

# Analyser les fonctions et la structure des systèmes



*Cycle de vie d'un système*



*EPR de Flamenville*



*Vélo électrique*



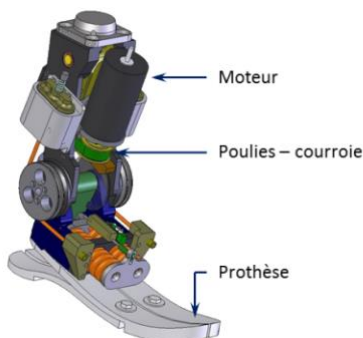
*Robot  
Roomba*



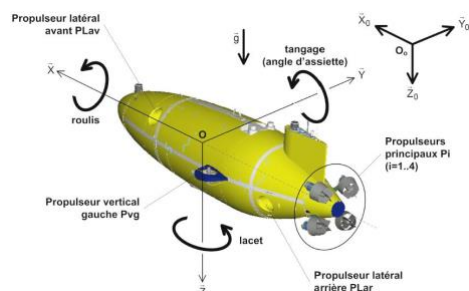
*Cafetière Nespresso*



*Sèche mains  
Dyson*



*Prothèse active*



*Alistar*

# Objectifs

---

Découvrir l'analyse fonctionnelle au moyen du langage SysML, appréhender la structure des systèmes industriels et comprendre les enjeux de l'éco-conception.

## Sommaire

---

### 1- Ingénierie système

Le réacteur pressurisé européen, EPR

### 2- Cycle de vie d'un système

### 3- Eco-conception

- 3.1- Toujours plus d'énergie !
- 3.2- Les familles d'impacts
- 3.3- Principe de caractérisation des impacts
- 3.4- Bilan

### 4- Langage SysML

- 4.1- Identifier et formaliser le besoin du client
- 4.2- Les différents diagrammes SysML

### 5- Description fonctionnelle avec SysML

- 5.1- Définir la fonction globale d'un système
- 5.2- Définir et caractériser les exigences d'un système
  - Cahier des charges

### 6- Description structurelle d'un système avec SysML

- Le diagramme de définition de blocs
- Le diagramme de blocs internes

### 7- Description structurelle avec les chaînes d'énergie et d'information

- 7.1- Description des activités d'un système
- 7.2- Chaîne d'énergie
- 7.3- Chaîne d'information

# 1-Ingénierie système

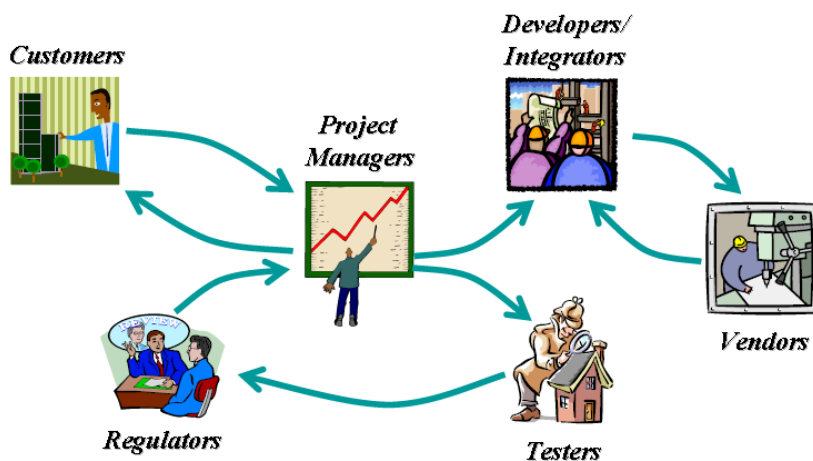
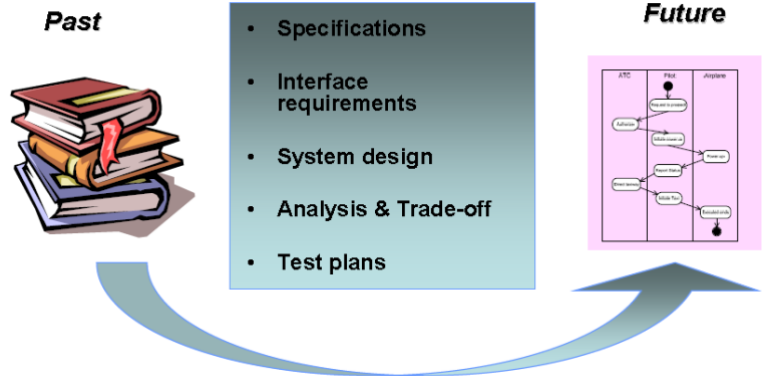
Face à la complexification de notre environnement, et en regard des objectifs nouveaux que l'on cherche à atteindre, les systèmes à faire fonctionner, comme les organisations pour les réaliser et les exploiter, deviennent de plus en plus complexes.

**L'ingénierie des systèmes est une approche scientifique interdisciplinaire** de formation récente, dont le but est de formaliser et d'appréhender la conception de systèmes complexes avec succès.

Présentation

L'ingénierie des systèmes se focalise sur la définition **des besoins du client et des exigences fonctionnelles**.

La conception de système donne souvent lieu à une accumulation de documentations **qui doivent toutes être croisées et mises à jour** pour maintenir la cohérence et respecter les spécifications du système.



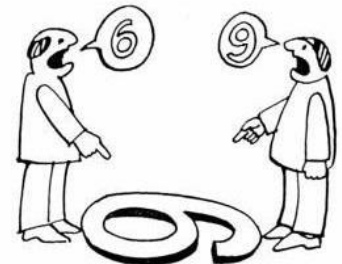
De nombreux intervenants

Les systèmes dont la complexité s'accroît font appel à des équipes d'ingénieurs de plus en plus importantes qui doivent atteindre leurs objectifs dans un temps toujours plus court.

Des études ont mis en évidence que :

- **31 % des projets n'aboutissent pas.**
- 45 % des projets ont un **dépassement budgétaire de plus de 50 %** dont 11 % avec des dépassements supérieurs à 200 % (soit plus du triple du budget initialement alloué).
- **57 % des projets ont un retard de plus de 50 %** dont 10 % avec un retard supérieur à 200 % (soit plus du triple du temps initialement alloué).

Ces chiffres posent un véritable problème de définition du projet, ce qui justifie la mise en œuvre d'une démarche de réflexion et d'étude plus rigoureuse : c'est l'objectif de **l'Ingénierie Système (IS)**



Bien communiquer

**Une analyse rigoureuse du projet à réaliser** permettra d'éviter **tout problème de communication** qui engendrerait du retard dans l'élaboration du produit.

## Le réacteur pressurisé européen, EPR (initialement European Pressurized Reactor, puis Evolutionary Power Reactor)



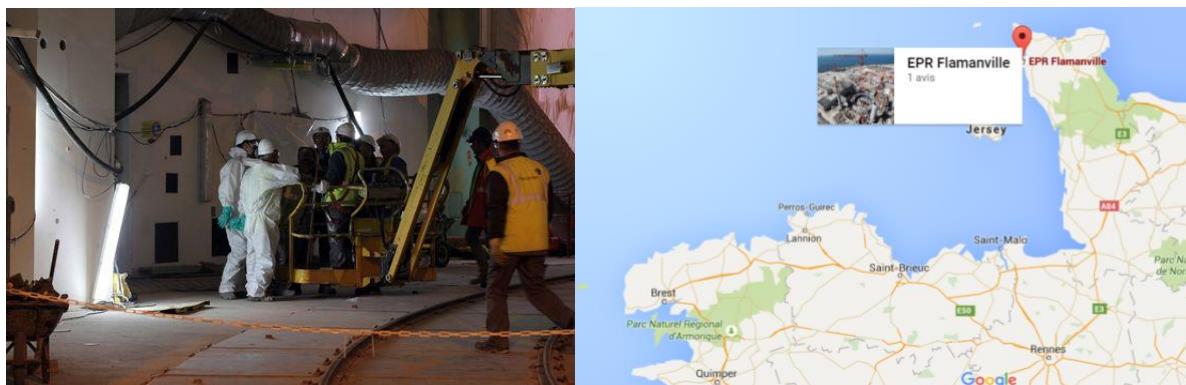
Coûts et  
délais non  
respectés

EDF, maître d'œuvre et d'ouvrage **du réacteur de Flamanville**, va mettre en place des instances communes avec ses multiples partenaires, dont Areva, fournisseur des équipements lourds (cuve, générateurs de vapeur), et Alstom (turboalternateur...), pour mieux coordonner l'exécution des travaux.

Le PDG d'EDF, Jean-Bernard Lévy, a annoncé, jeudi 3 septembre, un nouveau report de la mise en service de l'EPR de Flamanville (Manche) et une réévaluation de son coût final. Le premier réacteur nucléaire français de troisième génération, d'une puissance de 1 650 mégawatts (MW), **devrait finalement coûter 12,5 milliards d'euros, très loin des 3 milliards d'euros du devis initial**. Le chargement du combustible et **le démarrage du réacteur ne devraient donc pas intervenir avant fin 2023, soit avec près de onze ans de retard sur le calendrier prévu**. Dès l'ouverture de la Bourse, les investisseurs ont sanctionné cette annonce : le titre EDF perdait 4,12 % (à 17,94 euros) alors que l'indice CAC 40 gagnait 1,18 %.

### • Un calendrier toujours plus long

**Les travaux ont été lancés en 2007**, après le feu vert donné à l'EPR par le gouvernement de Jean-Pierre Raffarin en 2004. EDF avait à l'époque **prévu cinq ans de travaux** et un raccordement au réseau de RTE, gestionnaire des lignes à haute tension, en 2012. **Puis très vite, l'échéance est repoussée à 2014**. En 2011, l'électricien doit se rendre à l'évidence : **la mise en service ne pourra pas intervenir avant 2016**.



Depuis, de nouvelles difficultés sur le chantier et des problèmes sur des équipements lourds, comme le couvercle et des éléments de la cuve d'acier, ont entraîné, selon EDF, « un décalage dans le planning du chantier », **poussant l'électricien à annoncer en novembre un nouveau retard**. Le démarrage de l'installation est désormais prévu au quatrième trimestre de 2023, seize ans après le début des travaux.



## • Un coût multiplié par trois

En 2005, le prix de Flamanville 3 était estimé à 3,3 milliards d'euros, comme celui d'Olkiluoto. Dès 2008, un an après le début de la construction, la facture grimpe à plus de 4 milliards, EDF rappelant qu'il faut tenir compte de l'évolution des prix du béton et de l'acier. Les coûts passent de 4 à 6,5 milliards entre 2009 et décembre 2012, le groupe prévient que la facture s'alourdira encore de 2 milliards pour atteindre 8,5 milliards d'euros. EDF a annoncé en octobre 2019, qu'elle atteindrait 12,5 milliards d'euros. Des dépassements qui auront inévitablement un impact sur le coût de production du mégawatheure (MWh), et donc sur le prix de vente au consommateur final.

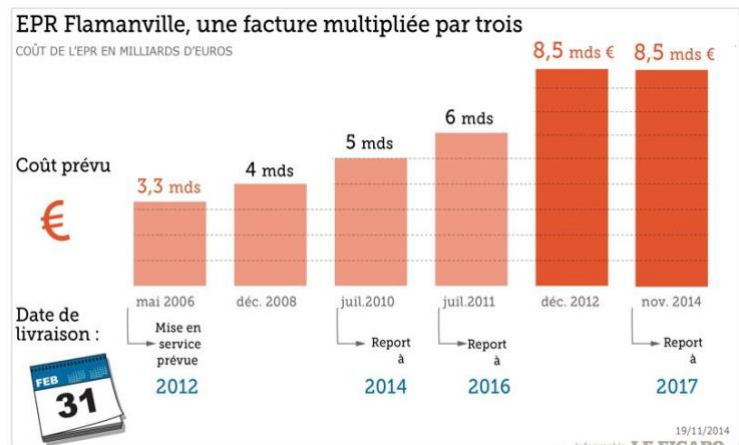
S'arrêtera-t-on là ? « Un an de retard peut représenter 700 à 800 millions d'euros de plus », selon un expert du nucléaire, notamment en raison des coûts de la main-d'œuvre. Aux périodes les plus actives, 4 000 ouvriers, techniciens et ingénieurs se croisent sur le site normand, un des plus grands chantiers d'Europe.

La Cour des comptes relève qu'EDF, à partir de décembre 2008, a cessé de calculer le coût de production de l'électricité de l'EPR. Procédant à ses propres estimations, elle estime que celui-ci friserait... 110 à 120 € le MWh.

À titre de comparaison, l'Ademe estime que le coût de production de l'électricité éolienne terrestre, en 2018, tournait entre 50 et 71 € le MWh.

Une facture multipliée par trois

EDF, a annoncé récemment que le combustible du réacteur devrait intervenir le premier trimestre 2024...



## 2-Cycle de vie d'un système

La notion de « cycle de vie » est indissociable d'un système. Elle exprime les différentes étapes qui vont de l'analyse du besoin jusqu'à l'élimination et/ou le recyclage de ses constituants. Le cycle de vie commence à l'extraction des matières premières jusqu'à son élimination (fin de vie ou recyclage).

De l'analyse du besoin au recyclage



On réalise une Analyse du Cycle de Vie (ACV) pour estimer l'impact environnemental d'un produit.

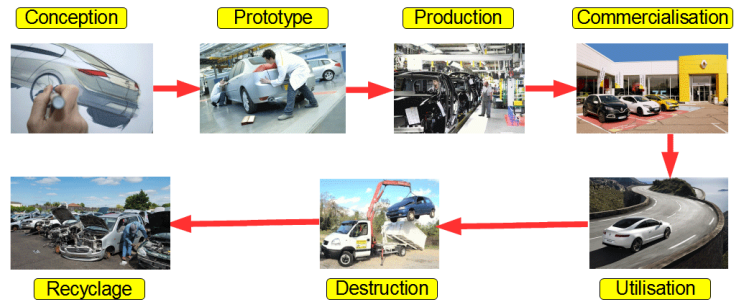
A chaque étape :

- Un produit consomme de l'énergie et des matières premières non renouvelables ;
- Un produit crée des impacts sur l'air, l'eau, le sol.

## Exemple du cycle de vie d'une automobile

Typiquement, pour une automobile, on retrouve toutes les activités du cycle de vie d'un produit présentées auparavant et qui sont impliquées dans les phases de vie suivantes :

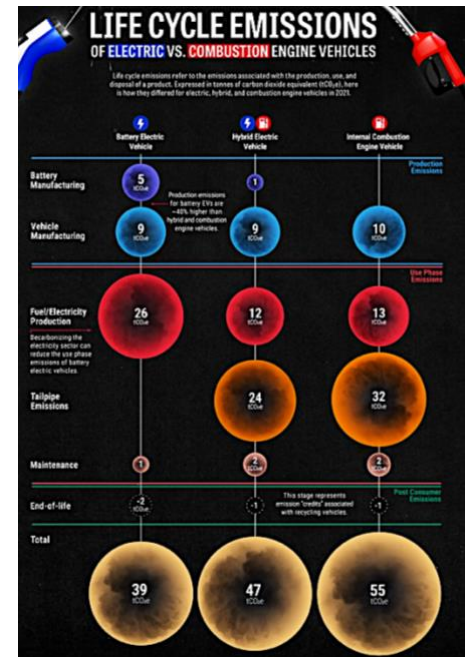
- Conception
- Prototype à partir de matières premières
- Production
- Transport, distribution et commercialisation ;
- Utilisation et entretien ;
- Destruction et recyclage ;



Bientôt, le calcul des émissions d'une voiture se fera sur l'ensemble de son cycle de vie, c'est-à-dire de sa conception à son recyclage. La communauté européenne travaille à la mise en place de ce calcul **ACV** (analyse du cycle de vie) qui va bouleverser l'industrie automobile. Jusqu'à aujourd'hui on ne prenait en compte que les émissions polluantes et CO<sub>2</sub> à l'échappement. Demain, plus de 300 critères seront décortiqués : Extraction des matières premières, transport, coûts digitaux de conception, utilisation des usines, etc... Pour respecter les futures normes, l'automobile va devoir muter. Les constructeurs sont « déjà sur le coup » et sont capables de calculer avec précision l'**ACV** de leur voiture.

L'objectif étant de réduire par 6 nos émissions...

La fin de vie d'un produit se fera en général, selon le produit considéré, par recyclage, enfouissement, incinération ou compostage.



Comparaison des émissions de CO<sub>2</sub> en tonnes de trois types de voitures. Durée de 16 ans et 240 000 km.

## 3- Eco-conception

### 3.1- Toujours plus d'énergie !

9 milliards d'hommes et de femmes vivront en 2050, dont 75% dans les villes.

Les grands enjeux du 21ème siècle seront :

Accès à la santé	Accès à l'énergie	Accès à la communication	Accès à l'eau et à la nourriture	Accès aux transports
Robot Davinci	Hydrolienne	Projet Starlink	Projet Agricoool	Projet Hyperloop

Les ingénieurs de demain devront répondre à ces enjeux vitaux pour l'espèce humaine.

Toute production, création, ou transformation nécessite globalement de l'énergie et engendre malheureusement des rejets dangereux pour notre environnement et donc notre santé.

Nous consommons en effet toujours plus d'énergie, que ce soit pour le transport, les nouvelles technologies, les données numériques à échanger, stocker...

**Par exemple**, un « datacenter » regroupant 80000 serveurs, qui réceptionnent, traitent et stockent une partie des milliards de données informatiques (recherches, mails, vidéos, photos, etc.) transitant chaque seconde sur le Web, a besoin d'énormément d'énergie (14 MW), ce qui représente la consommation d'une ville d'environ 40000 habitants...

De l'électricité, il en faut pour alimenter les ordinateurs, bien sûr, mais aussi pour refroidir les salles et les équipements (photo ci-contre), afin d'éviter une surchauffe et un dysfonctionnement des machines...

Ces « datacenters », qui consomment 2 % de l'énergie mondiale, entraînent de larges émissions de CO<sub>2</sub>. Dans de nombreux pays, l'électricité vient du charbon et du nucléaire.



### Les unités de l'énergie

Il existe un foisonnement d'unités pour quantifier l'énergie :

- Le joule : un français utilise en moyenne par an (directement ou indirectement) : 170 GJ ;
- Le kWh (1 kWh = 3,6 MJ) : un français utilise par an 50000 kWh ;
- La tonne équivalent pétrole (**tep**) et ses multiples (1 tep = 41,8 GJ = 11600 kWh).

Exemple : Un appareil électrique d'une puissance d'un watt (1W) utilisé en permanence consomme en un an 8,76 kWh ( $1 \text{ W} \times 24 \text{ h/j} \times 365 \text{ j} = 8760 \text{ Wh}$ )

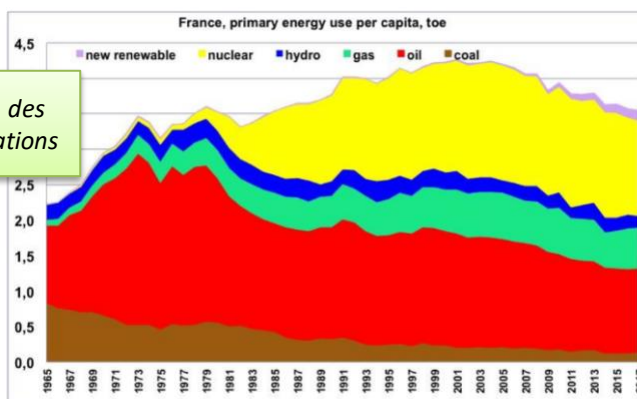
Ci-dessous quelques équivalences :

1 tep de bois	1 tep de charbon	1 tep de pétrole	1 tep de fission nucléaire	1 tep de fusion nucléaire
				
<b>3,1 tonnes</b>	<b>1, 4 tonnes</b>	<b>955 kg</b>	<b>240 mg</b>	<b>24 mg</b>

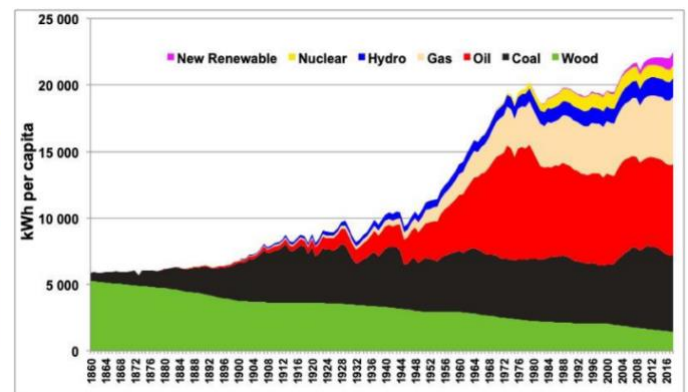
Les graphiques suivants présentent l'évolution des consommations mondiales et en France (par personne) des ressources en énergie ainsi que l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> en France.

On remarque que les énergies fossiles (NB : Gas, Oil et Coal, respectivement Gaz, Pétrole et Charbon) sont en grande majorité utilisées encore ; la part des énergies renouvelables est infime au regard des autres.

### Evolution des consommations



Consommation d'énergie primaire par personne en France, bois exclu, depuis 1965, en tonnes équivalent pétrole.



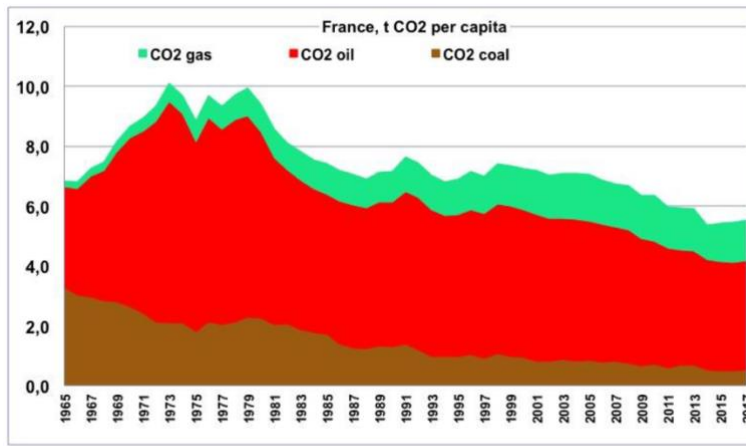
Consommation d'énergie primaire par personne dans le monde, depuis 1860, en kWh.h.

On notera que la France fait figure de « bon élève », puisqu'elle parvient à baisser sa consommation en énergie par habitant depuis 2005 mais attention, la consommation globale du pays augmente malgré tout du fait de la démographie.

- **L'énergie Eolienne** produite en France représente environ 8% de l'électricité du pays.
- **La filière photovoltaïque** en comparaison représente environ 2,5 % de l'électricité du pays.



### Emissions de CO<sub>2</sub> en France



Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> d'origine fossile par personne en France depuis 1965, discriminée par énergie, en tonnes.

La diminution des émissions de CO<sub>2</sub> en France depuis les années 80 coïncide avec l'arrivée massive du nucléaire.

Ainsi afin de limiter les **impacts environnementaux** sur l'ensemble du **cycle de vie** des produits il est nécessaire d'**éco-concevoir**, c'est-à-dire d'intégrer l'environnement dans les phases de conception ou d'amélioration d'un produit aux côtés des critères « classiques » comme le coût.

L'éco conception devra donc répondre à la difficile problématique de produire toujours plus en limitant au maximum les rejets nocifs et Gaz à Effet de Serre (GES) dans notre environnement.

## 3.2- Les familles d'impacts

La méthode CML 2000, réalise un classement des quatre principaux types d'impacts (Prélèvements, rejets, nuisances et altération des écosystèmes) et les dommages résultants. Chaque impact est également quantifié par une substance de référence.

Familles d'impacts	Dommages résultants	Substance [unité de référence]
Prélèvements	Epuisement des énergies non renouvelables (Ex : Pétrole, gaz naturel, charbon...)	Energie [MJ]
	Epuisement des matières premières non renouvelables (ex : Antimoine, Béryllium, Cobalt, Argent, Or...)	Antimoine (Sb) [kg éq. Sb]
	Artificialisation des sols	Surface d'utilisation des terres sur une année [m <sup>2</sup> .an]
Rejets (Pollutions)	Gaz à Effet de Serre (GES) ou Global Warming Potential (GWP)	Dioxyde de carbone [kg éq. CO <sub>2</sub> ]
	Acidification liée aux pluies acides	Dioxyde de soufre [kg éq. SO <sub>2</sub> ]
	Eutrophisation : enrichissement excessif des milieux aquatiques en sels nutritifs	Composé phosphaté (PO <sub>4</sub> ) [kg éq. PO <sub>4</sub> ]
	Dégradation de la couche d'ozone	Chlorofluorocarbone [kg éq. CFC <sub>11</sub> ] (Fréon 11)
	Ecotoxicité : excès d'émission dans air, eau, sols menaçant la viabilité des écosystèmes	Dichlorobenzène [kg éq. 1,4 DCB]
	Toxicité humaine : toxicité d'une substance directement sur l'être humain	Dichlorobenzène [kg éq. 1,4 DCB]
Nuisances	Acoustiques : bruit	Les principaux types d'impacts
	Visuelles : aspect visuel	
	Olfactives : odeur	
	Vibrations	
Altération des écosystèmes	Désertification	Les principaux types d'impacts
	Déforestation	
	Perte de biodiversité	

### Principaux impacts

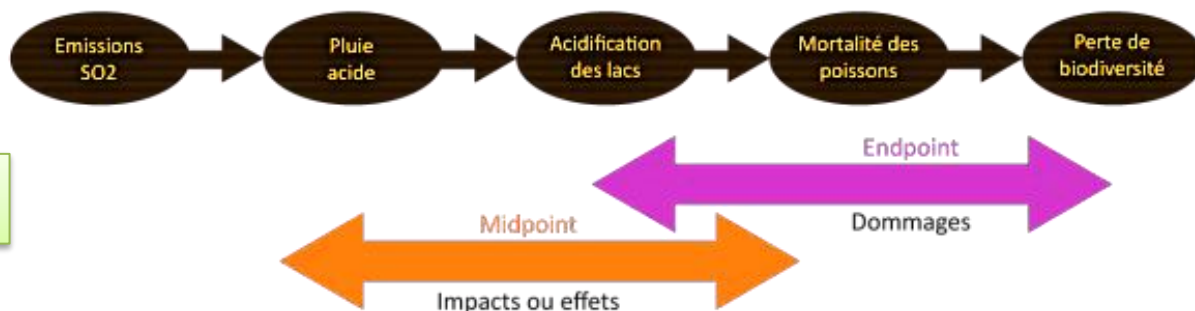


### 3.3- Principe de caractérisation des impacts

Les méthodes d'analyse d'impact ont été introduites afin de relier les données d'un inventaire (exemple : substances) aux dommages environnementaux dont elles sont à l'origine.

En pratique, on distingue deux catégories de méthodes de calcul des impacts potentiels en fonction de leur positionnement sur la chaîne des causes à effets : la méthode orientée **problèmes** (Midpoint) et la méthode orientée **dommages** (Endpoint).

Sur l'exemple ci-dessous (émission de dioxyde de soufre dans l'atmosphère), on représente les deux catégories de méthodes d'analyse d'impacts.



Quantification  
des impacts

#### Pour information

On rapporte l'impact considéré à une substance de référence, en effectuant une pondération :

$$SI_i = \sum_i FI_{s,i} \cdot M_s$$

$$SD_d = \sum_i FD_{i,d} \times SI_i$$

Où :

$SI_i$  : Score d'impact intermédiaire pour la catégorie d'impact  $i$  (exemples : réchauffement climatique, eutrophisation, etc.) ;

$FI_{s,i}$  : Facteur de caractérisation intermédiaire de la substance  $s$  pour une catégorie d'impact intermédiaire donnée  $i$  ;

$M_s$  : Masse émise ou extraite de la substance  $s$  (résultat de l'inventaire des émissions et extractions).

$SD_d$  : Score d'impact dommage pour la catégorie de dommage  $d$  (exemples : Santé humaine, changements climatiques, etc.) ;

$FD_{i,d}$  : Facteur de caractérisation d'un dommage donné  $d$  pour la catégorie intermédiaire  $i$  ;

#### Exemple de scores intermédiaires du Potentiel de Réchauffement Global (PRG)

Comme illustré dans le tableau ci-dessous, la masse du Gaz à Effet de Serre est multipliée respectivement par le facteur de Potentiel de Réchauffement Global (PRG) de chaque gaz pour obtenir le score de caractérisation intermédiaire.

Le pouvoir de réchauffement global (PRG) est le pouvoir réchauffant d'une masse de Gaz (en kg), rapporté au pouvoir réchauffant de la même masse de dioxyde de carbone pour une durée de 100 ans.

Substances (Inventaire de Gaz à Effet de Serre (GES))	Emissions (kg)	Facteur de caractérisation du PRG à 100 ans (kg éq CO <sub>2</sub> par kg de gaz)	Score d'impact intermédiaire (kg éq CO <sub>2</sub> /kg gaz)
CO <sub>2</sub> (dioxyde de carbone)	2,3	1	2,3
CH <sub>4</sub> (Méthane)	0,15	28	4,2
N <sub>2</sub> O (Protoxyde d'azote)	0,0013	265	0,35
TOTAL			6,85

*Emission des gaz à effet de serre (GES) pour produire 1 kg d'acier*

Score  
d'impact  
PRG

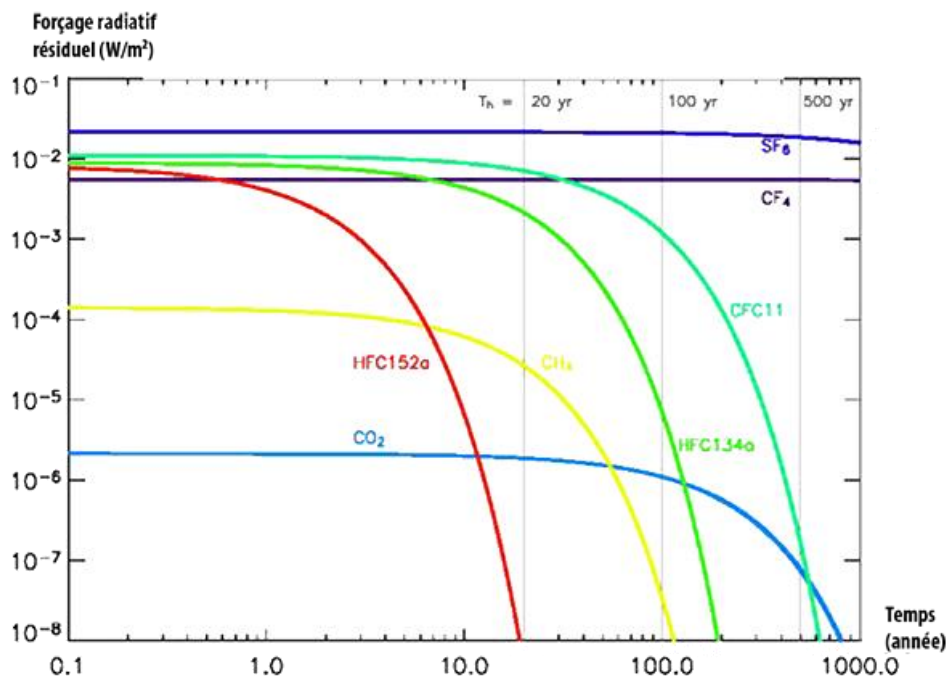
### Remarques :

Le facteur de caractérisation du PRG, pour un gaz donné, se calcule sur une période de temps (100 ans habituellement) en tenant compte de son « **forçage radiatif** », c'est-à-dire sa capacité à augmenter ou diminuer l'échange d'énergie (en  $W/m^2$ ) par rayonnement dans l'atmosphère, pour un kg de ce gaz injecté instantanément.

Les gaz à effet de serre peuvent mettre de quelques dizaines à plusieurs, voire plusieurs milliers d'années à disparaître de l'atmosphère. Il n'est pas simple de savoir avec précision combien de temps sera nécessaire pour évacuer ce que nous émettons aujourd'hui, car l'atmosphère est un système très complexe, faisant intervenir tout un ensemble de phénomènes (physiques, chimiques, biologiques...), dont les scientifiques n'ont pas encore percé tous les mystères...

On voit par exemple qu'il faut attendre de l'ordre du siècle avant que le  $CO_2$  ne commence à être évacué de l'atmosphère de manière significative, de l'ordre de 10 ans pour le méthane, mais que certains halocarbures (par exemple le  $CF_4$ , en haut du diagramme) n'ont toujours pas commencé à s'épurer significativement de l'atmosphère au bout de 1.000 ans.

Vitesse d'élimination  
des GES



*Forçage radiatif résiduel, au cours du temps, et en watts par mètre carré, provenant d'un million de tonnes de gaz émises à l'instant 0.*

Ce graphique indique d'une certaine façon la « vitesse d'élimination » d'un gaz (le forçage radiatif diminue), et permet donc de définir une durée de séjour approximative, c'est à dire le temps nécessaire pour que le gaz en surplus commence à s'évacuer de l'atmosphère.

### 3.4- Bilan

En conclusion, l'**Analyse du Cycle de Vie** réalise un **bilan détaillé et quantitatif** des entrées et des sorties mesurées aux frontières d'un produit. Cette analyse peut prendre en compte différents critères ou impact et les différentes étapes du cycle de vie. D'une manière générale, on retiendra que seule une analyse multicritère est donc pertinente.

Pour chacune des étapes du cycle de vie d'un produit, il faut recenser les flux de matières et d'énergie. Les impacts environnementaux sont ensuite quantifiés sur l'ensemble du cycle de vie.

## 4-Langage Sysml (Systems Modeling Language)

MEI

Dans un système complexe, les flux de **Matière, d'Energie ou d'Information (MEI)** échangés entre les composants, les relations orientées ou non et les bouclages ne permettent pas de décrire un système simplement sous la forme d'un texte ou d'un discours et l'utilisation d'un support graphique devient rapidement indispensable. En conséquence, la *représentation la mieux adaptée* pour décrire un système complexe est **nécessairement graphique**.



Dans une phase de **conception ou d'optimisation** d'un système technique, il est courant d'aborder le problème selon les trois composantes suivantes :

- Les **exigences** auxquelles doit répondre le système pour fonctionner selon les attentes des parties prenantes.
- Le **comportement** attendu du système ou d'un de ses éléments au cours du temps ;
- La **structure du système** qui, selon les besoins de conception et les participants, peut être analysée de manière globale ou locale.

Le langage SysML propose, pour chacune de ces trois composantes, des outils spécifiques graphiques présentés dans la suite : le langage est ainsi développé autour de neuf diagrammes (sept seront étudiés) permettant de représenter *divers points de vue* (**transversal**, **comportemental** ou **structurel**), chacun étant une *partie du modèle complet* : cette multiplicité permet le développement de modèles à la fois complets et pertinents.

### 4.1-Identifier et formaliser le besoin du client

« Un besoin est une nécessité ou un désir éprouvé par un utilisateur » (NF X 50-150).

Le client est sensible à l'évolution du contexte économique, social et environnemental ainsi qu'au degré d'innovation, **le besoin évolue donc constamment**.

**Exemple** : le vélo à assistance électrique.

Vélo électrique



EMI/Philips de 1935/37  
simplex



ISD City 3 – 2004  
Batterie 36 V



VAE Tidal Force IO-Cruiser – Matra -2010  
Moteur Matra Brushless DC  
dans le moyeu arrière  
Batterie Ni-MH 36 V 9 Ah  
dans moyeu avant



VAE du futur.... ? ??  
– Concept Peugeot –

Le produit peut évoluer par exemple en :

## 4.2- Les différents diagrammes SysML

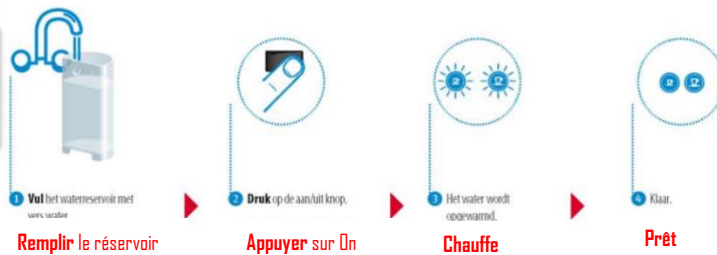
### Exemple : Cafetière Nespresso Citiz Krups

Cette cafetière utilise des capsules jetables pour réaliser un café qui peut être du type espresso ou lungo. Elle est vendue aux alentours de 130 euros.



### Fonctionnement : Extrait de la notice constructeur

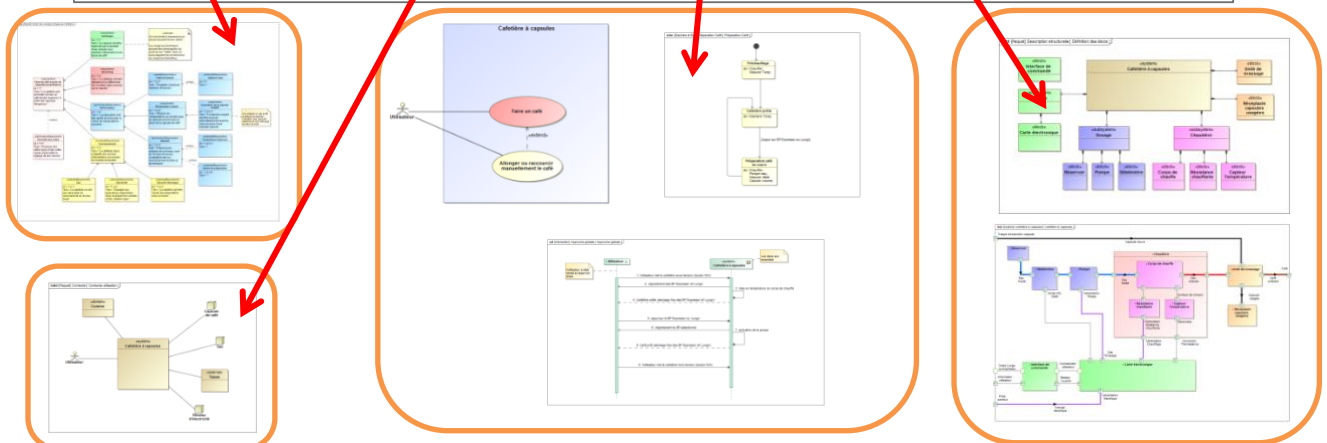
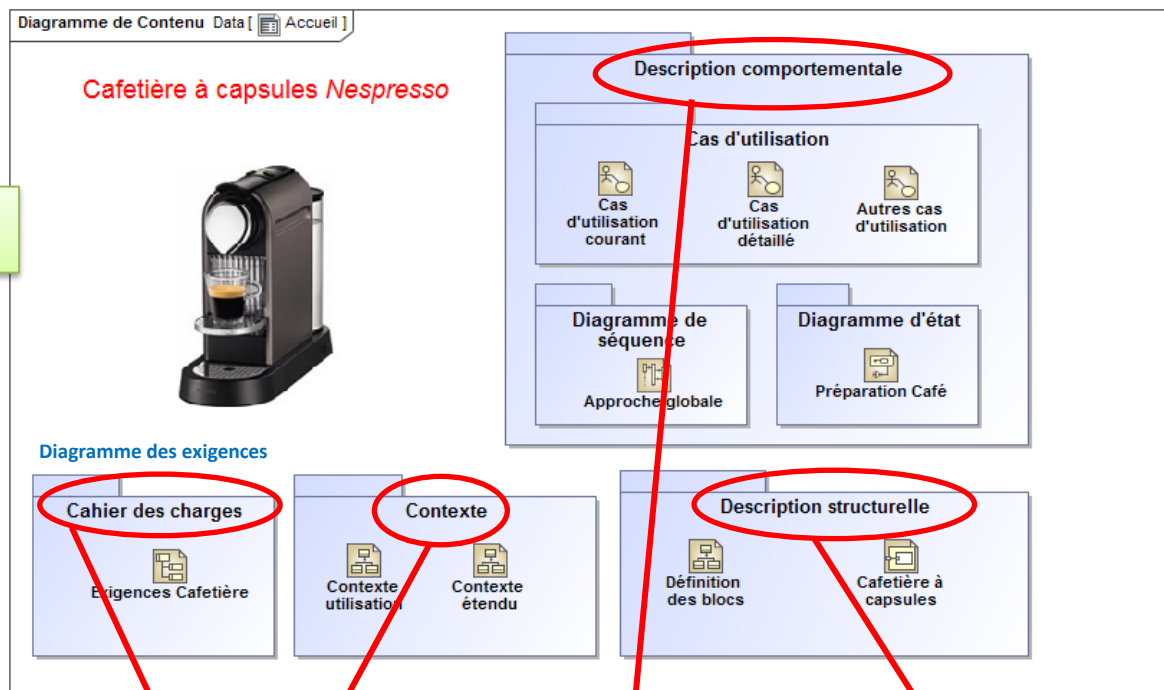
DAGELIJKS: VOOR HET EERSTE KOPJE KOFFIE/  
AU QUOTIDIEN : AVANT LE PREMIER CAFE



- ✓ Remplir le réservoir d'eau
- ✓ Mettre sous tension
- ✓ Chauffage : Clignotement des voyants « espresso » et « lungo »
- ✓ Prêt : L'arrêt du clignotement indique que la cafetière est prête à être utilisée

Description  
graphique du  
fonctionnement

Diagrammes  
SysML



Les diagrammes SysML des cas d'utilisation et des exigences permettent de formaliser le besoin d'un client et de décrire la manière dont le système à concevoir va devoir y répondre à travers les fonctions qu'il réalisera.



# 5- Description fonctionnelle avec SysML

Pour définir les différentes fonctions d'un système et préciser les exigences attendues, on utilisera principalement deux diagrammes : Le diagramme des cas d'utilisation, et le diagramme des exigences.

## 5.1- Définir la fonction globale d'un système

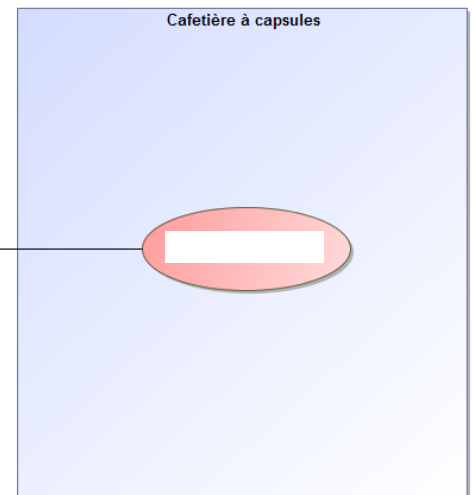
### Cas d'utilisation

*En anglais :*      **UC (User Case)**

User Case

Une première version du diagramme de cas d'utilisations consiste à considérer **un seul acteur** (l'utilisateur) connecté à **un unique cas** d'utilisation...*Compléter..*

Utilisateur



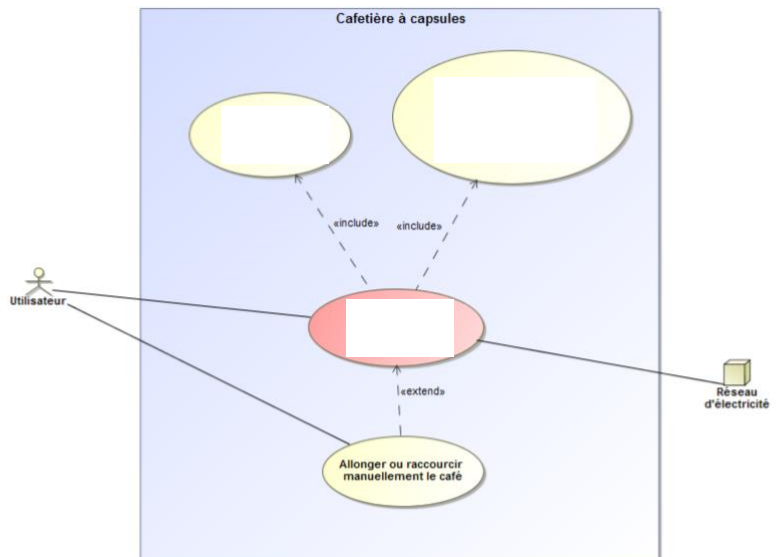
Dans ce diagramme on indique la mission que l'on cherche à atteindre à travers le système :

**Ex balance de cuisine :** On ne dira pas que l'on veut peser des aliments, mais que l'on veut que le poids des aliments s'affiche !

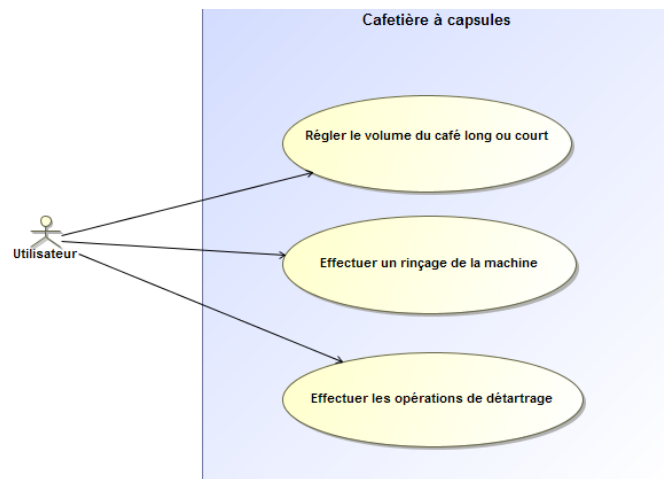
Ce diagramme des cas d'utilisations peut également être complété entre autres par des **acteurs secondaires** situés à droite (et qui ne sont pas forcément humains) et par d'autres utilisations.

Avec la relation « **extend** », nous prenons en compte une **fonctionnalité optionnelle**, telle que la possibilité offerte par la machine « d'allonger le café ».

Avec la relation « **Include** » nous indiquons que le café ne peut pas se faire sans (**obligation**) ...*Compléter...*



On peut par ailleurs envisager d'autres cas d'utilisation...



## 5.2- Définir et caractériser les exigences d'un système

### Diagramme des exigences

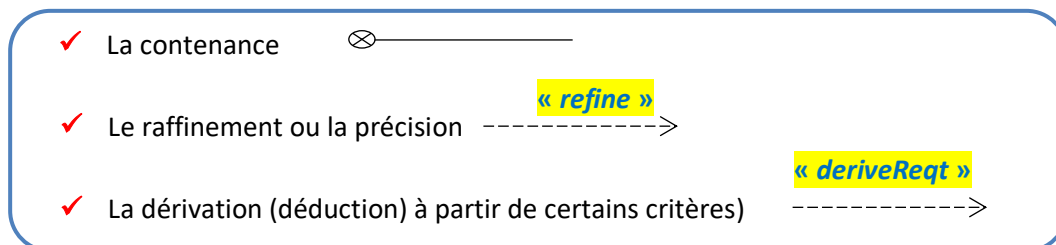
En anglais : Requirements diagram

Notation SysML: « req »

Ce diagramme montre les exigences du cahier des charges fonctionnelles (C.D.C.F)

- ✓ Une exigence exprime **une capacité ou une contrainte à satisfaire** par un système. Elle peut exprimer une fonction que devra réaliser le système ou une condition de performance technique, physique, de sécurité, de fiabilité, d'ergonomie, de marketing ...

*Les exigences peuvent être reliées entre elles par des relations. Il en existe 3 :*

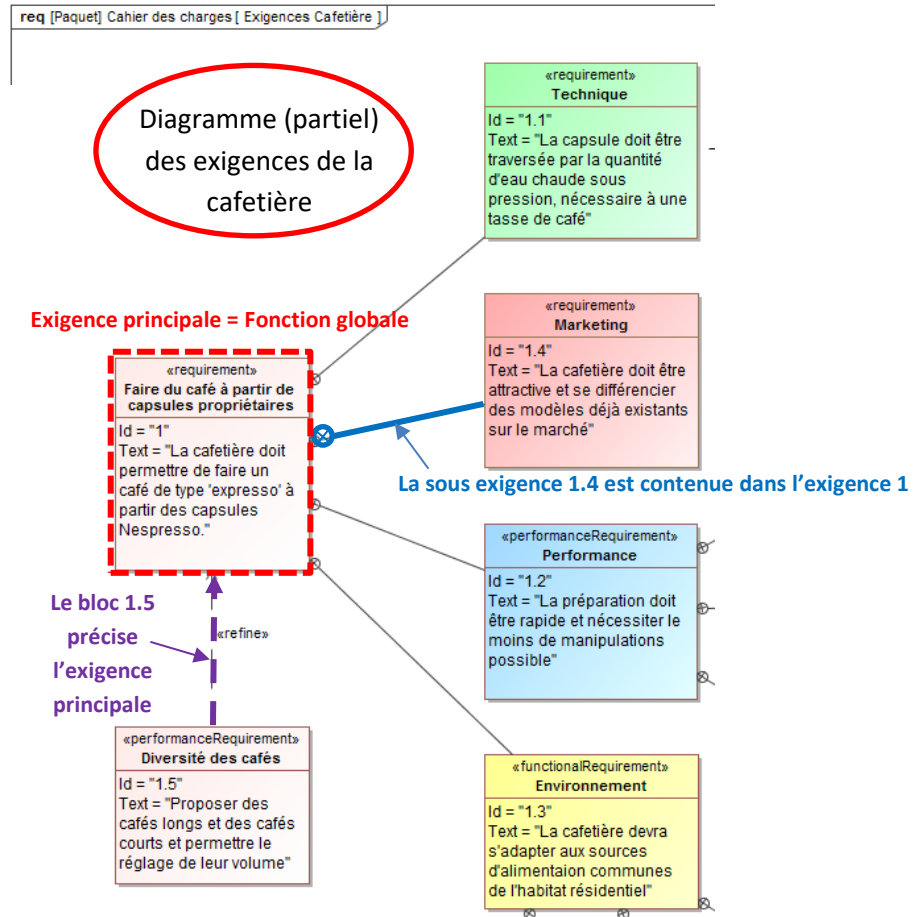


C'est un lien logique d'implication

La partie technique d'un C.d.C.F. doit se limiter à *énumérer les contraintes techniques avérées*.

Les  
contraintes  
du CdCF

**Les contraintes de base** sont économiques (les contraintes monétaires comme le budget de fonctionnement), environnementales (le caractère recyclable du produit, etc.), humaines (par exemple, dans le cas d'un jouet pour enfant, il doit être léger, ne pas contenir de petites pièces, etc.), industrielles (par exemple, il doit être fabriqué au Canada) et matérielles (par exemple, il doit spécifier les éléments qui peuvent être remplacés, comme des piles par exemple).



**Exemple pour comprendre DeriveReq :** Dans le CdCF d'un utilitaire, on cherche à créer le plus grand volume dans le coffre pour charger un maximum de choses. Qui dit grand volume, dit charge importante (si on crée un grand volume pour n'y mettre que du polystyrène, ça n'a pas d'intérêt). On s'impose donc une charge maximale, et la puissance du moteur nécessaire à la traction **dérive** de cette exigence physique.

### Caractériser les exigences : critère, niveau et flexibilité

Une exigence est caractérisée par :

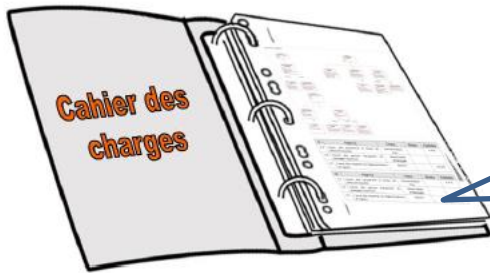
- Un **critère**, grandeur physique mesurable
- Un **niveau** attendu, valeur nominale
- Une **flexibilité**, définissant l'écart acceptable sur le niveau attendu.

i.d.	Exigences	Critères	Niveaux	Flexibilité
1.1	La capsule doit être traversée par quantité d'eau chaude sous pression.	Pression et température de l'eau	Pression : 2 bars Température : 60°	+/- 0,3 bars - 5°
1.2	La préparation doit être rapide et nécessiter le moins de manipulations possible	Durée de préparation et ergonomie	Temps de chauffe : 30 s 3 boutons	+/- 2 s Aucune
1.3	La cafetière devra s'adapter aux sources d'alimentations communes de l'habitat résidentiel	Tension et puissance disponibles	Tension 220 volts Puissance : 2000 w	Aucune +/- 10%

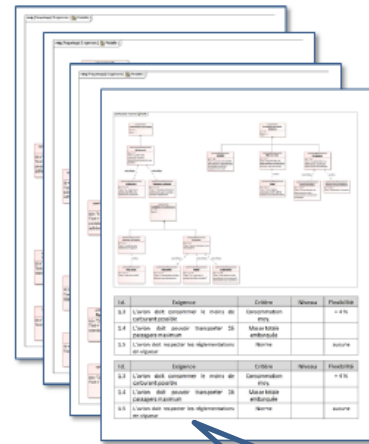
## Cahier des charges : Synthèses des exigences d'un système

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.



Le cahier des charges regroupe l'ensemble des exigences du projet



Un diagramme des exigences pour chacune des phases

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.

## 6- Description structurelle d'un système en SysML

### Le diagramme de définition de blocs

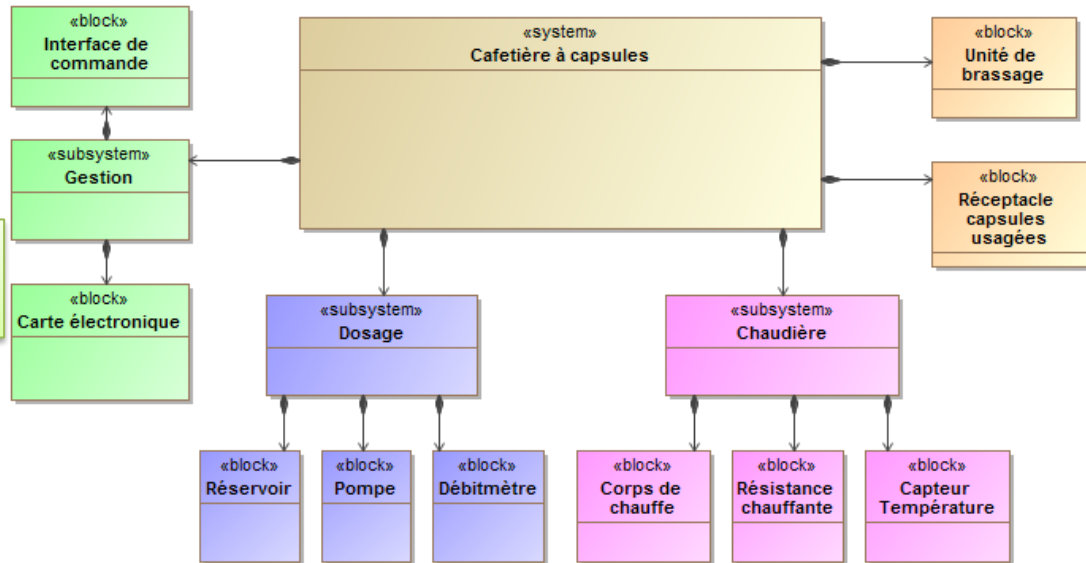
(BDD, ou Block Definition Diagram en anglais)

Il est similaire à la première page d'une notice de montage, indiquant la liste des éléments et des pièces à assembler. Il peut représenter un système complet, un sous-système ou un composant élémentaire.

Ainsi le bloc principal et la hiérarchie des blocs qui le composent, qu'ils soient logiciels ou matériels, sont spécifiés dans ce diagramme.

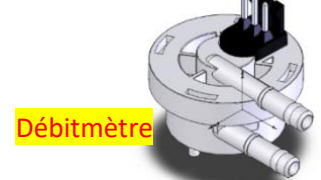
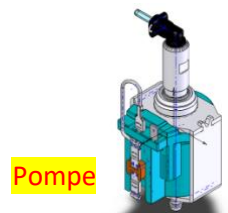
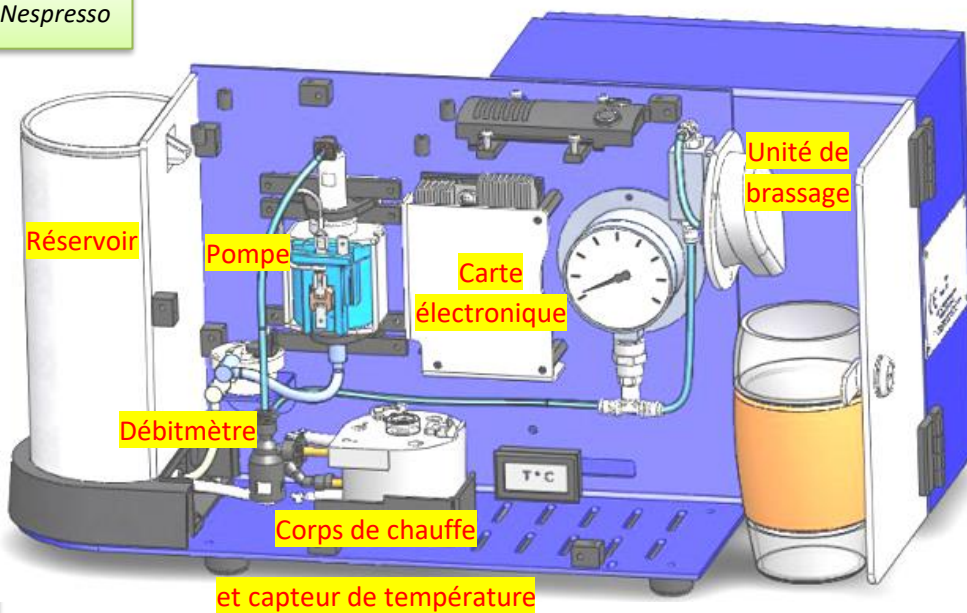


bdd [Paquet] Description structurelle [ Définition des blocs ]



BDD  
Diagramme de  
définition des blocs

Cafetière Nespresso



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

Permet de représenter les liens entre les blocs de même niveau par une association (simple trait entre 2 blocs).

### Limites et préconisation

La question du **zoom est importante**. Même si on peut descendre assez bas dans les détails, **il ne sera pas pertinent en général de le faire**. Ce diagramme est utile pour montrer les grosses briques du système.

Il n'est pas obligatoire de faire apparaître les propriétés et les opérations dans chaque bloc.

Dans ce cas le diagramme est relativement pauvre en informations, mais il offre d'un coup d'œil la structure du système.

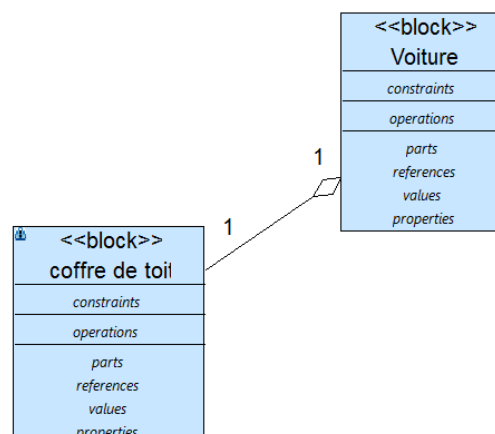
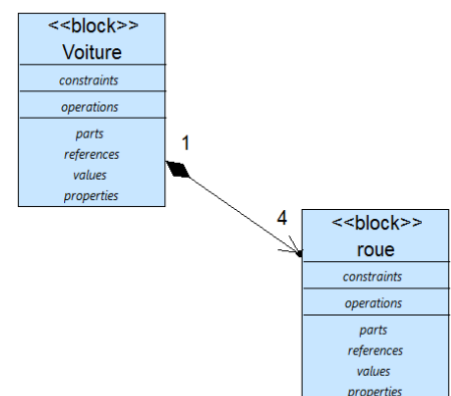
### Dans un bloc on peut également distinguer plusieurs zones

- ✓ **La définition du bloc** qui présente son nom et son type (le **bloc système** représente le premier niveau du modèle)
- ✓ **Les attributs (parts et values)** qui représentent des propriétés qui caractérisent ce bloc.
- ✓ **Les opérations** qui représentent ce que l'on peut demander au bloc.



### Relier les blocs entre eux...

- **La composition (losange noir)**: c'est une relation forte. Elle indique qu'un block a nécessairement besoin du sous-block, comme quelque chose de structurel.
- **L'agrégation (losange blanc)**: c'est une relation moins forte qui n'implique pas d'obligation.



## Le diagramme de blocs internes

(IBD, ou *Internal Block Diagram* en anglais)

Il décrit la vue interne d'un bloc, et se base sur le BDD pour représenter l'assemblage des blocs.

**Définition d'un port** : Un bloc peut avoir plusieurs ports qui spécifient des points d'interaction différents. Les ports peuvent être de deux natures :

**Standard** : ce type de port autorise la description de services logiques entre les blocs, au moyen d'interfaces regroupant des opérations. Ils sont simplement représentés par des carrés.

**Flux (flowport)** : ce type de port autorise la circulation de flux physiques entre les blocs. La nature de ce qui peut circuler va des fluides aux données, en passant par l'énergie.

**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.

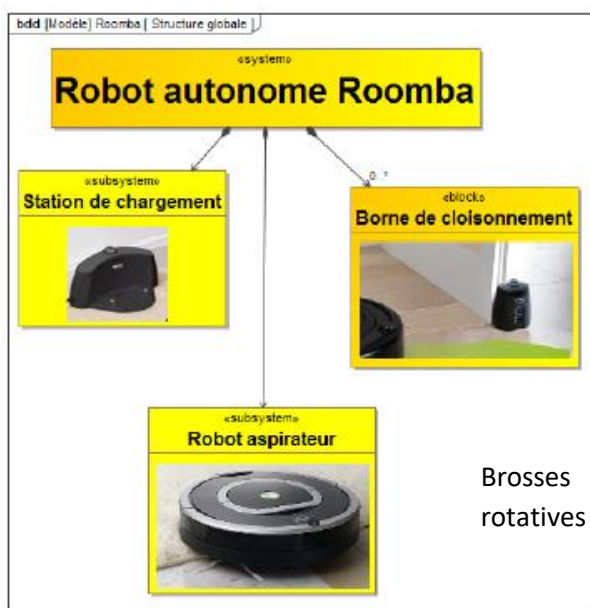
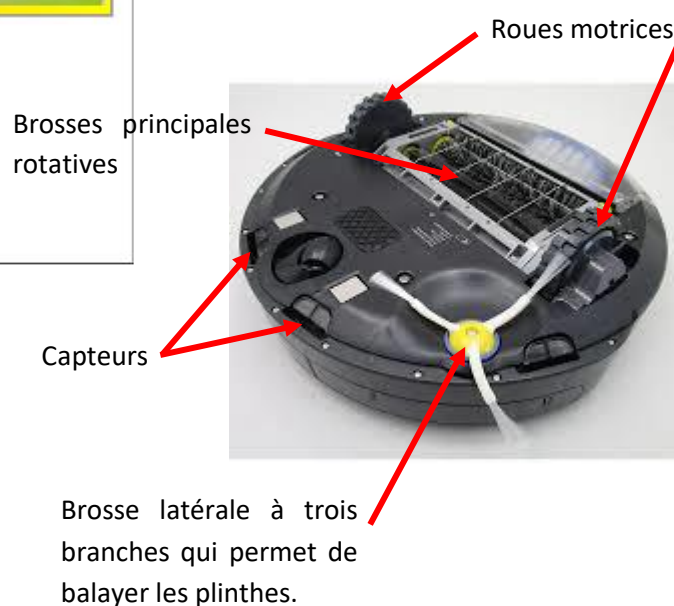
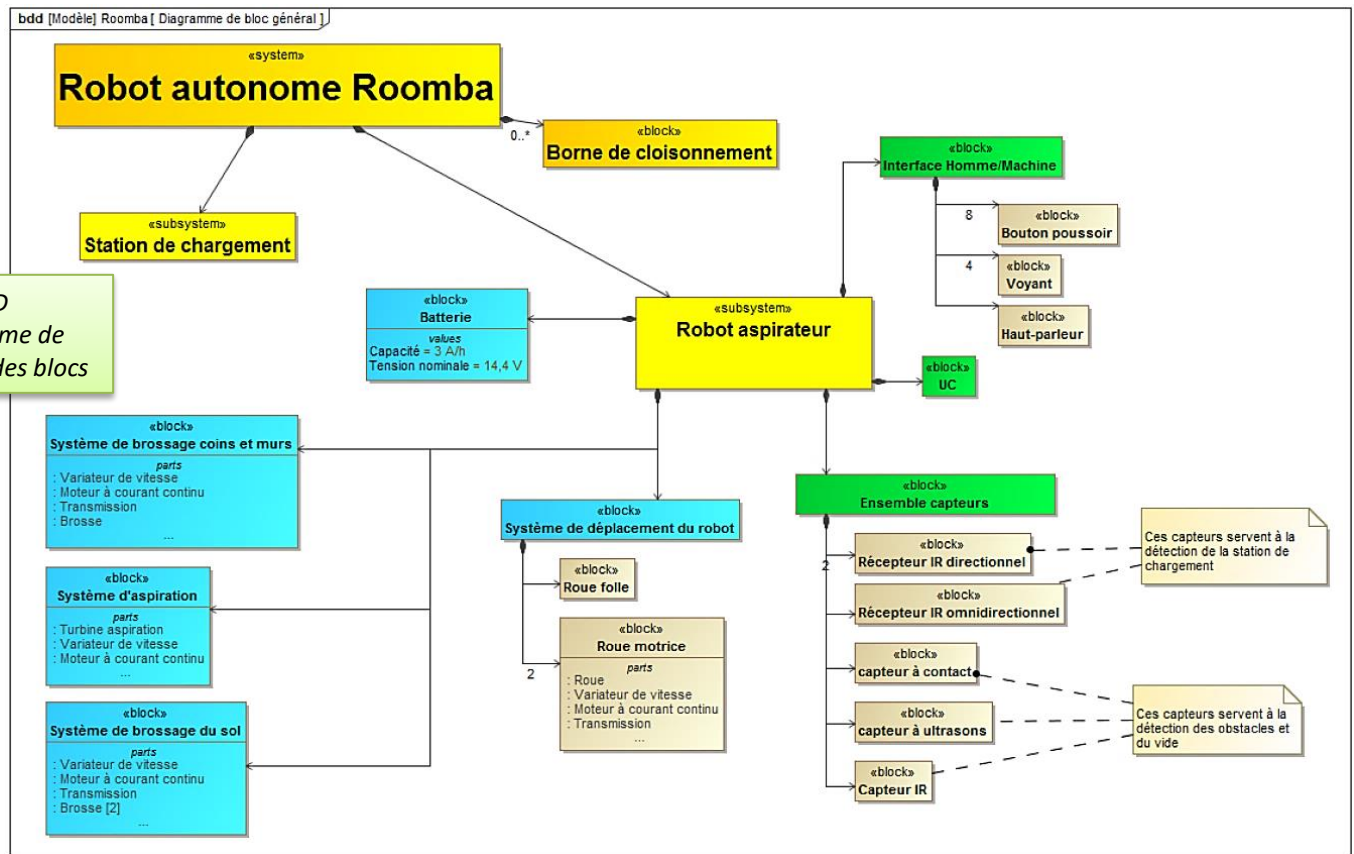


Diagramme  
de contexte

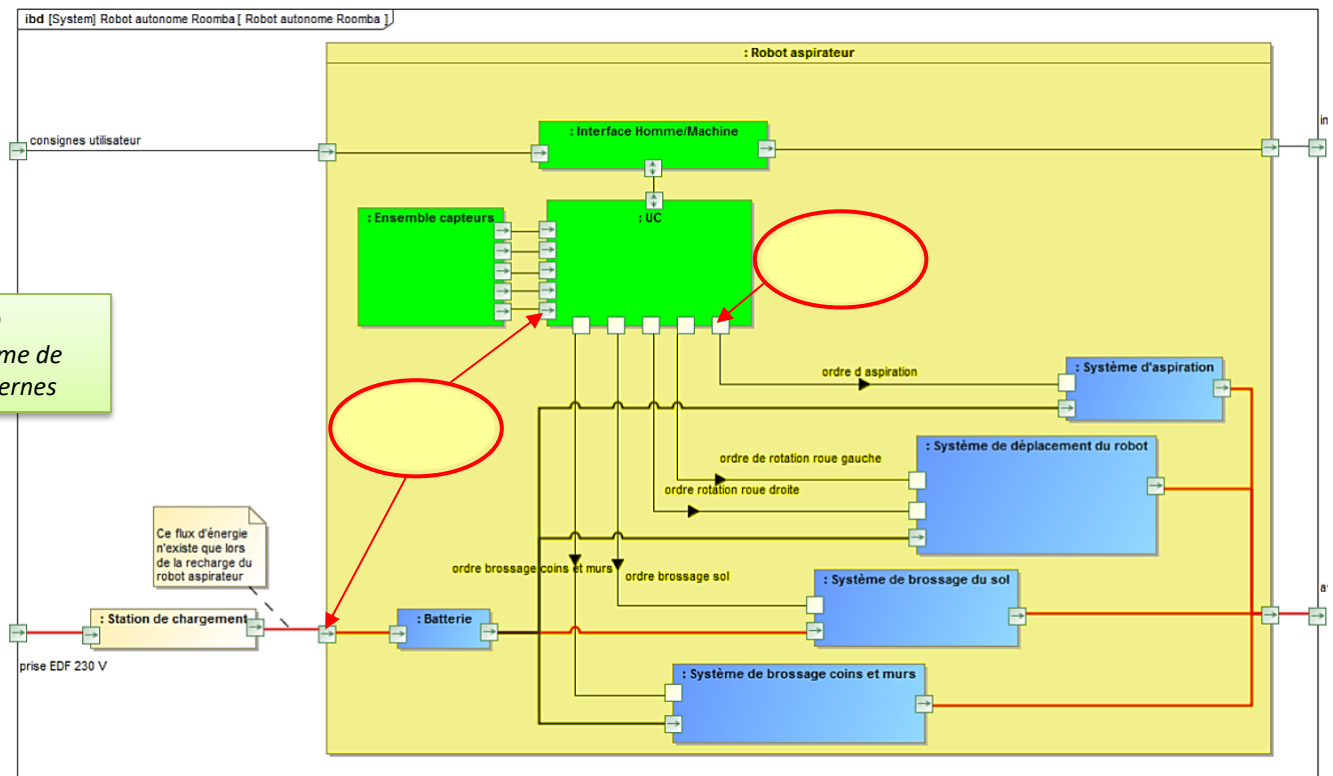
Dans une première approche, la structure du système peut être présentée comme ci-contre par un diagramme global.



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

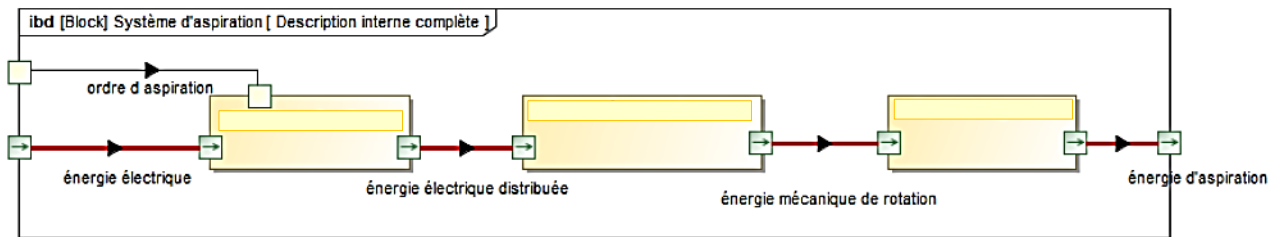


Celui-ci-dessous le diagramme des blocs internes.





On peut choisir également de détailler uniquement le dispositif d'aspiration du robot autonome.

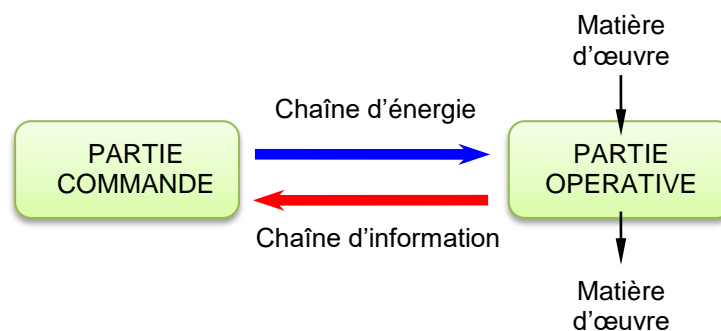


## 7- Description structurelle avec les chaînes d'énergie et d'information

Un système automatisé peut être décomposé en deux parties distinctes. Une première partie du système reçoit les informations de l'opérateur ; elle commande la deuxième partie qui doit exécuter les opérations demandées.

La **première partie**, «cerveau» du système, est appelée **partie commande (P.C.)** et la **deuxième partie** est appelée **partie opérative (P.O.)**.

PC et PO



### Définition de la P.C.

La partie commande regroupe l'ensemble des constituants et composants permettant de traiter l'information et assurant le fonctionnement de la P.O.

### Définition de la P.O.

La partie opérative est constituée de l'ensemble des moyens techniques agissant sur la matière d'œuvre afin de lui apporter la valeur ajoutée souhaitée.

**Remarque :** Les P.C. des systèmes automatisés doivent :

- envoyer des informations vers la P.O.,
- recevoir des informations sur l'état de la P.O. ou de son environnement,
- « dialoguer » avec l'opérateur par l'intermédiaire d'un pupitre.

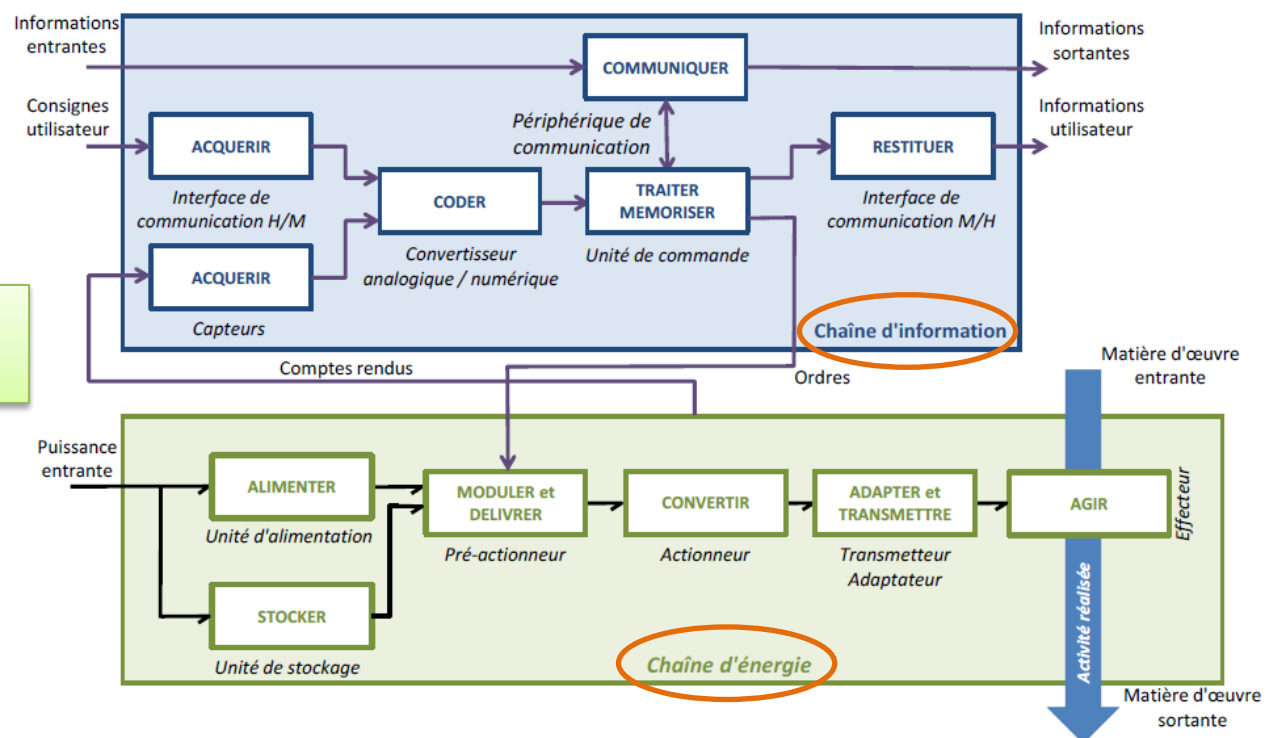
## 7.1- Description des activités d'un système

Pour répondre aux exigences du cahier des charges un système réalise souvent **plusieurs activités** de manière successive ou simultanée. Chacune de ces activités peut être décrite sous la forme d'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
- **Chaîne d'énergie** qui gère la puissance (flux d'énergie) nécessaire pour réaliser l'activité.

Cette description permet de définir des **familles de constituants** réalisant des **fonctions similaires**.

**Exemple** : un vérin hydraulique appartient à la **famille des actionneurs** et réalise la fonction **CONVERTIR**. Il est alimenté par une pompe hydraulique via un distributeur



## 7.2- Chaîne d'énergie

La **chaîne d'énergie** réalise la modification d'une **matière d'œuvre** par l'intermédiaire d'un **effecteur**. Un **pré-actionneur** est le composant recevant l'ordre de l'unité de commande.

Chaque composant de la chaîne fonctionnelle est associé à une **fonction** et à une **famille de composants**.

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

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).

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 se définit comme le produit d'un **flux** par un **effort**.

## Exemples de puissances rencontrées dans les systèmes

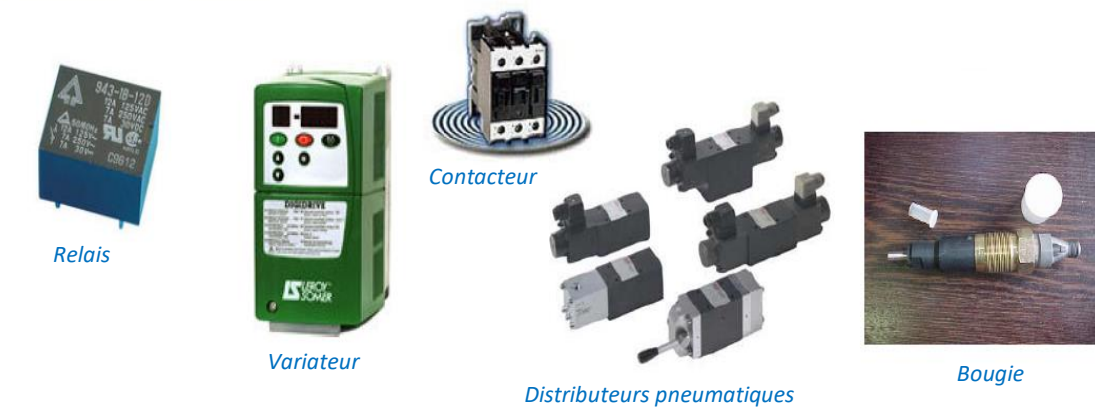
La puissance est le produit d'un flux par un effort

Puissance	Flux	Effort
<b>Electrique</b>	Intensité $i(t)$	Tension $U(t)$
<b>Mécanique de translation (Vérin)</b>	Vitesse $V(t)$	Force $F(t)$
<b>Mécanique de rotation (Moteur)</b>	Vitesse angulaire $\omega(t)$	Couple $C(t)$
<b>Hydraulique/Pneumatique</b>	Débit volumique $Q(t)$	Pression $P(t)$

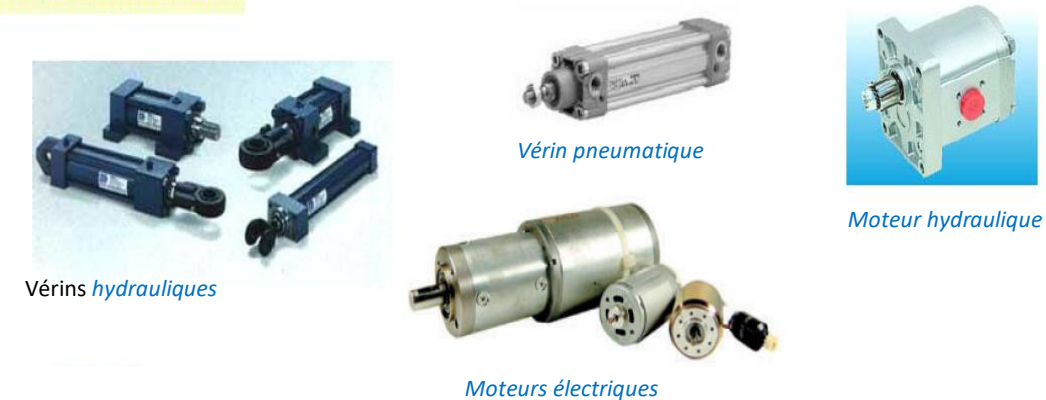
### Fonction : alimenter



### Fonction : distribuer



### Fonction : convertir



Pré-actionneurs

Actionneurs

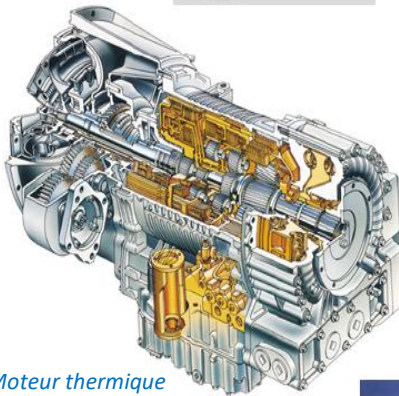
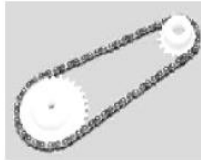
Systèmes de  
transmission

Fonction : transmettre

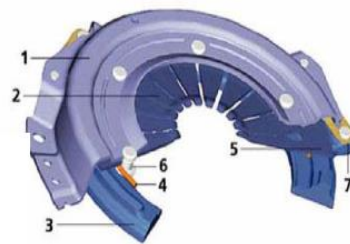


Engrenages

Transmission  
par chaîne



Moteur thermique



Embrayage



Vis à billes



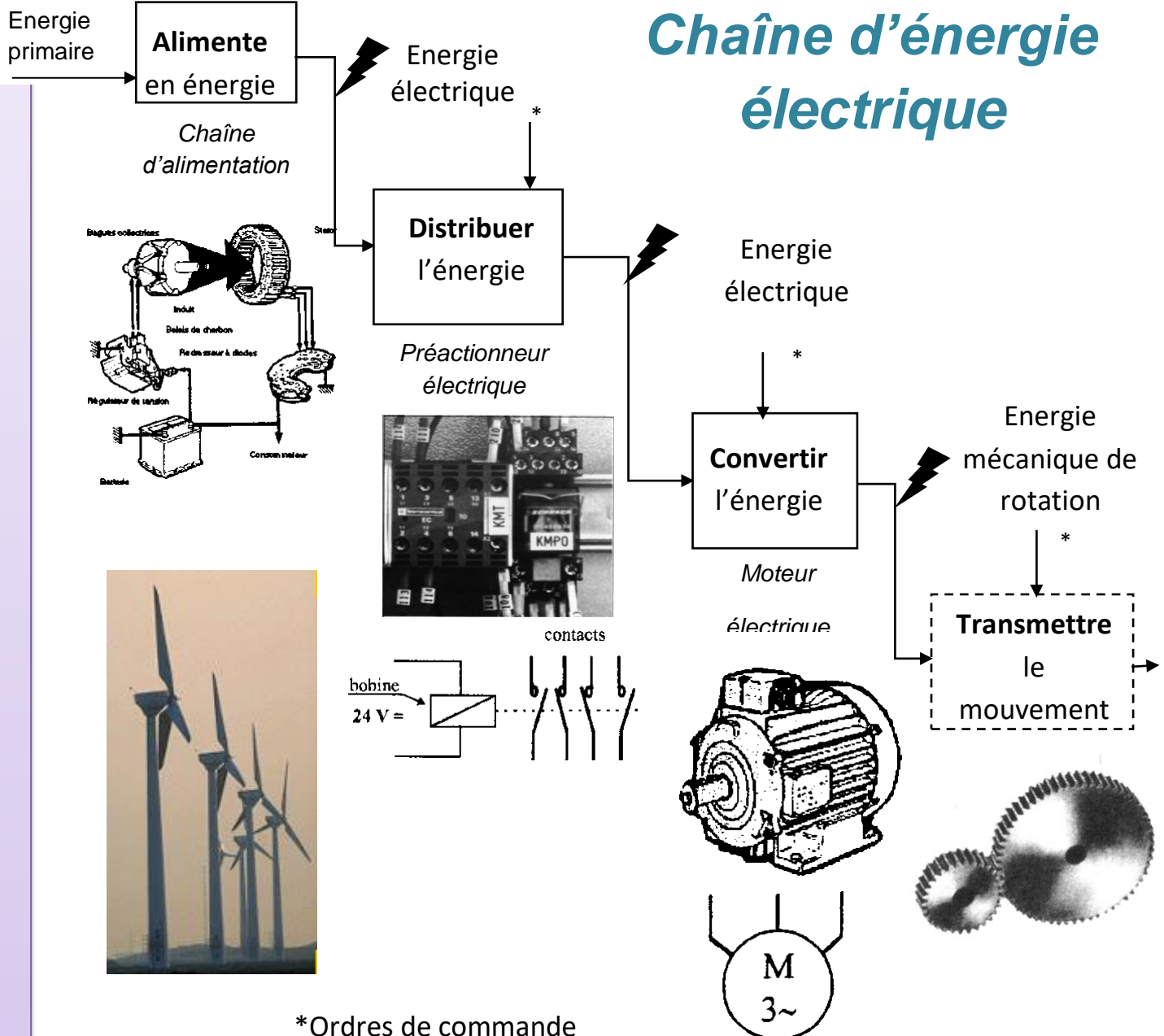
Transmission  
poulies-courroie



Roue libre



# Chaîne d'énergie électrique



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).

## Exemples

Le signal de sortie **des capteurs** 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**.

### Capteurs

#### Fonction : acquérir



Capteur de déformation



Capteur de fin de course



Capteur de proximité



Capteur ILS



Capteur d'effort



Capteur de position angulaire



Capteur de pression



Capteur de température

### Traitement des données

#### Fonction : traiter

Automate programmable



Ordinateur



Processeurs



Ordinateur portable

#### Fonction : communiquer



Moniteur



Réseau sans fil Wifi



Imprimante



Console de machine-outil



Carte réseau



Clé USB

## Savoirs

### Je connais

- ☐ Le cycle de vie d'un système
- ☐ Les grands principes de l'éco-conception
- ☐ 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 (Mécanique, électrique, etc..)

## Savoir-Faire

### Je sais

- ☐ Décrire les différentes étapes du cycle de vie
- ☐ Expliquer ce qu'il faut prendre en compte dans l'éco-conception
- ☐ Citer les différents types de diagrammes
- ☐ Compléter un diagramme de contexte
- ☐ 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.