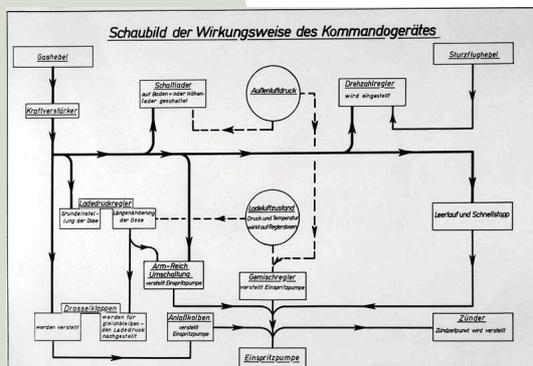


# Introduction aux systèmes



# Table des matières

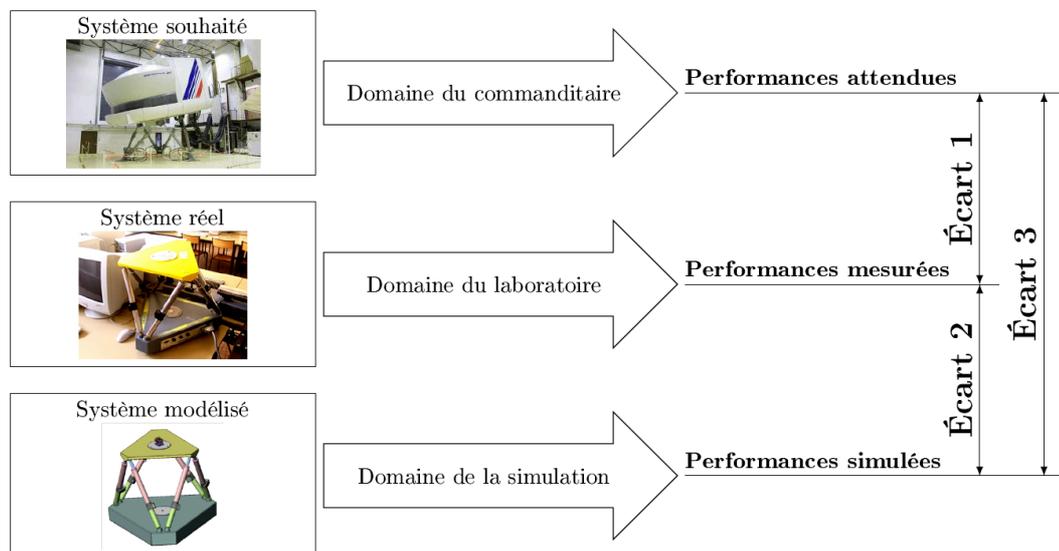
<b>I - Triptyque des Sciences de l'Ingénieur</b>	<b>3</b>
<b>II - Système industriel</b>	<b>4</b>
1. Notion de système.....	4
2. Classification des systèmes .....	4
3. Domaine d'application.....	5
4. Critères technico-économiques.....	5
<b>III - Ingénierie système</b>	<b>6</b>
1. Introduction.....	6
2. Cycle de vie .....	6
3. Expression du besoin .....	7
4. Le système et son environnement.....	7
4.1. Frontière d'étude.....	7
4.2. Services rendus.....	7
4.3. Exigences d'un système.....	7
5. Le cahier des charges fonctionnel.....	7
<b>IV - Chaîne fonctionnelle</b>	<b>9</b>
1. Schéma "topo fonctionnel" : fonctions génériques .....	10
2. Composants habituels de la chaîne d'information.....	10
2.1. Capteur .....	11
2.2. Interface Homme - Machine.....	11
2.3. Codeur .....	11
2.4. Partie commande .....	12
2.5. Interface Machine - Homme.....	12
2.6. Périphériques réseau.....	12
3. Composants habituels de la chaîne d'énergie.....	13
3.1. Unité de production locale .....	13
3.2. Solution de stockage.....	13
3.3. Unité d'alimentation.....	13
3.4. Préactionneur.....	14
3.5. Actionneur .....	14
3.6. Transmetteur.....	14
3.7. Effecteur .....	15

# I Triptyque des Sciences de l'Ingénieur

Le métier de l'ingénieur consiste à poser et à résoudre de manière performante et innovante des problèmes complexes de création, de conception, de réalisation ou de mise en œuvre de produits, de systèmes ou de services au sein d'une organisation compétitive. Il peut aussi éventuellement organiser leur financement ou leur commercialisation.

Les Sciences de l'Ingénieur apportent des méthodes et concepts permettant de répondre à ce besoin. En s'appuyant sur trois domaines d'étude décrits ci-après, les compétences développées durant ces deux années de CPGE seront de :

- **vérifier** les performances attendues d'un système complexe réel ;
- **prévoir** les performances d'un système à partir d'une modélisation ;
- **valider** une modélisation à partir d'expérimentations.



# II Système industriel

## 1. Notion de système

### Systeme

Az Définition

- **Association structurée** d'éléments, en relation entre eux
- Entité remplissant des **fonctions**
- **Répondant à un besoin**

Exemple

- **système d'équations** : plusieurs équations liées entre elles par des inconnues communes
- **système nerveux** : neurones et synapses qui assurent les connexions entre neurones



*Ensemble de pièces, robot humanoïde, solveur de Rubixcube*

Ce sont les **pièces** et les **relations entre les pièces** qui font un système.

## 2. Classification des systèmes

On distingue deux grandes catégories de systèmes :

- les systèmes **naturels** (système solaire)
- les systèmes **artificiels**, créés par l'Homme pour remplir une fonction précise. Ces derniers sont appelés **systèmes techniques ou industriels**.

Les systèmes industriels peuvent être de natures différentes, mais sont tous caractérisés par une **complexité forte** et une **interdisciplinarité**. La conception d'un système industriel ne doit pas être faite au hasard, au risque d'aboutir à un produit qui n'intéressera ou ne satisfera pas aux exigences des clients.

Pour faciliter l'étude d'un **système complexe**, il sera possible de le **décomposer en sous-systèmes plus simples**. Chaque sous-système pourra alors être considéré comme un système composé d'autres sous-systèmes en relation. Cette décomposition peut être effectuée jusqu'à aboutir aux **composants simples**

 Exemple

Véhicule



BdV, moteur, carrosserie...

Boîte de vitesses



carter, fourchettes, engrenages, roulements à billes...

Roulement à billes



bague intérieure, bague extérieure, billes, cages à billes, billes

*Exemples de sous-systèmes appliqués à une automobile*

### 3. Domaine d'application

Le **domaine d'application** est le milieu physico-économique dans lequel évolue le système et pour lequel il a été conçu. La majorité des domaines d'application seront rencontrés lors de l'étude des systèmes en TD et en TP au cours de l'année : aéronautique, robotique, domotique, médical, recherche, énergie, transport...

IRM, *médical*Voiture électrique, *transport*Robot, *conditionnement*

*Systèmes associés à leur domaine d'application*

 Remarque

Dans son domaine d'application, le système est dit système **industriel** ; dans le laboratoire de TP, pour une utilisation dans un cadre pédagogique, il sera appelé **système d'étude**.

### 4. Critères technico-économiques

Des critères technico-économiques sont pris en compte dès la phase de conception du système industriel. On utilise par exemple les critères de durée de vie, de coût, de fiabilité, de quantité, de faisabilité, d'impact environnemental...

#### Rasoir

 Exemple

Les **solutions techniques** qui permettent de satisfaire le besoin "se raser" sont très variées : du rasoir jetable une lame (peu cher et peu robuste) au rasoir électrique sans fil à trois têtes rotatives, diffuseur de crème hydratante, écran intégré (très cher et le client attend qu'il soit robuste).

# III Ingénierie système

## 1. Introduction

### Az Définition

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

Le développement d'un système technologique nécessite des **moyens de communication** précis, afin que **tous les intervenants se comprennent** (dans un contexte de travail collaboratif).

Il existe un grand nombre d'outils de communication normalisés, plus ou moins utilisés par les industriels, mais le langage **SysML** (*Systems Modeling Language*) tend à se généraliser actuellement.

Ce langage, normalisé par l'*Object Management Group* en 2008, est issu de la norme portant sur le génie logiciel **Unified Modeling Language 2**.

- Il permet d'**unifier la démarche** depuis le cahier des charges jusqu'à l'obtention détaillée d'un produit virtuel testable.
- C'est un langage **graphique** informatisé à base de **diagrammes**.
- Ceux-ci ne sont pas indépendants les uns des autres : les données qui les constituent sont des objets **informatiques** munis de propriétés.

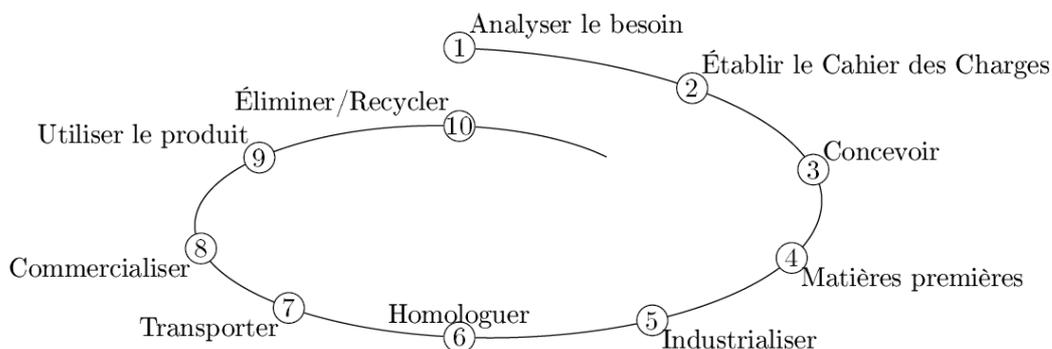
### Programme MPSI - PCSI

### Remarque

Le programme de MPSI et PCSI précise que vous devez être capable de **lire et comprendre** la plupart de ces diagrammes. Il n'est pas nécessaire de connaître toutes les subtilités d'écriture.

## 2. Cycle de vie

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.



*Quelques phases du cycle de vie d'un produit*

### 3. Expression du besoin

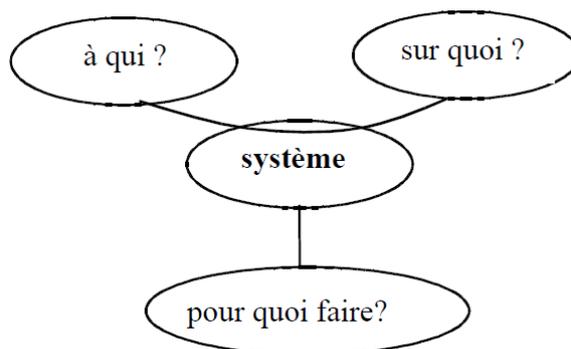
Lors du souhait de la création d'un système, trois questions de base se posent :

- **À qui** (quoi) rend-il service ?
- **Sur quoi** (qui) agit-il ?
- **Pourquoi**, dans quel but ?

#### Bête à cornes

🔗 Fondamental

La "bête à cornes" est un diagramme traditionnellement utilisé pour représenter cette **expression du besoin**.



### 4. Le système et son environnement

#### Introduction

Un système est toujours en **interaction avec son environnement**.

L'étude d'un système ne se limite donc pas à l'étude de ses composants et des interactions entre eux ; elle comprend également les relations avec les **éléments du milieu extérieur**. Ces derniers définissent alors les limites (**frontière**) du système.

#### 4.1. Frontière d'étude

Le *diagramme de contexte SysML* permet de visualiser clairement le système proprement dit et les éléments extérieurs. La **frontière d'étude** est clairement définie.

#### 4.2. Services rendus

Le *diagramme des cas d'utilisation SysML* fait le bilan des **services rendus** en autonomie par le système.

#### 4.3. Exigences d'un système

Le *diagramme des exigences SysML* regroupe tout ce que le système **doit respecter** par rapport à chacun des éléments du milieu extérieur.

### 5. Le cahier des charges fonctionnel

Les exigences du client sont rassemblées traditionnellement dans un cahier des charges fonctionnel (**CDCF**). C'est actuellement la norme européenne NF EN 16271 de février 2013 qui spécifie ce qu'est l'**expression fonctionnelle du besoin** et le **cahier des charges fonctionnel**.

## Cahier des charges fonctionnel

Az Définition

Document normalisé qui **formalise ce dont le client a besoin**, ainsi que l'ensemble de ses requêtes (appelées **critères**).

⚠ Attention

Le CDCF ne spécifie absolument pas de **solution technique** particulière.

## Qualification

Pour satisfaire les besoins du client, le système doit remplir des **fonctions**. Celles-ci sont exprimées en toutes lettres à **l'infinitif**. Afin de remplir chaque fonction, des **critères** doivent être spécifiés.

## Quantification

Les critères spécifiés doivent nécessairement être quantifiés sous la forme de **niveaux**, associés à une **flexibilité**.

👁 Exemple

Fonctions	Critères	Niveaux	Flexibilité
Permettre d'écouter de la musique numérisée	Capacité de stockage	1 à 2 Go	0
	Erreur de lecture	Aucune	0
Plaire à l'utilisateur	Coloris		0
	Formes arrondies	Rayons > 2 mm	2
	Présence de voyants	Oui	1
	Dimensions :		
	Hauteur	27,3 cm	1
	Largeur	41,2 cm	1
	Épaisseur totale	10,5 cm	1
	Esthétique	90% le trouve beau	0
	Masse	< 20 g	1
Résister au milieu ambiant	Humidité relative	5 à 95 %	1
	Température de stockage	-20 à 45°	1
Permettre de lire tout type de données	Format	MP3, WAV, AAC...	0
Être adapté à l'oreille de l'utilisateur	Volume sonore	Entre 0 et 60 dB	0

*Extrait du Cahier des Charges Fonctionnel de l'iPod*

# IV Chaîne fonctionnelle

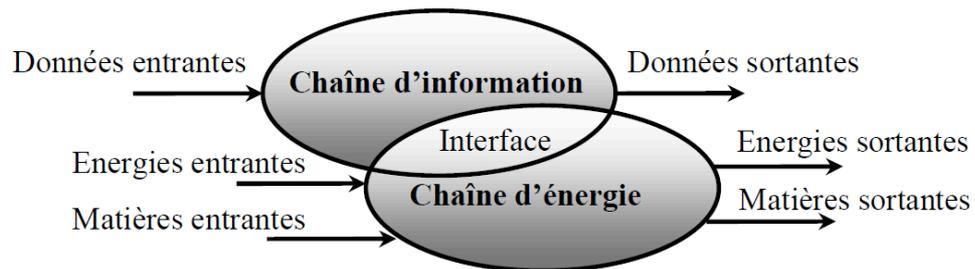
## Introduction

La fonction globale des systèmes technologiques est d'apporter une **valeur ajoutée** à un **flux** de **matière**, d'**énergie** ou de **données** (informations).

Pour chacun de ces trois types de flux, un ensemble de procédés est mis en œuvre.

On peut distinguer alors deux parties :

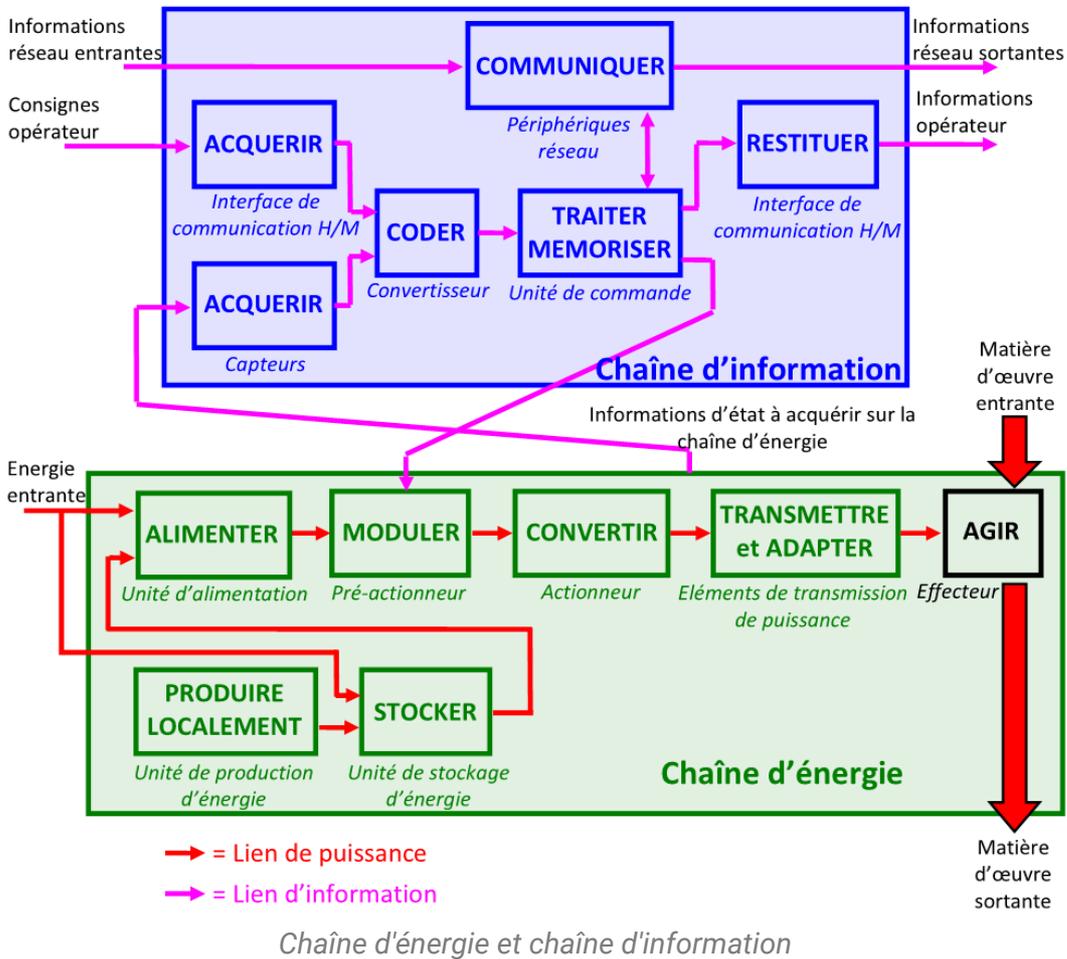
- la chaîne d'**énergie**, agissant sur les flux de matières et d'énergies
- la chaîne d'**information**, agissant sur le flux de données



# 1. Schéma "topo fonctionnel" : fonctions génériques

🔗 Fondamental

Chaque composant d'un système remplit une **fonction** élémentaire.



💬 Remarque

Ce modèle général constitue une **trame** permettant d'analyser **avec recul** des systèmes peu complexes.

Il faudra l'adapter à chaque système étudié, dans la mesure où toutes les fonctions élémentaires ne sont pas forcément présentes.

Dans le cas de systèmes très complexes, ce schéma devient illisible ; les diagrammes de définition de blocs et de blocs internes en SysML deviennent alors indispensables.

## 2. Composants habituels de la chaîne d'information

### Introduction

Les constituants de la chaîne d'information réalisent l'**acquisition**, le **codage** éventuel, le **traitement** et la **communication** des informations.

## 2.1. Capteur

Son rôle est de **prélever une grandeur physique** et d'**en produire une image** exploitable par la partie commande.



capteur de  
vitesse



capteur de  
pression



capteur  
d'effort



capteur de  
position linéaire



capteur de  
position angulaire  
(codeur)



capteur de  
présence  
électromécanique



capteur de  
présence  
photoélectrique



capteur de  
présence  
inductif



capteur de  
présence  
magnétique (ILS)

*Capteurs*

également : capteur d'accélération, capteur de température...

## 2.2. Interface Homme - Machine

Son rôle est de **traduire la consigne** d'un utilisateur **en un signal exploitable** par la partie commande.



bouton poussoir



potentiomètre



clavier  
joystick

*Interface H/M*

également : bouton coup de poing, interrupteur de position, écran tactile...

## 2.3. Codeur

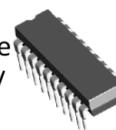
Son rôle est de **traduire** des informations de manière à ce qu'elles soient compréhensibles par la partie commande.



Solution en  
boîtier externe  
1 entrée / 1  
sortie



Solution  
module externe  
multi entrées /  
multi sorties



Solution  
composant  
électronique  
intégrable sur  
carte

*Convertisseur Analogique Numérique*

## 2.4. Partie commande

Son rôle est, à l'aide du programme implanté, de **traiter les informations** en provenance des capteurs et de l'interface H/M afin d'**émettre les ordres** destinés aux préactionneurs des différentes chaînes d'énergie.

Elle envoie aussi des **signalisations** à l'interface M/H qui seront traduites en signaux lumineux et/ou sonores à destination de l'opérateur.



automate programmable

micro-contrôleur

*Partie commande*

## 2.5. Interface Machine - Homme

Son rôle est de **permettre à l'opérateur d'être informé** sur l'état du système.



voyant

alarme sonore

écran

*Interface M/H*

## 2.6. Périphériques réseau

Leur rôle est d'échanger des informations avec d'autres systèmes (non humains)



Interface E/S bus

Carte réseau

## Conclusion

L'information envoyée par les capteurs ou l'interface H/M peut être :

- **logique** (0 ou 1), c'est le cas de détecteurs ou boutons poussoirs
- **analogique** (elle peut prendre une infinité de valeurs), c'est le cas de capteurs d'effort ou potentiomètres
- **numérique** (elle ne peut prendre qu'un nombre limité de valeurs distinctes), c'est le cas de codeurs

### 3. Composants habituels de la chaîne d'énergie

#### Introduction

Les constituants de la chaîne d'énergie **réalisent une action** à partir d'énergies disponibles.

#### 3.1. Unité de production locale

Au cas où elle ferait partie du système, son rôle est de **fournir une énergie** utilisable par celui-ci.



*Unité photovoltaïque, et groupe électrogène embarqué*

#### 3.2. Solution de stockage



Réservoir hydraulique   Supercondensateur   Ballon d'eau chaude   Batterie

#### 3.3. Unité d'alimentation

Son rôle est de préparer l'énergie entrante à son utilisation par le reste du système.



Transformateur



Régulateur pneumatique

#### Remarque

Contrairement au pré-actionneur, l'unité d'alimentation ne reçoit pas d'ordre de la partie commande pour distribuer l'énergie.

### 3.4. Préactionneur

L'énergie issue de la chaîne d'information est faible, insuffisante pour être utilisable directement par les actionneurs.

Le rôle du préactionneur est de **moduler**, sur ordre de la partie commande, **l'énergie utile et importante** aux actionneurs.



contacteur



variateur



distributeur pneumatique

Préactionneurs

⊕ Complément

Si l'actionneur qui suit dans la chaîne fonctionnelle est électrique, le préactionneur sera aussi électrique (contacteur ou « relais », variateur, hacheur, carte de puissance).

Si l'actionneur qui suit est pneumatique ou hydraulique, le préactionneur sera plutôt appelé **distributeur** (pneumatique ou hydraulique).

Certains préactionneurs (contacteur, distributeur) sont dits « tout ou rien », c'est-à-dire qu'ils jouent le rôle d'interrupteur de la chaîne d'énergie.

Les autres préactionneurs (variateur, hacheur, carte de puissance) laissent passer seulement une partie de l'énergie source, c'est-à-dire qu'ils régulent le débit d'énergie ; on parle alors de « préactionneur proportionnel ».

### 3.5. Actionneur

Son rôle est de **convertir l'énergie distribuée** en **énergie mécanique** (de translation ou de rotation)



moteur à courant continu



moteur asynchrone



vérin pneumatique



vérin hydraulique

Actionneurs

### 3.6. Transmetteur

Son rôle est d'**adapter** et de **transmettre l'énergie mécanique** délivrée par l'actionneur pour la rendre utilisable par l'effecteur.

## Sans transformation de mouvement



engrenage



poulie courroie

*Transmetteurs*

également : roue et vis sans fin, pignon - chaîne...

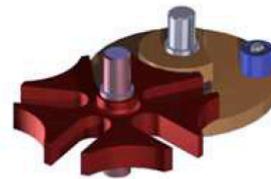
## Avec transformation de mouvement



vis-écrou



pignon-crémaillère



croix de malte

*Transmetteurs*

également : came, bielle - manivelle...

### 3.7. Effecteur

Son rôle est d'**appliquer l'énergie mécanique** à ce qui est manipulé ou modifié par le système (la "**matière d'œuvre**").

👁 Exemple

Doigts d'une pince, tapis roulant, outil d'un centre d'usinage, ventouse ou électro-aimant d'un système de préhension...