

Séquence 1
Cours

Analyse et conception d'un système



	Objectif	Compétence
1 — Conception des systèmes		
☐	Décrire le besoin et les exigences sous forme de cahier des charges	A1-01
☐	Traduire un besoin fonctionnel en exigences	A1-02
☐	Qualifier et quantifier les exigences : critère, niveau, flexibilité	A1-04
☐	Évaluer l'impact environnemental d'un produit sur l'ensemble de son cycle de vie	A1-05
2 — Analyse des systèmes		
☐	Isoler un système et justifier l'isolement	A2-01
☐	Définir les éléments influents du milieu extérieur	A2-02
☐	Identifier la nature des flux traversant la frontière d'étude	A2-03
☐	Lire, interpréter et compléter un diagramme SysML	E1-05
☐	Associer les fonctions aux constituants	A3-01
☐	Identifier et décrire les chaînes fonctionnelles d'un système et les liens entre elles	A3-03/04

L'essentiel

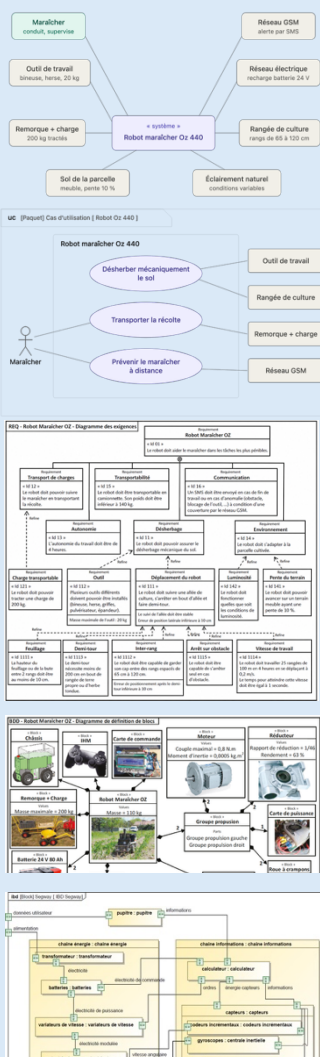


Diagramme de contexte. Le diagramme de contexte permet de définir les frontières de l'étude, et en particulier de préciser la phase du cycle de vie dans laquelle on situe l'étude (généralement la phase d'utilisation).

Le diagramme des cas d'utilisation. Il permet d'exprimer la fonction globale d'un système. Il définit aussi les différents types d'utilisateurs, nommés acteurs, et les services attendus par chacun d'eux. **use case** ou **uc**

Diagramme des exigences et CdCF. Il regroupe des exigences liées aux besoins de l'utilisateur ou aux contraintes des éléments du milieu extérieur définis dans le cahier des charges. **requirements diagram**, ou **req**. Une exigence est caractérisée par :

- un critère (grandeur physique mesurable) ;
- un niveau attendu (valeur exigée) ;
- une flexibilité (l'écart acceptable sur le niveau attendu).

Diagramme de définition des blocs. Il permet de visualiser rapidement la structure du système en représentant les liens entre les blocs. **block definition diagram** ou **bdd**

Diagramme des blocs internes. Il représente la manière dont interagissent les blocs, par leurs connexions et leurs flux d'échanges : matière, énergie, information. **internal block diagram** ou **ibd**

Chaîne d'information et chaîne d'énergie-puissance

Informations issues d'autres systèmes ou de l'utilisateur

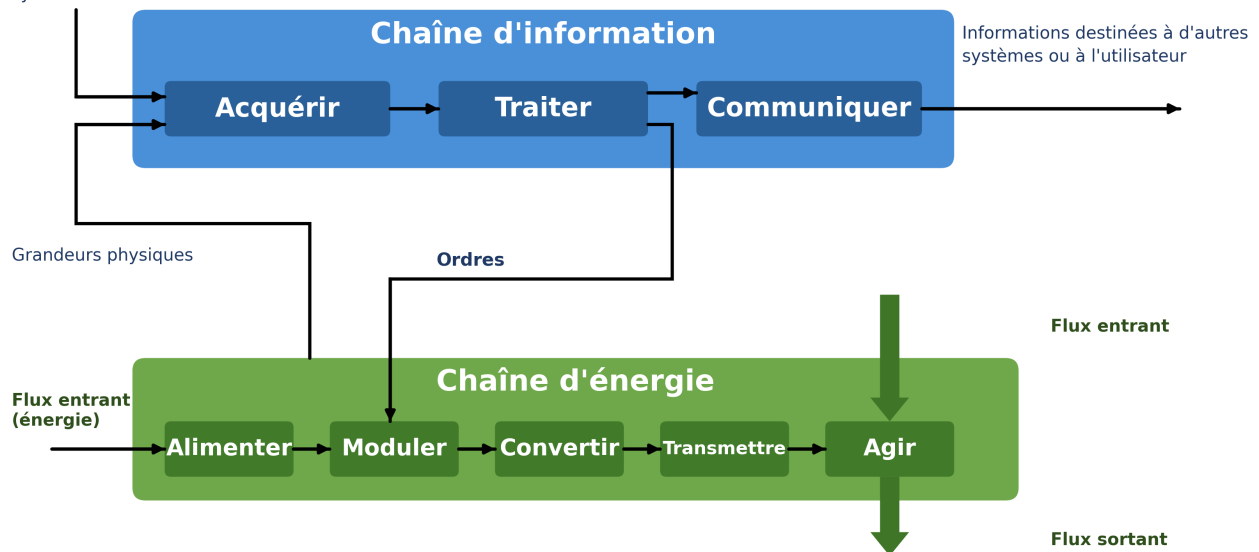


Table des matières

1	CONCEPTION DES SYSTEMES	4
1.1	NOTIONS ESSENTIELLES SUR LES SYSTEMES	4
1.2	CYCLE DE VIE D'UN PRODUIT INDUSTRIEL	6
1.3	DEFINIR LE BESOIN : LE CAHIER DES CHARGES	6
1.4	DEFINIR L'ARCHITECTURE : LA CONCEPTION SYSTEMIQUE	7
1.5	DIMENSIONNEMENT : CONCEPTION DETAILLEE ET MODELISATION	8
1.6	PROTOTYPAGE ET EXPERIMENTATION	9
1.7	INDUSTRIALISATION ET SUIVI DU CYCLE DE VIE	9
1.8	ÉCO CONCEPTION	9
2	ANALYSE DES SYSTEMES	11
2.1	INTRODUCTION AU LANGAGE SYSML	11
2.2	FRONTIERE D'ETUDE ET DIAGRAMME DE CONTEXTE	12
2.3	DIAGRAMME DES CAS D'UTILISATION	13
2.4	BESOIN, DIAGRAMME DES EXIGENCES	13
2.5	DIAGRAMME DE DEFINITION DES BLOCS	15
2.6	DIAGRAMME DES BLOCS INTERNES	16
2.7	DESCRIPTION STRUCTURELLE PAR CHAINES DE PUISSANCE ET D'INFORMATION	17
2.8	DIFFERENTS FLUX D'ENERGIE	20
3	ANNEXE : COMPOSANTS CLASSIQUES	21
3.1	CHAINE D'ENERGIE	21
3.1.1	UNITE D'ALIMENTATION	21
3.1.2	UNITE DE STOCKAGE	21
3.1.3	PRE-ACTIONNEUR	21
3.1.4	ACTIONNEUR	23
3.1.5	TRANSMETTEUR	24
3.1.6	EFFECTEUR	24
3.2	CHAINE D'INFORMATION : TYPES DE D'INFORMATION, FONCTIONS ET CONSTITUANTS USUELS ASSOCIES	25
3.2.1	LES TYPES D'INFORMATIONS	25
3.2.2	CAPTEUR	25
3.2.3	INTERFACE HOMME/MACHINE (IHM)	25
3.2.4	UNITE DE COMMANDE	25
3.2.5	INTERFACE DE COMMUNICATION	26

1 Conception des systèmes

1.1 Notions essentielles sur les systèmes

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

Remarque Un système n'est pas un ensemble. Il suffit de connaître tous les éléments d'un ensemble pour connaître l'ensemble. Mais il ne suffit pas de connaître tous les composants d'un système pour connaître le système, il faut aussi connaître les relations entre les composants.

L'homme a rapidement été confronté à sa faible capacité physique et a appris à maîtriser d'autres sources d'énergies pour accomplir des tâches à sa demande. Un grand nombre de systèmes techniques sont apparus, pour lesquels l'homme commande, en fournissant une faible énergie, un système mettant en œuvre de grandes énergies. Par exemple les charrues, les systèmes d'irrigation, les engins de chantier, les voitures, etc... L'homme commande le système technique qui est la partie opérative réalisant la tâche que l'homme ne peut faire de ses propres forces.

L'étude des systèmes modernes demande en général des connaissances dans plusieurs disciplines telles que l'électronique, l'électrotechnique, la mécanique, ...

Définition Une **fonction** est une action d'un produit ou de l'un de ses constituants, exprimé exclusivement en termes de finalité. Une fonction est formulée par **verbe à l'infinitif** suivi d'un **complément**. Chaque fonction doit être définie dans la mesure du possible par des caractéristiques quantifiables.

Exemple : Fonction d'un aspirateur. Quelle est la fonction globale d'un aspirateur : aspirer, nettoyer ou dépoussiérer ?



Définition - Un **flux** est un échange entre deux éléments : entre deux constituants du système, ou entre le système et son milieu extérieur.

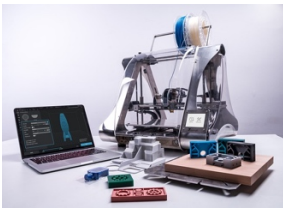
Les flux sont le contenu concret des relations qui font qu'un ensemble de composants constitue un système. On distingue trois natures de flux :

- **Flux de matière** : matières premières, pièces, fluides, produits manufacturés, personnes transportées...
- **Flux d'énergie** : énergie électrique, mécanique, hydraulique, pneumatique, thermique...
- **Flux d'information** : consignes, mesures, ordres, signalisations, données échangées avec d'autres systèmes...

Remarque - Une même relation porte souvent des flux de natures différentes. Le câble d'un chargeur de téléphone transporte simultanément un flux d'énergie (la puissance de charge) et un flux d'information (la négociation du protocole entre le chargeur et l'appareil).

Remarque - Les flux dépendent de la **phase du cycle de vie** considérée. En utilisation, un drone ne reçoit aucune énergie de l'extérieur : il puise dans sa batterie. Le flux d'énergie entrant depuis la borne de recharge n'existe qu'en phase de recharge. Préciser la phase étudiée est donc un préalable à tout inventaire de flux.

Exemple : Définir les flux entrants et sortants pour une imprimante 3D, une éolienne ou une pompe à chaleur, les 3 pour la phase d'utilisation



	Entrant	Sortant
Matière	filament thermoplastique	pièce imprimée ; supports et purges, mis au rebut
Energie	énergie électrique (secteur)	chaleur dissipée ; bruit
Info	fichier G-code ; consignes (température, vitesse)	état d'avancement affiché ; alarmes



	Entrant	Sortant
Matière		
Energie		
Info		



	Entrant	Sortant
Matière		
Energie		
Info		

1.2 Cycle de vie d'un produit industriel

Définition - Le **produit** est ce qui est ou sera fourni à un utilisateur pour répondre à un besoin. Un produit est un compromis entre le besoin du client et les contraintes industrielles.

Définition - Le **cycle de vie** recense les différentes étapes de la vie d'un système, de l'identification du besoin à l'origine de sa conception jusqu'au recyclage de ses constituants lorsqu'il n'est plus utilisé

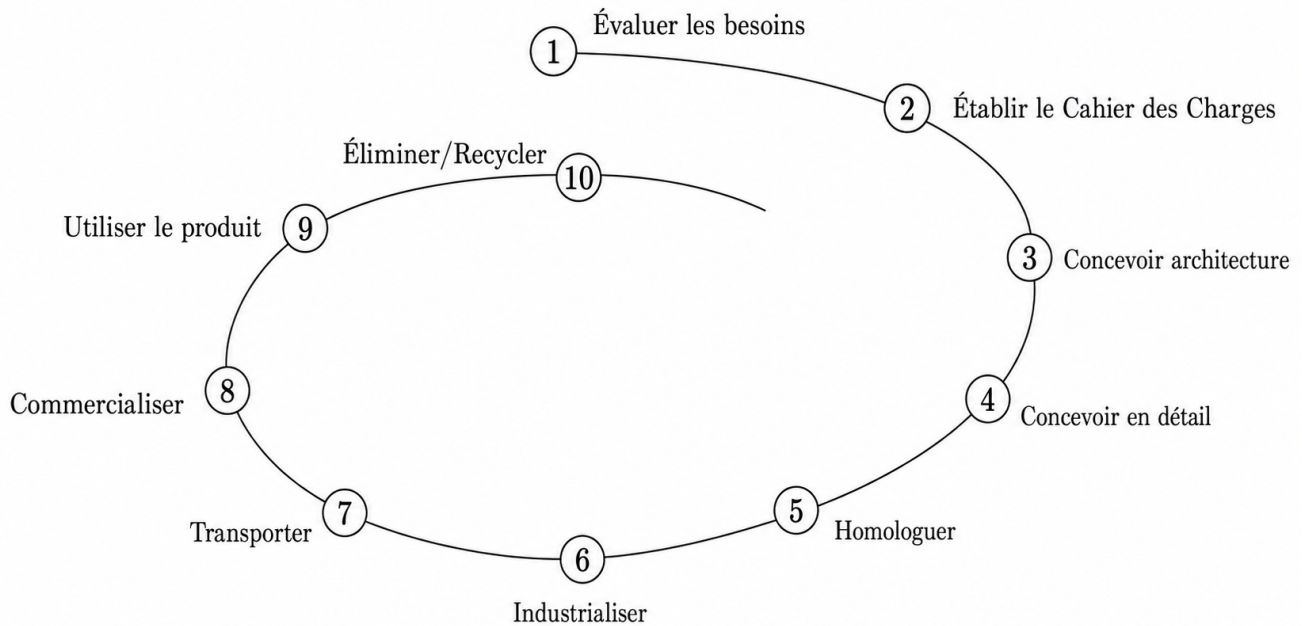


Figure 1-1 – Cycle de vie d'un produit

Afin de satisfaire le besoin exprimé ou implicite des clients, dans un contexte économique de forte concurrence, des entreprises mettent sur le marché des produits d'une qualité optimale à moindre coût.

1.3 Définir le besoin : le cahier des charges

Toute la conception part de la définition la plus précise possible des besoins. Les besoins sont définis par des fonctions et des critères sont associés aux fonctions. Ils permettent d'apprécier les performances d'un système mais aussi ses caractéristiques techniques. Le cahier des charges regroupe ces fonctions attendues et leurs performances associées.

Définition - Le **Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF)** est un document ayant une structure normalisée et formalisant ce dont le client a besoin ainsi que l'ensemble de ses exigences, le tout sans spécifier de solution technique.

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 ;
- ses performances anticipées grâce à une simulation.

Illustration : extrait du cahier des charges pour un drone de sauvetage en mer



Id.	Exigence	Critère	Niveau	Flexibilité
1.1	Le drone doit pouvoir localiser une victime de jour comme de nuit	Capteurs embarqués et portée	Résolution optique 4K + Thermique, flux vidéo ≥ 5 km	-0,5 km
1.2	Le drone doit pouvoir sécuriser la victime en mer	Capacité et précision de largage	Charge utile $\geq 1,5$ kg (gilet), précision à moins de 2 m	-0,1 Kg $\pm 0,5$ m
1.3	Le drone doit résister aux agressions du milieu marin	Étanchéité globale	Indice de protection IPX7 minimum	Nulle
1.4	Le drone doit pouvoir voler malgré des vents violents et rafales	Vitesse maximale du vent	Vent continu 54 km/h (30 nds), rafales 70 km/h (38 nds)	-4 km/h
1.5	Le drone doit disposer d'une autonomie suffisante en mission	Temps de vol avec charge utile	≥ 40 min (et ≥ 28 min face au vent de 45 km/h)	-3 min
1.6	Le drone doit pouvoir être déployé en urgence absolue	Temps de préparation	Prêt à voler en ≤ 3 minutes	+ 30 s
1.7	Le drone doit garantir la sécurité du vol et sa récupération	Procédures d'urgence	Return-to-Home auto (batterie $< 20\%$) et châssis flottant	Nulle

Un document complet de Cahier des Charges Fonctionnel (généralement sous format Word ou PDF) englobe ce tableau mais comprend également d'autres sections indispensables :

- **Le contexte et les objectifs** : Pourquoi crée-t-on ce drone ? Qui sont les acteurs (secouristes, victimes, SNSM) ?
- **La présentation du cycle de vie** : Transport, stockage, utilisation en mission, maintenance.
- **Les contraintes budgétaires et réglementaires** : Le prix cible par unité, la législation de la DGAC ou de l'EASA sur le survol maritime.

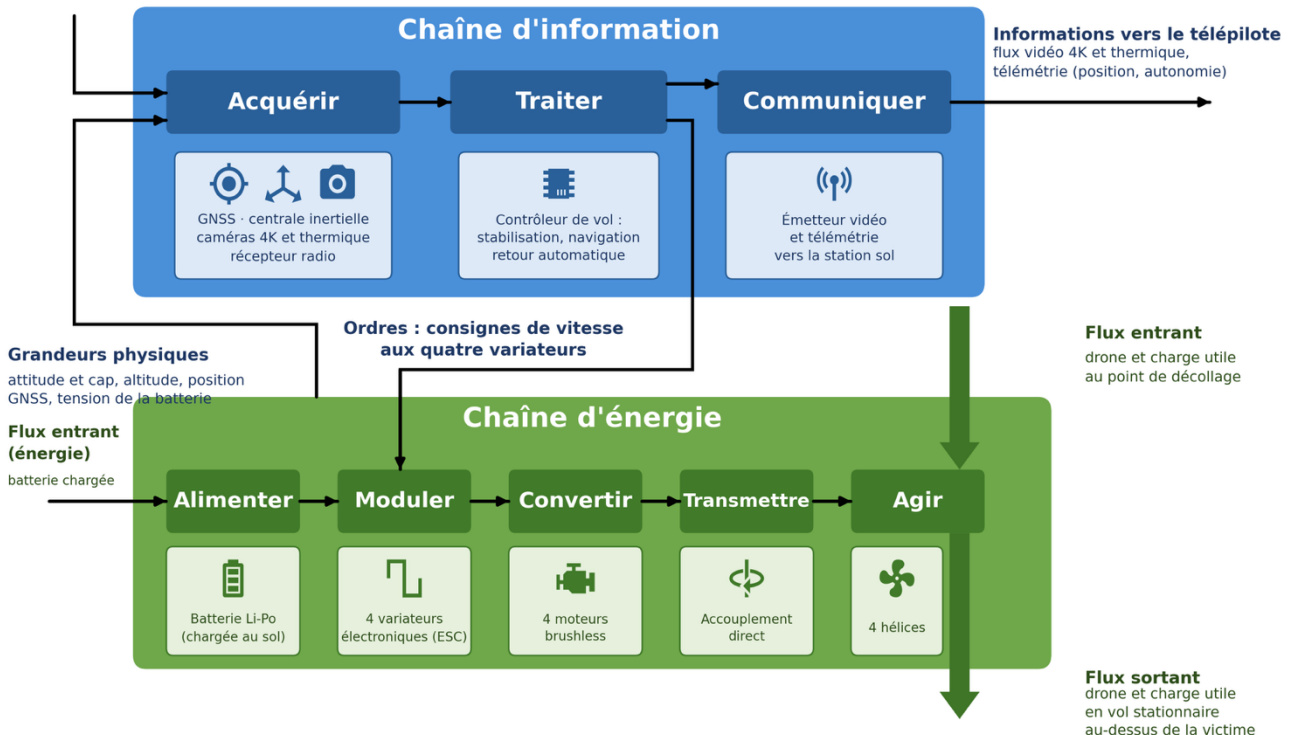
1.4 Définir l'architecture : la conception systémique

Une fois le problème cadré, l'ingénieur décompose le système en sous-ensembles fonctionnels.

- **Recherche de concepts** : Parangonnage, brainstorming, schémas de principe, comparaison de différentes technologies candidates.
- **Choix de l'architecture** : Sélection de la meilleure combinaison technologique en fonction des contraintes (coût, masse, consommation, sécurité).
- **Analyse fonctionnelle interne** : Découper le système en blocs (ex SysML ou chaîne d'énergie et d'information)

Consignes du télépilote

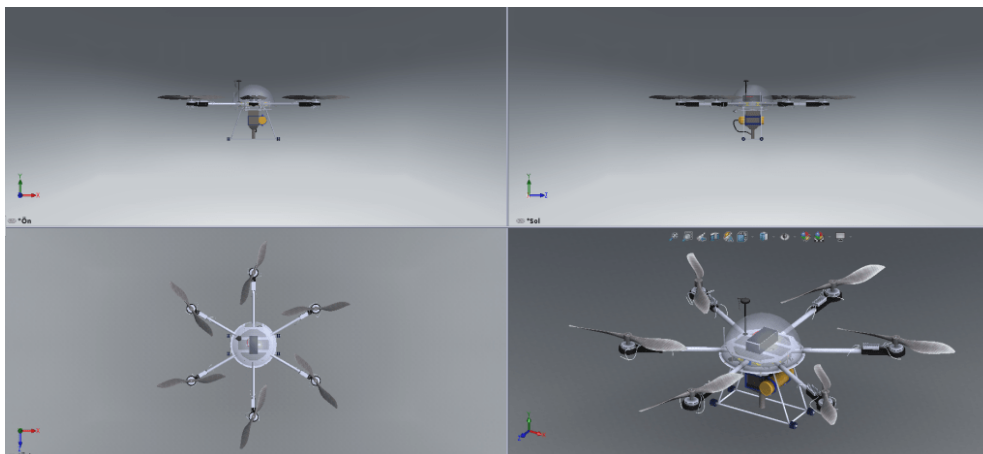
décollage, point de largage,
retour automatique (RTH)



1.5 Dimensionnement : conception détaillée et modélisation

C'est la phase de dimensionnement où l'idée devient un projet technique chiffré.

- **Modélisation géométrique (CAO) :** Création des pièces en 3D sur ordinateur (SolidWorks, CATIA, etc.).
- **Calculs et simulations numériques :**
 - *Résistance des matériaux (RDM)* pour s'assurer que ça ne casse pas.
 - *Dynamique et cinématique* pour vérifier les mouvements.
 - *Automatique et traitement du signal* pour programmer la partie commande.
- **Définition des composants :** Sélection des références commerciales (moteurs, capteurs, vérins) ou dessin des pièces à fabriquer.



1.6 Prototypage et Expérimentation

On passe du virtuel au réel.

- **Fabrication d'un prototype** : Impression 3D, usinage, maquette électronique (carte PCB).
- **Campagne d'essais** : Mesures sur banc d'essai, tests en conditions extrêmes (température, vibrations, humidité).
- **Correction des écarts** : Comparaison des performances réelles avec les modèles théoriques et correction des bugs ou faiblesses structurales.



1.7 Industrialisation et Suivi du cycle de vie

Le produit fonctionne, il faut maintenant le produire et anticiper son devenir.

- **Dossier de fabrication** : Plans de définition, nomenclatures, gammes d'usinage et d'assemblage.
- **Maintenance et fin de vie** : Définition des procédures d'entretien et démantèlement.



1.8 Éco conception

Tout système technique interagit avec son environnement : il prélève des ressources et rejette des polluants. L'impact environnemental est la mesure quantifiée de ces perturbations sur la planète.

En ingénierie, cet impact ne se résume pas au seul "CO₂" (réchauffement climatique) ; il s'évalue selon plusieurs catégories d'impacts :

- Le **changement climatique** (émissions de gaz à effet de serre en Kg éq CO₂).
- L'**épuisement des ressources** (rareté des métaux, minerais en Kg éq Sb).
- La **toxicité & l'écotoxicité** (pollution de l'air, des sols et de l'eau en kg éq 1,4-DCB).
- ...

Définition - L'éco-conception consiste à intégrer la réduction de ces impacts environnementaux dès la phase de conception d'un système, au même titre que les contraintes classiques : **coût, masse, sécurité, performances**.

Principe clé : Éco-concevoir ne veut pas simplement dire "*utiliser des matériaux verts*". C'est une démarche globale de prévention qui cherche à minimiser l'impact net sur **l'ensemble du cycle de vie**.

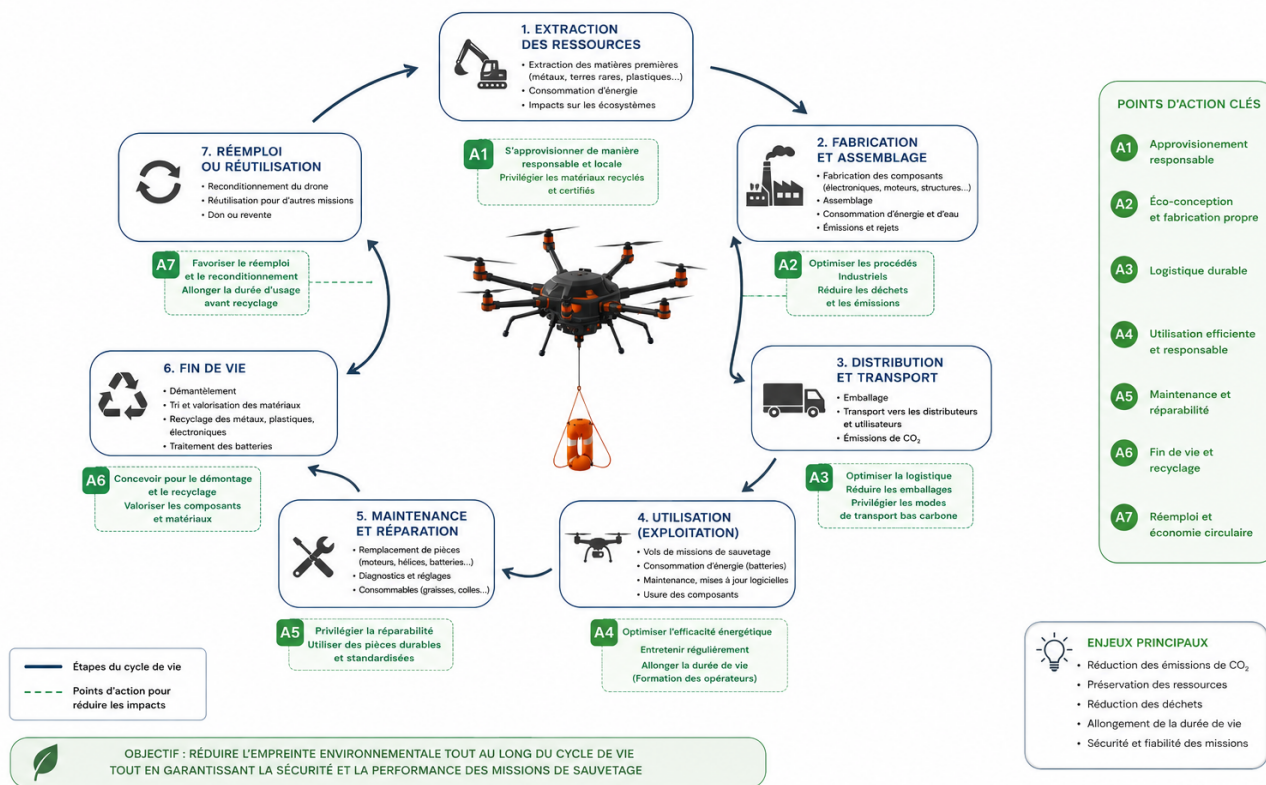
Pour mesurer objectivement cet impact sans déplacer la pollution d'une étape à une autre, l'ingénieur utilise l'**ACV** (normes ISO 14040/14044). On modélise des scénarios de référence et on utilise des logiciels qui évaluent les impacts.

Définition - L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) consiste à comptabiliser tous les flux entrants (matière, énergie) et sortants (émissions, déchets) associés à un système, sur toutes les étapes de sa vie, puis à traduire ces flux en indicateurs d'impacts environnementaux, rapportés à une **unité fonctionnelle** définissant le service rendu.

Exemple : Démarche d'éco conception appliquée au drone de sauvetage.

Unité fonctionnelle : Déployer un équipement de secours (bouée auto-gonflable de 1,5 kg) sur une zone de détresse située à 2 km de la côte, et assurer un maintien en vol stationnaire de 15 minutes sur zone, pour un total de 300 interventions sur une durée de vie de 5 ans en milieu marin

CYCLE DE VIE D'UN DRONE DE SAUVETAGE EN MER ET POINTS D'ACTION POUR RÉDUIRE LES IMPACTS



2 Analyse des systèmes

2.1 Introduction au langage SysML

Définition - L'**Ingénierie Système** est une approche scientifique interdisciplinaire, dont le but est de formaliser et d'appréhender la conception de systèmes complexes

La conception d'un système donne souvent lieu à une accumulation de documentations pluridisciplinaires qui doivent toutes être croisées et mises à jour pour maintenir la cohérence et respecter les spécifications du système. Il existe des outils permettant de regrouper, dans un modèle commun à tous les corps de métiers, les spécifications, les contraintes, et les paramètres de l'ensemble du système. Ceci permet d'éviter tout problème de communication qui engendrerait du retard dans l'élaboration du système.

Le langage retenu en CPGE est le SysML (Systems Modeling Language). C'est un langage de modélisation permettant de décrire tout ou partie d'un système technique, d'un point de vue exigences, comportemental ou structurel. Il s'articule autour de neuf diagrammes de que nous aborderons et utiliserons pour présenter et/ou étudier les systèmes.

Remarque - Le programme de CPGE précise que vous devez être capable de lire, comprendre et éventuellement compléter la plupart de ces diagrammes. Il ne vous sera jamais demandé de les établir vous-même, il n'est donc pas nécessaire d'en apprendre par cœur la syntaxe détaillée.

Remarque - Le langage SysML a été élaboré par un organisme à l'origine du langage UML utilisé en informatique. On retrouve de nombreux points communs à ces deux langages

Remarque - Les diagrammes comportementaux seront étudiés en détail au cours de la Séquence 9 (Conception de la commande des systèmes numériques). Les diagrammes d'activité sont hors programme.

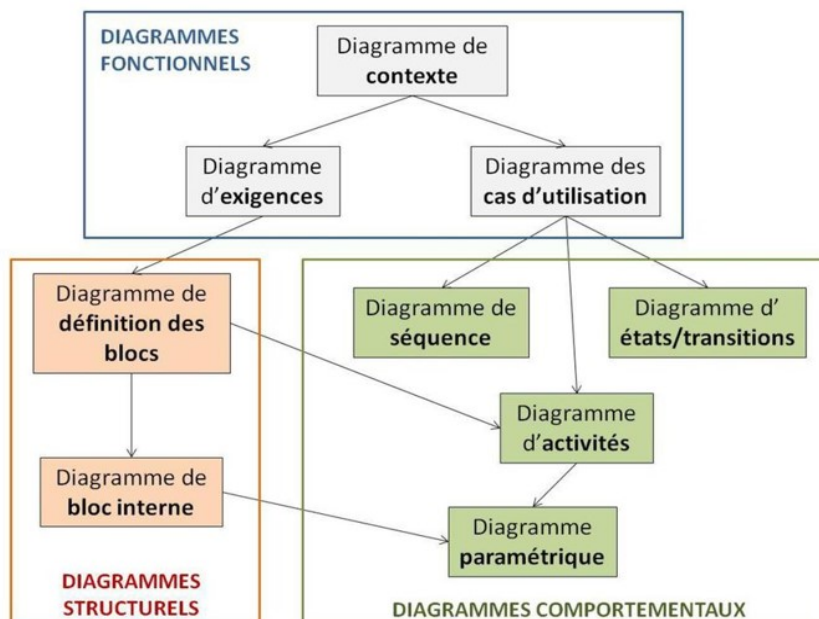


Figure 2-1- Présentation générale des diagrammes SysML

- Les diagrammes fonctionnels d'un système permettent de décrire le besoin auquel il répond et de définir les contraintes auxquelles il doit s'adapter.
- Les diagrammes structurels permettent de définir :
 - les constituants du système étudié, sous forme hiérarchique (diagramme de définition de blocs);
 - les flux entre ces constituants (diagramme des blocs internes).

2.2 Frontière d'étude et diagramme de contexte

Un système n'est jamais isolé de l'extérieur, mais au contraire il interagit avec lui. Pour modéliser un système, il faut donc non seulement modéliser ses constituants, les liaisons entre ces constituants, mais aussi les relations avec les éléments du milieu extérieur qui définissent les limites du système.

Définition - La frontière d'étude est une limite réelle ou fictive qui permet de définir le système étudié. Elle permet de distinguer ses constituants ou sous-systèmes internes de l'environnement extérieur.

Définition — Diagramme de contexte. Il permet de définir les frontières de l'étude, et en particulier de préciser la phase du cycle de vie dans laquelle on situe l'étude (généralement la phase d'utilisation).

Il répond à la question : "Quels sont les acteurs et éléments environnants au système ?" Il n'est pas normalisé.

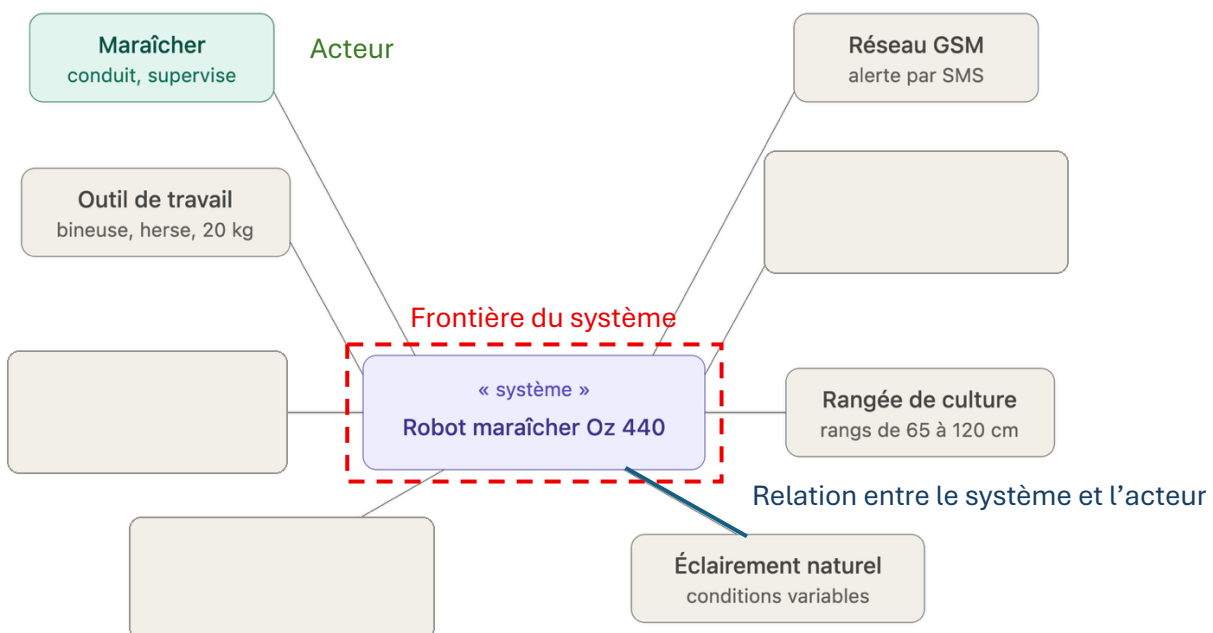


Figure 2-2 Diagramme de contexte

C'est normalement le diagramme préalable à tout autre car il permet de décrire l'environnement du système dans une situation donnée, dans une phase donnée.

2.3 Diagramme des cas d'utilisation

Tout système étant destiné à accomplir une tâche, il peut être défini globalement par la fonction qu'il remplit.

Définition - Le diagramme des cas d'utilisation. Il permet d'exprimer la fonction globale d'un système. Il définit aussi les différents types d'utilisateurs, nommés acteurs, et les services attendus par chacun d'eux.

Le diagramme de cas d'utilisation montre les fonctionnalités offertes par le système en répondant à la question : « **quels services rend le système ?** ». Il s'agit d'un diagramme normalisé, **use case** ou **uc** en anglais. Il est nécessaire de verbaliser les cas d'utilisation avec simplicité : verbe à l'infinitif + complément(s).

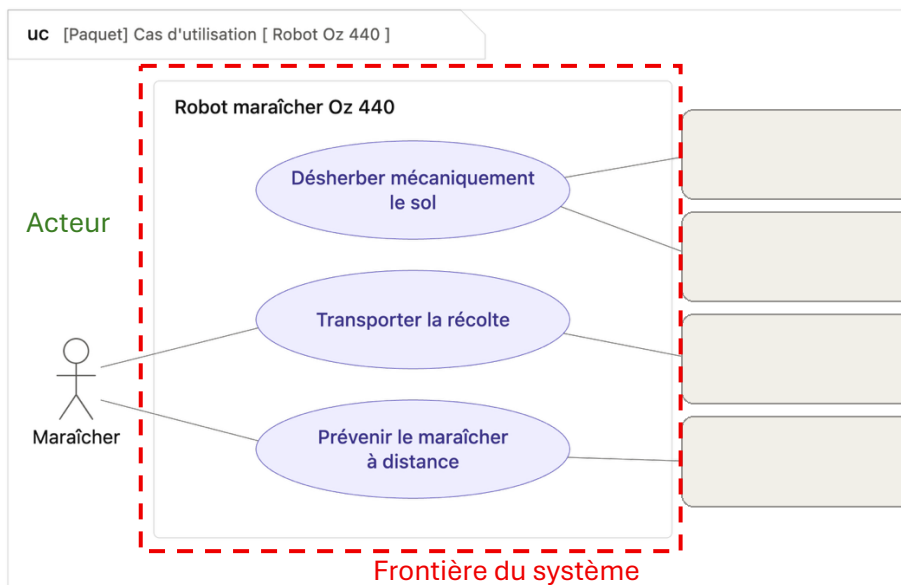


Figure 2-3- Diagramme des cas d'utilisations (uc) du Robot Oz

2.4 Besoin, diagramme des exigences

Définition - Le besoin est la nécessité ou désir éprouvé par l'utilisateur (l'acheteur) potentiel. Il concerne la nature de ces attentes. Il peut être exprimé ou implicite.

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, ainsi que des innovations.

Définition — Diagramme des exigences. Il regroupe des exigences liées aux besoins de l'utilisateur ou aux contraintes des éléments du milieu extérieur définis dans le cahier des charges. Il traduit, par des fonctionnalités ou des contraintes, ce qui doit être satisfait par le système.

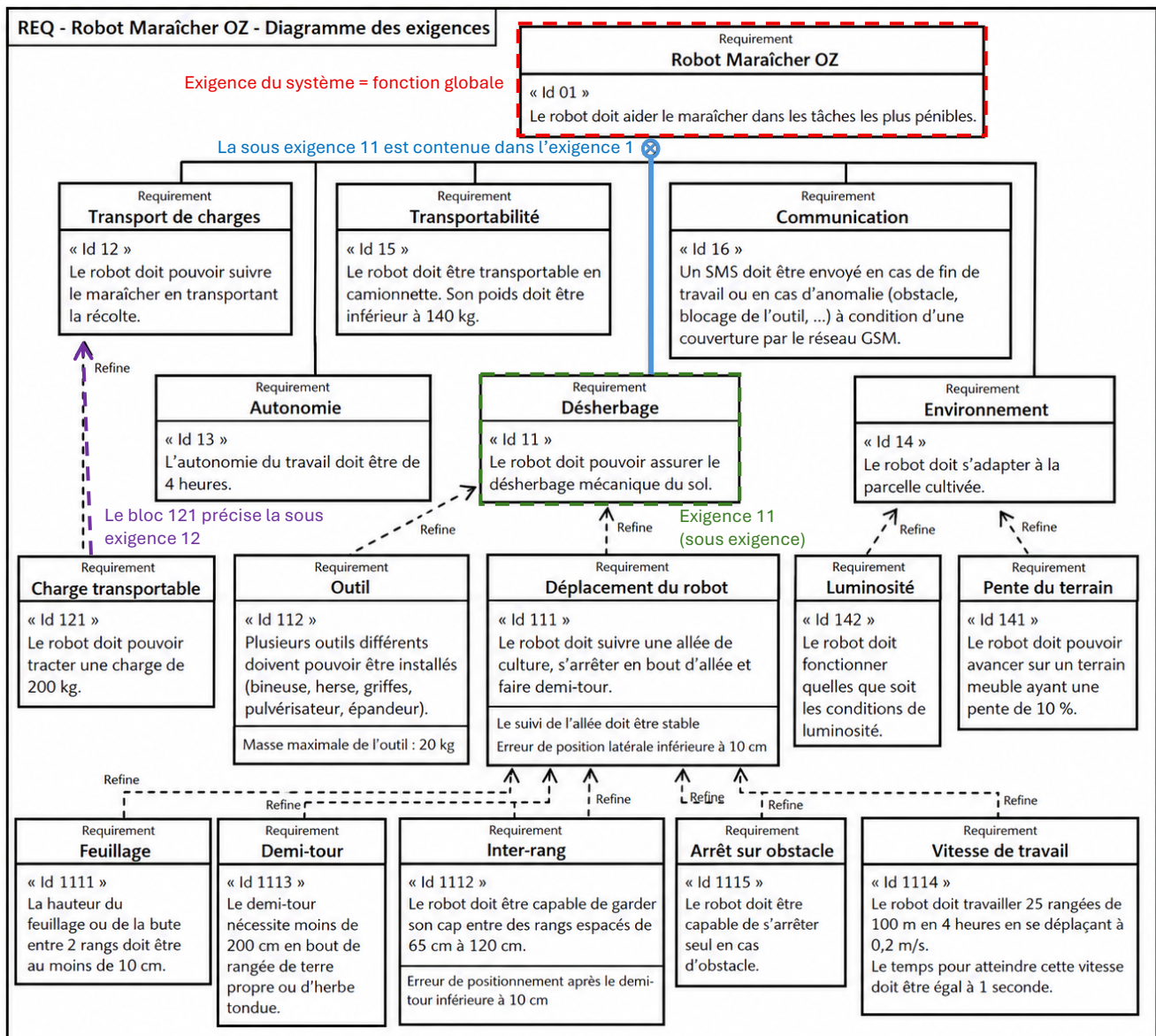


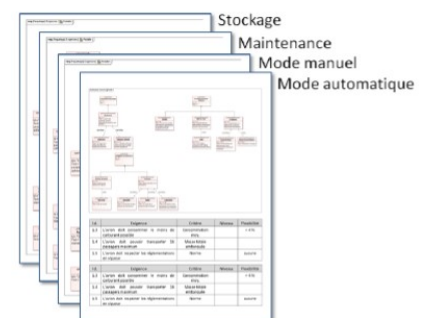
Figure 2-4 Diagramme des exigences pour le Robot Oz

Il s'agit d'un diagramme normalisé (**requirements diagram**, ou **req** en anglais).

Une exigence est caractérisée par :

- un **critère** (grandeur physique mesurable);
- un **niveau** attendu (valeur exigée);
- une **flexibilité** (l'écart acceptable sur le niveau attendu).

Un diagramme des exigences doit être établi pour chacun des modes et chacune des phases d'utilisation du système. Il est préférable de réaliser plusieurs diagrammes si nécessaire pour ne pas alourdir la présentation : par exemple, un diagramme pour les exigences techniques, économiques, environnementales, le design ...



2.5 Diagramme de définition des blocs

Définition - Diagramme de définition des blocs. Il permet de visualiser rapidement la structure du système en représentant les liens entre les blocs.

Le diagramme de définition des blocs modélise l'architecture structurale du système en répondant aux questions « Qui contient quoi ? » et « De quoi est composé le système ou sous-système »

Les blocs de même niveau sont associés par un trait simple, ceux de niveaux différents par une composition (trait comportant un losange du côté du contenant).

Il peut aussi montrer les caractéristiques principales de chaque bloc en faisant apparaître les opérations et les propriétés.

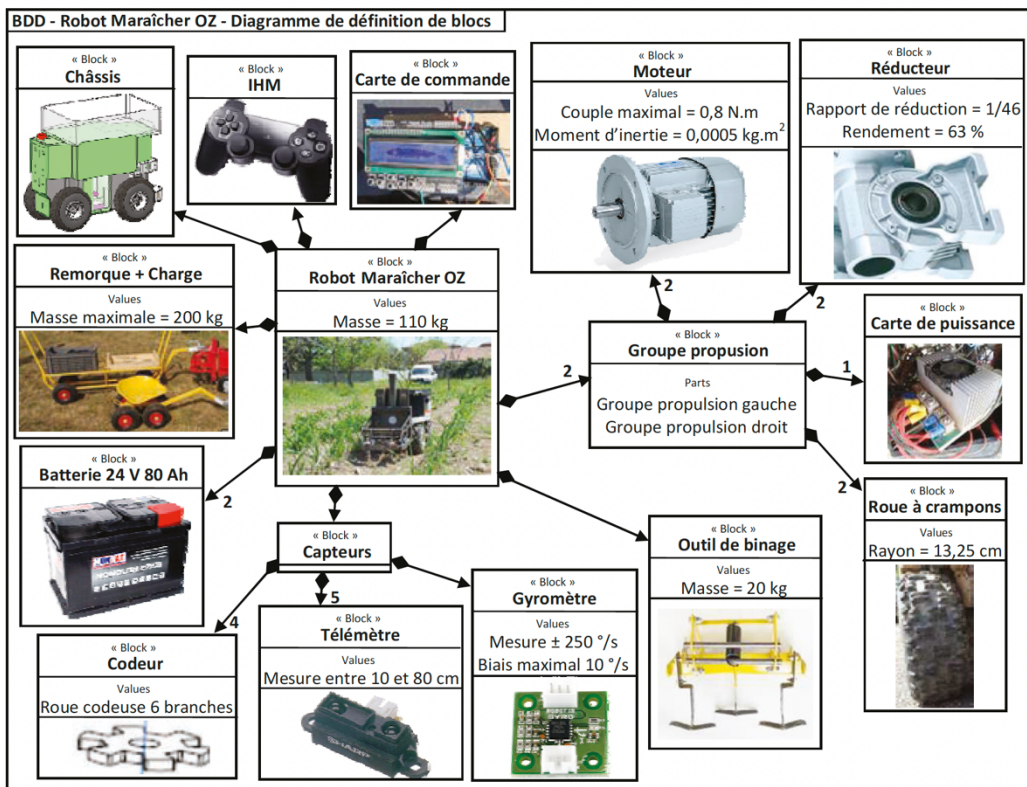


Figure 2-5– Diagramme de définition de blocs du robot Oz

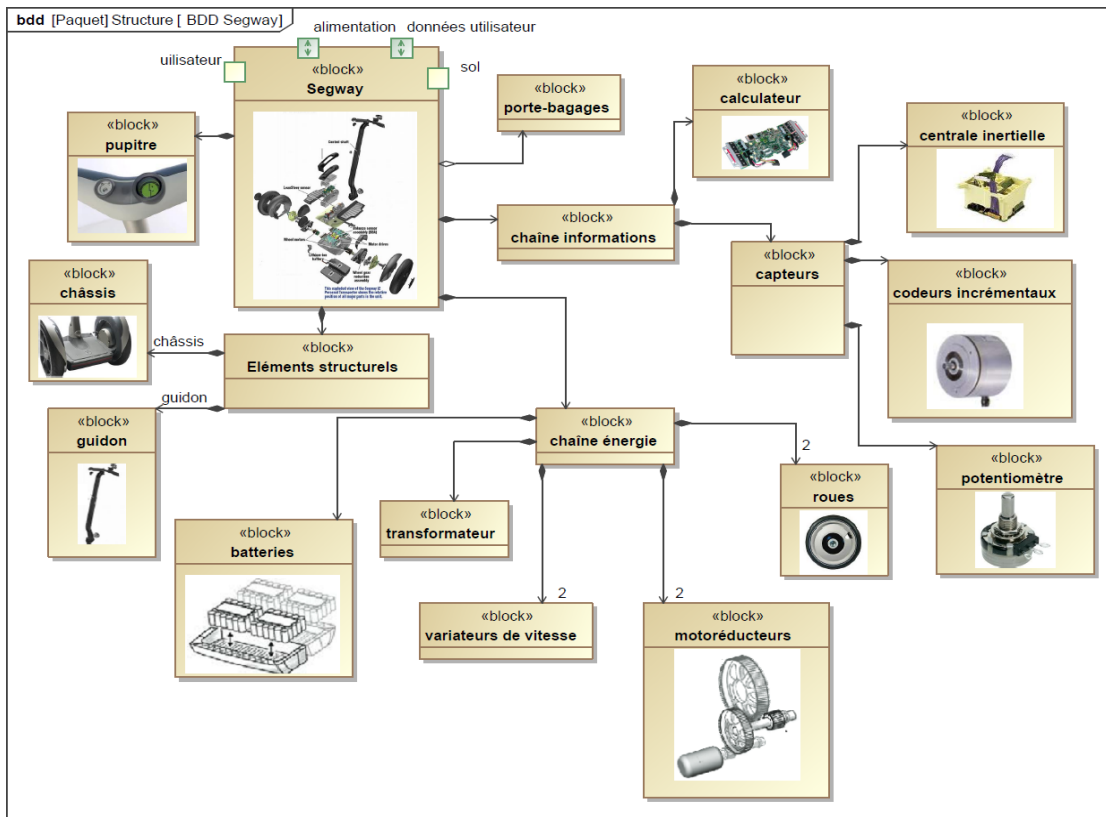


Figure 2-6 – Diagramme de définition de blocs du Segway

2.6 Diagramme des blocs internes

Définition - Le diagramme des blocs internes. Il représente la manière dont interagissent les blocs, par leurs connexions et leurs flux d'échanges : matière, énergie, information.

Il introduit la notion fondamentale de port qui correspond à un point d'interaction avec l'extérieur du bloc. On distingue principalement 2 types de ports :

- un port standard (carré simple) correspond à une interface d'entrée ou sortie de commande, contrôle, réglage...
- un port de flux (carré avec flèche) correspond à un élément par lequel transite de la matière, de l'énergie ou de l'information.

Les connecteurs (traits) entre les ports indiquent soit les associations soit les flux de matière, d'énergie et d'information entre les différents blocs. Un diagramme des blocs internes peut représenter l'intérieur d'un bloc issu du diagramme de définition des blocs, voire le système complet. Il est normalisé : **internal block diagram** ou **ibd** en anglais.

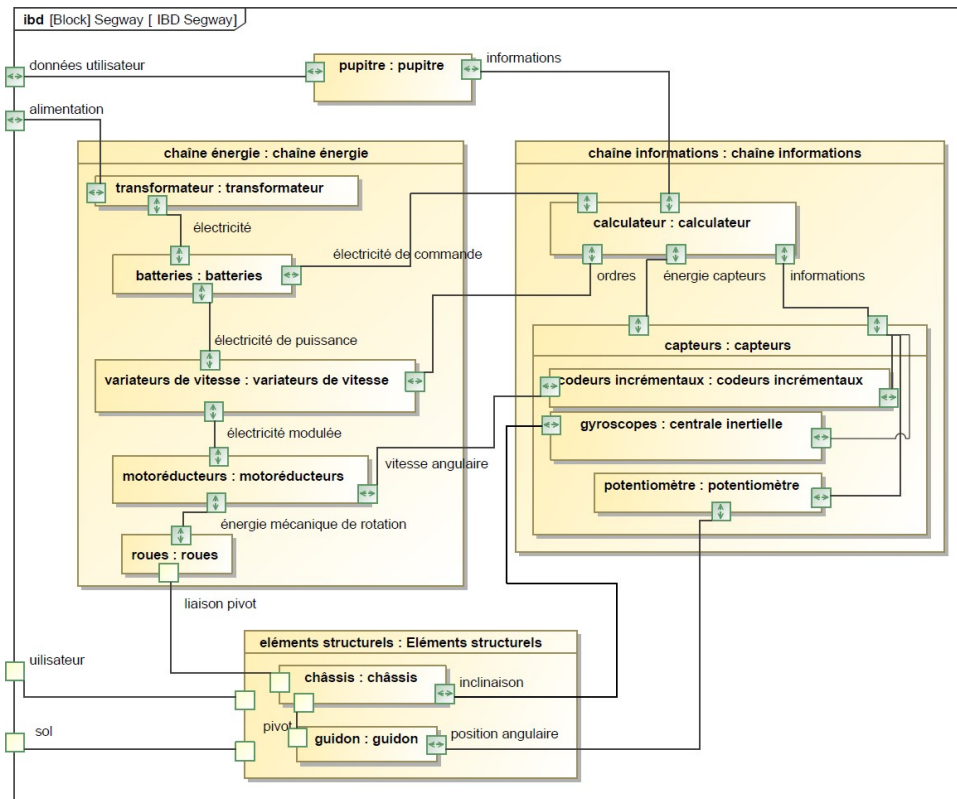


Figure 2-7 Diagramme des blocs internes du Segway

2.7 Description structurale par chaînes de puissance et d'information

Même lorsqu'ils répondent à un même besoin, les systèmes sont en général conçus de façon très différentes les uns des autres. On peut cependant décrire leur structure d'une manière relativement générale et retrouver chez chacun d'entre eux des familles de composants qui réalisent des fonctions similaires. Cette approche permet à l'ingénieur d'aborder méthodiquement la complexité des systèmes industriels.

On peut modéliser les systèmes automatisés en mettant en évidence 2 chaînes fonctionnelles :

Définition — Chaîne d'information. Elle est constituée des éléments qui participent, pour la réalisation de l'activité étudiée, à l'**acquisition**, au **traitement** et à la **communication des informations** sous ses diverses formes.

Définition — Chaîne d'énergie. Elle est constituée des éléments qui participent, pour la réalisation de l'activité étudiée, au **stockage**, au **transport** et à la **transformation de la puissance** sous ses différentes formes.

Remarque : « Chaîne de puissance » et « chaîne d'énergie » sont des synonymes.

Dans leur version la plus simple, les composantes des deux chaînes et leurs interactions sont visibles Figure 2.7.

Attention ! Ce schéma est à connaître par cœur.

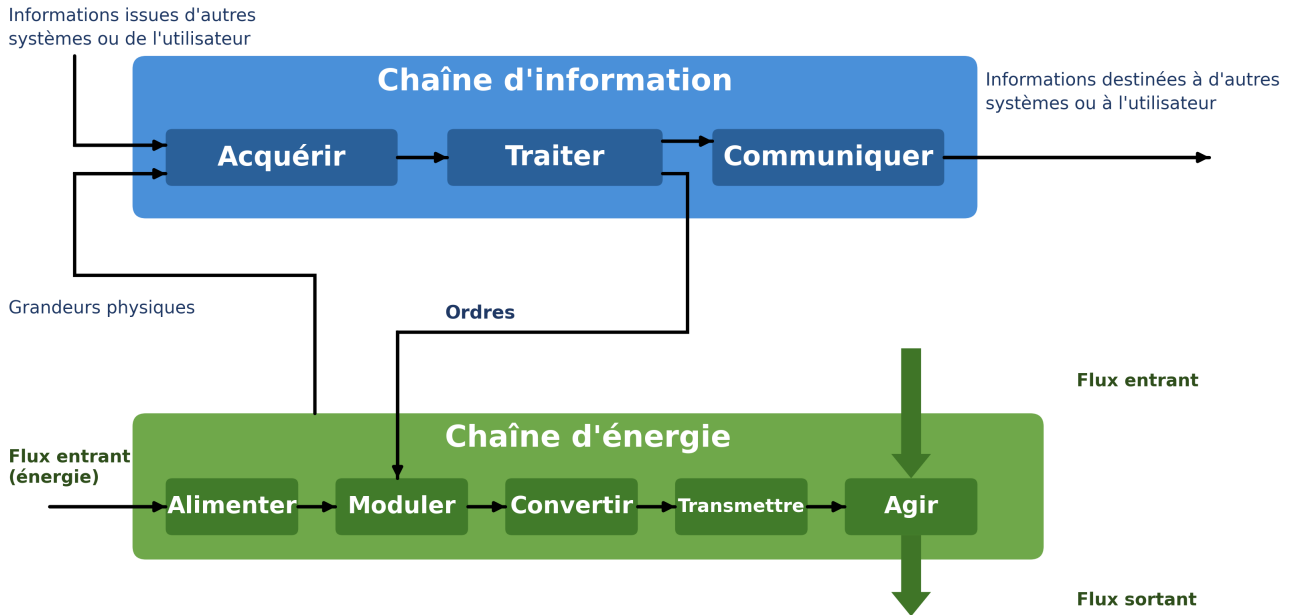
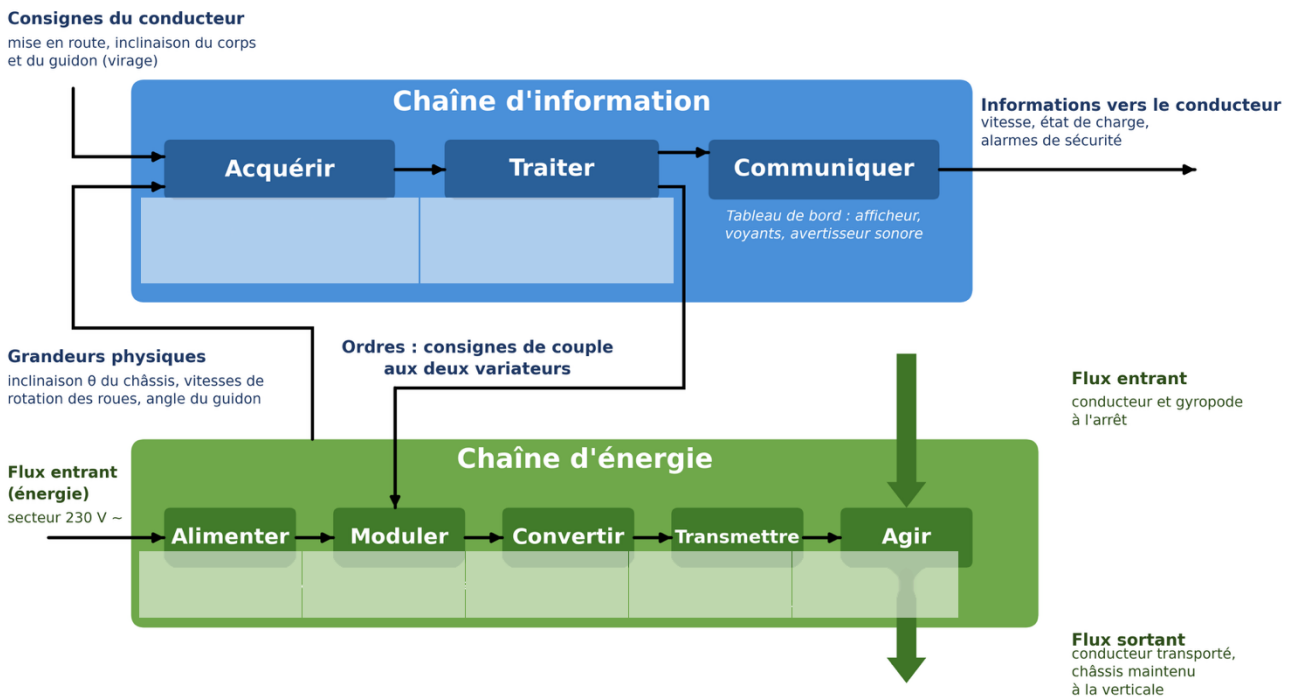


Figure 2-8 Représentation graphique, chaîne d'information et chaîne d'énergie

Exemple : Chaîne d'énergie et d'information du Segway



Certains blocs peuvent être détaillés de manière plus fine, comme présenté sur la généralisation de la Figure 2.8. Les blocs retenus et leur nature dépendent bien entendu du système étudié. Pour réaliser une activité, toutes les fonctions des chaînes de puissances et d'information ne sont pas nécessairement présentes et certaines peuvent l'être plusieurs fois.

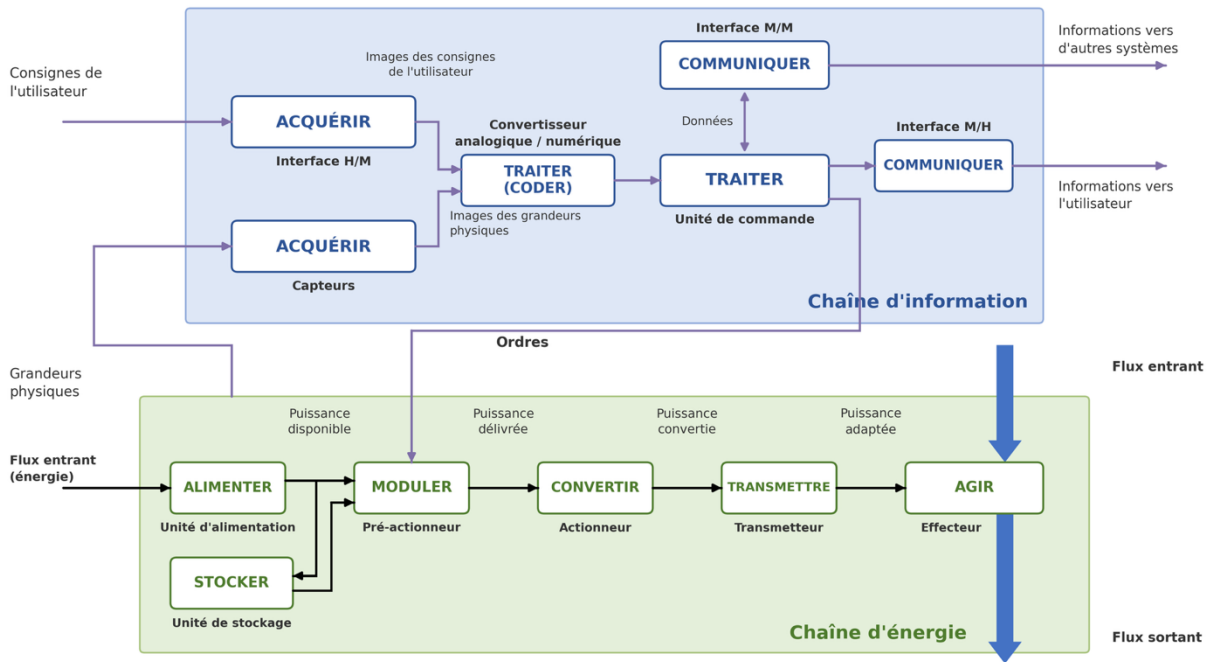
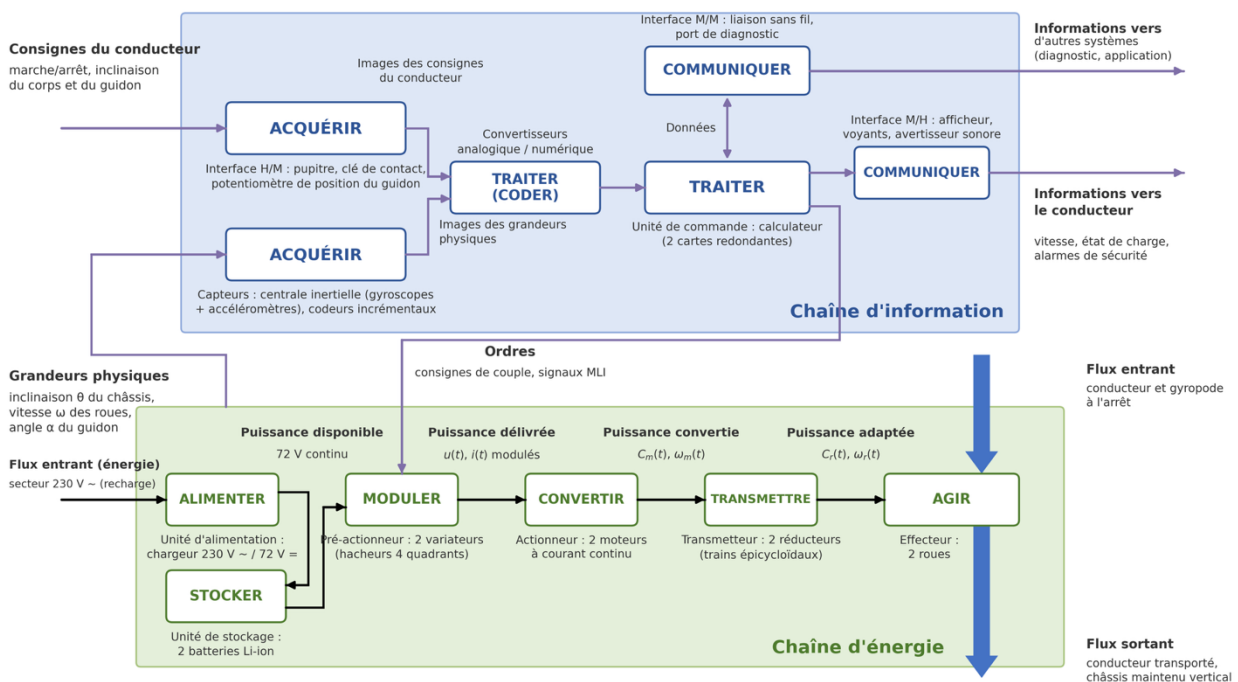


Figure 2-9 Représentation graphique détaillée, chaîne d'information et chaîne d'énergie

Exemple : Chaîne d'énergie et d'information du Segway en représentation détaillée



Ainsi les chaînes d'énergie et d'information regroupent un ensemble de constituants organisés en vue de la réalisation d'une seule activité du système. Dans un système complexe, on peut recenser un nombre important de ces chaînes.

Remarque - En Annexe de ce cours, une liste de composants réalisant ces différentes fonctions est présentée. Les composants sont découverts progressivement au cours des deux années de CPGE, en TD ou en TP à partir d'exemple de systèmes pluritechnologiques réels. Ils ne sont pas à apprendre.

2.8 Différents flux d'énergie

Les échanges dans la chaîne d'énergie sont caractérisés par des puissances qui correspondent aux flux d'énergie transférés entre les composants.

Définition - L'énergie mesure la capacité d'un système à modifier un état ou à produire un travail. L'unité dans le système international est le joule (J).

Cette notion générale est précisée dans les champs d'application : électromagnétisme, mécanique, thermique, chimie ...

Définition - La puissance est la quantité d'énergie échangée par unité de temps entre les composants d'un système ou entre les systèmes. C'est une grandeur instantanée. L'unité dans le système international est le watt (W) ($1 \text{ W} = 1 \text{ J.s}^{-1}$).

La puissance, notée P , une grandeur scalaire, est toujours le produit de deux grandeurs variables, scalaires ou vectorielles, dépendant du temps. L'une d'entre elles est appelée flux et notée f , l'autre est appelée effort et notée e . On a alors : $P(t) = e(t) \times f(t)$ ou $P(t) = e(t) \cdot f(t)$

Les deux termes sont génériques. Le tableau suivant précise l'effort et le flux dans des domaines particuliers :

Puissance	Grandeur effort $e(t)$	Grandeur flux $f(t)$
Électrique	tension $u(t)$ (en V)	intensité $i(t)$ (en A)
Mécanique de translation	force $F(t)$ (en N)	vitesse linéaire $v(t)$ (en m.s^{-1})
Mécanique de rotation	couple $C(t)$ (en N.m)	vitesse angulaire $\omega(t)$ (en rad.s^{-1})
Hydraulique ou pneumatique	pression $p(t)$ (en N.m^{-2})	débit volumique $q_v(t)$ (en $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)

Remarque - Le couple est un effort qui tend à mettre en rotation un objet, exprimé en N.m (Newton-mètre). On parle par exemple du couple nécessaire pour serrer une vis.

La vitesse angulaire définit la variation de la position angulaire par unité de temps, la vitesse de rotation de l'hélice d'une éolienne par rapport à un mât par exemple, exprimée en rad/s ou en tour/min.

Le type de puissance (électrique, mécanique de translation ...) est souvent précisé le long des liens dans la chaîne de puissance, ainsi que les grandeurs effort et flux qui la caractérise.

3 Annexe : composants classiques

Remarque Les éléments techniques présentés ci-dessous font partie de la culture technologique à acquérir au cours de vos deux années en CPGE. Vous rencontrerez la majorité d'entre eux en TP. Ils ne sont pas à apprendre : une participation active en TP et une lecture attentive des mises en contexte des TD et devoirs permet de bâtir cette culture technologique.

3.1 Chaîne d'énergie

3.1.1 Unité d'alimentation

Fonction : adapter, si nécessaire, les caractéristiques de la puissance entrante aux besoins de la chaîne de puissance.



Transformateur AC-DC



Onduleur



Manomètre



3.1.2 Unité de stockage

Fonction : permettre le stockage de l'énergie en vue de rendre le système autonome temporairement.



Batterie



Réservoir



Ressorts



3.1.3 Pré-actionneur

Fonction : délivrer, sur ordre de l'unité de commande, la puissance utile aux actionneurs.



carte de puissance



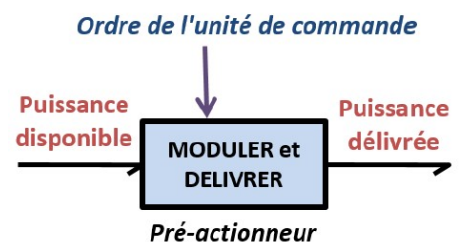
contacteur



variateur



distributeur pneumatique



Exemple - Le hacheur :

Pour contrôler la vitesse de rotation d'un moteur à courant continu ou moduler la puissance transmise à une charge, il est nécessaire d'ajuster sa tension moyenne d'alimentation. En électronique de puissance moderne, on privilégie l'utilisation d'un **hacheur**.

Un hacheur est composé d'interrupteurs électroniques fonctionnant en commutation (« tout ou rien »), généralement de technologie **MOSFET**. Cette technologie permet de commuter des courants importants avec une grande fiabilité, un excellent rendement énergétique et une fréquence de commutation bien supérieure à celle d'un relais électromécanique.

La commande synchronisée de l'ouverture et de la fermeture de ces interrupteurs permet de générer une tension créneau (ou MLI / PWM) dont la durée à l'état haut et à l'état bas est réglable.

Le hacheur est principalement caractérisé par :

- Sa **fréquence de hachage** f (ou sa période $T = 1/f$), par exemple 980 Hz sur certaines sorties PWM d'une carte Arduino Leonardo ;
- Son **rapport cyclique** α définit par le pourcentage de la période passé à l'état haut.

Il envoie ainsi un signal appelé MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) ou PWM (Pulse Width Modulation).

Par exemple, si le moteur est alimenté par un créneau valant 24 V 25% du temps, il est alimenté en 6 V en moyenne.

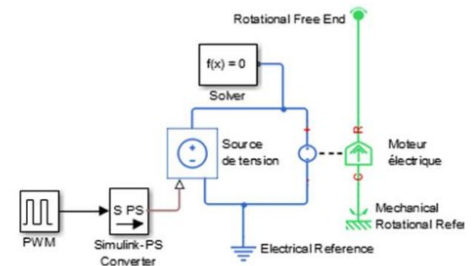
Exemple - Le relais :

Un relais est un interrupteur commandé électriquement. Il est constitué d'un circuit de commande (solénoïde) et d'un interrupteur. Le passage du courant dans le solénoïde provoque la fermeture du contact. Lorsqu'on interrompt le passage du courant de commande, le contact s'ouvre grâce au ressort de rappel.

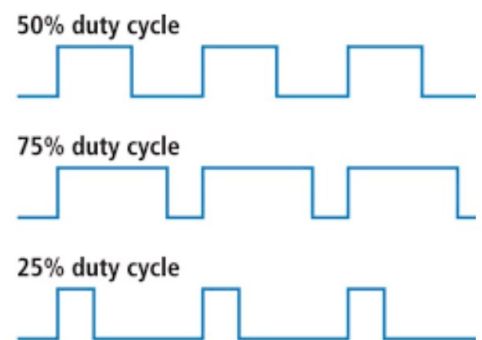
Exemple - Le distributeur :

Un distributeur est constitué d'un corps, d'un tiroir et d'une commande pour translater le tiroir par rapport au corps. Il est associé à un actionneur de type vérin (pneumatique ou hydraulique).

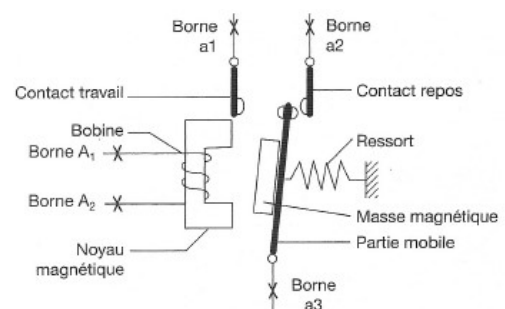
Les schémas suivants montrent l'association d'un distributeur et d'un vérin double action : la position du tiroir permet de mettre en communication l'arrivée d'air dans la chambre appropriée selon le sens de déplacement du piston du vérin.



Modèle simplifié du pilotage d'un moteur électrique à courant continu

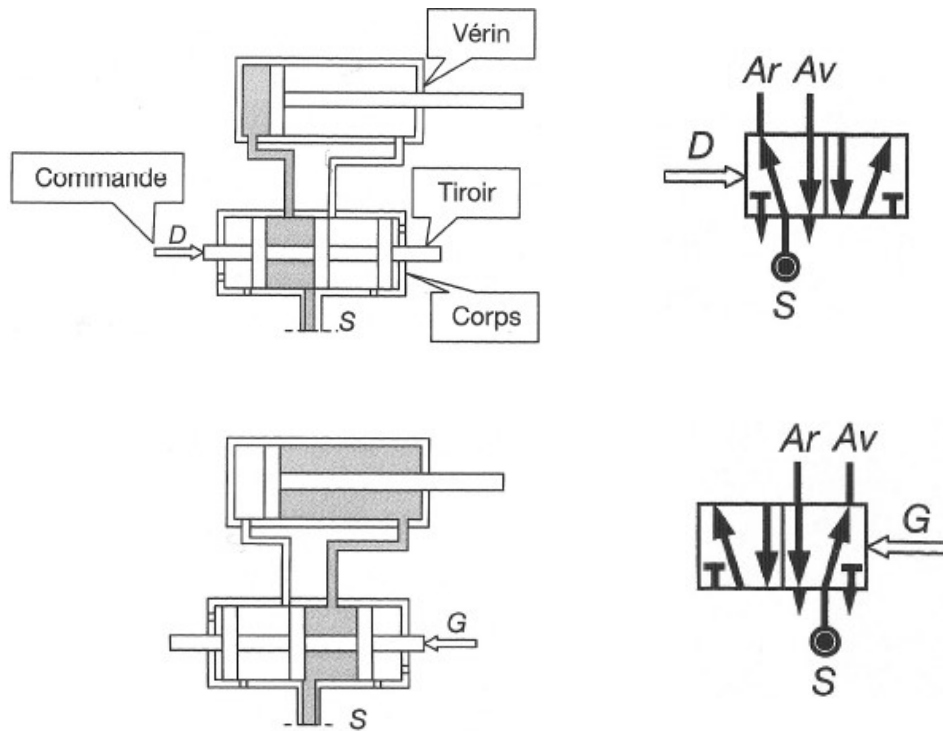


Signal MLI avec 3 rapport cycliques distincts



Position 1 : L'action D pousse le tiroir vers la droite. La chambre arrière du vérin est mise en communication avec la source de pression S, la chambre avant est mise à l'échappement : la tige du vérin sort.

Position 2 : L'action G pousse le tiroir vers la gauche. La chambre avant du vérin est mise en communication avec la source de pression S; la chambre arrière est mise à l'échappement, la tige du vérin rentre.



3.1.4 Actionneur

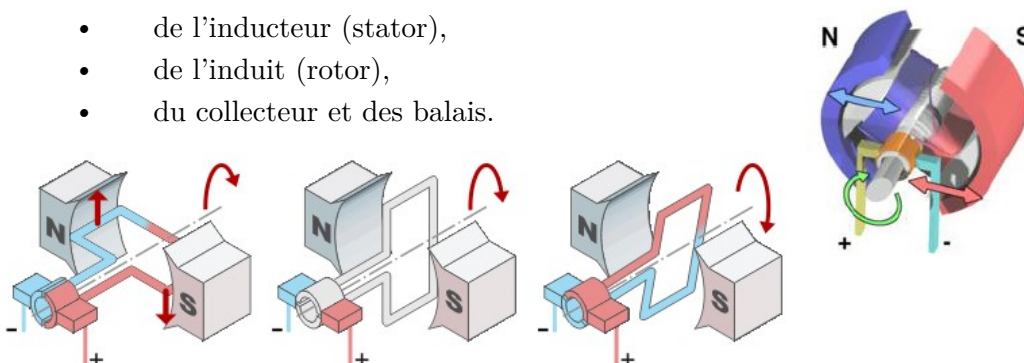
Fonction : convertir la puissance délivrée en puissance mécanique de translation ou de rotation.



Exemple — Le moteur à courant continu.

Il est constitué :

- de l'inducteur (stator),
- de l'induit (rotor),
- du collecteur et des balais.



Lorsque le bobinage d'un inducteur de moteur est alimenté par un courant continu, il crée un champ magnétique (flux d'excitation) de direction Nord-Sud. Une spire capable de tourner sur un axe de rotation est placée dans le champ magnétique. De plus, les deux conducteurs formant la spire sont chacun raccordés électriquement à un demi collecteur et alimentés en courant continu via deux balais frotteurs. D'après la loi de Laplace (tout conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique est soumis à une force), les conducteurs de l'induit placés de part et d'autre de l'axe des balais (ligne neutre) sont soumis à des forces F égales mais de sens opposé en créant un couple moteur : l'induit se met à tourner.

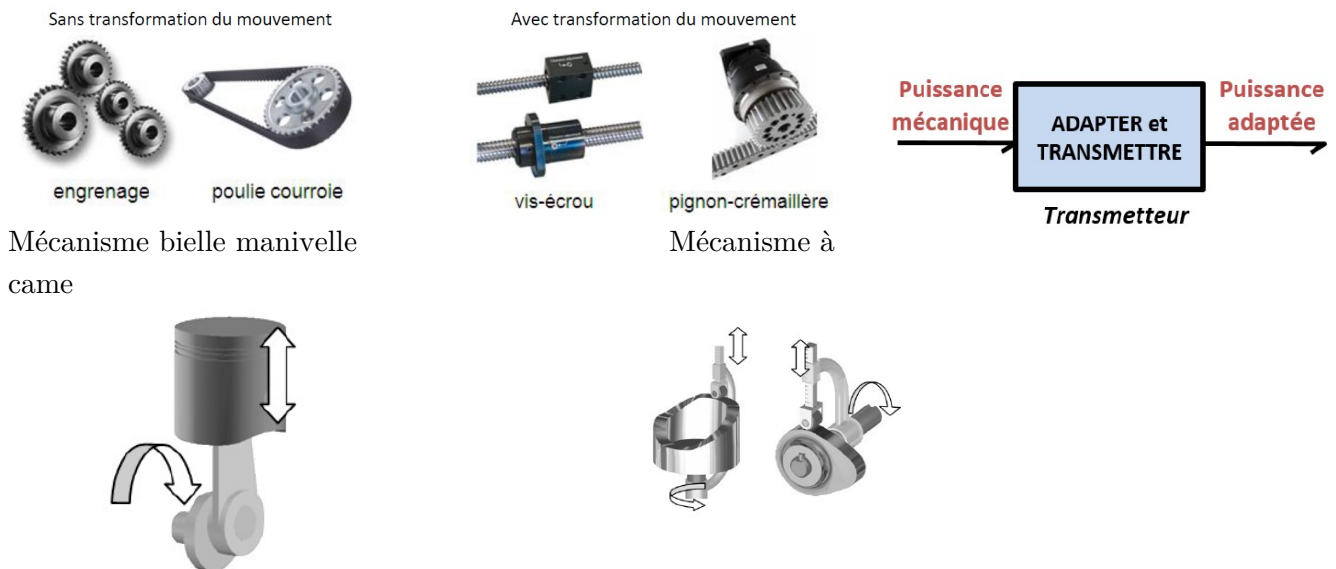
Très belles animations sur la chaîne Learn Engineering (DC Motor, Comment ça marche?) :

<https://www.youtube.com/watch?v=LAtpHANEfQo>

3.1.5 Transmetteur

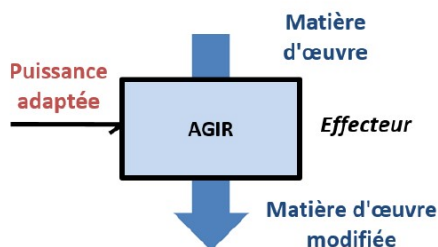
Fonction : adapter et transmettre la puissance mécanique en sortie de l'actionneur pour la rendre utilisable par l'effecteur.

Remarque : Un chapitre entier est consacré aux transmissions mécaniques à la séquence 6



3.1.6 Effecteur

Fonction : effectuer la transformation de la matière d'œuvre.



Exemples : doigts d'une pince, tapis roulant, outil d'un centre d'usinage, ventouse ou électro-aimant d'un système de préhension... Cette intervention peut se traduire par une ou plusieurs actions :

- une modification de forme ;
- un déplacement ...

3.2 Chaîne d'information : types de d'information, fonctions et constituants usuels associés

3.2.1 Les types d'informations

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 continu;
- 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).

3.2.2 Capteur

Fonction : acquérir une grandeur physique et en produire une image exploitable par l'unité de commande.

Lorsque c'est nécessaire, il faut associer un convertisseur analogique-numérique pour convertir le signal analogique issu du capteur ou de l'IHM en données numériques utilisables par l'unité de commande. C'est la fonction du bloc « CODER ».



3.2.3 Interface Homme/machine (IHM)

Fonction :

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



- informer l'utilisateur sur l'état du système.



3.2.4 Unité de commande

Fonction :

- traiter, à l'aide d'un programme implanté en mémoire, les informations en provenance des capteurs et de l'interface homme – machine afin de générer les ordres destinés au pré-actionneur.
- 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.



3.2.5 Interface de communication

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



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...

Librement inspiré du cours de Charles Paillet