

Introduction à l'ingénierie système

Notion de systèmes pluri-technologiques en CPGE

Un système est une association structurée d'éléments (sous-systèmes ou composants) qui interagissent d'une manière organisée pour accomplir une fonction globale.

La fonction globale du système répond à un besoin d'un utilisateur.

Un système est dit complexe et pluritechnologique lorsque les éléments sont nombreux et les interactions (échanges de matière, d'énergies ou d'informations) de formes différentes.

Tout système s'insère dans un milieu environnant.

Exemples de systèmes complexes pluritechnologiques :



Ipad(Apple)



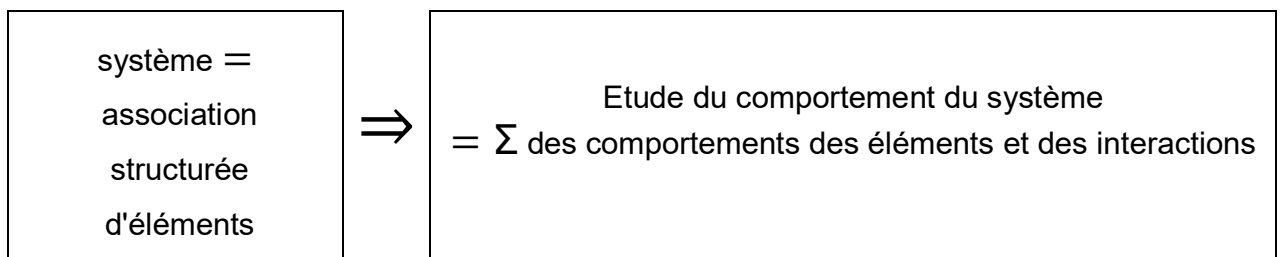
A350 (EADS)



Maison bioclimatique
(A-01 Company)

Dans le laboratoire de sciences industrielles de l'ingénieur : Robot Delta 3D, bras de robot, volant de simulation de conduite automobile à retour de force...

Pour maîtriser le comportement d'un système, il faut maîtriser le comportement de chaque **élément** et les **interactions** entre ces éléments



Les systèmes sont généralement classés selon leur domaine d'application : transport, électronique grand public, santé, domotique, bâtiments, travaux publics... Dans chacun de ces domaines d'application se développe des technologies et des contraintes spécifiques, dont des contraintes normatives.

Cycle de vie et démarche de l'ingénieur en CPGE

Le cycle de vie recense les différentes étapes d'un produit, de l'identification du besoin à l'origine de sa conception jusqu'au recyclage de ses constituants.

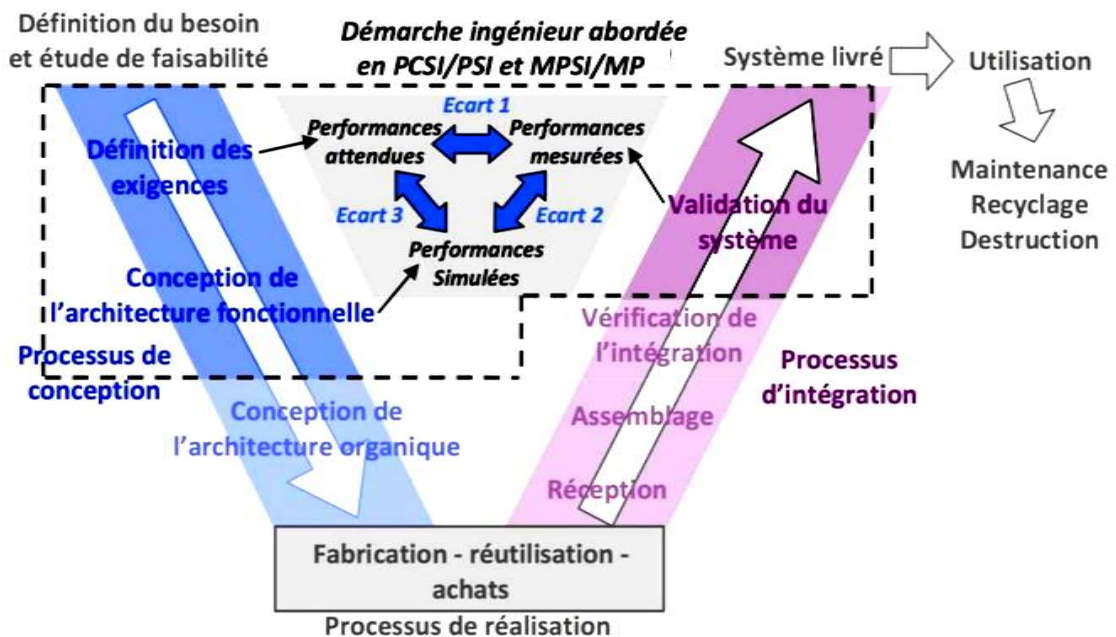
Le "cycle en V" présente ces étapes.

La formation en Sciences Industrielles pour l'Ingénieur (SII) en CPGE s'inscrit dans cette démarche. Dans ce cadre, elle a pour objectif de mettre en place différentes compétences:

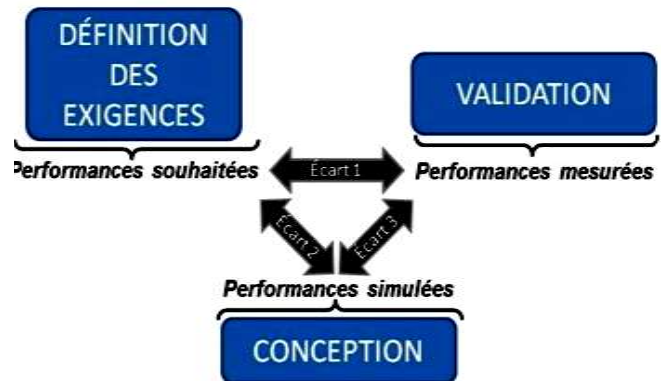
- **Analyser** les systèmes complexes pluri-technologiques ;
- **Modéliser** ces systèmes ;
- **Résoudre** analytiquement ou numériquement pour déterminer les performances de ces systèmes ;
- **Expérimenter** sur des systèmes ou sur des modèles numériques des systèmes ;
- **Concevoir** les systèmes et leur commande ;
- **Communiquer** en utilisant les outils adaptés .

C'est un langage adapté de l'UML utilisé en ingénierie informatique.

(3) Les logiciels utilisés permettent de réaliser des simulations multiphysiques (Matlab, Scilab) et des simulations du comportement mécanique dans un environnement 3D (Solidworks).



En PCSI/MPSI, seulement une partie du cycle est abordée. La démarche se focalise sur la détermination de performances et d'écart entre ces performances.



Les outils de modélisation système

Le travail des différents acteurs intervenant lors des étapes du cycle de vie d'un système est collaboratif (grâce à internet, et en particulier au "cloud", tous les documents sont partagés en temps réel entre les collaborateurs et souvent multi-sites. Dans ce contexte, les entreprises utilisent des outils communs, partagés, de communication et de définition du produit :

- Maquette numérique 3D, CAO pour Conception Assistée par Ordinateur).
- Langage unique et compréhensible par tous les métiers (concepteurs du bureau d'étude, sous-traitants, service marketing...) pour compléter la maquette CAO.
- Modèles de comportement basées sur cette maquette et ce langage.

Une des solutions vers laquelle se tournent les entreprises est le langage **SysML** (Systems Modeling Language), langage de description de l'ingénierie système. Il propose différents outils de description graphiques, des diagrammes, permettant de modéliser le système dans les différentes phases du cycle, en complément de la maquette numérique. Ces diagrammes interagissent entre eux grâce à des logiciels dédiés, ce qui permet de répercuter immédiatement toute modification à l'ensemble des acteurs concernés par le projet.

Les diagrammes permettent de décrire un système sous différents points de vue en répondant aux questions:

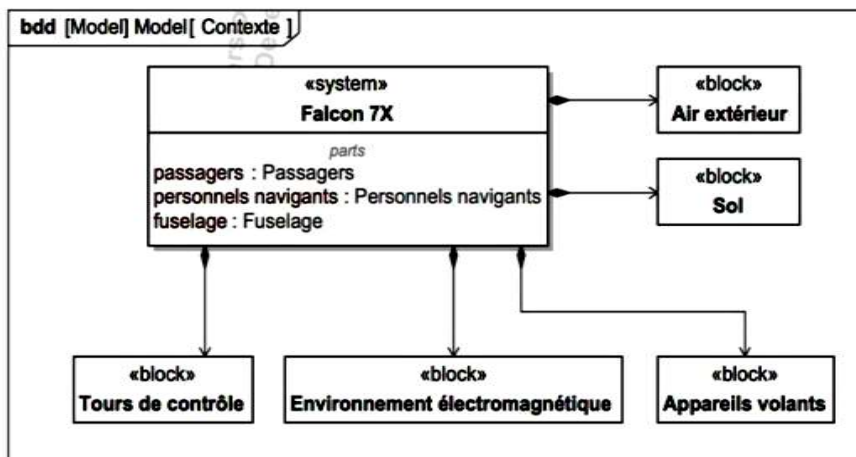
- à quoi sert ce système ?
- de quoi est composé ce système ? Quel est son environnement ?
- quelles sont les activités (tâches) réalisées par ce système ? Dans quel ordre ?

En CPGE, les diagrammes utilisés permettent de définir le système étudié, les performances attendues et la structure du système afin de pouvoir déterminer des performances simulées.

Définir le système étudié et son environnement : diagramme de contexte

Le diagramme de contexte permet de distinguer le système étudié de son environnement extérieur avec lequel il interagit.

Exemple : le Falcon 7X est l'avion d'affaires haut de gamme de la société Dassault Aviation. C'est un avion certifié pour franchir une distance de 11000 km et voler à une vitesse de l'ordre de Mach 0,85 ($\approx 1000 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).

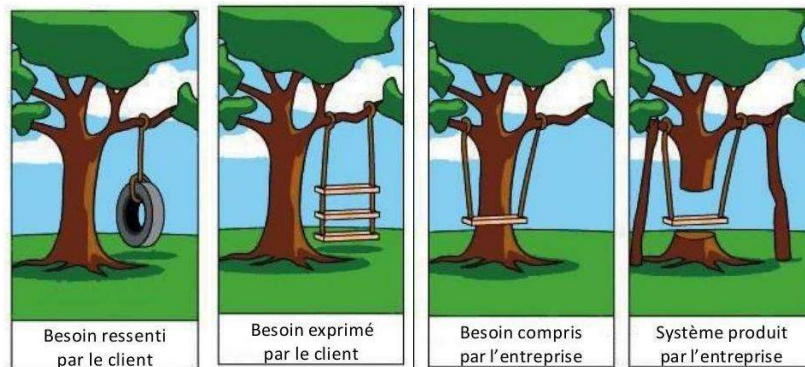


Pour la société Dassault, le système en vol étudié est l'avion avec ses passagers, bagages et carburant. L'environnement extérieur comprend l'air, le sol, les autres avions et appareils volants, les tours de contrôle... Pour le motoriste Pratt & Whitney, le système étudié est un moteur. Son environnement comprend le reste de l'avion: nacelle de support des moteurs et fuselage deviennent des éléments de l'environnement extérieur.

Définir les performances : diagrammes des cas d'utilisation et des exigences

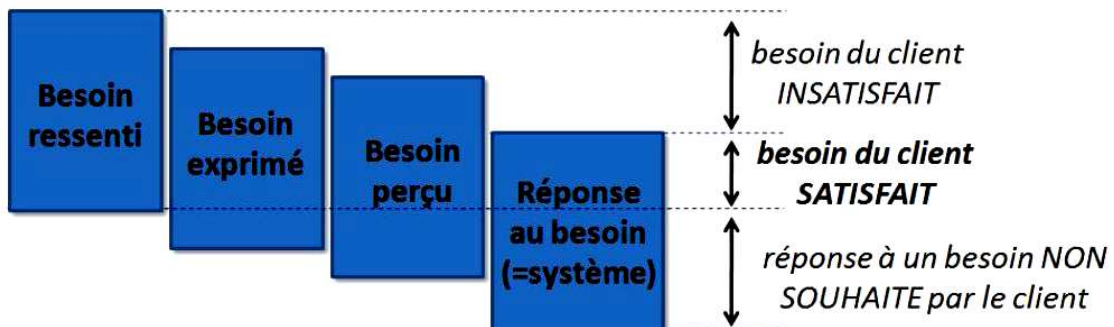
Identifier et formaliser le besoin du client

Une entreprise doit vendre les systèmes qu'elle produit et, par postulat, un client achète un système si celui-ci répond à un besoin et le satisfait. Une entreprise recherche donc l'adéquation entre le besoin du client et la manière dont le système produit y répond, c'est-à-dire les fonctions qu'il propose. L'étude de cette adéquation est l'analyse fonctionnelle.



Les diagrammes SysML des cas d'utilisation et des exigences permettent de formaliser le besoin d'un client et la manière dont le système y répond.

Ces descriptions permettent d'estimer le taux de satisfaction.

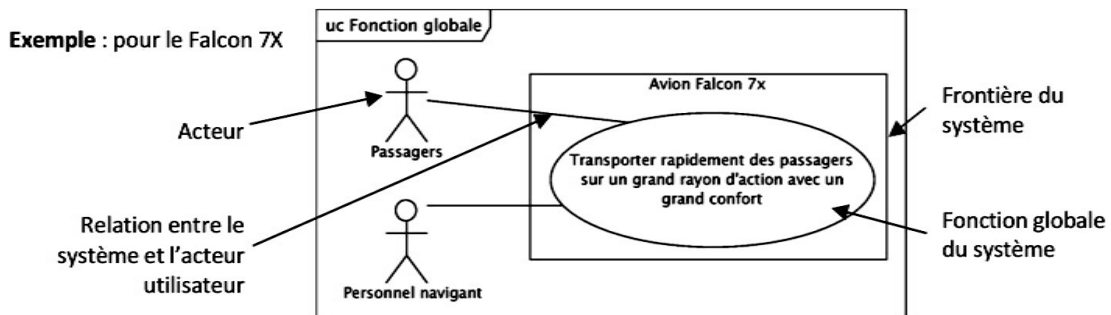


Définir la fonction globale d'un système : diagramme des cas d'utilisation

La fonction globale d'un système est la « raison d'être » du système, du point de vue de l'utilisateur.

Le diagramme SysML des cas d'utilisation (Use Case Diagram - uc-) permet d'exprimer la fonction globale d'un système.

Il définit aussi les différents types d'utilisateurs, nommés acteurs (Ces acteurs peuvent être humains ou non, principaux ou secondaires), et les services attendus par chacun d'eux.



Définir et caractériser les performances : diagramme des exigences (req)

Exigences

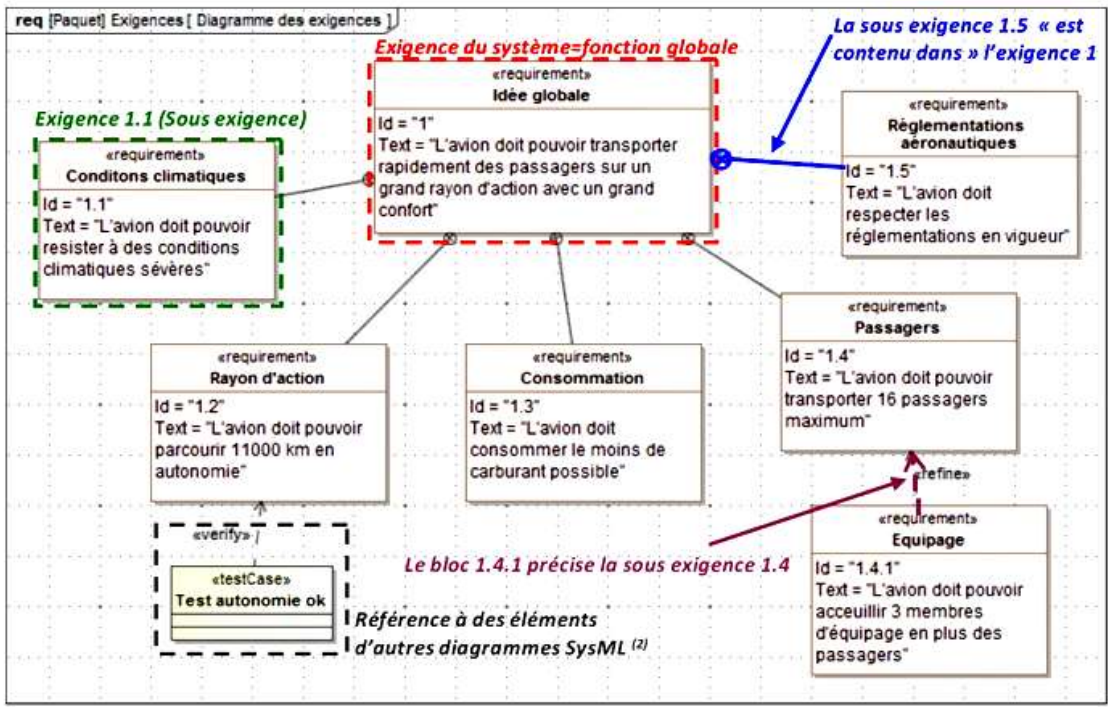
Une exigence exprime une **capacité** ou une **contrainte** à satisfaire par le système

Le diagramme SysML des exigences (Requirement Diagram - req -) regroupe des exigences liées aux besoins de l'utilisateur ou aux contraintes des éléments du milieu extérieur.

Les relations entre les éléments du diagramme sont :

⊕	Relation d'inclusion d'une exigence dans une autre
" verify » →	Précise les conditions de vérification de l'exigence
____ refine	Ajoute d'une précision, information complémentaire

Exemple : dans le cas du Falcon 7X, on peut proposer le diagramme (très) partiel des exigences suivant :



Critère, niveau et flexibilité

Ces informations sont inscrites directement à l'intérieur des blocs du diagramme des exigences ou dans un tableau associé.

Une exigence est caractérisée par :

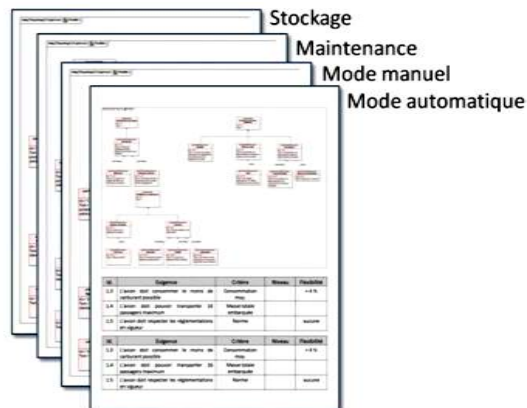
- un critère, grandeur physique mesurable ;
- un niveau attendu, valeur nominale ;
- une flexibilité, définissant l'écart acceptable sur le niveau attendu.

Exemple : dans le cas du Falcon 7X, on peut proposer le tableau suivant :

Id.	Exigence	Critère	Niveau	Flexibilité
1.3	L'avion doit consommer le moins de carburant possible	Consommation moy	30% de moins que le Falcon 2000	28% min
1.4	L'avion doit pouvoir transporter 16 passagers maximum	Masse maximale totale embarquée	2400 kg	-5%
1.5	L'avion doit respecter les réglementations en vigueur	Norme aéronautique DO-178B	Respect total	Aucune

Synthèse des exigences : le cahier des charges

Un diagramme des exigences doit être établi pour chacune des phases d'utilisation du système. L'ensemble des exigences qui doivent être satisfaites par le système et leurs caractéristiques (critère et niveau) sont regroupées dans le cahier des charges.



En entreprise, le cahier des charges sert aux échanges entre les acteurs d'un projet et permet de capitaliser les savoirs et savoir-faire. C'est un document clé de l'expertise industrielle.

En CPGE, ce sont les données issues de ce cahier des charges qui vont nous permettre de quantifier les écarts entre les performances attendues d'un système et :

- ses performances réelles mesurées sur un système réel
- ses performances anticipées grâce à une simulation.

Définir la structure: diagrammes de définition de blocs et de blocs internes

L'analyse structurelle permet de définir les composants internes au système (de quoi est-il constitué ?) et comment ceux-ci interagissent. Elle consiste à :

- définir les composants du système étudié, sous forme hiérarchique (diagramme de définition de blocs) ;
- définir les échanges entre ces composants (diagramme des blocs internes).

Définir les constituants : diagramme de définition de blocs (bdd)

Le diagramme de définition de blocs (bdd pour block definition diagram) définit un inventaire hiérarchisé des composants du système en le décomposant en systèmes et sous-systèmes.

Cette représentation peut être reliée à une nomenclature de composants (une liste) ou à la structure de sa maquette numérique 3D.

On retrouve ici la notion de frontière d'étude. Celle qui a été choisie dans cet exemple englobe le robot mais aussi les accessoires associés.

Application : iRobot fabrique et commercialise des robots capables d'aspirer la poussière de façon autonome

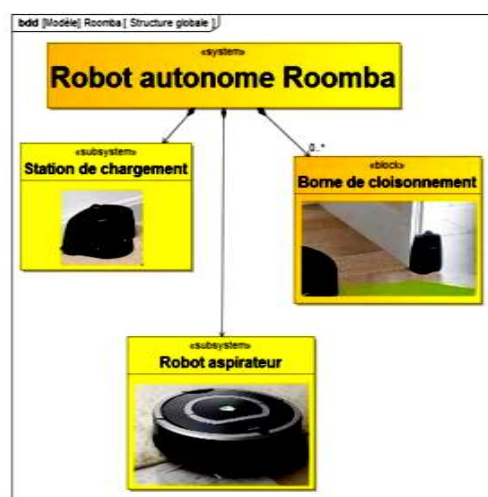
Le robot aspirateur ajuste ses déplacements pour couvrir la surface à nettoyer en évitant obstacles et chutes.

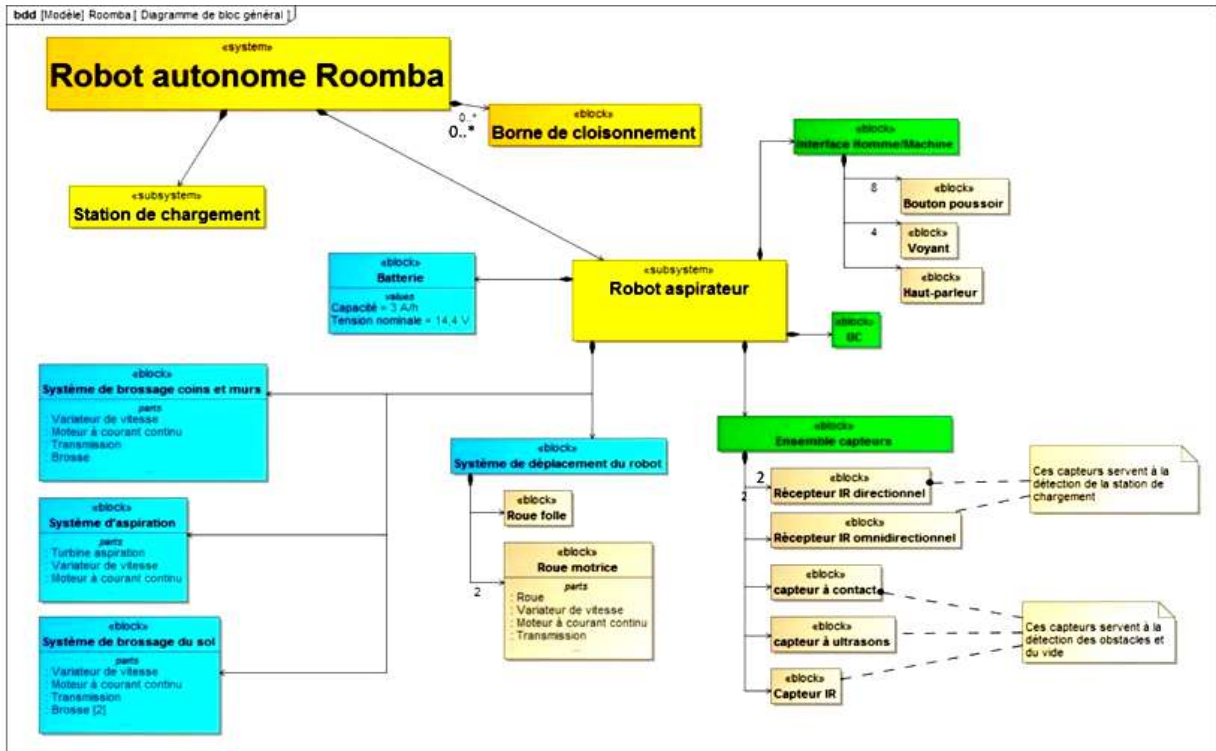
Le robot aspirateur ajuste ses déplacements pour couvrir la surface à nettoyer en évitant obstacles et chutes.



La structure du système est définie par les diagrammes ci-contre et ci-dessous.

« 0..* » indique que le système peut comprendre 0 borne de cloisonnement ou plus.





Q1 - Quels sont les sous-systèmes intervenant dans la fonction de récupération des saletés ?

Q2 - Combien de capteurs possède le système ?

Définir les flux : diagramme de blocs internes (ibd)

Le diagramme de blocs internes (internal block diagram, ibd) permet d'identifier les flux de matière, d'énergie et d'information entre les composants avec différents niveaux de raffinement

Les échanges sont représentés en reliant des ports :

- ports de flux pour représenter les échanges de matière / information / énergie entre ces constituants de même niveau ⁽¹⁾

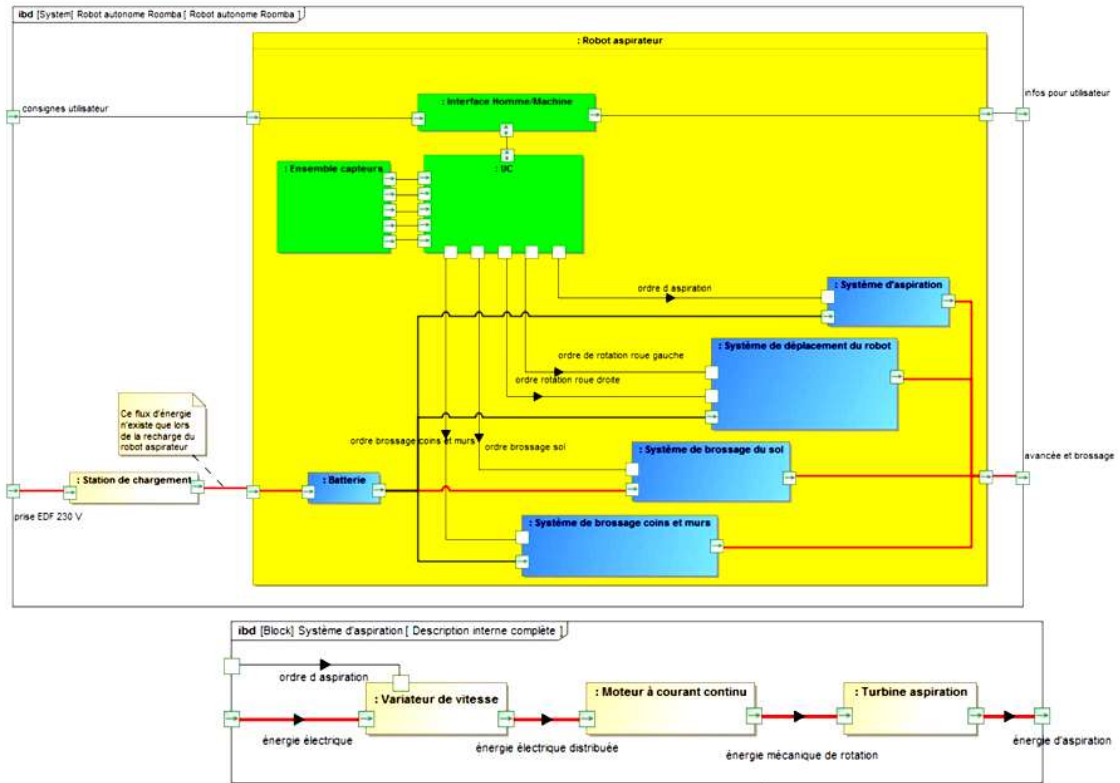


- ports standards pour représenter les services invoqués par un autre constituant ⁽²⁾



Dans le cas d'un système complexe, on évite de concentrer toutes les informations sur un seul et même diagramme de blocs internes ce qui le rendrait illisible.

Application : soit deux diagrammes ibd du robot Roomba.



A3 - Quels sont les flux reçus par le système d'aspiration ? À quel composant sont-ils reliés ?

A4 - Quel(s) composant(s) du système d'aspiration reçoit (reçoivent) l'ordre de l'UC ?

A5 - Quel(s) composant(s) du système d'aspiration réalise(nt) une conversion de puissance ?