Sciences industrielles

CPGE 1ere année

Sommaire

1 Introduction 3
1.1 Contexte 3
1.2 Le cœur artificiel CARMAT 4

2 Décrire les fonctions et la structure d'un système en SysML 5
2.1 Systèmes pluri-technologiques 5
2.2 Frontière d'étude 5
2.3 Cycle de vie d'un système et démarche de l'ingénieur 6
2.4 Les outils de modélisation système 6
2.5 SysML 7
Analyse du besoin 7
Fonction globale 8
Diagramme de cas d'utilisation (uc) 8
Diagramme des exigences (req) 8
Cahier des charges fonctionnel (CdCF) 9
Exigence de Design 10
Exigence d'écoconception 10
2.6 Description structurelle en SysML 11
Diagramme de définition de blocs (bdd) 11
Diagramme de blocs internes (ibd) 11

3 Chaîne fonctionnelle 12
3.1 Energie et puissance 12
3.2 Chaîne de puissance 13
Unité d'alimentation 13
Unité de stockage 14
Pré-actionneur 14
Actionneur 15
Transmetteur 16
Effecteur 16
3.3 Chaîne d'information 16
Signal analogique, numérique, logique 16
Capteur 17
Interface homme - machine (IHM) 17
Unité de commande 18
Interface machine - homme (IMH) 18
Interface de communication 18
3.4 Activité 19
3.5 Chaîne de puissance et chaîne d'information 19

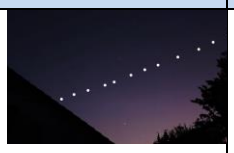
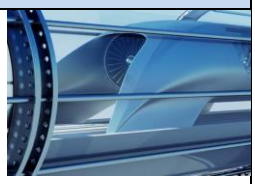
QUESTIONS DE DEBUT DE COURS 21

1 Introduction

L'**ingénierie système** est l'étude de la conception et de la validation des systèmes.

1.1 Contexte

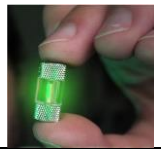
Nous vivons une époque d'accélération des découvertes. Les grands enjeux industriels du siècle seront :

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 Agricool*	*Projet Hyperloop*

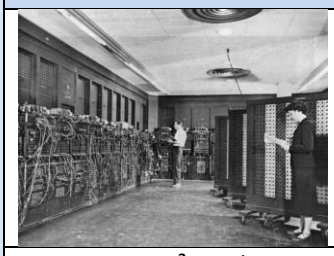
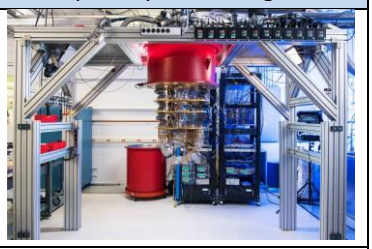
Nous consommons des densités énergétiques de plus en plus grandes :

(1) Tonne d'équivalent pétrole :

$1\ tep \approx 4{,}18\ 10^{10}\ J$

1 tep de bois	1 tep de charbon	1 tep de pétrole	1 tep de fission nucléaire	1 tep de fusion nucléaire
				
3,1 tonnes	*1, 4 tonnes*	*955 kg*	*240 mg*	*24 mg*

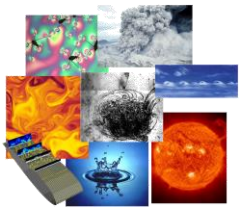
Nous consommons de plus en plus de puissance de calcul :

1945 – L'ENIAC, le premier ordinateur	2018 – Summit, le superordinateur d'IBM	2019 – Sycamore, processeur quantique de Google
		
30 t, 167m², 150kW, pouvant effectuer 5000 additions par seconde	9 216 processeurs et 27 648 cartes graphiques 200 pétaFLOPS (200.10^{15} flop/s)	53 qubits, 1cm², réalise un calcul en 3 min là où un superordinateur mettrait 10 000 ans

Les réponses à ces des défis ne sont pas uniquement politiques ou économiques… elles sont aussi **scientifiques** et **technologiques**[(2)].

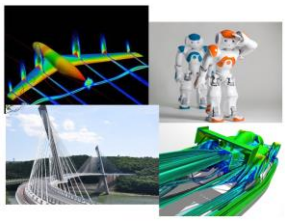
(2) Un objet technique est un objet fabriqué par l'homme, contrairement à un objet naturel.

Les sciences physiques : Génie de la nature



Comprendre et maîtriser
les phénomènes qui nous entourent

Les sciences industrielles de l'ingénieur : Génie de l'homme



Comprendre et maîtriser
nos réalisations

Avant d'être capable de **concevoir** des **systèmes**, il faut commencer par être capable de les **étudier**.

1.2 Le cœur artificiel CARMAT

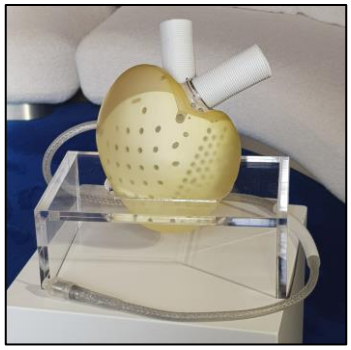
Le cœur artificiel est-il viable ?
https://sciencesindustrielles.com/coeur-artificiel-est-il-viable

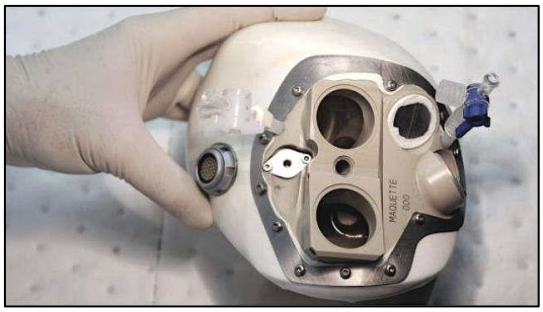
Claude Wartelle

*L'entreprise française **Carmat** est à la pointe de l'innovation mondiale en ayant implanté le premier **cœur artificiel** en 2013. L'intervention a consisté à explanter la prothèse Carmat que le patient avait reçue, puis à lui transplanter un greffon de cœur.*

Carmat est le premier cœur artificiel capable d'imiter la physiologie naturelle du cœur humain. Il est conçu pour remplacer le cœur chez les patients atteints d'insuffisance cardiaque en phase terminale, que ce soit dans l'attente d'une greffe ou de façon définitive.

*C'est **Claude Wartelle**, un ingénieur Arts et Métiers promotion Lille 1964 (Concours Centrale-Supélec), qui est à l'origine du cœur bio-artificiel Carmat inventé en collaboration avec le chirurgien **Alain Carpentier**. La conception d'une prothèse est délicate, il y a de fortes contraintes chimiques et de performances à respecter. En effet, il faut tenir compte de l'hémo-compatibilité des composants, de l'espace disponible dans la cage thoracique ou encore de l'activité du corps.*





Cœur artificiel CARMAT

Pour l'instant, 16 patients ont été greffé par l'équipe médicochirurgicale. Leur espérance de vie est comprise entre 3 et 9 mois, mais chaque opération engendre des progrès significatifs de conception par retour d'expérience.

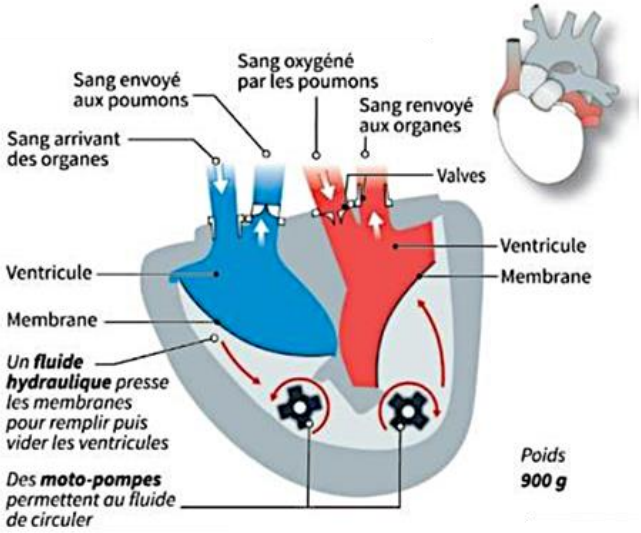


Schéma de la prothèse

Pour mieux comprendre le fonctionnement du cœur prothétique Carmat, nous avons besoin de le *modéliser*, c'est-à-dire, de représenter ce système grâce aux nombreux outils scientifiques que nous possédons (lois physiques, schémas cinématiques, …). Il faudra ensuite le valider expérimentalement.

La formation en Sciences Industrielles de l'Ingénieur (SII) en CPGE a pour objectif d'apprendre aux futurs ingénieurs à aborder méthodiquement cette complexité. Pour cela, les compétences suivantes seront développées au cours des 2 années de CPGE :

analyser	*Analyser les fonctions et la structure des systèmes complexes pluri-technologiques rencontrés.*
modéliser	*Proposer une représentation équationnelle d'un système en vue d'une simulation.*
résoudre	*Réaliser une simulation manuelle (calculs) ou assistée par logiciel pour pouvoir prévoir le comportement d'un système.*
expérimenter	*Réaliser des mesures sur un système réel pour valider le comportement anticipé par simulation.*
concevoir	*Proposer une évolution matérielle ou logicielle pour améliorer le comportement d'un système et la réaliser.*
communiquer	*Traiter des informations et mettre en œuvre une communication.*

2 Décrire les fonctions et la structure d'un système en SysML

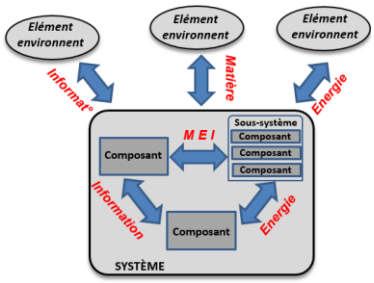
2.1 Systèmes pluri-technologiques

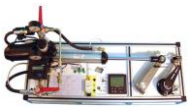
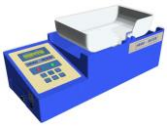
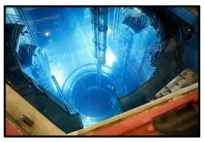
Un **système** est une **association structurée d'éléments** (sous-systèmes ou constituants) qui **interagissent** d'une manière **organisée** pour accomplir une **fonction globale**.

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

Tout système s'insère dans un **milieu environnant**

Exemples : quelques systèmes complexes multiphysiques du laboratoire



Cordeuse de raquette de Tennis	Direction assistée de voiture	Pilote automatique de bateau	Drone	Hemomixer médical	Pompe de centrale nucléaire
					

2.2 Frontière d'étude

La **frontière d'étude** permet de définir le système étudié.

Elle permet de distinguer ses constituants ou **sous-systèmes internes** de **l'environnement extérieur**.

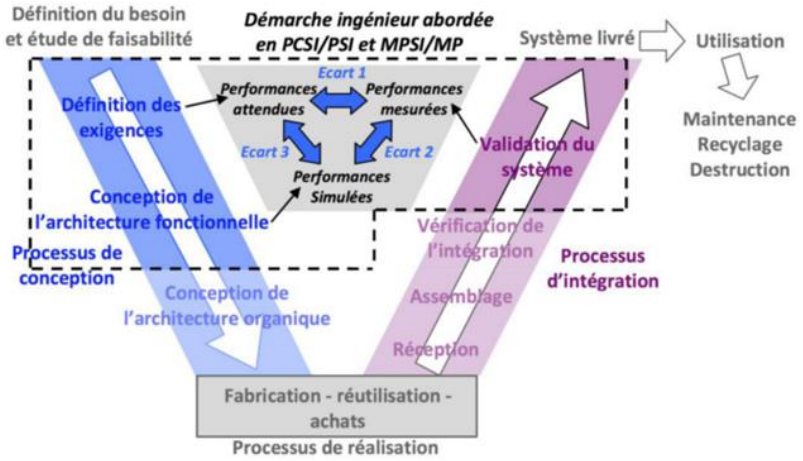
Un système n'est jamais isolé de l'extérieur, mais au contraire il interagit avec lui. Il doit s'adapter aux contraintes de son environnement.

2.3 Cycle de vie d'un système et démarche de l'ingénieur

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.

Il se compose de **phases de vie**, par exemple ; **conception, fabrication, transport, distribution, utilisation, maintenance, fin de vie...**

Le cycle en V présente graphiquement ces étapes :



(1) la démarche et les objectifs proposés sont donc indissociables d'analyses et mesures expérimentales réalisées sur systèmes réels.

2.4 Les outils de modélisation système

Le travail des différents acteurs intervenant lors des étapes du cycle de vie d'un système est collaboratif[2] et souvent multi-sites.

Cela signifie que de nombreux acteurs, répartis sur plusieurs pays, doivent en permanence être informés et tenir compte des évolutions initiées par d'autres.

Dans ce contexte, les entreprises utilisent des outils communs de communication et de définition du produit :

- **un jumeau numérique** unique et partagée ;
- **langage** unique et compréhensible par tous les métiers ;
- **modélisations** du système basées sur cette maquette et ce langage.

Bureau d'études
Dassault Aviation

(2) Grâce à internet, et en particulier au « Cloud », tous les documents peuvent maintenant être partagés en temps réel avec tous les collaborateurs.

Une des solutions vers laquelle se tournent certaines entreprises[3] est le langage **SysML** (Systems Modeling Language), **langage de description** de l'ingénierie système.

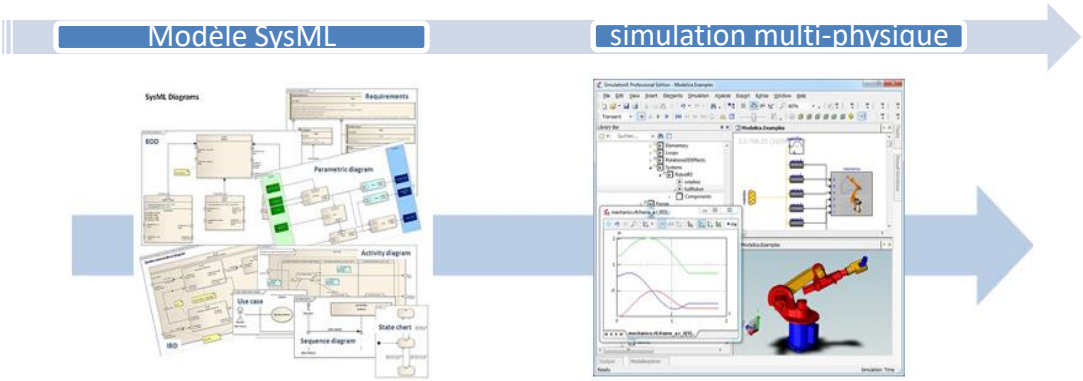
Le **langage SysML** a l'avantage de proposer différents outils de description graphique (diagrammes), permettant de modéliser le système dans les différentes phases du cycle. **Ces diagrammes interagissent entre eux**[4] grâce à des logiciels dédiés, ce qui permet de répercuter immédiatement toute modification à l'ensemble des acteurs concernés par le projet.

(3) Airbus, Thalès, Alstom…

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

(4) Même s'ils sont de domaines physique différents.

Maquettes numériques et diagrammes sont complétés par des **logiciels de simulation**. Grâce à ces derniers, on peut anticiper la façon dont va se comporter un système avant même d'avoir réalisé un premier prototype.



En CPGE, concernant ces outils de l'ingénierie système :

- vous utiliserez des maquettes numériques dans un logiciel professionnel (SolidWorks) ;
- vous utiliserez certains diagrammes[1] du langage SysML permettant de décrire les fonctions et la structure matérielle des systèmes étudiés ;
- vous réaliserez des simulations numériques afin d'évaluer les performances de ces systèmes.

(1) Les diagrammes qui seront abordés dans ce cours peuvent être utilisées pour concevoir ou améliorer un système.

2.5 SysML

Cependant, à notre niveau, nous les utiliserons pour analyser un système déjà existant.

L'analyse fonctionnelle permet, pour un système correctement isolé de son **milieu extérieur** à l'aide d'une **frontière d'étude**, de décrire **le besoin** auquel il répond et de définir les **contraintes** auxquelles il doit s'adapter.

Dans la démarche d'**ingénierie système**, c'est une étape indispensable pour s'**assurer** que le **système** à concevoir **répondra** le mieux possible aux **besoins** de ses futurs **utilisateurs**.

Analyse du besoin

L'Analyse du Besoin est une méthode qui permet de **caractériser** le **besoin** exprimé, c'est à dire le **qualifier** et le **quantifier** avec des grandeurs mesurables.

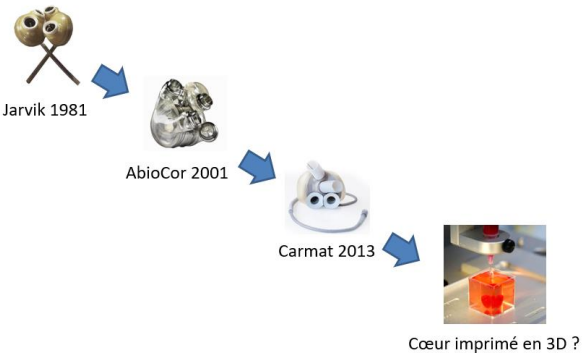
Afin de valider l'expression du besoin, il convient de se demander lorsqu'on étudie ou on conçoit un système :

- Pourquoi le produit existe-il ?
- A qui rend-il service ?
- Quel est son but ?
- Qu'est ce qui pourrait faire évoluer le besoin ?
- Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître le besoin ?

Exemple : évolution technologique de rupture du cœur artificiel

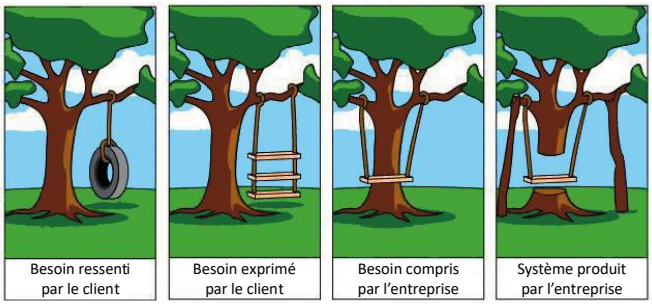
Plusieurs évolutions sont envisageables. Actuellement, les pulsations de la prothèse suivent l'activité physique. Mais bientôt des capteurs iront chercher l'information dans les nerfs pour qu'elle réagisse aux émotions ressenties par le patient.

Il est également possible de simplifier la conception avec le procédé d'impression 3D. Ce qui diminuera légèrement la masse de la prothèse pour se rapprocher de celle d'un cœur naturel.



Estimer le besoin des clients potentiels[2] est donc indispensable, mais complexe car le besoin est en évolution constante sous l'effet des changements économiques, sociaux et environnementaux, et des innovations.

(2) Enquêtes, sondages et études de marché participent à cette définition.

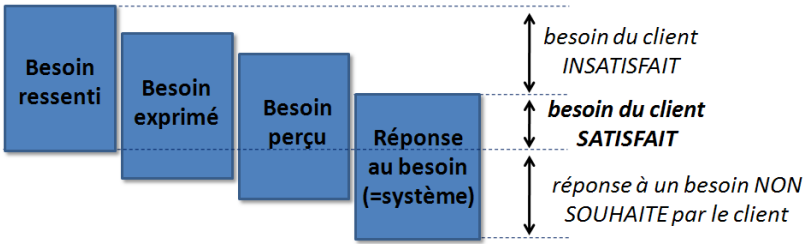


Une entreprise recherche l'adéquation entre le besoin du client et la manière dont le système produit y répond, c'est-à-dire les fonctions qu'il propose. Besoin et fonction réalisées doivent être formalisés.

> Un **besoin** est une nécessité, un désir éprouvé par un utilisateur.[3]
> **Caractériser** le besoin, c'est le **qualifier** et le **quantifier**.
> Cette formalisation permet d'estimer le taux de satisfaction attendu.

(3) Définition de la norme NF X50 - 150

On cherche à satisfaire le besoin du client.



Fonction globale

La **fonction globale** d'un système est la « **raison d'être** » du système, du point de vue de l'utilisateur[1].

Elle ne doit pas induire de solutions technologiques[2].

(1) Du point de vue de l'entreprise, la raison d'être peut être : gagner de l'argent, améliorer son image, aider une communauté…

(2) Sur plusieurs décennies, la conception peut complètement changer, mais le besoin reste le même.

(3) Ces acteurs peuvent être des humains ou non, principaux ou secondaires.

Diagramme de cas d'utilisation (uc)

Le **diagramme de cas d'utilisation** (***Use Case*** *Diagram – uc –*) est un diagramme **fonctionnel** qui définit :

- les différents types d'utilisateurs, nommés **acteurs**[3]
- les **fonctions attendues** par ses acteurs.

Il permet de **formaliser le besoin**.

Il permet d'avoir le point de vue utilisateur.
Il exprime uniquement les fonctionnalités visibles de l'extérieur.
Un acteur est ce qui est ce qui est en interaction avec le système.

Exemple : Diagramme de cas d'utilisation du cœur artificiel

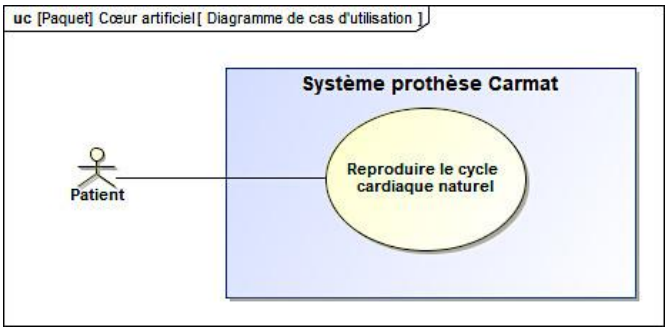


Diagramme des exigences (req)

Une **exigence** exprime une **fonction**, une **règle**, une **contrainte**, ou une performance à satisfaire par le système.

Le **diagramme des exigences** (***Requirement Diagram*** *– req –*) est un diagramme général qui regroupe **hiérarchiquement** ces exigences.

Une **exigence** est caractérisée par[4] :

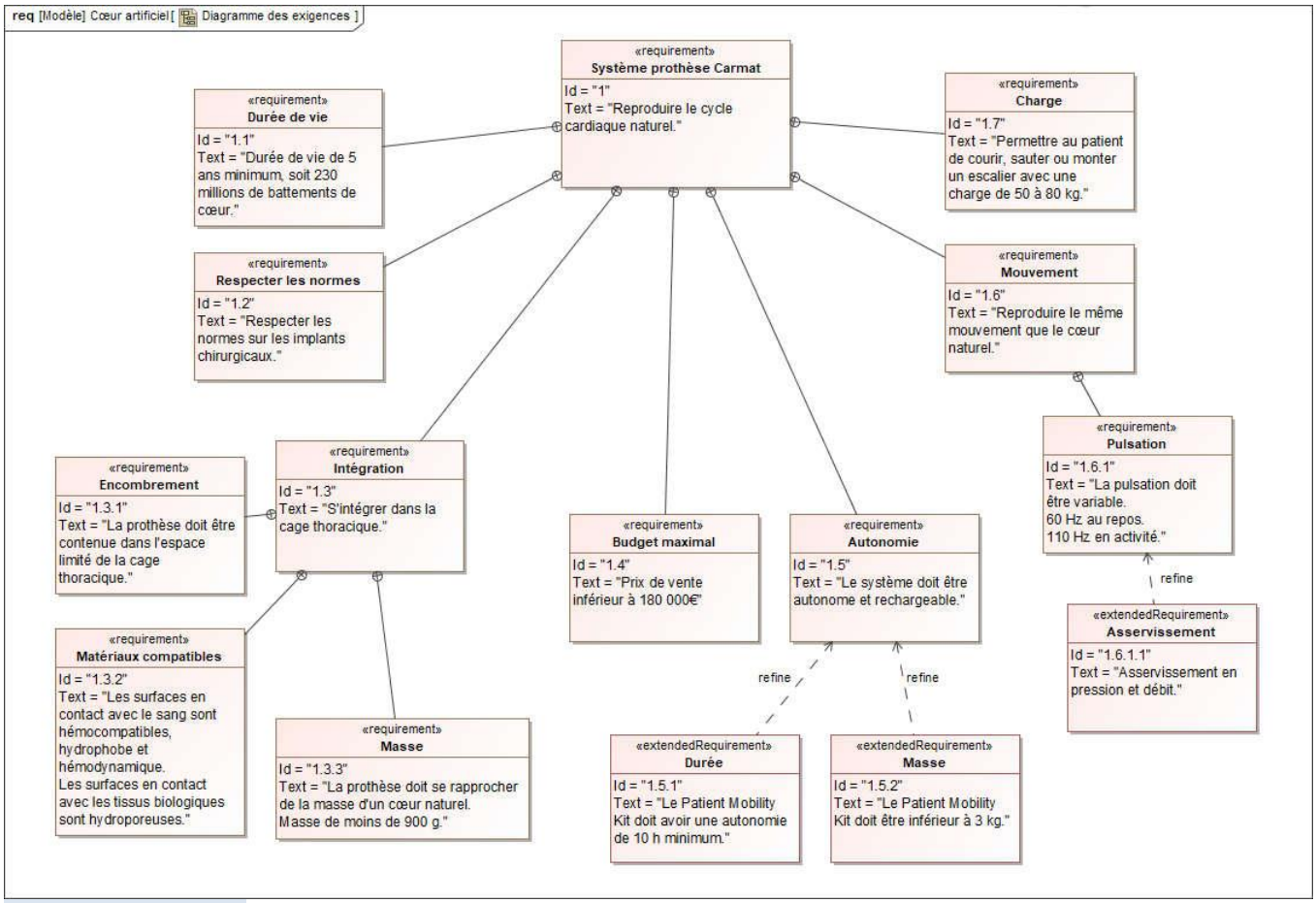
- un **critère** (grandeur[5] physique mesurable) ;
- un **niveau** (valeur max/min chiffrée) ;
- une **flexibilité** (l'écart acceptable sur le niveau attendu).

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

(5) La beauté n'est pas une grandeur car elle n'est pas mesurable. Cependant, on peut lui associer des critères, qui eux, le sont.

Exemple : Diagramme des exigences du cœur artificiel

La conception d'une prothèse est délicate, il y a de fortes contraintes chimiques et de performances à respecter. En effet, il faut tenir compte de l'hémo-compatibilité des composants, de l'espace disponible dans la cage thoracique ou encore de l'activité du corps. On utilise le diagramme des exigences pour lister les exigences attendues.

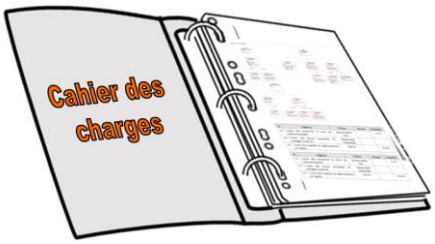


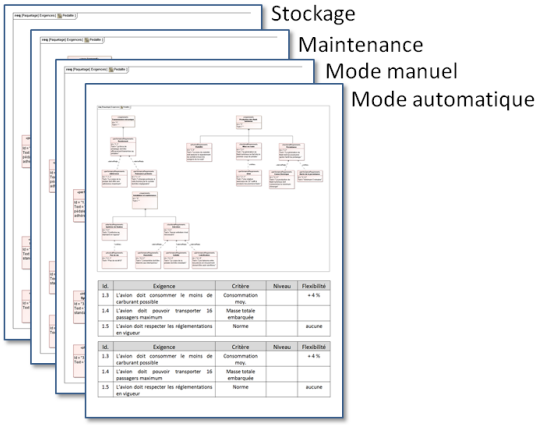
Exemple : pour le cœur artificiel, on peut proposer le tableau partiel suivant :

Id.	Exigence	Critère	Niveau	Flexibilité
1.2	Respecter les normes sur les implants chirurgicaux	Norme NF EN ISO 14708	Respect total	Aucune
1.3.3	La prothèse doit se rapprocher de la masse d'un cœur naturel	Masse	900 g	max
1.5	Le système doit être autonome et rechargeable.	Durée d'autonomie	10 h	10 %

Cahier des charges fonctionnel (CdCF)

Un diagramme des exigences doit être établi pour chacun des **modes** et chacune des **phases de vie** du système.





(1) Le CdCF stipule...

La loi dispose...

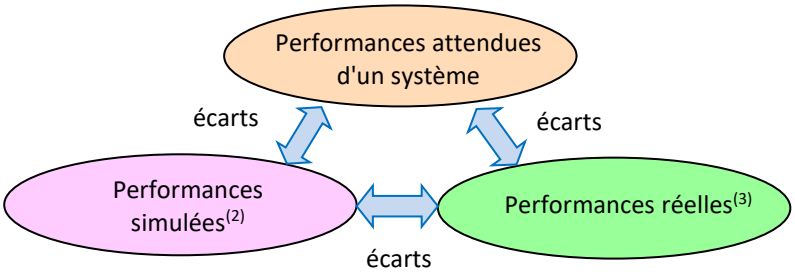
Un **Cahier des Charges Fonctionnel**(1) (CdCF) est un document qui expose l'ensemble des exigences qui doivent être satisfaites par le système et leurs caractéristiques (critère, niveau, flexibilité).

En entreprise, le CdCF sert de contrat entre le client et le fournisseur.

Du point de vue du client, chaque ligne permet un contrôle de la prestation fournie, et du point de vue du fournisseur, chaque ligne induit un niveau d'exigence à la conception.

C'est un document clé de l'expertise industrielle utilisé pour les consultations, les appels d'offres, les marchés négociés, la conception…

En CPGE, ce sont les données issues de ce CdCF qui vont nous permettre de quantifier les écarts entre :



(2) Manuelles ou assistées par ordinateur.

(3) Mesurées expérimentalement en TP.

Exigence de Design

Le **design** est une **activité de création** à vocation industrielle ou commerciale, situés à la croisée de l'**art**, de la **technique** et de la **société**.

Dans sa part artistique, il repose sur un travail sur les formes et qui peut concerner des formes spatiales, volumiques, textiles, graphiques, interactives.

Exigence d'écoconception

Le **développement durable** est un mode de développement qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs.

L'**Analyse de Cycle de Vie** (norme ISO 14040) est un outil qui permet de réduire les **impacts environnementaux**(4) que va avoir le système lors de toutes les étapes de son cycle de vie, allant depuis l'extraction des matières premières jusqu'à son traitement en fin de vie.

(4) Par exemple : eutrophisation de l'eau, épuisement des ressources naturelles, production de déchets dangereux, acidification de l'air, destruction de la couche d'ozone, l'effet de serre...

(5) On ne s'interesse ici qu'à la phase de vie de fabrication, on pourrait aussi étudier le transport, la maintenance, le recyclage…

Exemple : ACV – fabrication d'une éolienne(5)

- Pour construire des éoliennes il faut des métaux (acier pour la structure, 16 tonnes de cuivre pour la raccorder au réseau électrique…) et des métaux rares.
- Pour produire 1kg de cuivre, produit par exemple dans la plus grande mine du monde au Chili, il faut : laver le minerai avec de l'eau, de l'électricité et des routes commerciales.
- Or dans le désert d'Atacama, il n'y en a pas d'eau. Il faut donc construire des pipelines pour pomper l'eau de l'océan et la dessaliniser.
- Cette centrale de dessalinisation doit être alimenté en électricité.
- Cette électricité est produite par une centrale électrique qui tourne au charbon (40%).
- Ce charbon vient de Colombie et de nouvelle Zélande et est extrait avec de l'électricité.
- Cette électricité est produite avec le charbon.

Il n'y a pas d'énergie propre et d'énergie sale, il y a des ressources et des choix. Si on remplace une énergie par une autre, on déplace des prélèvements de ressources et des impacts environnementaux.

2.6 Description structurelle en SysML

L'analyse structurelle permet de définir les **constituants internes** au système et comment ceux-ci **interagissent**.

Diagramme de définition de blocs (bdd)

(1) Parfois le chiffre est 0.. : Contrainte de multiplicité. Le produit peut contenir de 0 à * …*

Le **diagramme de définition de blocs**(1) (bdd) est un diagramme **structurel** qui permet de réaliser l'**inventaire** des constituants qui constituent le système en le décomposant en **sous-systèmes**, puis en **constituants élémentaires** par une **analyse descendante**.

Le bdd permet d'avoir un premier aperçu, plus ou moins détaillé de la structure du système.

Exemple : Diagramme BDD du cœur artificiel

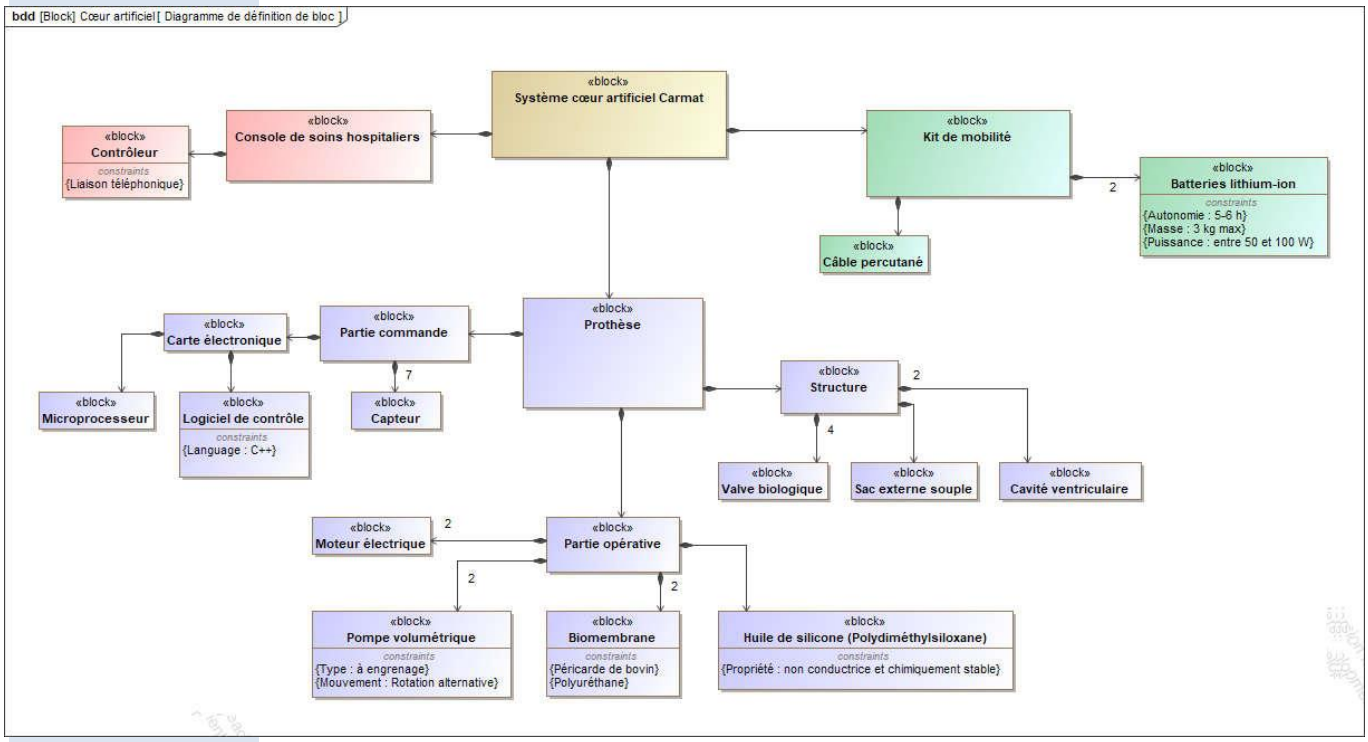


Diagramme de blocs internes (ibd)

Le **diagramme de blocs internes** est un digramme **structurel** qui permet d'identifier les **échanges** de matière, d'énergie et d'information (MEI) entre les constituants.

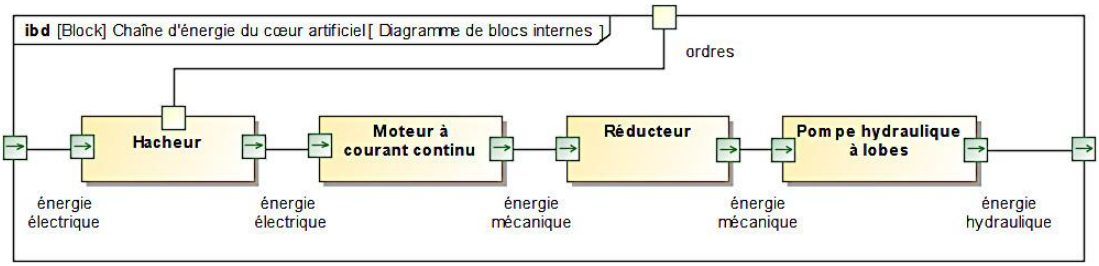
- ports modélisant les flux MEI (hors informations logiques) ;
- ports modélisant des services (informations logiques).

Avec ce type de diagramme, on peut, comme pour le diagramme de définition de blocs, 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(2).

(2) Grâce aux logiciels dédiés au langage SysML, on connecte ensuite les différents diagrammes entre eux. Certains blocs sont liés à d'autres diagrammes qui viennent détailler leurs contenus.

Exemple : Diagramme IBD partiel du cœur artificiel



3 Chaîne fonctionnelle

3.1 Energie et puissance

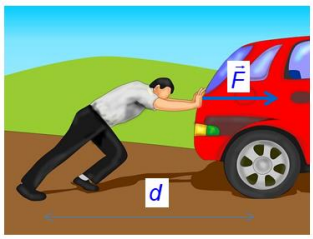
L'énergie et la puissance sont deux notions qui, bien que liées, sont différentes.

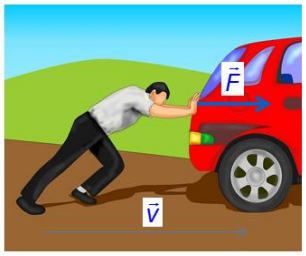
Exemple

Pour déplacer la voiture de masse m sur une distance d, il faut fournir une certaine quantité d'énergie *E* (ou un certain travail *W*).

Cette quantité d'énergie à fournir est la même quelle que soit la vitesse de déplacement.

Plus la vitesse de déplacement de la voiture est grande, plus la puissance fournie instantanément est grande, et plus vite la voiture sera déplacée.





Le travail ou l'énergie représente **ce qu'il faut fournir globalement à un système pour l'amener d'un état initial à un état final**. Les moyens utilisés, le temps nécessaire ou la manière dont le chemin est parcouru entre ces deux états n'ont pas d'importance.

L'unité dans le système international est le **joule** (J).

1 J = 1 N.m = 1 kg levé de 10cm, ou 100 g levé de 1 m.

1 kJ = énergie nécessaire à un enfant (30 kg) pour monter un étage (environ 3 m).

8,6 kJ = énergie stockée dans une pile LR06 AA rechargeable (1,2 V 2 Ah).

50 kJ = énergie dégagée par la combustion d'un gramme d'essence.

1,7 MJ = énergie stockée dans une batterie de voiture courante (12 V 40 Ah).

1,8 GJ = énergie contenue dans un réservoir moyen (50 litres) d'essence.

(1) La puissance d'un moteur est sa capacité à convertir de l'énergie.

La puissance(1) caractérise le **débit d'énergie** fourni à chaque instant.

Elle **ne dépend ni de l'état initial ni de l'état final** du système, mais permet de décrire les flux d'énergie entre ces deux états.

C'est donc une **grandeur instantanée**.

L'unité dans le système international est le **watt** (W) (**1 W= 1 J.s^{-1}**)

NB : dans le domaine automobile, 1 cheval = 736W

6 mW = puissance d'une diode électroluminescente témoin, rouge standard (1,8 V 20 mA).

100 W = puissance moyenne approximative utilisée par un corps humain au repos.

150 W = puissance de sortie d'un panneau solaire photovoltaïque d'un mètre carré en plein soleil.

400 W = puissance typique d'un PC.

2 kW = puissance d'un radiateur électrique.

3 kW = puissance d'une machine à laver le linge.

40 kW (55 ch) à 225 kW (306 ch) = puissance de sortie approximative des automobiles (750 ch pour une formule 1 !)

500 kW = puissance nominale d'une éolienne avec un rotor de 40 m de diamètre, et un vent de 43 km/h (12 m/s).

9,1 MW = puissance de sortie mécanique d'un TGV duplex alimenté en 25 kV alternatif.

50 MW = puissance consommée par les serveurs de Google.

117 MW = puissance totale (propulsion et besoins divers) du paquebot Queen Mary 2.

240 MW = puissance de l'usine marémotrice de la Rance en France.

1 GW = puissance électrique moyenne d'un réacteur nucléaire d'une centrale nucléaire moderne.

1,6 GW = puissance électrique d'un réacteur pressurisé européen (EPR).

101,6 GW = pic de consommation électrique enregistré en France le 8 février 2012 à 19h00.

136,3 GW = capacité totale installée d'EDF, premier producteur mondial, en 2010.

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 elle est appelée **flux** et notée *f*, l'autre est appelée **effort** et notée *e*.

On a alors : $P(t) = e(t).f(t)$ ou $P(t) = \vec{e}(t).\vec{f}(t)$

Ces deux termes sont génériques. Le tableau suivant précise l'effort et le flux dans les domaines usuels :

Puissance	Grandeur effort *e(t)*	Grandeur flux *f(t)*
électrique	tension *u(t) en V*	intensité *i(t) en A*
mécanique(1) **de translation**	force *F(t) en N*	vitesse linéaire *V(t) en m/s*
mécanique de rotation	couple(2) *C(t) en N.m*	vitesse angulaire *ω(t) en rad/s*
hydraulique(3) **ou pneumatique**(4)	pression *Δp(t) en Pa*	débit volumique $q_v(t)$ en m^3/s

La puissance est le produit des grandeurs effort et flux :

1 W = 1 J/s = 1 V.A = 1 N.m/s =1 Pa.m3/s

(1) La mécanique est une branche de la physique qui étudie les mouvements et les déformations. Ici on parle de puissance mécanique pour désigner la puissance d'un solide.

mêkhanḗ, invention ingénieuse, dispositif

(2) Couple : effort tournant

copula, lien

(3) Hydraulique : liquide, en général de l'huile

hudôr, eau

aülos, tuyau

(4) pneumatique : gaz (air comprimé)

pneumaticus, relatif à l'air

Puissance mécanique de rotation

Le couple C(t) désigne le modèle associé à un effort tournant, en [Nm].

Par exemple, le couple du cycliste sur le vélo, ou le couple de la perceuse sur la vis.

La vitesse angulaire est notée ω(t) définit la dérivée de la position angulaire θ(t).

dérivée de la position angulaire θ(t).

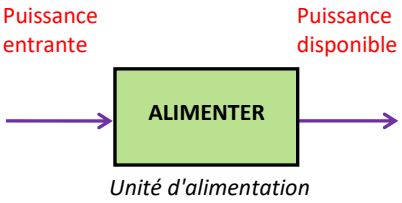
La **puissance nominale** d'un moteur indiquée sur sa fiche signalétique est la puissance à laquelle le moteur peut tourner **en permanence sans surchauffer.**

Un moteur peut fournir **temporairement** une puissance **plus importante que sa puissance nominale**, mais il devra délivrer **moins de puissance** ensuite le temps de refroidir.

3.2 Chaîne de puissance

Unité d'alimentation

Fonction : **alimenter** en puissance la chaîne de puissance **aux besoins de l'actionneur**.

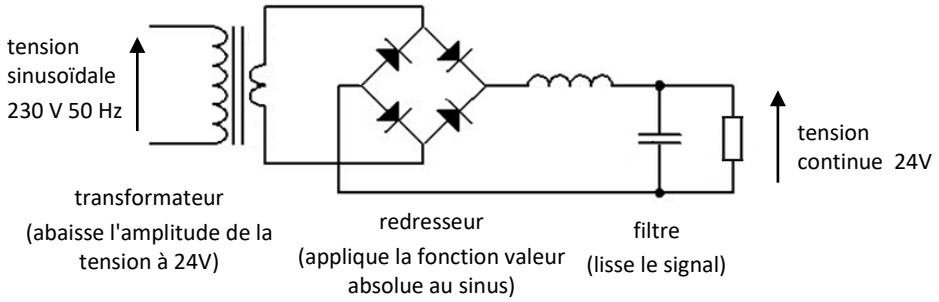


Transformateur

AC-DC Onduleur

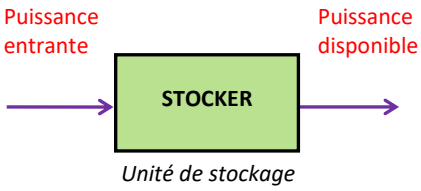
Unité de conditionnement pneumatique

NB : Pour passer d'un courant alternatif 230V 50Hz, à un courant 24V continu, on utilise l'alimentation continu suivante :



Unité de stockage

Fonction : **stocker** la puissance en vue de rendre le système autonome temporairement.



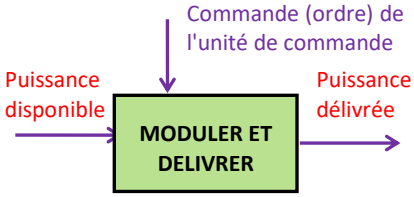
Batterie

Réservoir pneumatique

Ressorts

Pré-actionneur

Fonction : **délivrer et/ou moduler**[1] sur ordre de l'unité de commande, la puissance utile aux actionneurs.



(1) Délivrer signifie "tout ou rien", on laisse passer la puissance ou pas.
Moduler signifie que l'on fait varier l'amplitude du signal.

Carte de puissance

Contacteur

Variateur

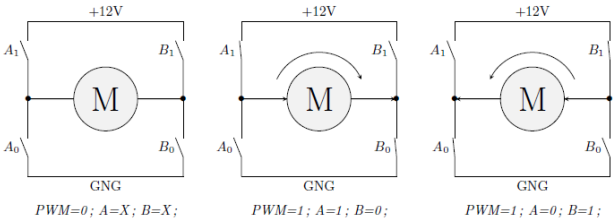
Distributeur pneumatique

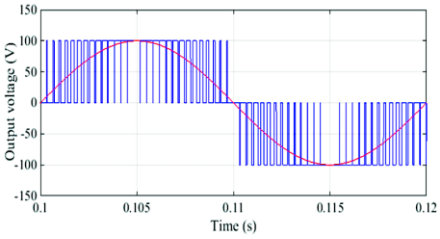
Certains pré-actionneurs tels que **relais, contacteur, distributeur** sont dits « **tout ou rien** ». Ils jouent le rôle d'interrupteur et **délivrent** la puissance à l'actionneur.

Les autres pré-actionneurs tels que **variateur (hacheur), carte de puissance** laissent passer seulement une partie de la puissance disponible. Ils **modulent** la puissance délivrée.

Un **hacheur** délivre au moteur une tension en créneau dite "hachée" et appelée **PWM** (Pulse Width Modulation) ou MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion).

Le moteur, situé après le hacheur, et qui a un temps de réponse beaucoup plus grand, perçoit alors cette tension hachée PWM comme une tension continue de valeur moyenne.





(1) Dans le domaine de la mécanique, on utilise le mot "convertir" lorsque l'on change la nature de la puissance, par exemple d'électrique vers mécanique. On n'utilisera pas le mot transformer qui n'indique pas un changement de nature, comme par exemple dans un transformateur électrique.

(2) On parle de moteur lorsque la course n'est pas limitée.

movere, mouvoir

(3) On parle de vérin lorsque la course de l'actionneur est limitée.

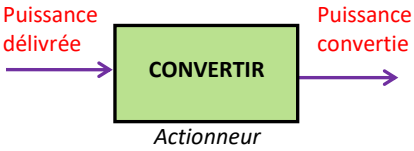
veruina, broche

Voir les animations sur https://sciencesindustrielles.com/glossary/verin

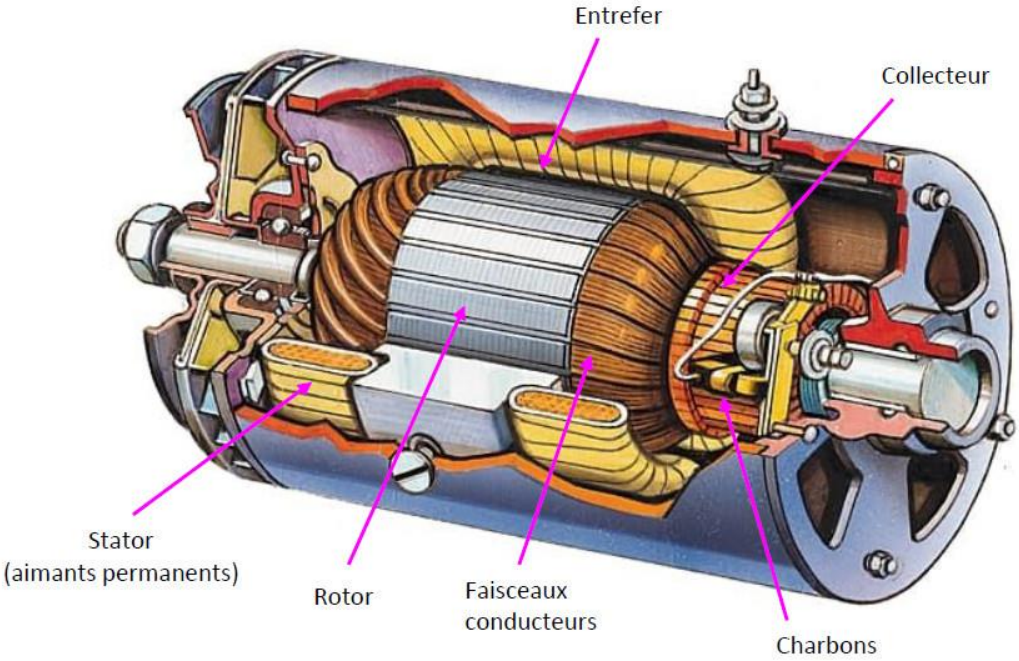
(4) https://sciencesindustrielles.com/glossary/pompe

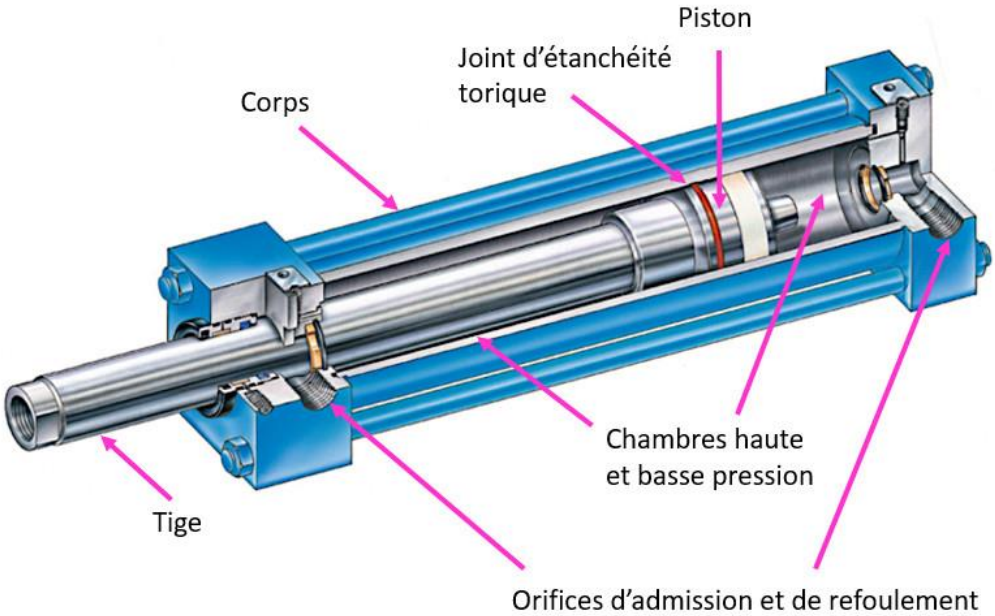
Actionneur

Fonction : **convertir**(1) la puissance délivrée en puissance d'un autre type, souvent en mécanique de translation ou de rotation.



Moteur(2) à courant continu | Moteur asynchrone | Vérin(3) pneumatique | Vérin hydraulique | Pompe(4) hydraulique





Un **moteur électrique convertit** une puissance électrique en puissance mécanique de rotation.
Une **pompe hydraulique convertit** une puissance mécanique de rotation en puissance hydraulique.
Un **vérin hydraulique convertit** une puissance hydraulique en puissance mécanique de translation.

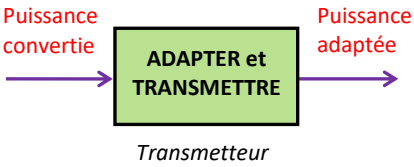
(1) Le terme mécanisme est synonyme du terme transmetteur.

Voir les animations sur https://sciencesindustrielles.com/glossary/transmetteur

(2) Adapter signifie que l'on change les caractéristiques de la puissance, le mot transmettre signifie que la puissance mécanique se propage.

Transmetteur[1]

Fonction : **adapter et transmettre**[2] la puissance convertie par l'actionneur pour la rendre utilisable par l'effecteur.



Engrenage

Poulie-courroie

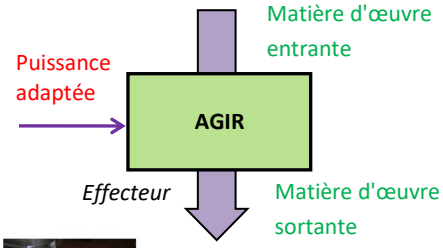
Vis-écrou

Pignon-crémaillère

Pignon-chaîne

Effecteur

Fonction : **agir sur la matière d'œuvre** afin de lui apporter une **valeur ajoutée** pour la déplacer ou la transformer.



Pince

Tapis roulant

Préhenseur

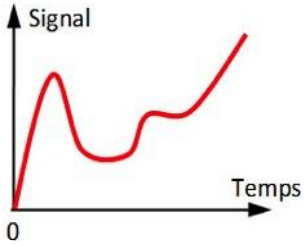
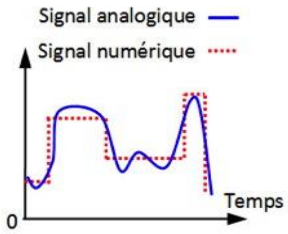
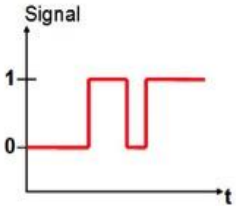
Outil d'usinage

Roue

3.3 Chaîne d'information

Signal analogique, numérique, logique

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

Type	Forme du signal	Exemple
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).		

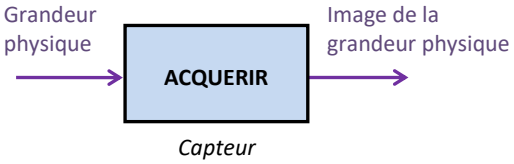
(1) Dans la famille des capteurs, on distingue ;

*- les **détecteurs** qui délivrent un signal logique*

*- les **codeurs** qui délivrent un signal numérique*

*- les **capteurs** qui délivrent un signal analogique*

Capteur[1]



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

Lorsque c'est nécessaire, il faut associer un codeur pour convertir le signal analogique, issue du capteur ou de l'IHM, en signal numérique utilisable par l'unité de commande. C'est la fonction du bloc « CODER ».

Détecteur à effet Hall (capteur de proximité TOR)

Détecteur photoélectrique (capteur de proximité TOR)

Détecteur magnétique ILS (capteur de proximité TOR)

Accéléromètre (capteur d'accélération)

Génératrice tachymétrique (capteur de vitesse)

Potentiomètre linéaire[2] (capteur de position linéaire)

Potentiomètre rotatif (capteur de position angulaire)

Codeur incrémental (capteur de position angulaire)

Jauge de déformation[3] (capteur de force)

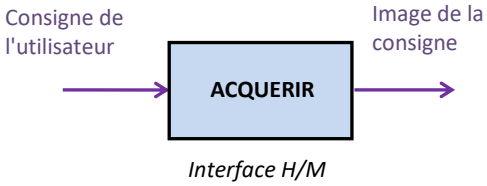
Pressostat (capteur de pression)

(2) Un potentiomètre est une résistance variable. Il mesure une position. Si on l'associe à un ressort l'ensemble peut mesurer une force.
$F = kx$

(3) 👁

https://sciencesindustrielles.com/glossary/capteur-jauges-de-deformation

Interface homme - machine (IHM)



Fonction : **acquérir** la consigne d'un utilisateur en une image exploitable par l'unité de commande.

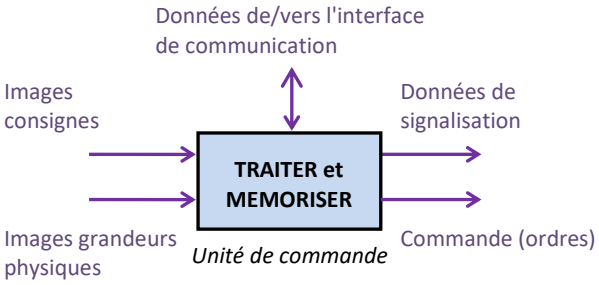
Bouton poussoir

Potentiomètre

Clavier joystick

Dans la chaîne d'information, les signaux sont souvent sous forme électrique. La tension vaut de 3 à 24 V.

Unité de commande



Fonctions : **traiter**, à l'aide d'un programme implanté en mémoire, **les informations** en provenance :

- des capteurs ;
- et de l'interface H/M ;

afin de :

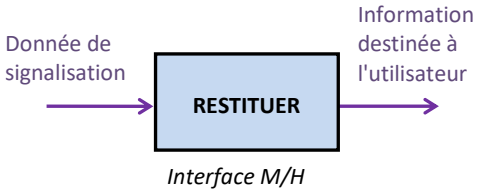
- **commander** le pré-actionneur ;
- **commander des signalisations à l'interface M/H.**

NB : Ce constituant peut généralement commander plusieurs chaînes de puissance simultanément.

Automate programmable

Micro-controleur

Interface machine - homme (IMH)



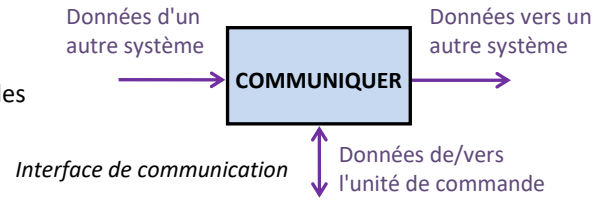
Fonction : **restituer** des informations à l'utilisateur.

Voyant

Alarme sonore

Ecran

Interface de communication



Fonction : **communiquer** 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.

3.4 Activité

Pour répondre aux exigences du cahier des charges **un système réalise une ou plusieurs activités** de manière successive ou simultanée.

Exemple :

Un ouvre portail a une seule activité : ouvrir/fermer le vantail.

Un robot aspirateur autonome a plusieurs activités : se déplacer ; aspirer ; brosser.

3.5 Chaîne de puissance et chaîne d'information

Le diagramme **Chaîne de puissance et chaîne d'information** est un diagramme **fonctionnel** et **structurel**. Il présente par une **chaîne fonctionnelle** une relation entre les **constituants internes** avec leur **fonction** dans la réalisation d'**une activité** particulière du système.

Une **chaîne fonctionnelle** met en œuvre une **unique activité**.

On appelle **matière d'œuvre** d'un système ce sur quoi agit le système.

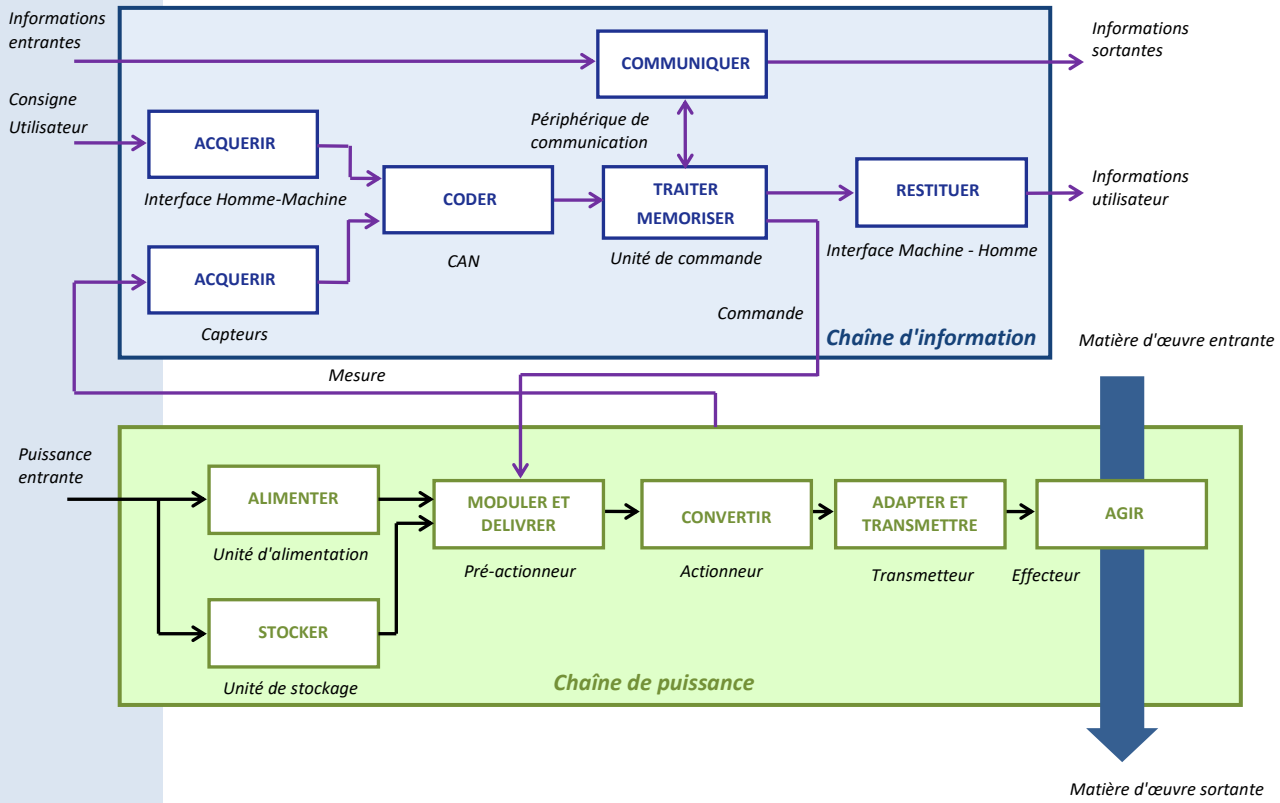
On appelle **valeur ajoutée** la différence entre matière d'œuvre sortante et matière d'œuvre entrante.

Une **chaîne de puissance** est un ensemble organisé de composants dont le rôle est de convertir un ordre émis par la partie commande en effet sur la matière d'œuvre.

Une **chaîne d'information** est un ensemble organisé de composants dont le rôle est de prélever des grandeurs physiques sur la partie opérative ou sur l'environnement et de les convertir en signaux interprétables par la partie commande.

La chaîne de puissance et d'information comporte 5 flux : de **matière d'œuvre**, de **puissance**, d'**information**, de **mesure** et de **commande**.

Le diagramme ci-dessous représente la structure générique des chaînes fonctionnelles :



Cas général d'une chaîne de puissance et d'information

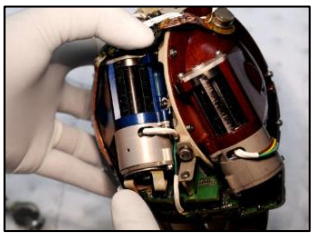
Chaque constituant de la chaîne fonctionnelle est associé à une **fonction** et à une **famille de constituants**.

Pour un système donné et une activité donnée :

- les noms des familles de constituants sont à remplacer par les **noms des constituants** ;
- le **type de puissance**, électrique, mécanique, hydraulique est **à préciser** ;
- les **grandeurs physiques acquises** par les capteurs sont **à préciser** ;
- toutes les **fonctions** ne sont pas nécessairement présentes, et certaines peuvent apparaître plusieurs fois. Le squelette des chaînes fonctionnelles est **à adapter**.

Dans la chaîne d'information circule une **basse puissance**.
Dans la chaîne de puissance circule une **haute puissance**.

Exemple : Cœur artificiel. Activité étudiée : pomper alternativement le sang



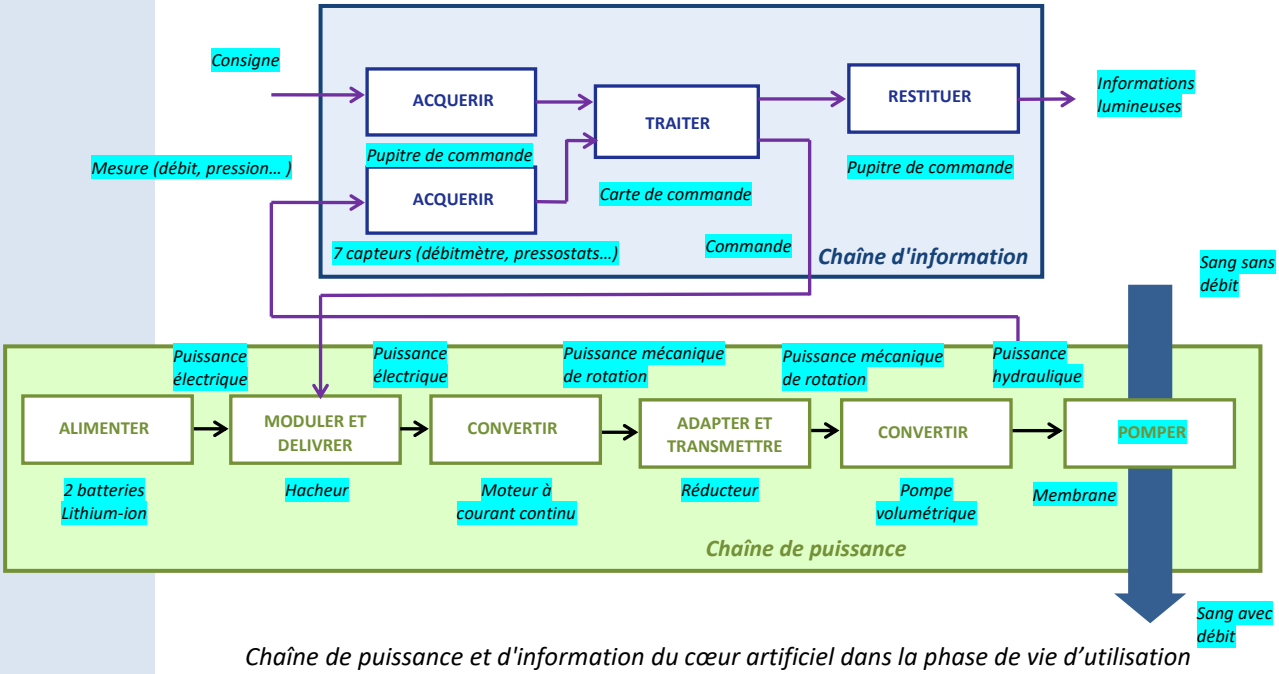
En dessous de chacun des ventricules, de l'huile de silicone exerce une pression sur les **membranes**. Pour chacun des ventricules, la **pompe volumétrique** aspire et rejette alternativement le fluide hydraulique suivant le sens de rotation de l'engrenage intérieur. Celle-ci est entraînée par un **moteur à courant continu** et un **réducteur**. Au final, la fluctuation de pression sur les membranes permet de remplir et vider alternativement les ventricules.

7 capteurs (débitmètre, pressostats…) assurent l'asservissement en pression et débit des motopompes volumétriques alternatives via un microprocesseur. **2 batteries Lithium-ion** externes d'une autonomie totale de 12h alimentent le système en puissance électrique. La **carte électronique** commande un **hacheur** qui va alimenter la motopompe à engrenage. Enfin, un **pupitre de commande**, permet à l'utilisateur d'envoyer des **consignes** au système, et de restituer des **informations lumineuses**.

Dans cette aventure médico-industrielle, il a fallu également concevoir de nouveaux bio-matériaux, la commande électronique ainsi que des algorithmes C++ pour simuler le fonctionnement de la circulation sanguine.

Questions pour comprendre le fonctionnement du système :

- Quelle est la matière d'œuvre entrante et sortante ? Le sang sans/avec débit.....
- Quelle est la puissance d'alimentation ? La puissance électrique.....
- Quel constituant convertit cette puissance ? Le moteur à courant continu.....
- Quel constituant transmet la puissance mécanique ? Le réducteur.....
- Quels constituants acquièrent la pression et le débit ? Les capteurs.....
- Quel constituant traite l'information ? La carte électronique.....
- Quel constituant restitue les informations à l'utilisateur ? Le pupitre de commande.....



Chaîne de puissance et d'information du cœur artificiel dans la phase de vie d'utilisation

QUESTIONS DE DEBUT DE COURS

- indiquer les différents flux échangés dans un système complexe pluritechnologique ;
- donner les différentes phases du cycle de vie d'un système ;
- indiquer les informations contenues dans le diagramme des cas d'utilisation (uc) ;
- indiquer les informations contenues dans le diagramme des exigences (req) ;
- proposer un exemple différent de ceux vus en classe précisant la notion de critère et de niveau d'une exigence ;
- donner le nom du document dans lequel sont inscrites les performances attendues d'un système pour ces différents modes ou phases d'utilisation ;
- indiquer les informations contenues dans le diagramme de définition de blocs (bdd) ;
- indiquer les informations contenues dans le diagramme de blocs internes (ibd) et qui n'apparaissent pas dans le diagramme de définition de blocs ;
- indiquer les ports qui ne possèdent pas de flèche dans un diagramme de blocs internes (ibd).

- proposer un exemple différent de ceux vus en classe précisant la notion d'activité ;
- définir l'énergie, la puissance, ainsi que leur unité ;
- donner les valeurs d'énergie et de puissance de 3 systèmes ;
- donner les grandeurs efforts et flux, ainsi que leur unité, pour les différents types de puissance ;
- donner les 3 types de flux d'information, et préciser leur différence ;- combien de chaîne fonctionnelle possède un système à 3 activités ?
- donner la structure générale des chaînes de puissance et d'information en précisant :
    - la fonction, la famille (pré-actionneur, …), et quelques exemples de constituants usuels,
    - les transferts de puissance entre les constituants,
    - les échanges d'information entre les constituants,
    - le flux de matière d'œuvre.