

# Cycle 1: Etude des systèmes pluri-techniques et multi-physiques

## Chapitre 2 – Appréhender l’analyse fonctionnelle, comportementale et structurelle

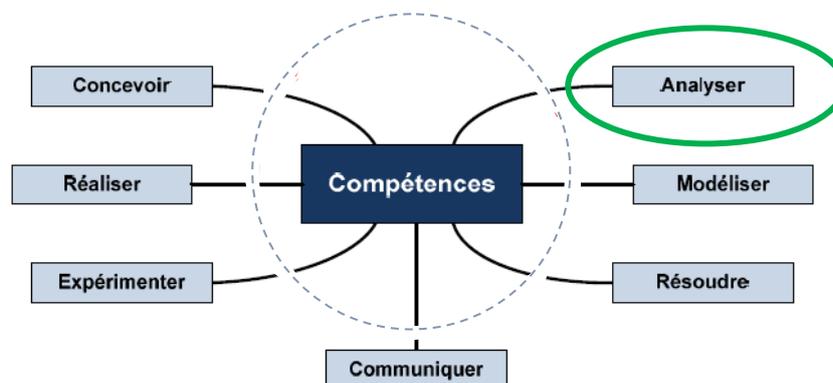
### Objectifs

Appréhender les analyses structurelles et fonctionnelles  
S’appropriier les règles de lecture des diagrammes structurels (BDD et IBD) et fonctionnels (uc, req, chaîne fonctionnelle)  
Identifier les éléments d’une chaîne fonctionnelle

Savoir

#### SAVOIRS :

- A-C1.1 : Besoin, système, services attendus du système, cahier des charges fonctionnel, spécifications fonctionnelles, analyse du cycle de vie, acteurs, interactions, solution technique.
- A-C1.S1 : Décomposer une exigence en plusieurs exigences unitaires.
- A-C1.S2 : Identifier les interactions entre les acteurs et le système étudié.
- A-C3.1 : Analyse structurelle et comportementale.
- A-C3.2 : Chaîne d’information, chaîne d’énergie.



# Sommaire

1. <u>Frontière de l'étude</u>	4
2. <u>Description fonctionnelle en Sysml</u>	5
2.1. Identifier et formaliser le besoin du client	5
2.2. Définir la fonction globale d'un système : diagramme des cas d'utilisation (uc)	6
2.3. Définir et caractériser les exigences : diagramme des exigences (req)	7
3. <u>Description comportementale en Sysml</u>	9
3.1. Décrire les interactions et enchaînements séquentiels : diagramme de séquence (seq)	9
4. <u>Description structurelle en Sysml</u>	11
4.1. Le diagramme de définition de blocs ( <i>block definition diagram — bdd</i> )	11
4.2. Diagramme de blocs internes ( <i>internal block diagram — ibd</i> )	12
5. <u>Description par chaîne fonctionnelle</u>	13
5.1. Chaîne d'énergie	14
5.2. Chaîne d'information	16



Appréhender l'analyse fonctionnelle, comportementale et structurelle

Introduction :

L'analyse fonctionnelle permet, pour un système correctement délimité par une frontière d'étude, de décrire le besoin auquel le système répond (à quoi sert-il ?) et les contraintes qu'il doit respecter.

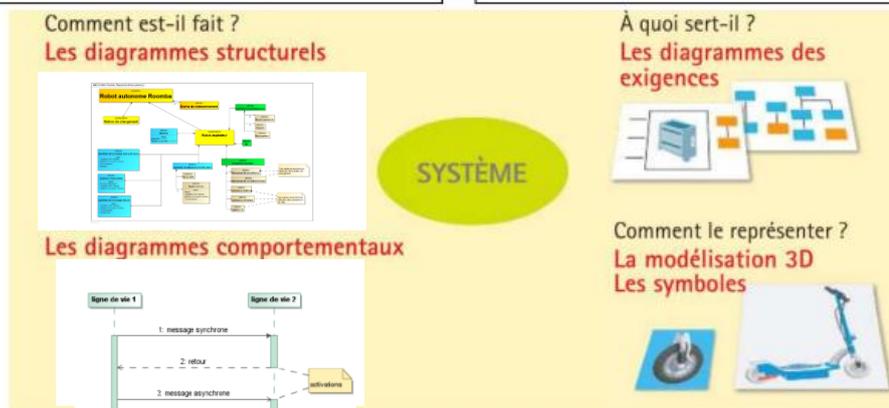
L'analyse comportementale permet de définir les conditions et paramètres de fonctionnement du système (comment fonctionne t-il ?)

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



Comment est-il fait ? ⇒ Analyse Structurelle : Permet de mettre en évidence les composants du système et leurs interactions

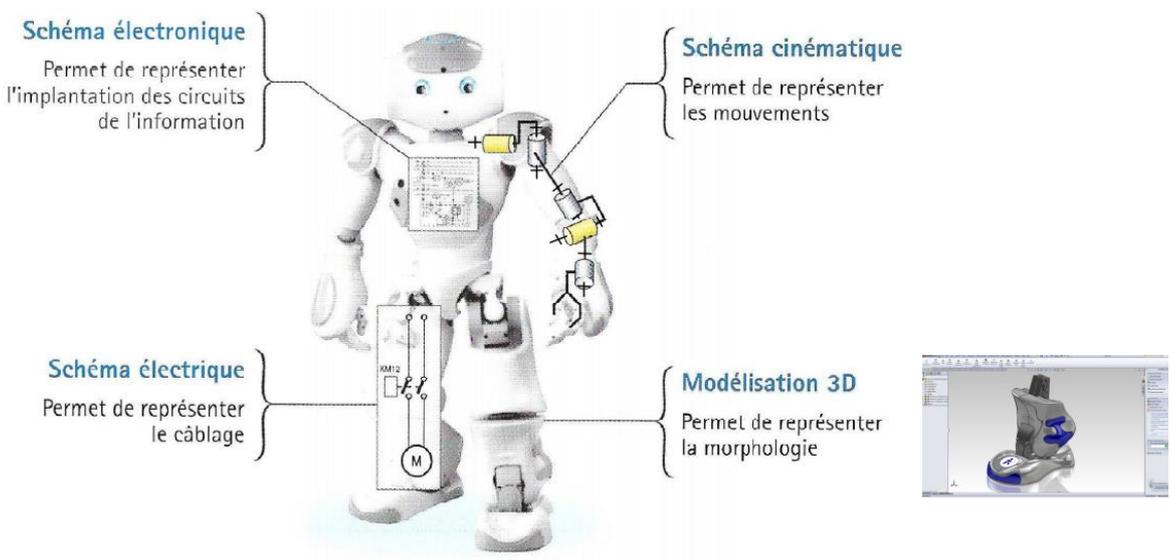
A quoi sert-il ? ⇒ Analyse Fonctionnelle : Permet de recenser toutes les fonctions à réaliser et leurs niveaux

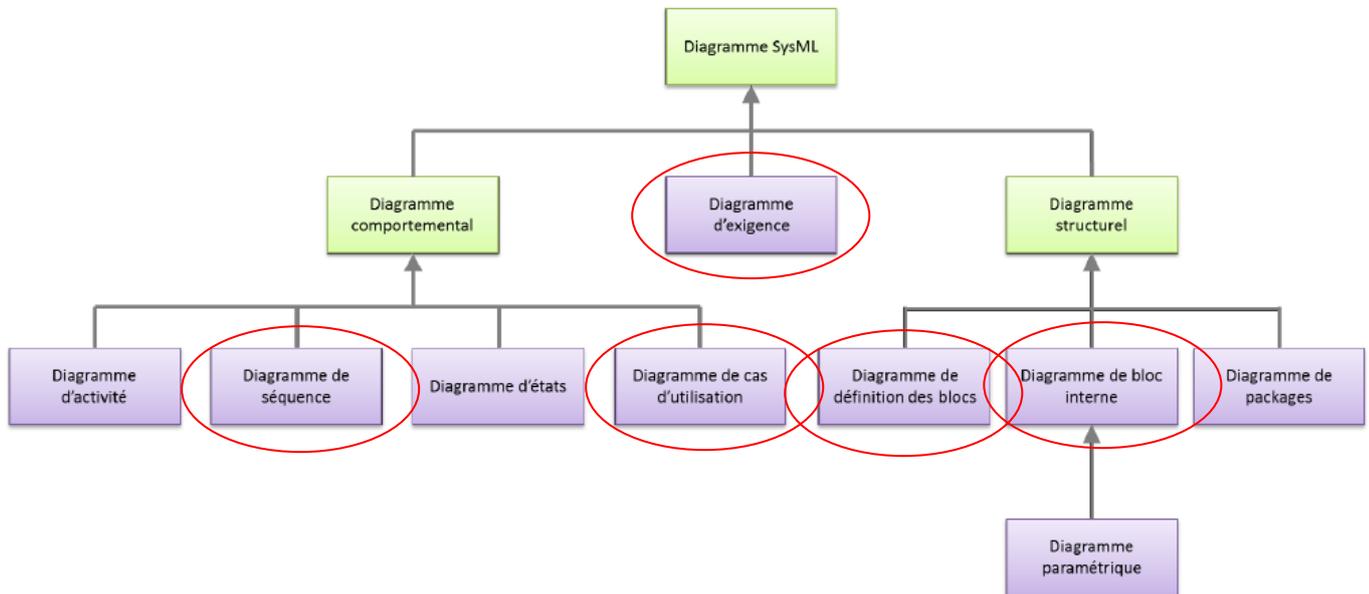


Comment fo  
⇒ Analyse Comportementale : Permet de définir les conditions et paramètre de fonctionnement de manière ordonnée et optimisée.

Comment le représenter ?  
⇒ Réaliste ou schématique : Permet de représenter ou de décrire les formes du système avec des modèles 3D ou des schémas normalisés

Pour la représentation réaliste ou schématique, plusieurs types de schémas ou de modèles 3D peuvent être utilisés comme sur l'exemple ci-dessous du Robot Nao :



Synoptique de la spécification d'un système en langage SysML

Dans le cadre de ce cours, nous détaillerons uniquement les diagrammes : **de cas d'utilisation, d'exigence, de séquence, de définition de blocs et de bloc interne.**

## 1. Frontière de l'étude

La **frontière d'étude** permet de définir le **système étudié** quel que soit l'outil de modélisation ou de description utilisé. Elle permet de distinguer ses composants ou **sous-systèmes internes** de l'**environnement extérieur**.

Un système n'est jamais isolé de l'extérieur, mais au contraire il interagit avec lui. Il doit s'adapter aux contraintes de son environnement.

**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 11 000 km et voler à une vitesse de l'ordre de Mach 0,85 (1000 km.h<sup>-1</sup>).

Pour la société Dassault, le système étudié est l'avion avec ses passagers, bagages et carburant. L'environnement extérieur comprend l'air, le sol, les autres avions, les tours de contrôles... Les composants internes comprennent les passagers, le fuselage, les ailes, les moteurs...

Pour le motoriste Pratt & Whitney, le système étudié est un moteur. Son environnement comprend le reste de l'avion. Nacelle et fuselage deviennent des éléments de l'environnement extérieur.



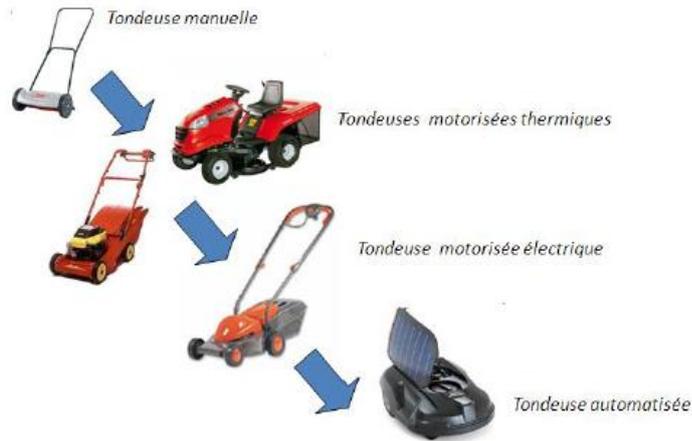


Appréhender l'analyse fonctionnelle, comportementale et structurelle

2. Description fonctionnelle en SYSML

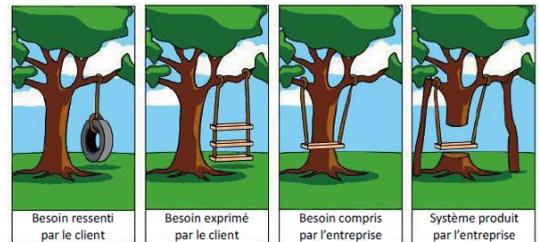
2.1. Identifier et formaliser le besoin du client

Pour se développer, une entreprise doit vendre les systèmes qu'elle produit. Et, par hypothèse, un **client achète un système si celui-ci répond à un besoin et le satisfait.**



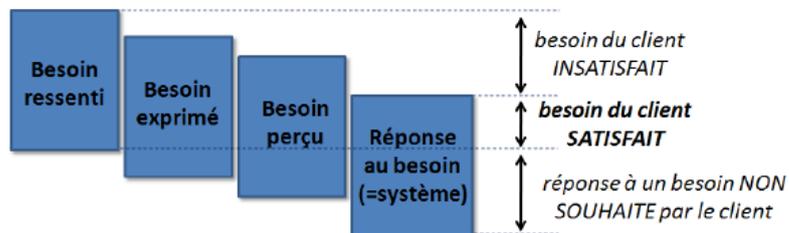
Estimer le besoin des clients potentiels est donc indispensable, mais complexe car **le besoin est en évolution constante** sous l'effet des changements économiques, sociaux et environnementaux, et des innovations.

Une entreprise recherche 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. **Besoin et fonction réalisées doivent être formalisés.**



Les diagrammes SysML des **cas d'utilisation** et des **exigences** permettent de **formaliser le besoin** d'un client (**analyse fonctionnelle du besoin**) et la manière dont le système y répond à travers ses fonctions (**analyse fonctionnelle du système**).

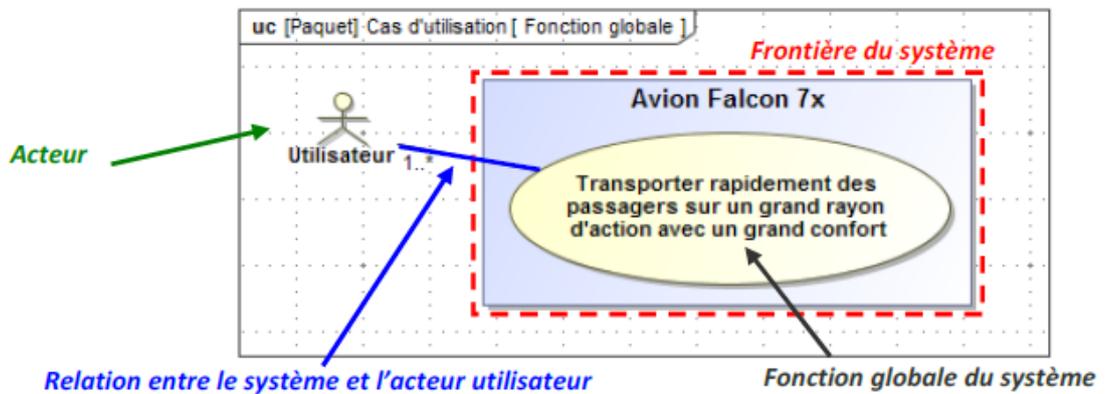
Ces descriptions permettent d'estimer le taux de satisfaction attendu.



2.2. Définir la fonction globale d'un système : diagramme des cas d'utilisation (uc)

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 les différents types d'utilisateurs, nommés **acteurs** (humains ou non), et les **services attendus** par chacun d'eux.

**Exemple : pour le Falcon 7X**

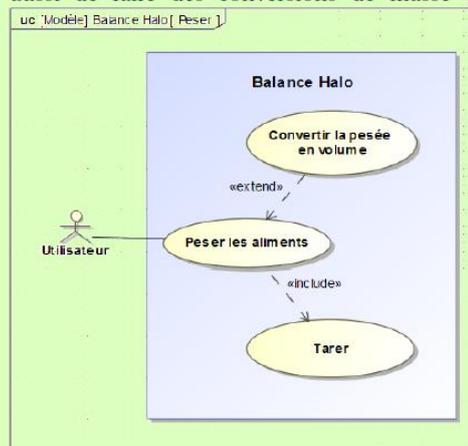


Nota : les relations

Pour affiner le diagramme, on définit 3 types de relations standardisées entre cas d'utilisation :

- Une relation d'inclusion « include » : le cas en incorpore un autre de façon obligatoire (*flèche vers intérieur*)
- Une relation d'extension « extend » : le cas incorpore un autre de façon optionnelle (*flèche vers extérieur*)

La balance Halo est une balance ménagère électronique disposant des fonctionnalités classiques d'une balance (pesée, tare...). Elle permet aussi de faire des conversions de masse en volume.



L'extension montre la possibilité de demander à la balance une conversion en volume.

L'inclusion montre que la balance dispose de la fonction tarer. Cette fonctionnalité étant utilisée à chaque démarrage de la balance, elle n'est donc pas optionnelle.

Exemple

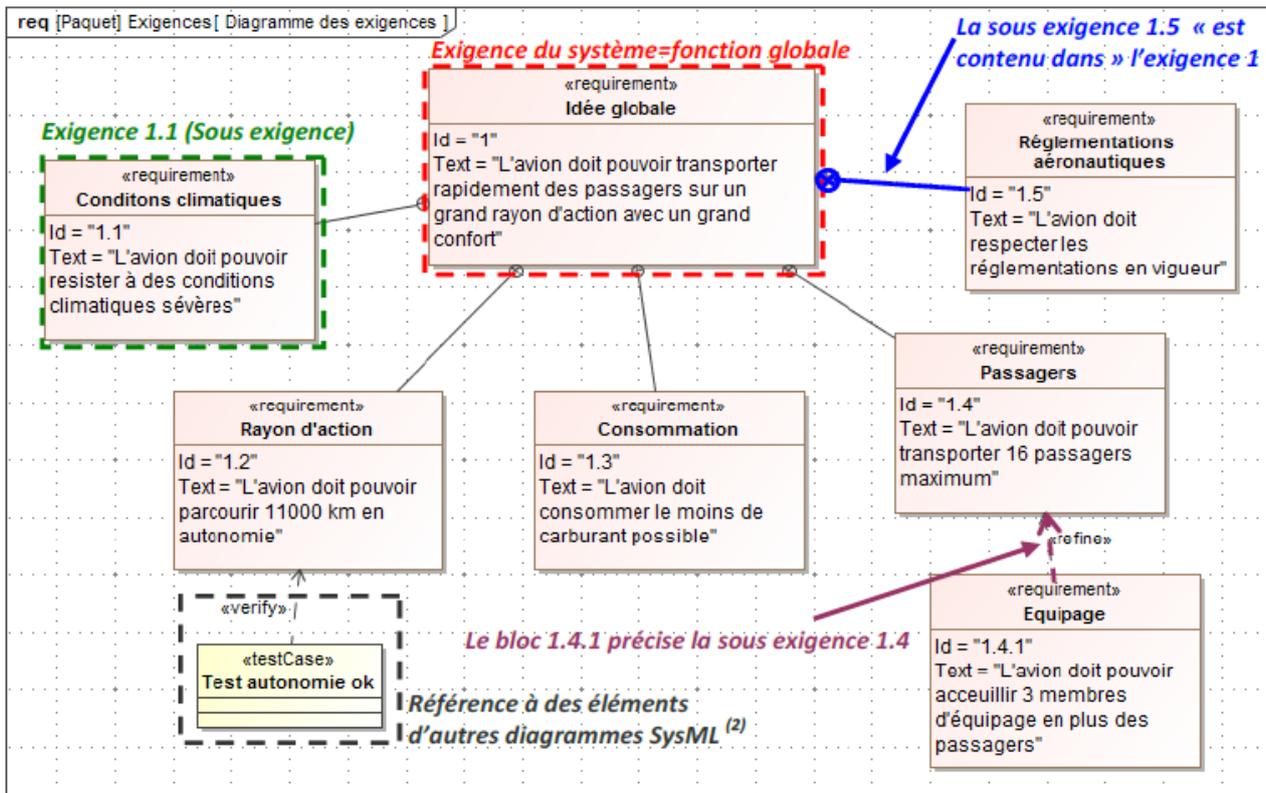
2.3. Définir et caractériser les exigences : diagramme des exigences (req)

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

Les relations entre les exigences sont :

⊕ —	Relation d'inclusion d'une exigence dans une autre
← « refine »	Permet l'ajout de <b>précision</b> , par exemple de données quantitatives

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





Appréhender l'analyse fonctionnelle, comportementale et structurelle

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.

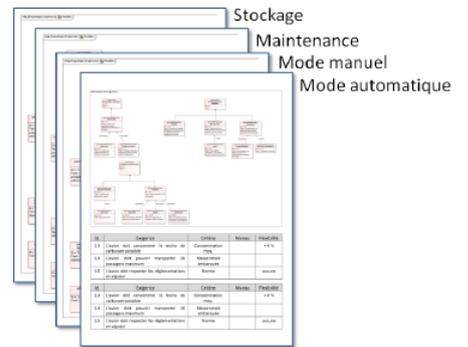
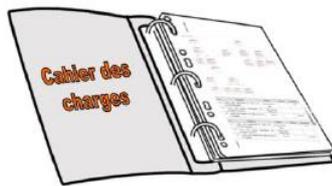
Exemple : dans le cas du Falcon 7X, on peut proposer le tableau suivant :

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% max
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 chacun des modes et 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 leurs 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 (mesures expérimentales en TP),
- ses performances anticipées grâce à une simulation (ordinateur en TP).



### 3. Description comportementale en SYSML

#### 3.1. Décrire les interactions et enchaînements séquentiels : diagramme de séquence (seq)

Le diagramme de séquence (seq) décrit **les interactions existant entre plusieurs entités**, celles-ci pouvant être des acteurs, le système ou ses sous-systèmes. Le diagramme ne montre donc que **l'enchaînement séquentiel** des différentes interactions.

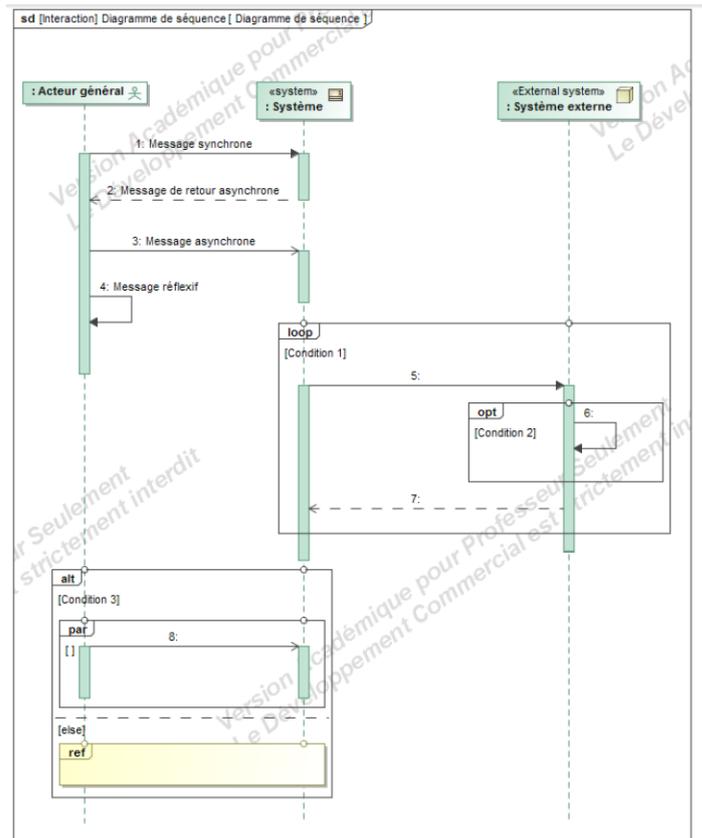
Un diagramme de séquence est rattaché à un cas d'utilisation, ce qui correspond à **un scénario de fonctionnement possible**, défini dans un cadre précis. Il répond à la question : *comment ce cas d'utilisation fonctionne-t-il ?*

#### Acteur, objet, ligne de vie, messages, compléments

L'acteur est toujours représenté par le "stick man" ou un rectangle. Un objet est représenté par un rectangle. La ligne verticale en pointillée est la *ligne de vie*.

*Messages* : les objets communiquent en **échangeant des messages** représentés par des **flèches orientées** de l'émetteur vers le récepteur

- **Message synchrone**  
La flèche est pleine. Le message de retour (flèche pointillée) est obligatoire mais pas toujours tracé.
- **Message asynchrone**  
La flèche est ouverte. L'envoi d'un message se fait à n'importe quel moment et sans attente d'une quelconque réponse.
- **Réflexivité**  
Un objet envoie un message à lui-même.



*Compléments* : une notation très utile dans les diagrammes de séquence

Définition

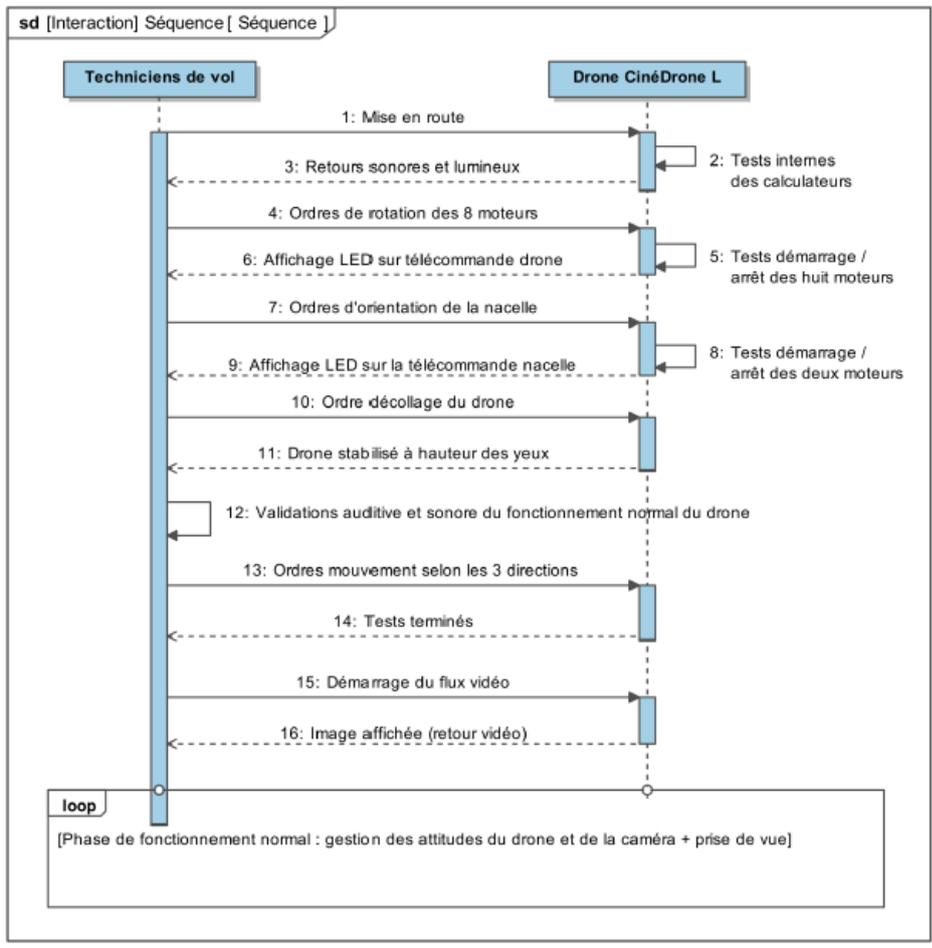
Parmi les fragments combinés on compte les suivants :

- **par** : plusieurs scénarios se déroulent en parallèle ;
- **loop** : le scénario est à répéter en boucle tant qu'une condition est vraie ;
- **opt** : un scénario optionnel est possible selon une condition ;
- **alt** : plusieurs scénarios différents sont envisageables selon des conditions ;
- **ref** : un scénario est référencé. Il est décrit séparément dans un autre diagramme de séquence.

Appréhender l'analyse fonctionnelle, comportementale et structurelle

Exemple : CinéDrone

Une caméra est positionnée sur la nacelle pour pouvoir réaliser des prises de vues aériennes. Cette nacelle étant commandée en orientation pour stabiliser l'image.



Le tableau de la figure 3.2 montre les principales différences des trois modèles S (small), L (large) et XL (extra large).

Caractéristiques	Modèle S	Modèle L	Modèle XL
Moteurs	6 rotors 15 A - 12 V	8 rotors 30 A - 12 V	8 rotors 60 A - 12 V
Charge embarquée	jusqu'à 1,5 kg	jusqu'à 2,3 kg	jusqu'à 5 kg
Charge maximale	3 kg	5 kg	14 kg
Exemple de caméra	Go-Pro 2	Black Magic	Red Epic
Vent maximal	25 km h <sup>-1</sup>	35 km h <sup>-1</sup>	65 km h <sup>-1</sup>
Durée de vol maximale	12 min	8 min	5 min

Figure 3.2. Caractéristiques principales des drones de l'entreprise Ciné-Drone.



Appréhender l'analyse fonctionnelle, comportementale et structurelle

4. Description structurelle en SYSML

La description structurelle d'un système 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).

4.1. Le diagramme de définition de blocs (block definition diagram — bdd)

Le **diagramme de définition de blocs** (bdd) permet de réaliser l'**inventaire** des composants constituant le système en le décomposant en **systèmes** et **sous-systèmes** par une **analyse descendante**.

Cette représentation peut être reliée à une nomenclature de composants (une liste) ou à la structure de sa maquette numérique CAO. Le bdd permet d'avoir un premier aperçu de la **structure du système**.

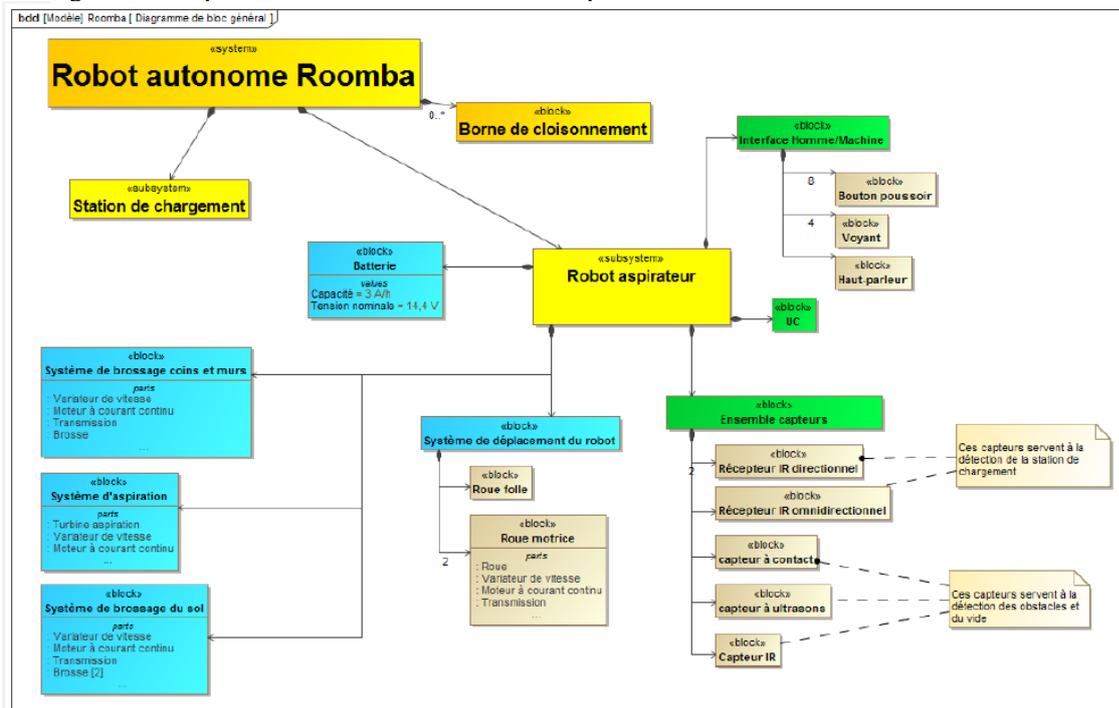
Exemple : iRobot fabrique et commercialise des robots capables de passer l'aspirateur de façon autonome.

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



Dans une première approche, la structure du système peut être présentée comme ci-contre. L'indication « 0..\* » indique que le système peut comprendre 0 borne de cloisonnement, ou plus.

Le diagramme ci-après détaille la structure du robot aspirateur.





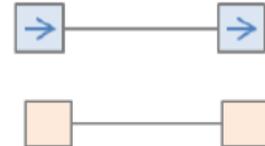
Appréhender l'analyse fonctionnelle, comportementale et structurelle

4.2. Diagramme de blocs internes (internal block diagram — ibd)

Le diagramme de blocs internes permet d'identifier les flux de matière, d'énergie et d'information entre les composants.

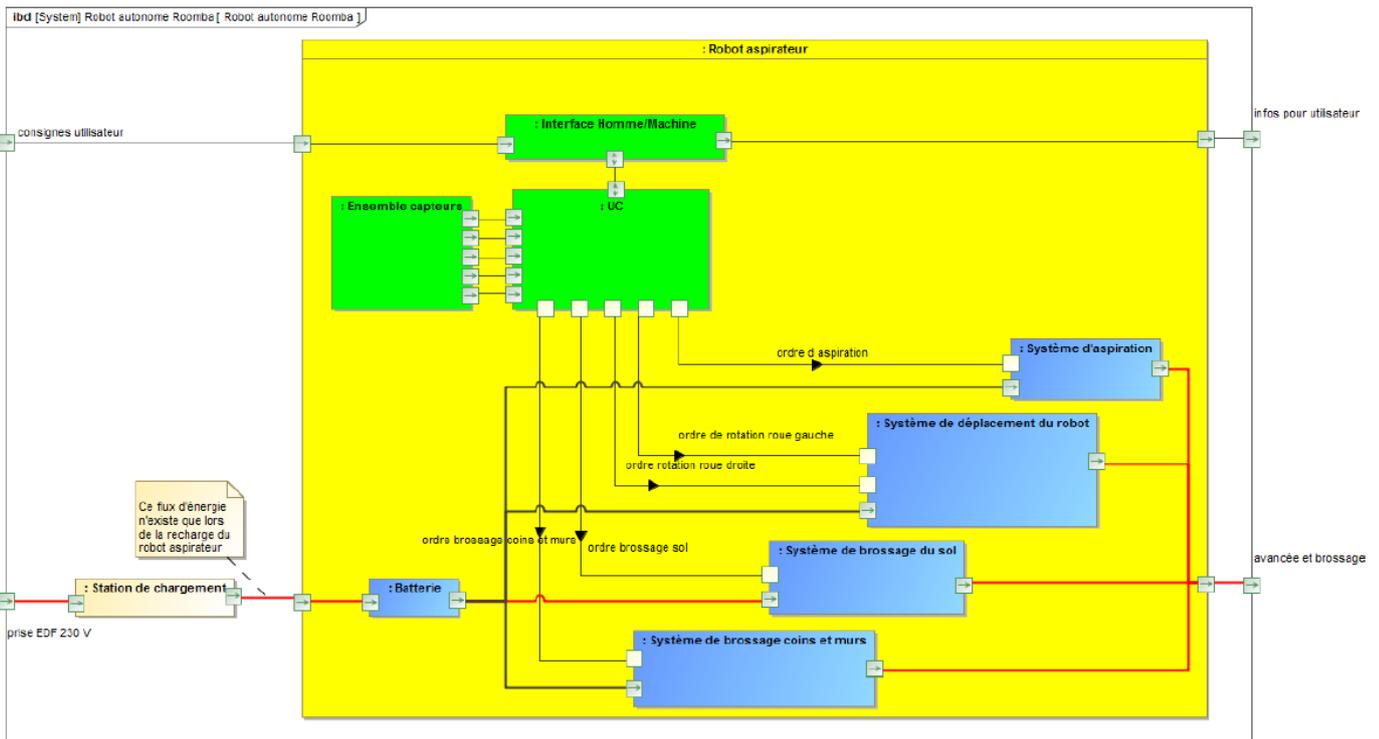
Les échanges sont représentés en reliant des ports :

- ports de flux pour représenter les échanges de matière / information / énergie entre ces constituants de même niveau
- ports standards pour représenter les services invoqués par un autre constituant (commande ou contrôle)

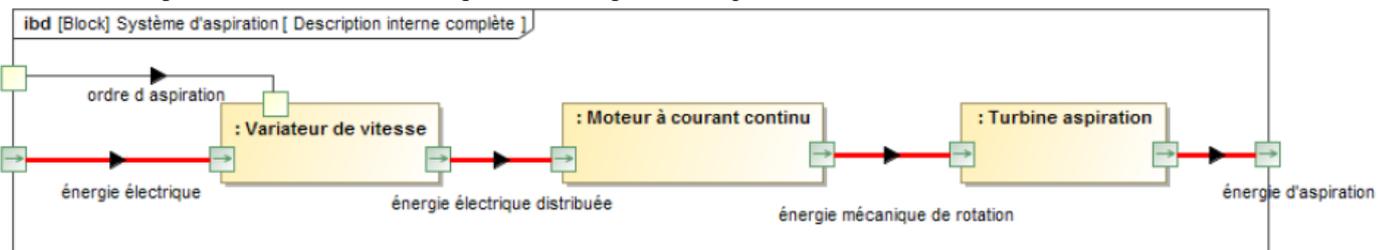


Avec ce type de diagramme, on peut aussi faire le choix de décrire la structure d'un système avec différents niveaux de raffinement. Dans le cas d'un système complexe, on évite de concentrer toutes les informations sur un seul et même diagramme de blocs internes ce qui le rendrait illisible. On construit alors autant de diagrammes de définition de blocs que l'on souhaite avec des niveaux de précision et de raffinement différents.

Exemple : dans le cas du système Roomba, on peut choisir de présenter la structure du robot autonome associé à la station de recharge en ne détaillant que certains blocs.



Ou alors, on peut choisir de détailler uniquement le dispositif d'aspiration du robot autonome.



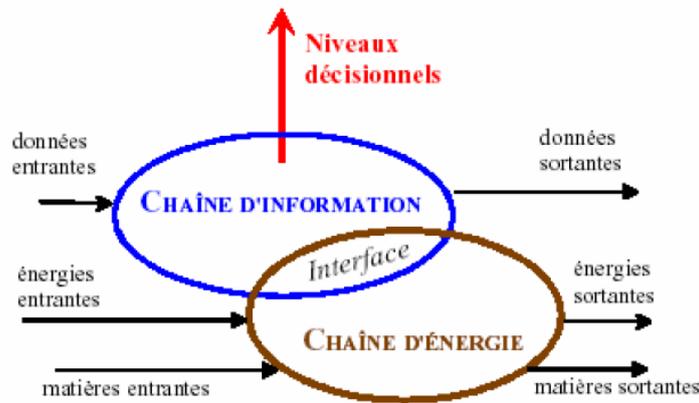


5. Description par chaîne fonctionnelle

Une **chaîne fonctionnelle** décrit les **composants** et la **fonction** des composants intervenant dans la réalisation d'une **unique activité**.

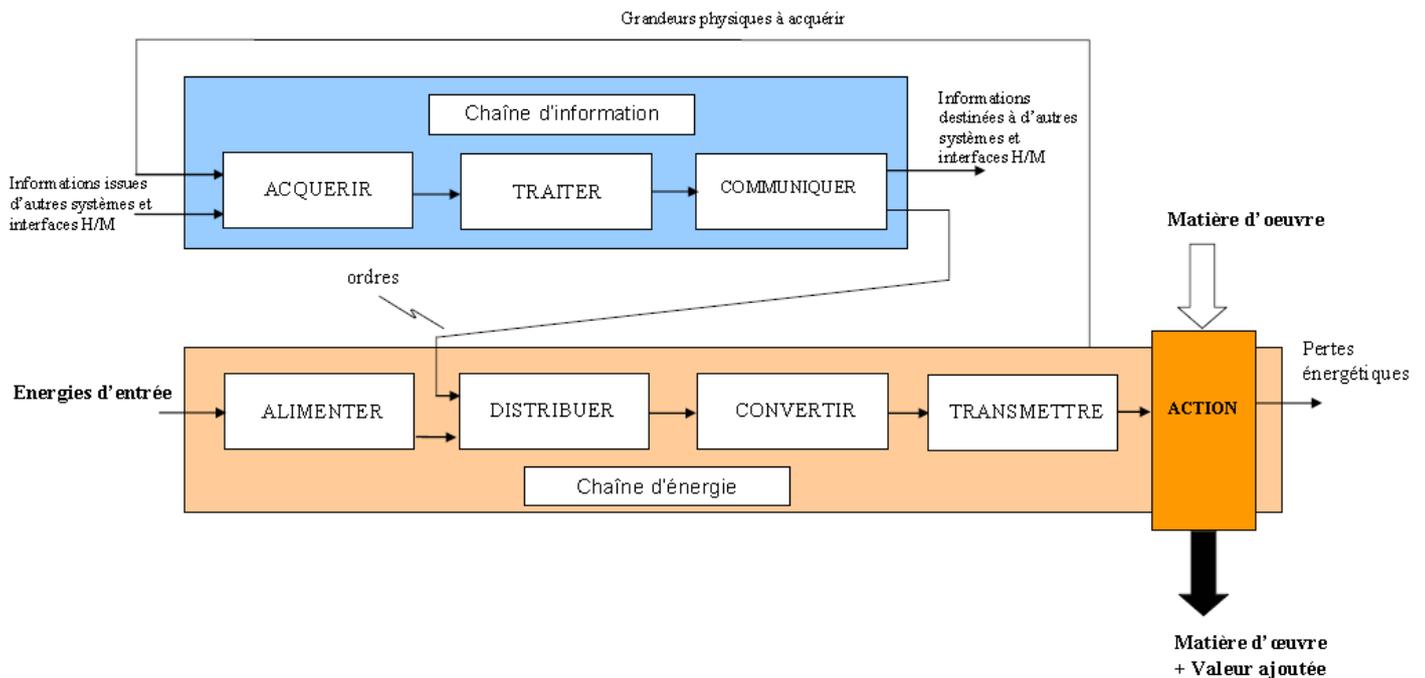
Une chaîne fonctionnelle comprend :

- une **chaîne d'information** qui **traite l'information** provenant de l'utilisateur et de capteurs afin de **définir des ordres** transmis à la chaîne d'énergie
- une **chaîne d'énergie** qui gère la **puissance** (flux d'énergie) nécessaire pour réaliser l'activité.



*Modèle général d'un système pluritechnique*

Aux chaînes d'information et d'énergie, on peut en général associer les fonctions suivantes :

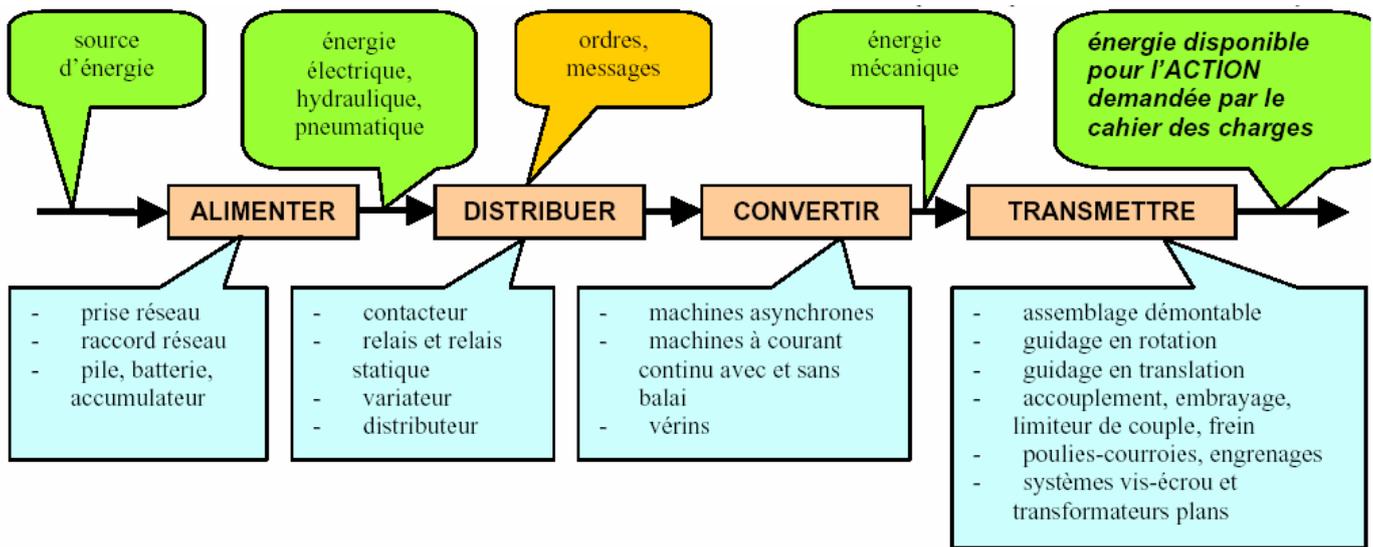


5.1. La chaîne d'énergie

La chaîne d'énergie, associée à sa commande, assure la réalisation d'une fonction dont les caractéristiques sont spécifiées dans le cahier des charges des charges fonctionnel.

Repérable sur la plupart des produits et systèmes de notre environnement et des milieux industriels, la chaîne d'énergie est composée des fonctions génériques **alimenter**, **distribuer**, **convertir**, **transmettre**.

On peut associer à ces fonctions génériques des solutions constructives :



Chaîne d'énergie - solutions constructives

Les **actionneurs** permettent l'exécution de tâches opératives. En général, l'énergie issue de la chaîne d'information n'est pas suffisante pour être utilisable directement par les actionneurs.



Le rôle du **préactionneur** est alors de distribuer ou non une énergie importante en attente, sous l'action d'une énergie de commande plus faible.



Appréhender l'analyse fonctionnelle, comportementale et structurelle

Le **transmetteur de puissance** adapte l'énergie issue de l'actionneur à l'effecteur. Ce dernier est l'élément terminal de la chaîne d'énergie. Il agit directement sur la matière d'oeuvre en vue de lui apporter une valeur ajoutée.

Sans transformation du mouvement



engrenage

poulie courroie

Et aussi : pignon-chaîne, roue et vis sans fin...

Avec transformation du mouvement

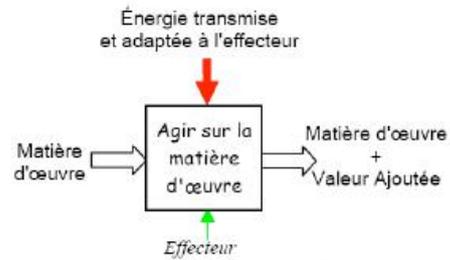


vis-écrou

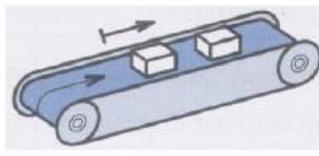
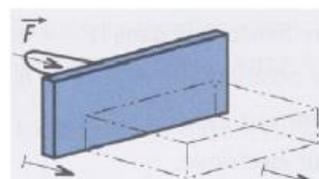
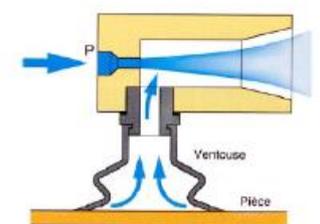
pignon-crémaillère

Et aussi : came, bielle-manivelle...

L'**effecteur** agit directement sur la matière d'oeuvre en vue de lui apporter une valeur ajoutée.



Effecteurs pour une VA de type déplacement de matières d'œuvres (tapis roulant, ventouse...)

<p><b>Poser-Entrainer :</b> <i>Tapis roulant ou bande transporteuse ou convoyeur.</i></p>  <p><b>Principe :</b> Une (ou deux) bande(s) souple(s) entraîne(nt) les pièces par adhérence.</p> <p><b>Actionneur associé :</b> moteur électrique.</p> <p><b>Utilisation :</b> Entraînement rapide et continu de pièces ayant une surface plane.</p>	<p><b>Pousser :</b> <i>Plaque pousseuse.</i></p>  <p><b>Principe :</b> Une plaque rigide mobile pousse la M.O. selon une direction, dans un seul sens.</p> <p><b>Actionneur associé :</b> vérin pneumatique.</p> <p><b>Utilisation :</b> Déplacement en translation, dans un seul sens de pièces prismatiques ou cylindriques.</p>	<p><b>Saisir-Soulever :</b> <i>Ventouse.</i></p>  <p><b>Principe :</b> Lorsque la pression d'air P alimente le générateur de vide, le jet d'air turbulent entraîne l'air ambiant (effet Venturi) et le vide ainsi créé permet la saisie de la pièce par la ventouse.</p> <p><b>Actionneur associé :</b> générateur de vide.</p> <p><b>Utilisation :</b> Saisie de pièces présentant une surface plane, lisse et non poreuse. Augmenter le diamètre et/ou le nombre de ventouses selon la charge.</p>
--	---	--



---

## Appréhender l'analyse fonctionnelle, comportementale et structurelle

---

### 5.2. La chaîne d'information

Dans une chaîne d'information, l'information traitée peut être de trois types :

- **analogique**, le signal peut prendre une infinité de valeurs car il varie en continue
- **numérique**, le signal prend des valeurs discrètes transmises sous la forme d'une combinaison de digits (*bits*)
- **logique**, le signal n'admet que deux valeurs distinctes : tout ou rien (0 ou 1).

*Le signal de sortie des capteurs ou IHM qui renvoient une tension électrique directement proportionnelle à la grandeur physique mesurée ou à la consigne de l'utilisateur est de type analogique.*

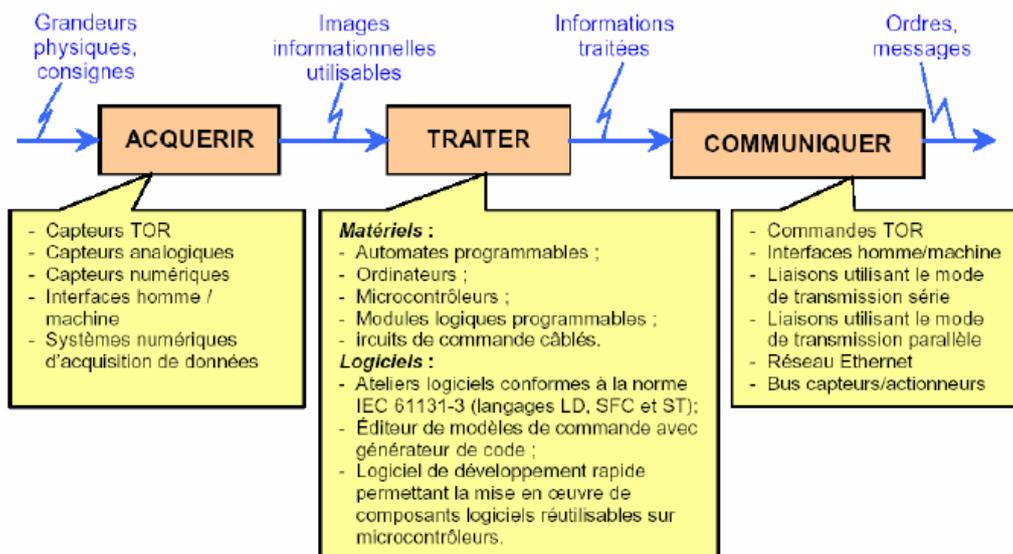
*Le signal obtenu par échantillonnage d'un signal analogique par un convertisseur analogique / numérique est numérique.*

*Le signal en sorti d'un bouton poussoir ou d'un détecteur est de type logique.*

La chaîne d'information permet :

- **d'acquérir des informations** :
  - sur l'état d'un produit ou de l'un de ses éléments (en particulier de la chaîne d'énergie),
  - issues d'interfaces homme/machine ou élaborées par d'autres chaînes d'information,
  - sur un processus géré par d'autres systèmes (consultation de bases de données, partage de ressources, ...),
- de **traiter** ces informations ;
- de **communiquer** les informations générées par le système de traitement pour réaliser l'assignation des ordres destinés à la chaîne d'énergie ou (et) pour élaborer des messages destinés aux interfaces homme/machine (ou à d'autres chaînes d'information).

La chaîne d'information est composée des fonctions génériques **acquérir**, **traiter**, **communiquer**. A chacune de ces fonctions génériques, on peut faire correspondre des solutions constructives.





Appréhender l'analyse fonctionnelle, comportementale et structurelle

**Capteurs**

Fonction : prélever une grandeur physique et en produire une image exploitable<sup>(1)</sup> par l'unité de commande.

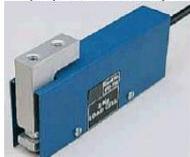


**Les capteurs analogiques (infinité de valeurs)**

Ces capteurs transmettent une information prenant une infinité de valeurs. La grandeur de sortie est en relation directe avec la grandeur d'entrée. Le principe est de traduire une modification dimensionnelle (due à un effort, à une pression...) en variation de résistance électrique. Ces capteurs sont linéaires.



Jauge d'extensiométrie (capteurs d'effort)



Les pressostats (capteurs de pression)



Les tachymètres (capteurs de vitesse)



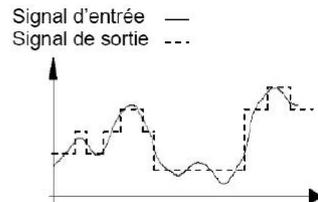
Les potentiomètres résistifs (capteurs de déplacement)



**Les capteurs numériques (nombre limité de valeurs)**

Ces capteurs transmettent une information prenant un nombre limité de valeurs distinctes (comme tout signal numérique...).

Les codeurs (capteurs de déplacement).



**Interface homme / machine (IHM)**

Fonction : traduire la consigne d'un utilisateur en une image exploitable par la partie commande.



bouton poussoir

potentiomètre

clavier joystick



Et aussi : bouton coup de poing, interrupteur de position, écran tactile...

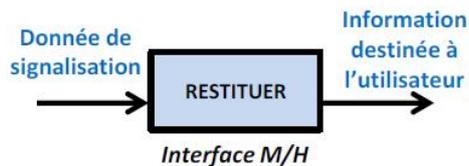
Fonction : informer l'utilisateur sur l'état du système.



voyant

alarme sonore

écran

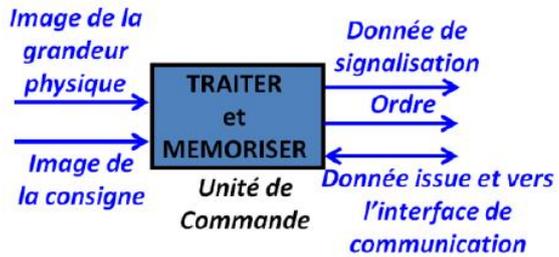




Appréhender l'analyse fonctionnelle, comportementale et structurelle

Unité de commande

Fonction : traiter, à l'aide d'un programme implanté en mémoire, les informations en provenance des capteurs et de l'interface H/M afin d'émettre les ordres destinés aux pré-actionneurs des différentes chaînes d'énergie du système.



Envoyer des signalisations à l'interface M/H qui seront traduites en messages écrits ou en signaux lumineux et/ou sonores à destination de l'utilisateur.



automate programmable



micro-contrôleur

Interface de communication

Fonction : permettre au système d'échanger des informations avec d'autres systèmes.



Interface E/S bus



Carte réseau



Emetteur/récepteur Wifi - Bluetooth

La fonction COMMUNIQUER est devenue une fonction essentielle dans les systèmes actuels.

Ils sont désormais très souvent communicants, ce qui permet la prise de commande à distance, les mises à jour automatiques, le diagnostic et la maintenance à distance, ...



## Savoirs

Je connais :

- la notion de frontière d'étude
- la notion de fonction globale d'un système
- le rôle du diagramme des cas d'utilisation
- le rôle du diagramme des exigences
- les notions de critère et niveau associés à une exigence
- la fonction du cahier des charges
- le rôle du diagramme de définition de blocs
- le rôle du diagramme de blocs internes
- la structure d'une chaîne fonctionnelle (d'information et d'énergie)
- le vocabulaire des fonctions et familles de composants des chaînes fonctionnelles
- les différents types de puissances
- les différents types de signaux.

## Savoir-faire

Je sais :

- lire un diagramme des cas d'utilisation
- lire un diagramme des exigences
- lire un diagramme BDD ou IBD
- identifier, nommer et donner le rôle des constituants d'une chaîne fonctionnelle
- où trouver des informations sur les performances attendues d'un système.