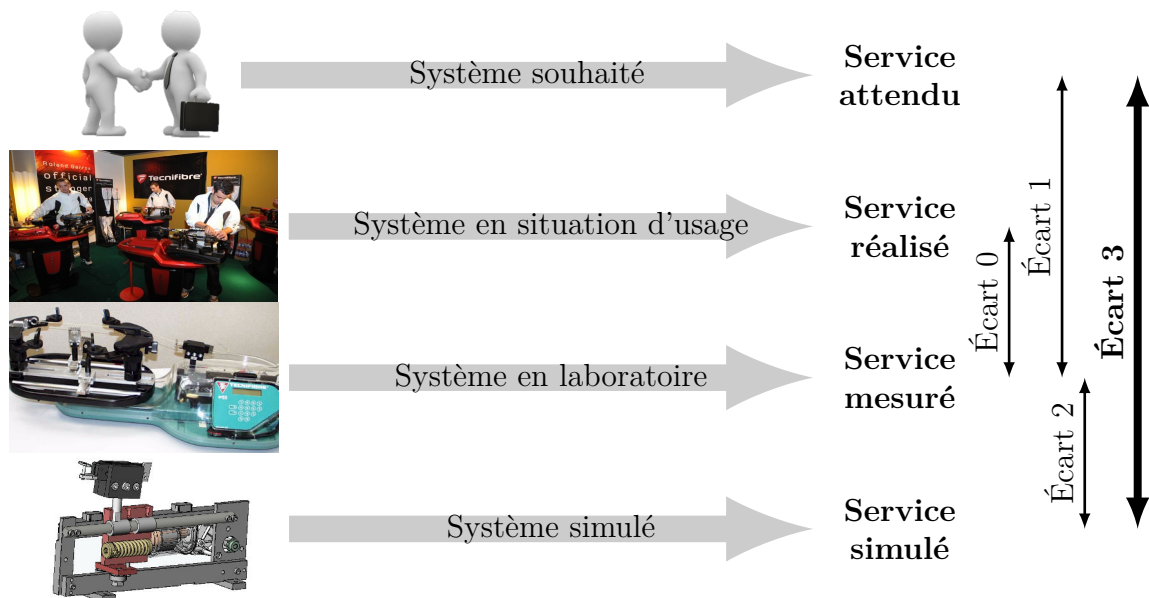


Ingénierie système et modélisation SysML

— TDs —



Écart 0 – évalue la fiabilité et la fidélité du système de laboratoire didactisé par rapport au système réel. Il répond aux questions « le système de laboratoire est-il représentatif du système réel ? Permet-il de l'étudier de manière fiable ? »

Écart 1 – évalue le respect du CDCF par le système réel sur prototype instrumenté en laboratoire. Il répond à la question « le système réalisé, répond-il au CDCF ? ».

Écart 2 – évalue la fiabilité du modèle et de ses hypothèses. Il répond à la question « le modèle est-il correct ? ».

Écart 3 – évalue, en phase de conception, le respect du CDCF à partir d'un modèle simulé. Il répond à la question « le modèle du système satisfait-il les exigences du CDCF ? ».

Activités de TD

Exercices

| | |
|---|----|
| Exercice 1 – Sèche-mains Dyson Airblade | 3 |
| Exercice 2 – Camper Trolley | 5 |
| Exercice 3 – Attraction Space-Mountain | 10 |
| Exercice 4 – Pompe turbo moléculaire | 14 |



Nicolas Mesnier, lycée Jean Perrin, Lyon
Compléments & mises à jour sur le site des MPSI
<https://cahier-de-prepa.fr/mpsi-perrin>

— Version du 25 août 2024 —

— EXERCICE 1 —

Sèche-mains Dyson Airblade

Objectif

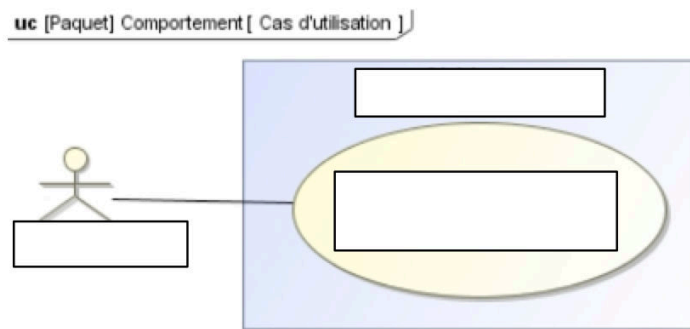
Relever les exigences attendues du système Airblade.

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. 99,9% des bactéries et virus présents dans l'air des sanitaires sont capturés. Les mains sont donc séchées par un air plus propre, et non par un air vicié.

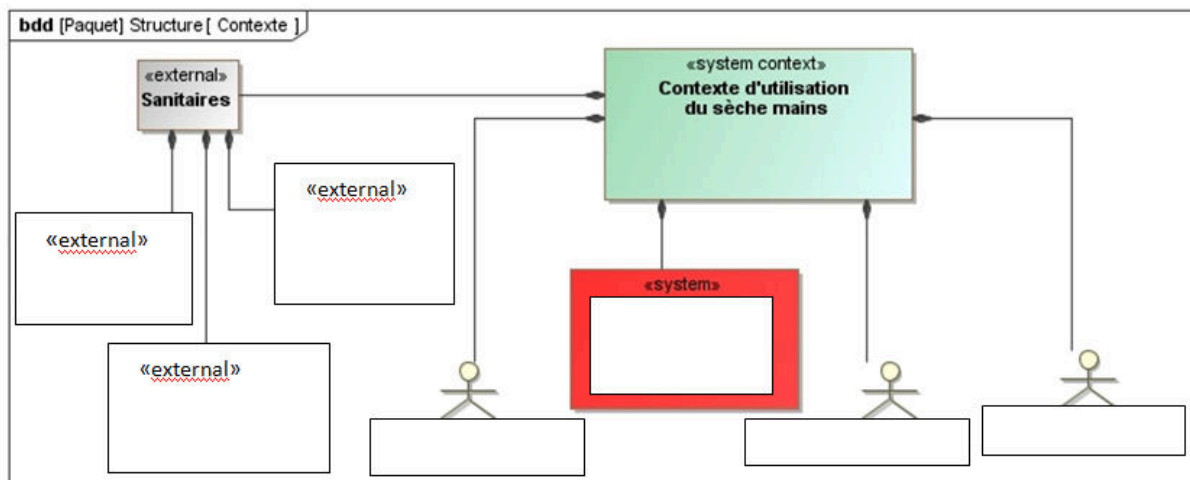
Vidéo : [Présentation Airblade](#)



Question 1.1. Compléter les rectangles du diagramme de cas d'utilisation.

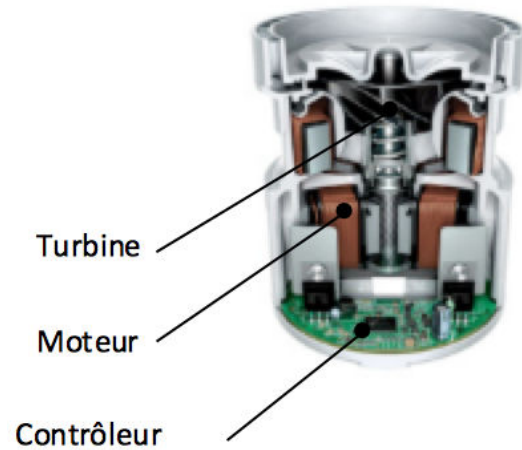


Question 1.2. Compléter les rectangles du diagramme de blocs de contexte.

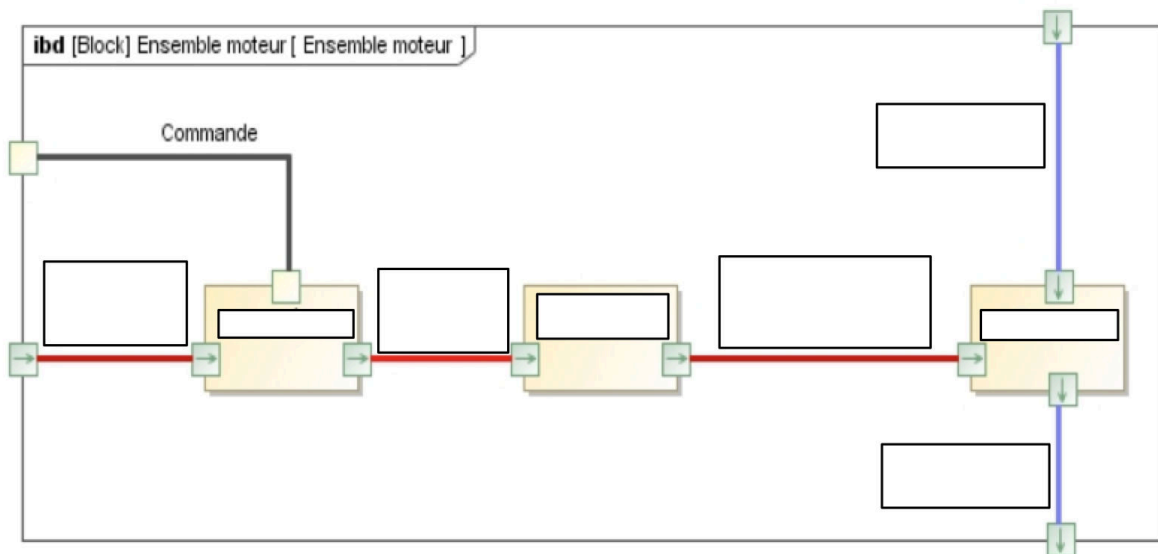


Question 1.3. Citer quatre exigences nécessaires à l'élaboration du cahier des charges fonctionnel.

La conception 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. D'une longue durée de vie et économisant l'énergie, ce moteur à impulsions numériques tourne 6000 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, ce qui évite l'usure de bagues collectrices ou de balais de charbon.



Question 1.4. Compléter les rectangles du diagramme de blocs internes de l'ensemble moteur.



Question 1.5. Identifier dans le diagramme de bloc interne ci-dessus les flux en surlignant :

- en rouge les flux d'énergie ;
- en vert les flux d'information

— EXERCICE 2 —

Camper Trolley

Objectif

Relever les exigences attendues du système Camper Trolley.

Mise en situation

Les loisirs font partie intégrante des sociétés de consommation actuelles. Les hommes apprécient particulièrement les voyages et les vacances. Certains optent pour le caravanning afin de goûter au mieux ces moments de détente.



Pour positionner correctement une caravane sur un emplacement dans un terrain, il faut manœuvrer celle-ci attelée au véhicule qui la tracte, ce qui n'est pas toujours très aisé. Il est donc souvent nécessaire de « désatteler » et de positionner manuellement la caravane. Cette opération, qui peut s'avérer très pénible, a donné naissance au besoin à l'origine de la conception d'un nouveau système : un petit système tracteur, télécommandable à distance. Il fait l'objet de l'étude, et que l'on nommera par la suite Camper Trolley.

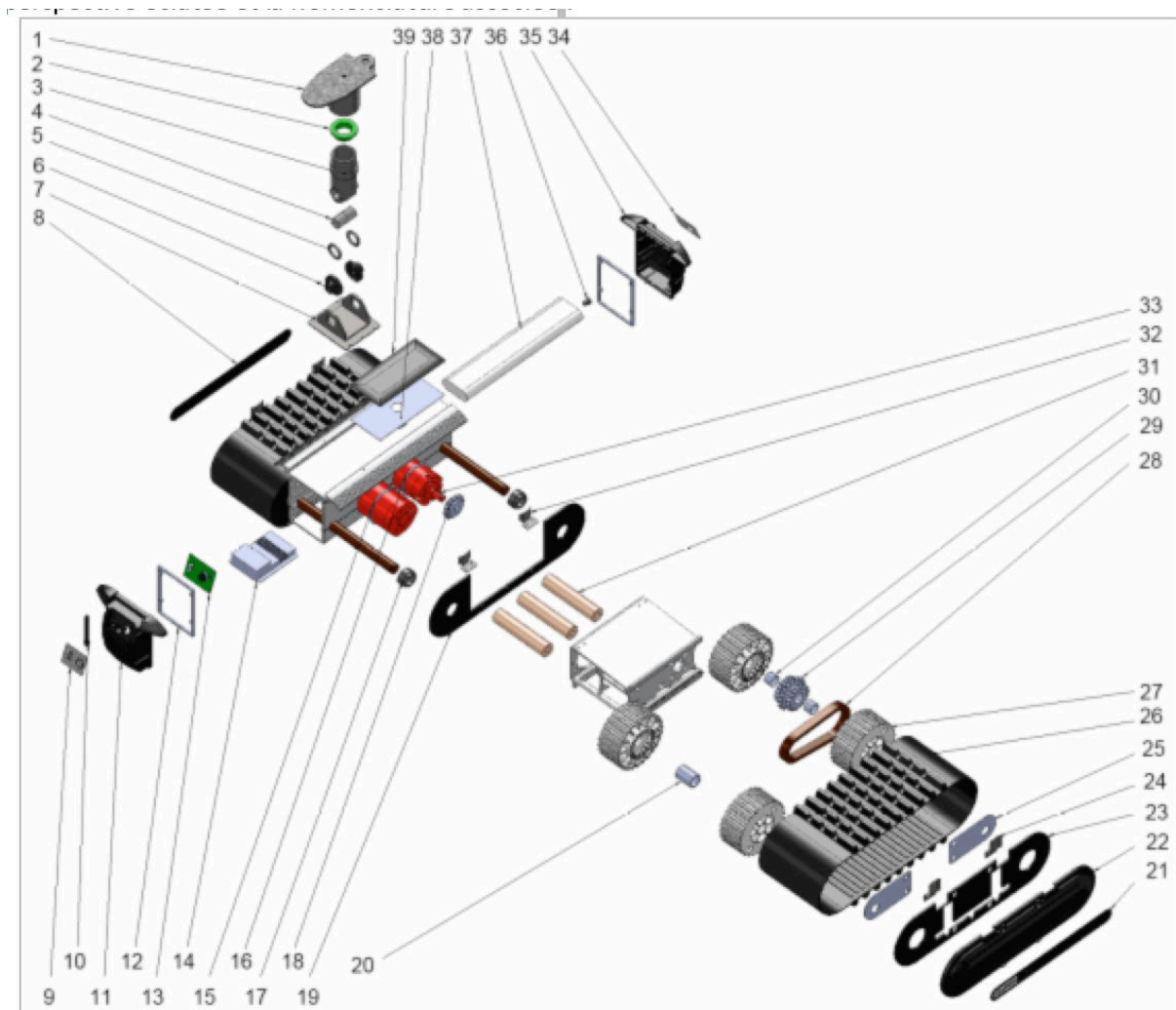
Vidéo : [Présentation Camper](#)



Les caractéristiques du Camper Trolley sont données dans le tableau suivant :

| | |
|--|--|
| Masse maximale de la caravane pouvant être tractée | 1,5 tonne en conditions optimales d'adhérence |
| Masse du Camper Trolley | 16 kg |
| Vitesse de déplacement | 8 m·min ⁻¹ |
| Autonomie | 10 min d'utilisation en continu |
| Alimentation en énergie | Batteries lithium/ion 14,4 V, 5600 mA·h |
| Rechargement | Chargeur secteur 230 V – 14,4V ; 1A Panneau photovoltaïque 18 V ; 1,17 W |
| Pilotage du Camper Trolley | Télécommande munie de 5 touches : AV (avant), AR (arrière), GA (gauche), DR (droite), AU (arrêt d'urgence) |

On donne la perspective éclatée et la nomenclature associée :

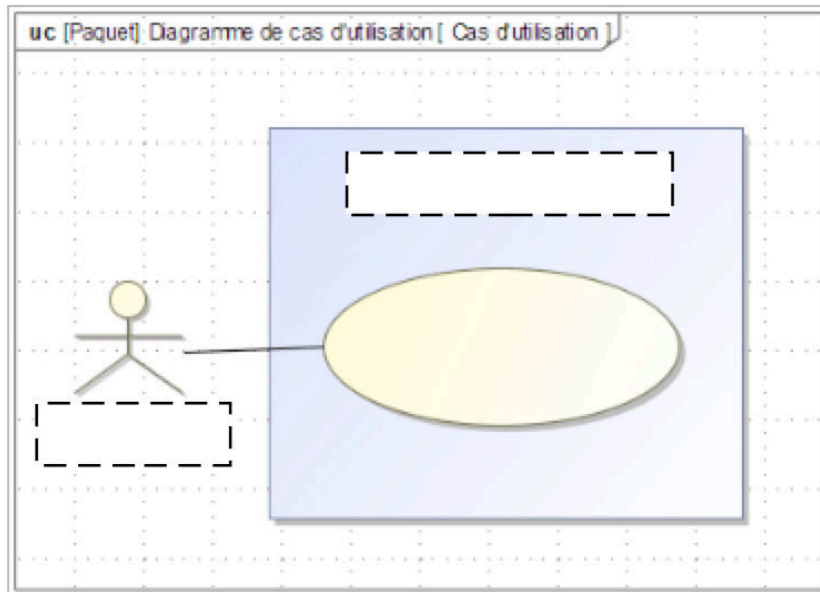


avec comme nomenclature :

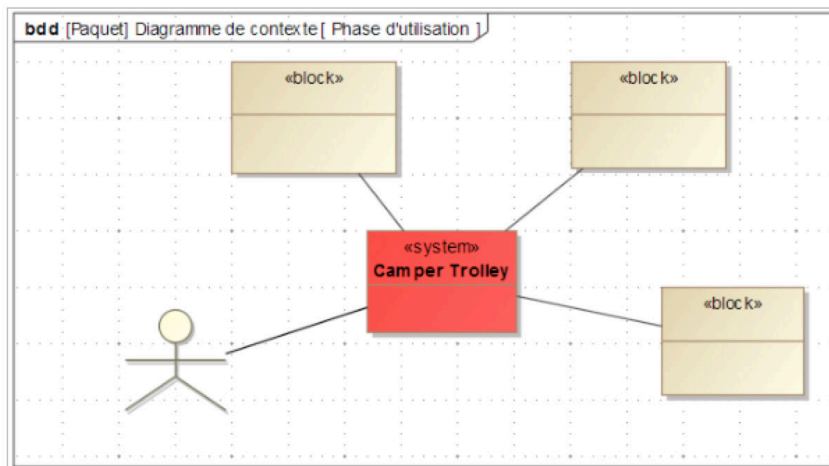
| Rep. | Nb. | Désignation | Rep. | Nb. | Désignation |
|------|-----|---|------|-----|---------------------------------------|
| 1 | 1 | Patte de montage soudée | 21 | 1 | Étiquette latérale gauche |
| 2 | 1 | Bague nylon | 22 | 2 | Couvercle |
| 3 | 1 | Bras de suspension | 23 | 2 | Flasque extérieur |
| 4 | 1 | Bague de suspension | 24 | 4 | Guide chenille extérieure |
| 5 | 1 | Anneau élastique pour arbre 20 × 4,5 | 25 | 4 | Plaque de maintien d'arbre de roue |
| 6 | 1 | Bagues | 26 | 2 | Chenille pas p = 12,7 mm |
| 7 | 1 | Fixation du bras de suspension | 27 | 8 | Roue crantée Z27 = 26 crans |
| 8 | 1 | Étiquette latérale droite | 28 | 2 | Chaîne |
| 9 | 1 | Étiquette on/off | 29 | 2 | Pignon mené Z29 = 19 dents |
| 10 | 1 | Antenne caoutchouc | 30 | 4 | Bague de roue crantée motrice PTFE |
| 11 | 1 | Couvercle – côté récepteur | 31 | 6 | Galet |
| 12 | 1 | Joint mousse | 32 | 4 | Guide chenille intérieure |
| 13 | 1 | Carte récepteur (circuit imprimé) | 33 | 2 | Motoréducteur |
| 14 | 1 | Module de commande moteur | 34 | 1 | Étiquette côté chargeur |
| 15 | 1 | Joint caoutchouc | 35 | 1 | Couvercle côté chargeur |
| 16 | 1 | Joint caoutchouc – côté arbre | 36 | 1 | Connecteur d'alimentation |
| 17 | 16 | Entretoise | 37 | 1 | Batterie lithium/ion |
| 18 | 2 | Pignon moteur Z18 = 14 dents | 38 | 1 | Adhésif double faces |
| 19 | 2 | Flasque intermédiaire | 39 | 1 | Panneau photovoltaïque |
| 20 | 2 | Bague de roue crantée porteuse | | | |

Étude fonctionnelle

Question 2.1. Compléter le diagramme de cas d'utilisation exprimant le besoin.

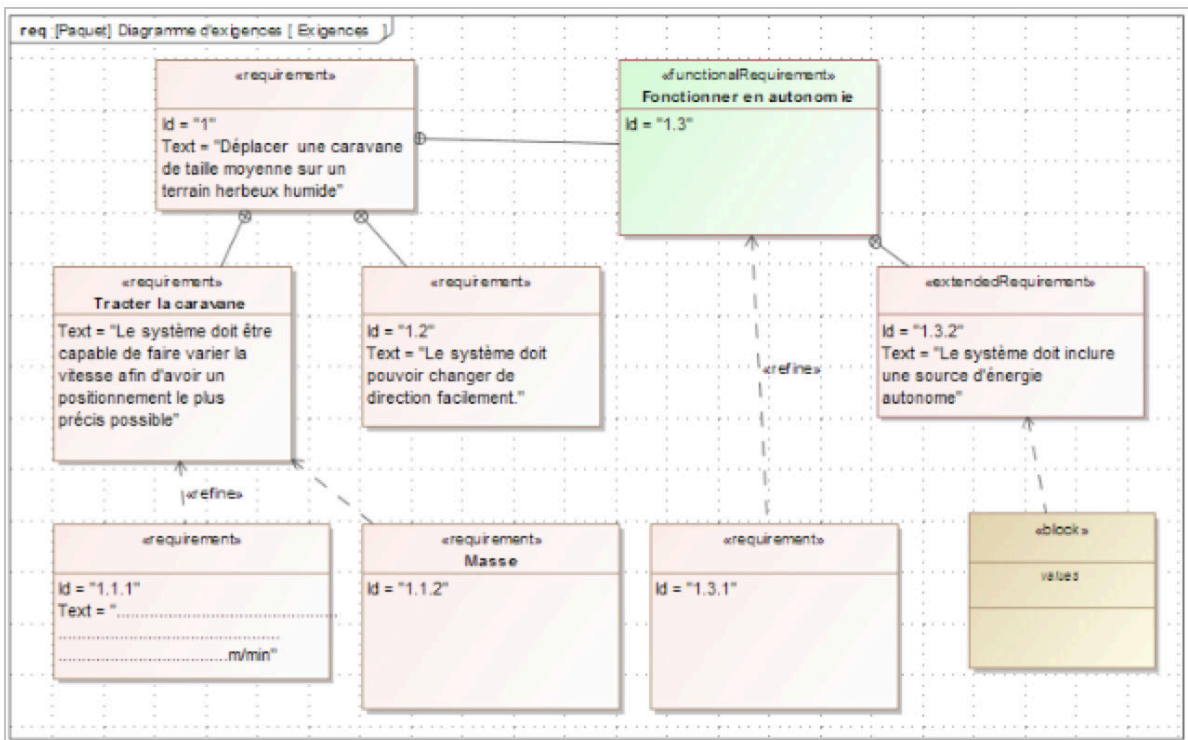


Question 2.2. Compléter le diagramme de contexte du Camper Trolley en phase d'utilisation (on pourra rajouter des blocs si nécessaire).

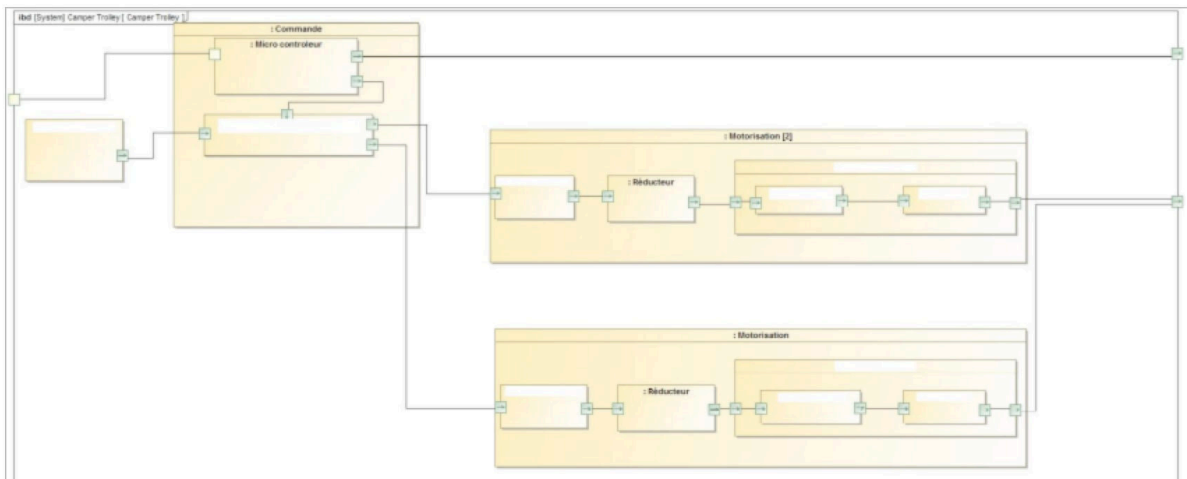


Question 2.3. Quelle autre phase de vie est évoquée dans le tableau des caractéristiques du Camper Trolley ? Quel(s) bloc(s) supplémentaire(s) pourrai(en)t alors faire partie du contexte ?

Question 2.4. Compléter le diagramme d'exigences partiel de la figure suivante :



Question 2.5. Compléter les noms des blocs dans le diagramme de bloc interne de la figure suivante qui décrit les interactions entre les sous-systèmes du Camper Trolley.



Question 2.6. Identifier dans le diagramme de bloc interne ci-dessus les flux en surlignant :

- en rouge les flux d'énergie ;
- en vert les flux d'information.

— EXERCICE 3 —

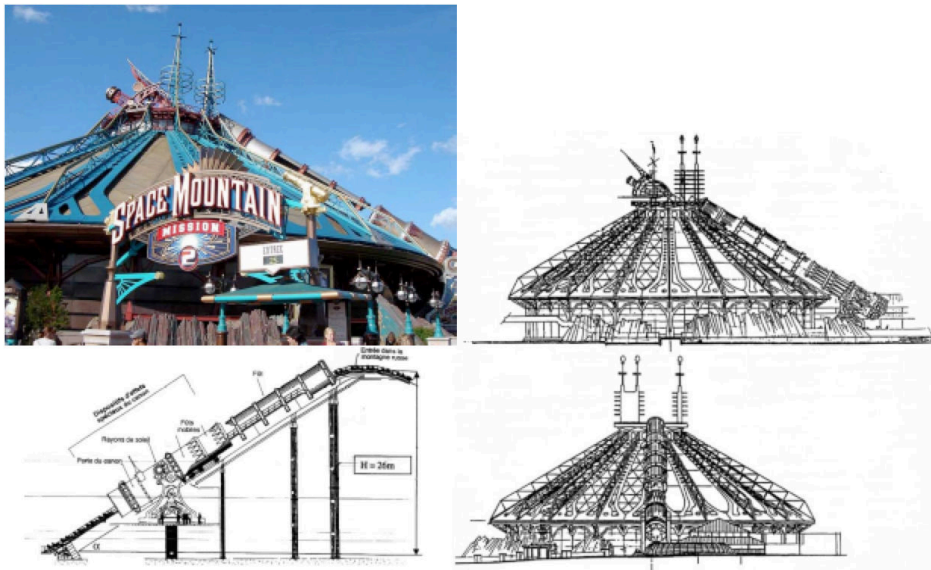
Attraction Space-Mountain

Objectif

Comprendre le choix des composants du système de lancement.

Mise en situation

L'attraction « Space Mountain » est installée au parc EuroDisney. Elle se présente sous la forme d'un chapiteau renfermant une montagne russe à grande vitesse. Les passagers peuvent faire l'expérience d'un voyage évoquant l'histoire du roman de Jules Verne « De la terre à la lune », grâce à de somptueux décors spatiaux. Les voitures sont sonorisées en synchronisation avec le circuit qui comporte trois renversements complets. Le système de lancement, évoquant un canon, est en fait une catapulte à propulsion électrique de type porte-avions. Un poussoir vient en contact avec le train afin de le propulser. C'est ce système de lancement qui fait l'objet de ce TD.

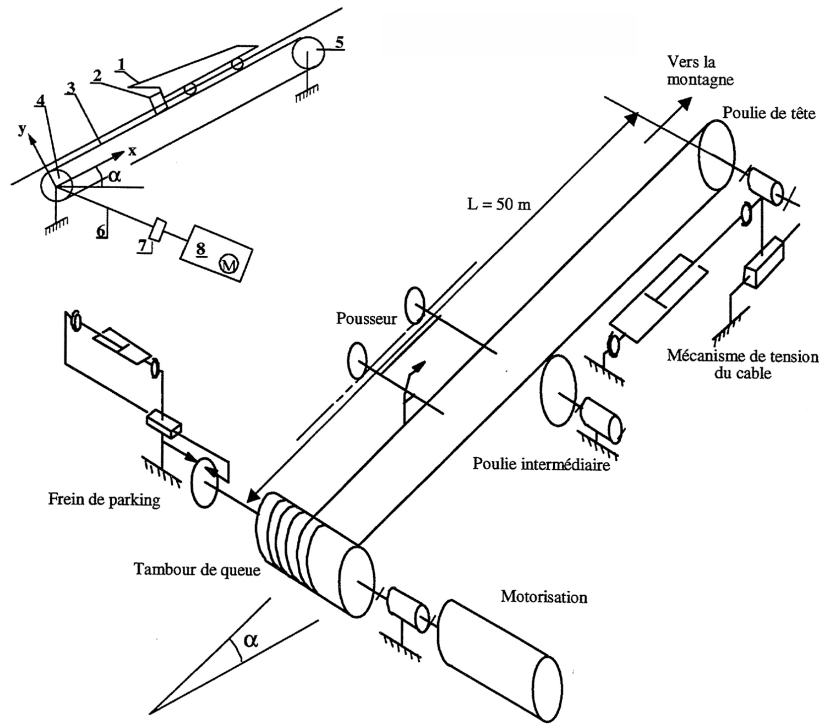


Description du système de lancement

La partie opérative du système de lancement proprement dit comporte :

- une rampe de lancement intégrée à un canon catapulte et disposée selon la génératrice du bâtiment de forme conique ;

- une chaîne fonctionnelle d'entraînement du poussoir comportant un système de motorisation et un système de transformation de mouvement (la rotation de l'arbre moteur est transformée en translation du poussoir) ;
- une chaîne fonctionnelle de tension du câble associée à la poulie de tête : la tension du câble est ainsi contrôlée et asservie pendant toute la phase de lancement ;
- Un frein de parking qui permet d'assurer le blocage du tambour d'entraînement lorsque le poussoir est au repos.



Étude SysML

Question 3.1. Compléter le diagramme de cas d'utilisation.

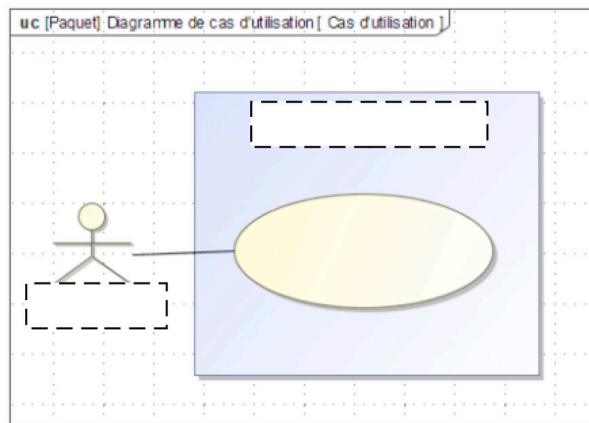
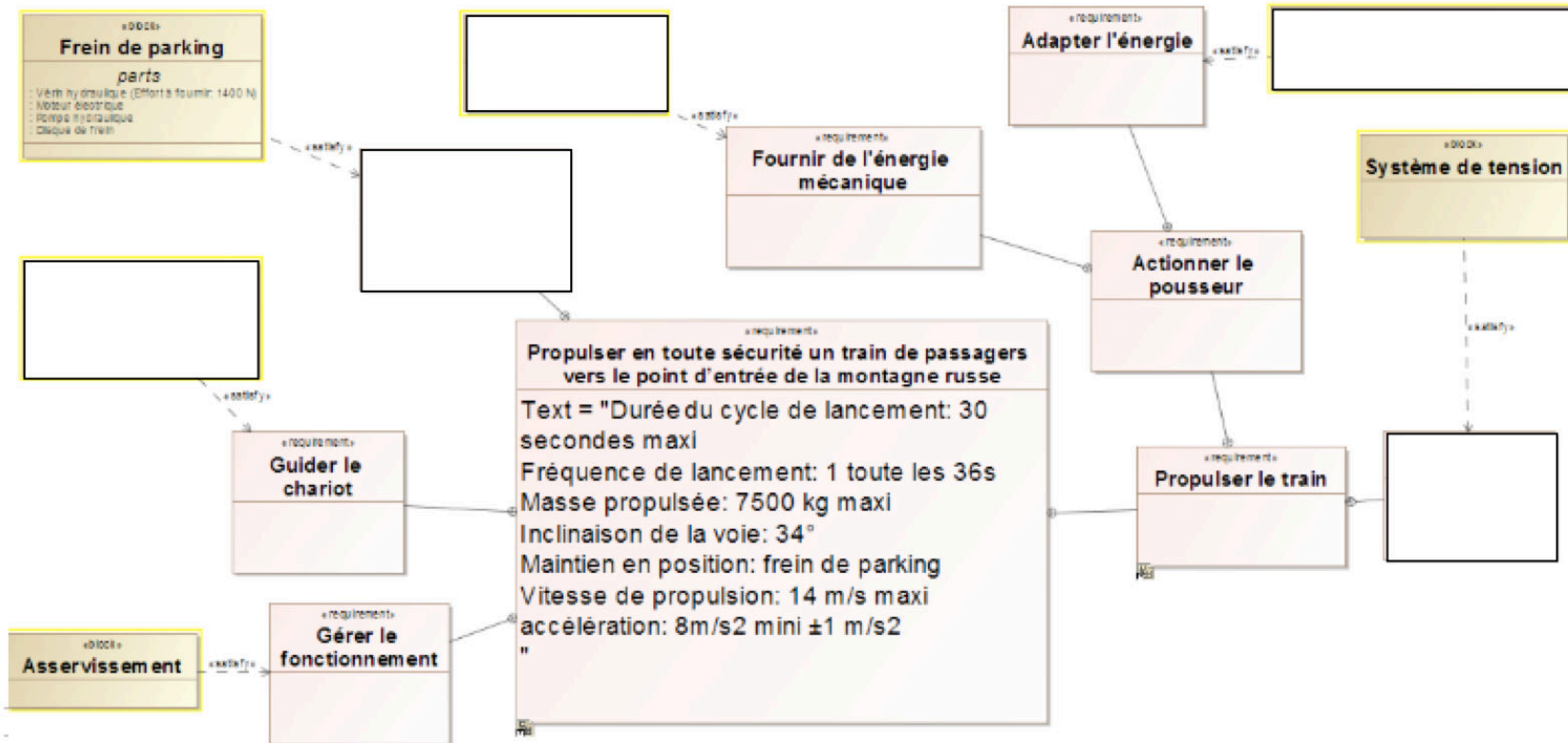


FIGURE 3.1 –

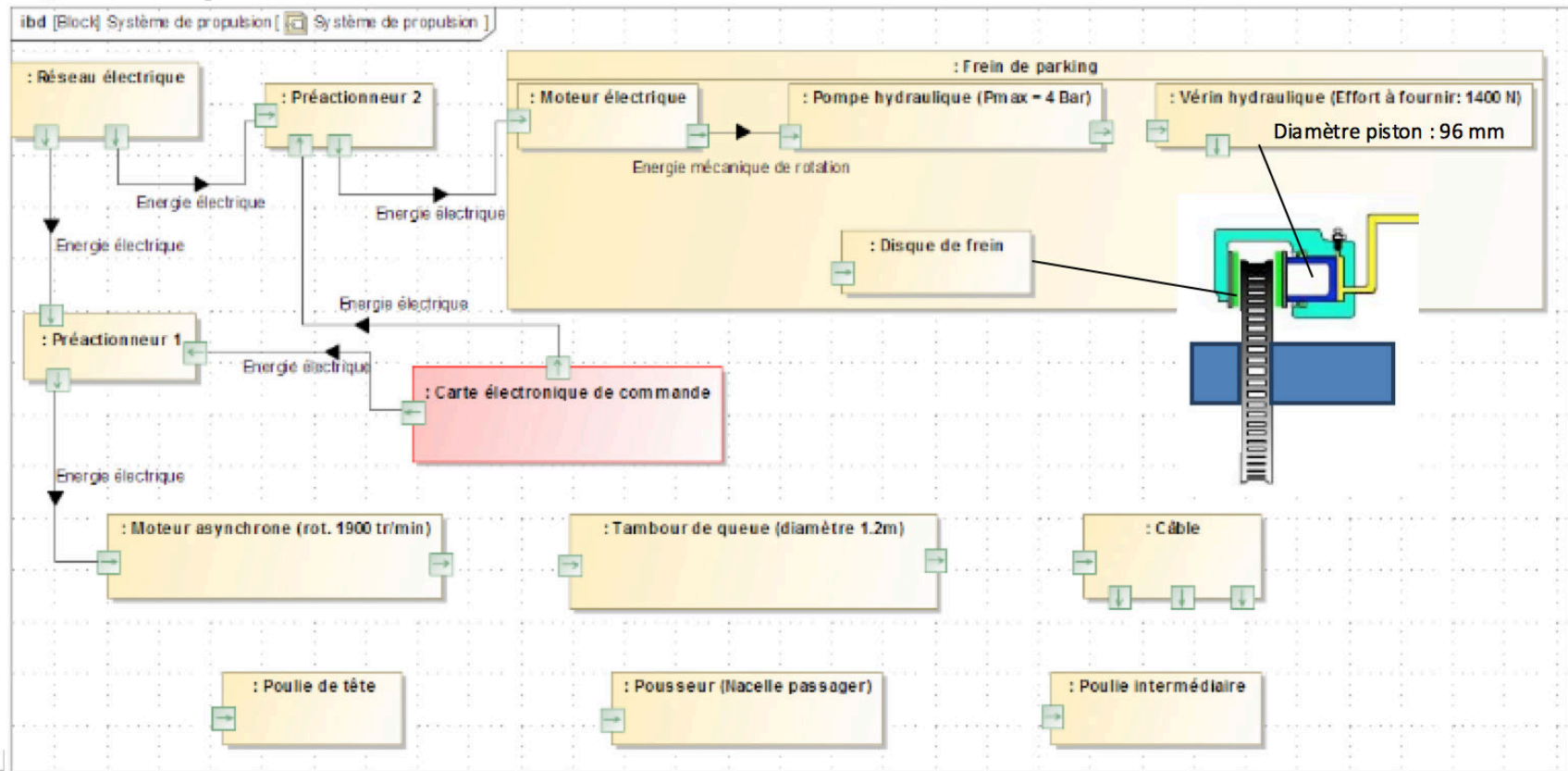
À partir de la description ci-dessus du système, ainsi que du schéma architectural, compléter le diagramme des exigences du système de propulsion (exigences et blocs) :



Question 3.2. Compléter les flux circulant entre les différents blocs du diagramme de bloc interne du système de propulsion.

Question 3.3. Identifier dans le diagramme de blocs internes ci-dessus les flux en surlignant en rouge les flux d'énergie et en vert les flux d'information.

Question 3.4. Quel effort peut développer le vérin de freinage choisi à la pression délivrée par la pompe hydraulique ? Le critère de force de freinage du cahier des charges est-il satisfait ?



Pompe turbo moléculaire

Objectif

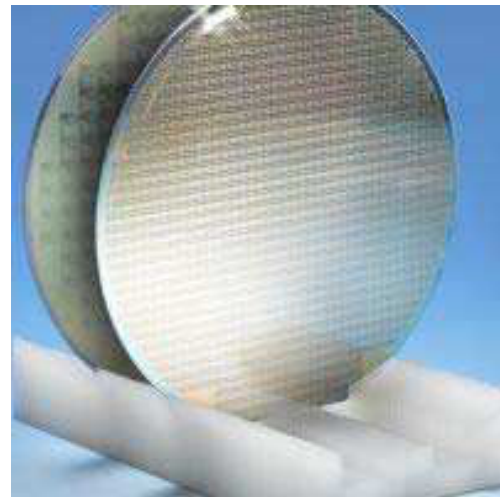
Relever les exigences attendues du système Pompe turbo moléculaire et obtenir le diagramme ibd traduisant un choix de composants.

Présentation du système

Les semi-conducteurs sont des composants électroniques essentiels dans de multiples applications telles que les ordinateurs, les téléphones portables, les calculatrices, les appareils photographiques, les téléviseurs, etc. Leur fabrication est extrêmement complexe et coûteuse. Des connexions électriques d'une dimension de quelques nanomètres interconnectent jusqu'à un milliard de transistors sur une surface de l'ordre du centimètre carré. Ces circuits sont réalisés par photolithographie : une résine photosensible (conductrice ou isolante) est déposée sur la surface puis un flash ultra-violet est appliqué derrière un masque, imprimant le circuit sur la surface qui est ensuite nettoyée du surplus de résine non imprimée. La fabrication des semi-conducteurs nécessite une précision et une propreté extrêmes. La moindre poussière ou défaut de positionnement peut compromettre la réussite de l'opération.



(a)



(b)

FIGURE 4.1 – (a) Machine de traitement de plaques semi-conductrices et (b) plaques semi-conductrices après traitement. Le diamètre d'une plaque est de l'ordre de 30 cm.

L'ensemble de la production est par conséquent réalisé en chambre blanche (local dont l'air est filtré). La machine de traitement est essentiellement constituée d'une cellule

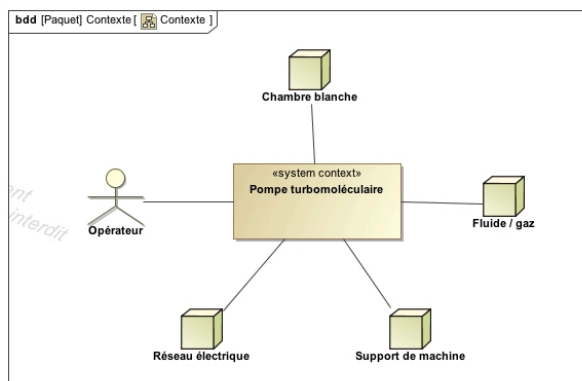
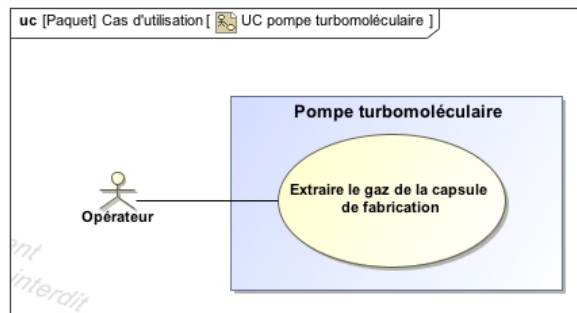
étanche dans laquelle sont placées les plaques semi-conductrices. Les dépôts et le nettoyage se font par introduction de gaz, souvent très corrosifs, dans la cellule. La maîtrise de la qualité de la fabrication nécessite une pompe capable d'évacuer ces gaz et de créer un vide de l'ordre de 10^{-9} mbar dans la cellule. Cette pompe, appelée « pompe turbo moléculaire », est l'objet de l'étude.

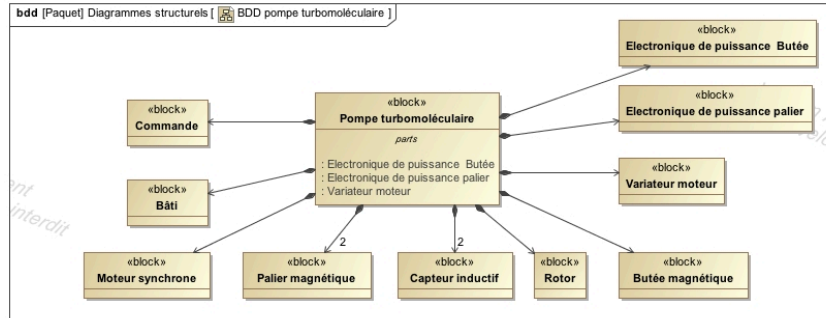


FIGURE 4.2 – Rotor de la pompe.

Les parties des diagrammes SysML traduisant cette présentation de système sont fournies ci-dessous.

À ce niveau de vide, le rotor à ailettes est conçu pour capturer les dernières molécules présentes (figure 4.2). Sa vitesse de rotation est de l'ordre de 30 000 tr/mn. L'environnement impose un cahier des charges très strict vis-à-vis de la pompe turbo moléculaire. Aucune pollution n'est tolérée et la pompe ne doit transmettre aucune vibration au support malgré la vitesse de rotation élevée. On s'intéresse dans ce sujet aux contraintes de conception de la pompe turbo moléculaire et particulièrement au guidage du rotor à ailettes.





Étude des prestations attendues

Les diagrammes SysML du système à compléter sont fournis en annexe. L'environnement de la pompe turbo moléculaire, au cours de la phase d'utilisation, est partiellement modélisé sur le diagramme de contexte et les différentes exigences techniques permettant d'établir le cahier des charges fonctionnelles ont été recensées et traduites sous forme de diagramme partiel des exigences.

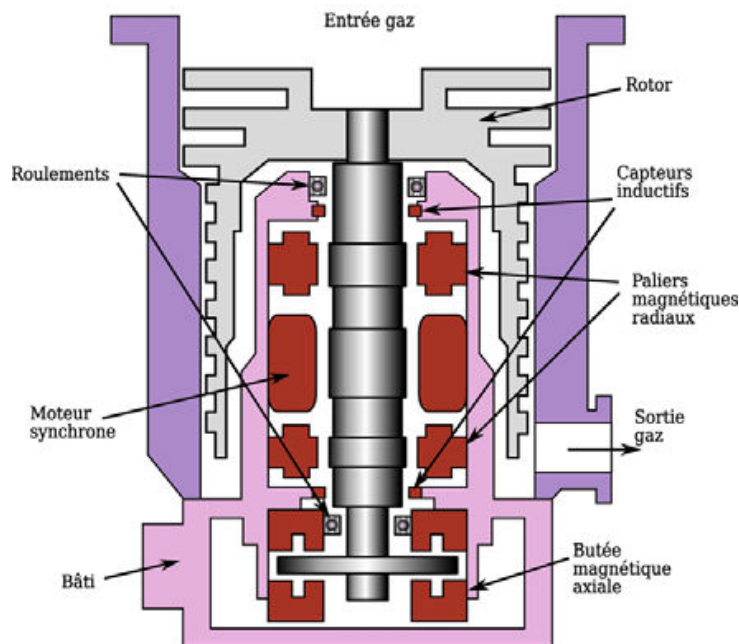


FIGURE 4.3 – Vue en coupe de la pompe.

Question 4.1. *En vous aidant de la vue en coupe donnée figure 4.3, compléter le diagramme des exigences de la pompe turbo moléculaire en faisant figurer les différentes pièces et les liens « satisfy » vers les exigences qu'elles satisfont.*

Étude structurelle de la solution de guidage par paliers magnétiques

Pour satisfaire les critères de performances exigés par le cahier des charges fonctionnelles, le constructeur a eu recours à un guidage en rotation du rotor par l'intermédiaire de paliers magnétiques – conçus, réalisés et montés par la société S2M. Le guidage magnétique consiste à exercer des efforts sur l'arbre en générant un champ magnétique. Il n'y a donc aucun contact entre le bâti et l'arbre, ce qui permet de limiter l'usure des pièces et les besoins en lubrification. Deux paliers assurent le guidage radial de l'arbre et un troisième assure le guidage axial (figure 4.3). Un moteur électrique, placé entre les deux paliers radiaux, entraîne le rotor en rotation. Le champ magnétique est produit par des bobinages placés autour de l'arbre sur le bâti. Des capteurs inductifs permettent de mesurer la position radiale de l'arbre. Un coffret de commande, contenant un amplificateur de courant et une carte de commande, reçoit cette information et assure un asservissement en position de l'arbre : dès lors qu'un écart de position est mesuré, un courant est produit afin de générer un effort sur l'arbre permettant de le remettre en position.

Question 4.2. *En vous aidant des différents diagrammes et schémas, réaliser le diagramme des blocs internes (BDI) de la pompe turbo moléculaire en précisant la nature des flux entre les blocs.*

