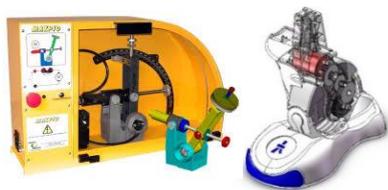


Analyser et décrire un système

Objectifs :

- ✓ Identifier le besoin et les exigences,
- ✓ S'approprier quelques outils de représentation,
- ✓ Décrire une activité à travers sa chaîne fonctionnelle

Sciences Industrielles de l'Ingénieur



Exemple de systèmes pluritechnologiques qui seront étudiés lors des travaux pratiques

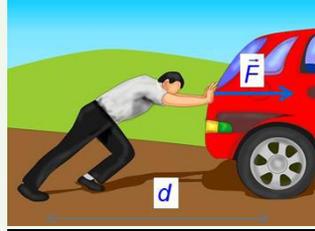
PLAN DU CHAPITRE

I. Les différents flux d'énergies	2
II. Les chaînes fonctionnelles	3
A. Description.....	3
B. Composant de la chaîne d'information.....	7
C. Les composants de la chaîne d'énergie.....	11
D. Applications.....	15

I. Les différents flux d'énergies

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

Exemple 1 : 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**.



Exemple 2 : Plus la **vitesse de déplacement** de la voiture est **grande**, plus la **puissance fournie** instantanément est **grande**, et plus vite la voiture sera déplacée.



Définition 1 – Energie : 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)**.

Quelques ordres de grandeurs :

- 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

Définition 2 – Puissance : La **puissance** 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)** ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$) (NB : dans le domaine automobile, 1 cheval = 736W).

Quelques ordres de grandeurs :

- 6 mW = puissance d'une diode électroluminescente témoin, rouge standard (1,8 V 20 mA)
- 150 W = puissance de sortie d'un panneau solaire photovoltaïque d'un mètre carré
- 400 W = puissance typique d'un PC
- 3 kW = puissance d'une machine à laver le linge

- 40 kW à 225 kW = puissance de sortie approximative des automobiles
- 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.
- 1 GW = puissance électrique moyenne d'un réacteur nucléaire d'une centrale nucléaire moderne.

Définition 3 : La puissance, notée P est une **grandeur scalaire**. Elle est toujours le **produit de deux grandeurs variables**, scalaires ou vectorielles, dépendant du temps. L'une d'entre elle est appelée **effort** et notée e , l'autre est appelée **flux** et notée f .

$$\text{On a alors : } P(t) = e(t) \cdot f(t)$$

Le tableau suivant précise l'effort et le flux dans des domaines particuliers :

Puissance	Grandeur effort $e(t)$	Grandeur flux $f(t)$
Electrique	Tension $u(t)$ en V	Intensité $i(t)$ en A
Mécanique de translation	Force $F(t)$ en N	Vitesse linéaire $V(t)$ en m/s
Mécanique de rotation	Couple $C(t)$ en N.m	Vitesse angulaire $\omega(t)$ en rad/s
Hydraulique et pneumatique	Pression $p(t)$ en Pa	Débit volumique $q_v(t)$ en m ³ /s

Tableau 1 : définition des puissances

II. Les chaînes fonctionnelles

A. Description

Un système automatisé est constitué d'une :

- **partie commande (PC) :** elle assure la **coordination des tâches** nécessaires pour **effectuer le processus** souhaité, le **pilotage** de la PO et l'échange d'informations vers l'utilisateur. Les **énergies manipulées** sont **faibles** (5V en électrique, 15 bars en hydraulique, ...)
- **partie opérative (PO) :** elle est la partie du système automatisé qui **agit directement sur la matière d'œuvre**. Elle regroupe l'ensemble des **moyens techniques** permettant d'apporter la **valeur ajoutée** en effectuant le processus de **transformation**. Les **énergies manipulées** sont souvent **élevées** (380V en électricité, 250 bars en hydraulique, ...)

Une **chaîne fonctionnelle** constitue l'**unité élémentaire de conception** et d'étude du fonctionnement d'un système automatisé. On peut modéliser les systèmes automatisés en mettant en évidence **2 chaînes fonctionnelles**, Figure 1 :

- **une chaîne d'information :** elle est constituée de l'ensemble des composants qui permettent la **gestion des informations** relatives au bon déroulement de la transformation de l'énergie, et à l'environnement extérieur à la chaîne fonctionnelle considérée
- **une chaîne d'énergie :** elle est constituée de l'ensemble des composants qui permettent la **transformation de l'énergie** nécessaire à l'apport de la valeur ajoutée sur la matière d'œuvre. Les deux chaînes sont toujours reliées entre elles.

Définition 4 – chaîne d'information : la chaîne d'information est constituée des éléments qui participent, pour la réalisation de l'activité étudiée, à l'**acquisition**, au **traitement** et à la **communication** des informations sous ses diverses formes.

Définition 5 – chaîne d'énergie : la chaîne d'énergie, ou de puissance est constituée des éléments qui participent, pour la réalisation de l'activité étudiée, au **stockage**, au **transport** et à la **transformation** de la puissance sous ses différentes formes.

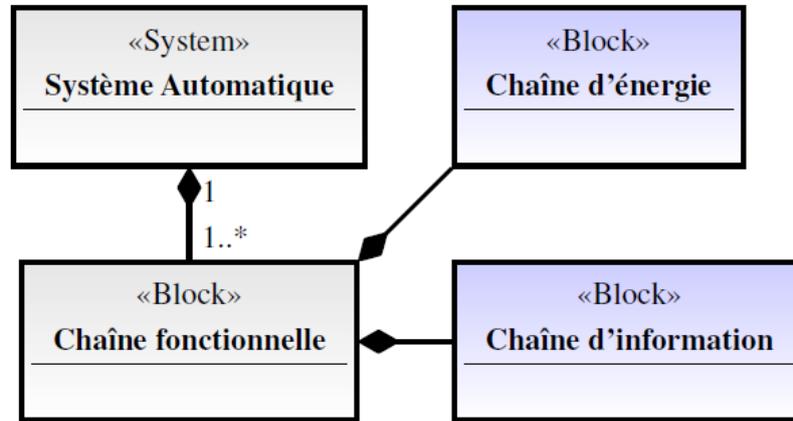


Figure 1 : diagramme de définition de blocs d'un système automatisé

Attention **une chaîne fonctionnelle** décrit **une seule activité**.

La chaîne d'information :

La chaîne d'information permet :

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

Elle est donc constituée des fonctions génériques, Figure 2 : **acquérir, coder, traiter, mémoriser, restituer et communiquer**.

Fonction	Nom	Description
Acquérir	Capteur – IHM d'entrée	Permet l'acquisition de grandeurs physique
Coder	Convertisseur	Convertit l'information pour la rendre exploitable par la partie commande du système
Traiter/Mémoriser	Unité de traitement	Exploite les données pour générer des ordres et des informations
Restituer	IHM de sortie	Restitue des informations à destination de l'utilisateur
Communiquer	Interface de communication	Communique les informations vers d'autres systèmes si nécessaire ainsi que les ordres envoyés à la chaîne d'énergie

Tableau 2 : Nom et description des fonction générique de la chaîne d'information

La chaîne d'énergie :

La chaîne d'énergie assure la **réalisation d'une fonction de service** dont les caractéristiques sont spécifiées dans le cahier des charges. C'est elle qui **agit** en fonction des ordres donnés par la chaîne d'information. **L'action à réaliser** impose un **flux d'énergie** que le système doit **transmettre** et **moduler** par sa commande. Elle est donc constituée des fonctions génériques, Figure 2 : **alimenter, stocker, moduler, convertir, transmettre et agir.**

Fonction	Famille	Description
Stocker	Unité de stockage	Stocke l'énergie d'entrée du système
Alimenter	Alimentation	Adapte, sans en changer la nature, l'énergie d'entrée
Moduler	Pré-actionneur	Module globalement l'énergie en fonction des ordres reçus de l'interface de communication
Convertir	Actionneur	Convertit l'énergie disponible en énergie utilisable par l'effecteur
Transmettre	Transmetteur	Adapte, sans en changer, la nature en sortie de l'actionneur à destination de l'effecteur
Agir	Effecteur	Agit directement sur la matière d'œuvre

Tableau 3 : Famille des constituants et description des fonction générique de la chaîne d'énergie

Construction de la chaîne fonctionnelle :

Une chaîne fonctionnelle comprend :

- Un **flux d'information** () au travers d'une chaîne d'information qui traite les informations provenant de l'utilisateur et de capteurs afin de définir les commandes aux pré-actionneurs
- Un **flux d'énergie** () au travers d'une chaîne d'énergie-puissance qui gère la conversion de puissance pour modifier la matière d'œuvre
- Un **flux de matière** () modifié par l'effecteur

Pour une activité donnée d'un système, il faudra renseigner sur la chaîne fonctionnelle :

- le nom des **constituants** (contacteur, moteur...) et non pas les familles des constituants ;
- le **flux d'énergie** (puissances électrique, mécanique de translation...) ainsi que les **grandeurs effort et flux** qui le caractérise (U, I, C...);
- les **grandeurs physiques** acquises (position, vitesse, ...) par les capteurs ;
- le **flux d'information** (analogique, numérique, logique) ;

Toutes les fonctions ne sont pas nécessairement présentes, et certaines peuvent apparaître plusieurs fois. Le squelette des chaînes fonctionnelles est donc à **adapter**.

L'ensemble de ces réponses peut être représenté sur un **schéma représentant deux chaînes**. L'une s'intéresse au flux d'information (la **chaîne d'information**), l'autre au flux d'énergie, la puissance (la **chaîne d'énergie**). Afin de représenter une chaîne fonctionnelle d'un système, on peut utiliser soit une **représentation spécifique**, Figure 2, un **digramme bdd**, Figure 3, ou un **diagramme ibd**, Figure 6.

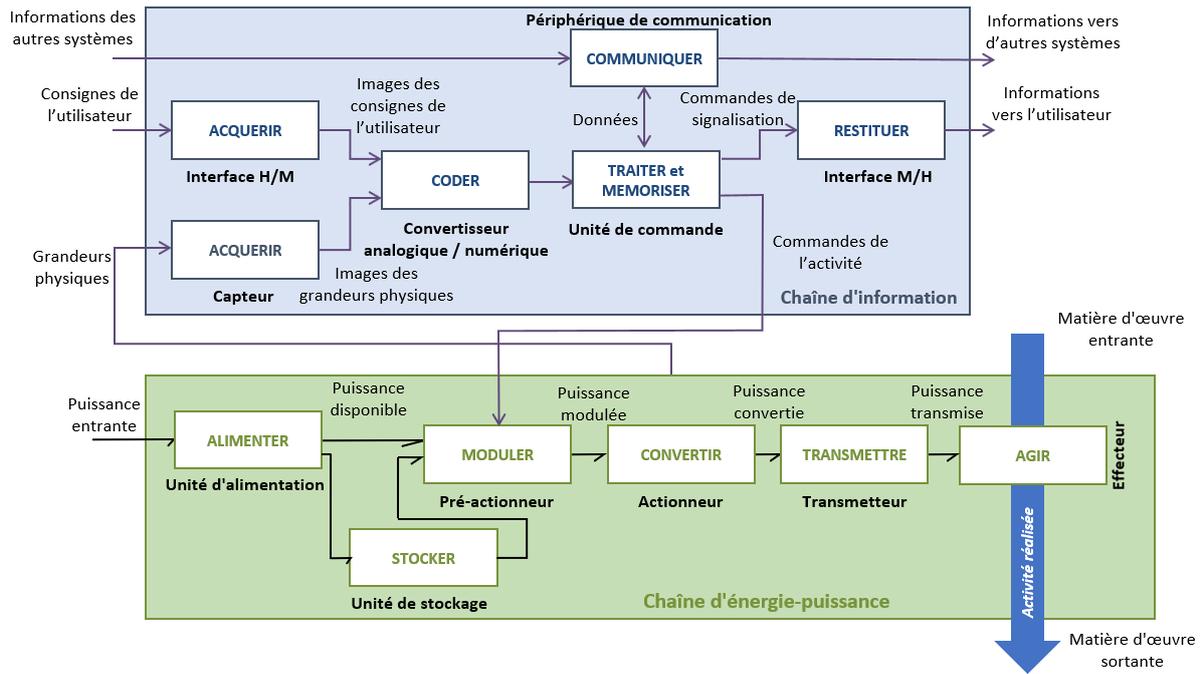


Figure 2 : Schéma spécifique de la chaîne fonctionnelle d'un système

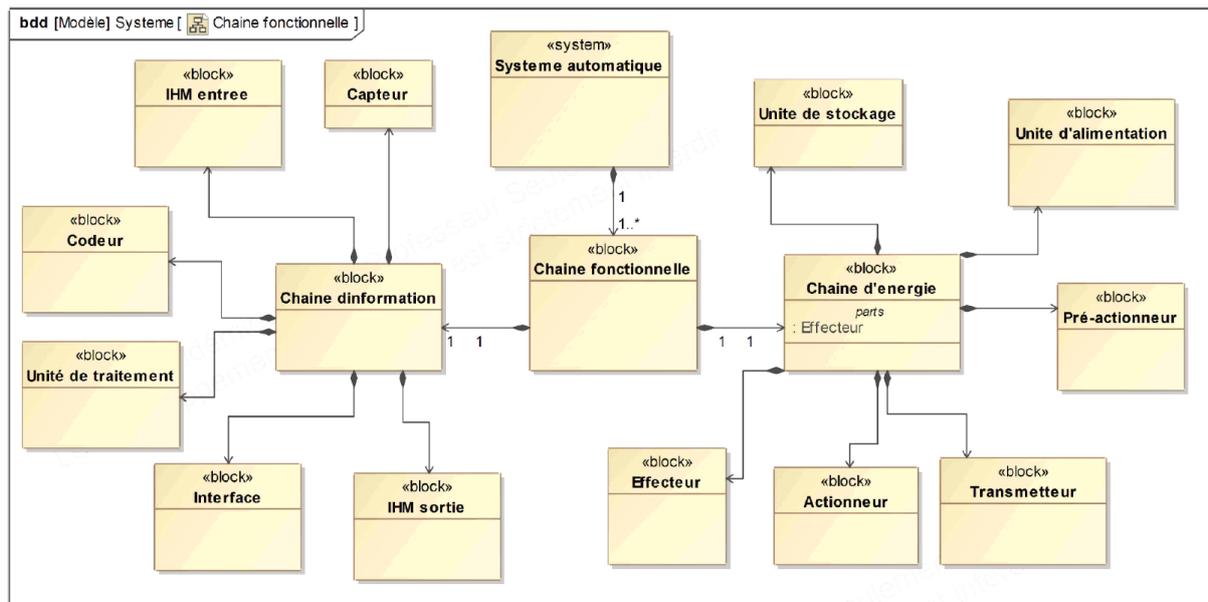


Figure 3 : diagramme bdd de la chaîne fonctionnelle d'un système

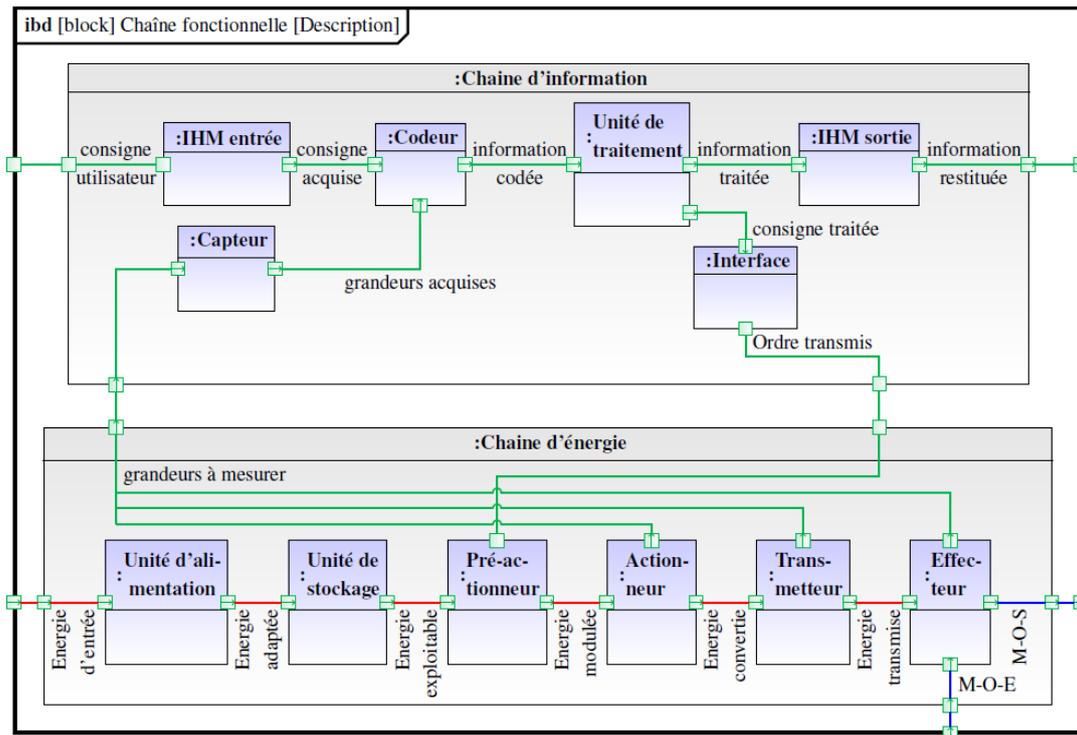


Figure 4 : diagramme ibd de la chaîne fonctionnelle d'un système

B. Composant de la chaîne d'information

1. Acquérir : IHM et capteurs

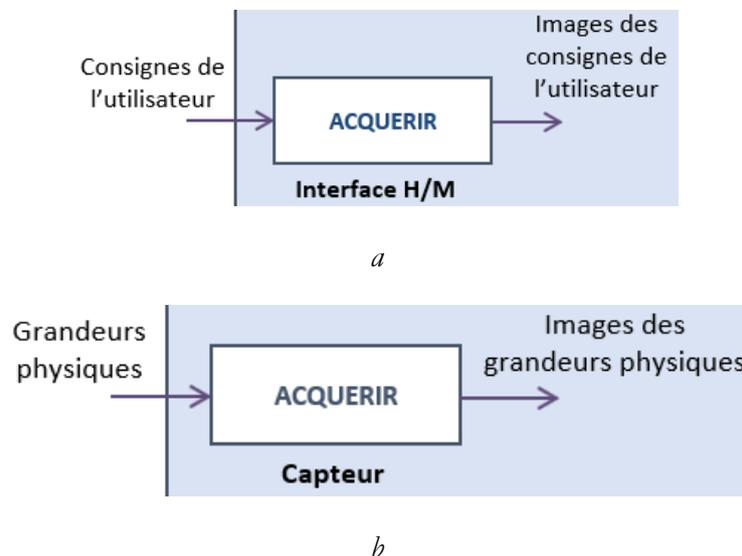


Figure 5 : schématisation de la fonction « Acquérir » via un IHM (a) ou un capteur (b)

Fonctions :

- Acquérir une consigne de l'utilisateur et en produire une image exploitable
- Acquérir une grandeur physique et en produire une image exploitable.

Exemple	Image	Description
Potentiomètre rotatif		La tension de sortie est proportionnelle à la rotation du potentiomètre
Accéléromètre		Renvoie une tension proportionnelle à l'accélération mesuré suivant les 3 directions de l'espace
Génératrice tachymétrique		Permet de mesurer la vitesse de rotation d'un composant. La tension est proportionnelle à la vitesse mesurée
Codeur incrémental		Ce capteur permet de mesurer la position angulaire d'un composant. Il nécessite un traitement de l'information pour que la position soit obtenue
Capteur de proximité capacitif		Permet de détecter la présence d'un objet proche du capteur, de tout type et sans contact
Capteur de proximité inductif		Permet de détecter la présence d'un objet proche du capteur sans contact (le matériau de l'objet doit être conducteur)
Capteur mécanique		Permet de détecter un objet par contact. Il fonctionne comme un bouton poussoir
Capteur à ultrason		Permet de mesurer la distance d'un objet au capteur à l'aide d'ultrason.
Luxmètre		Permet de mesurer l'intensité lumineuse
Capteur d'effort		Mesure un effort à partir de la déformation du corps du capteur
Capteur de pression		Permet de mesurer la pression d'un fluide
Clavier et souris		Composant de l'IHM

Tableau 3 : Exemple de composants de la fonction « Acquérir »

2. Coder : convertisseurs

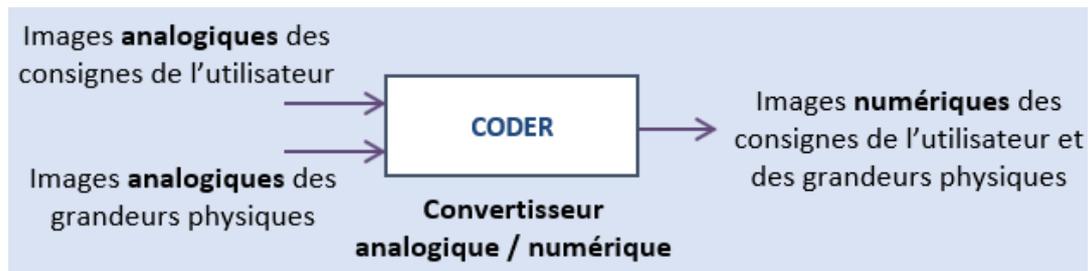


Figure 6 : schématisation de la fonction « Coder »

Fonction :

- **Coder les signaux analogiques en signaux numériques** utilisables par l'unité de commande, lorsque les images reçues sont analogiques...

Exemple	Image	Description
Convertisseur analogique/numérique (CAN)		Permet de convertir une grandeur analogique en une grandeur numérique codée sur plusieurs bits
Convertisseur numérique/analogique (CNA)		Permet de convertir une grandeur numérique, codée sur plusieurs bits en une grandeur analogique (la plupart du temps une tension)

Tableau 4 : Exemple de composants de la fonction « Coder »

3. Traiter et Mémoriser : unités de commandes

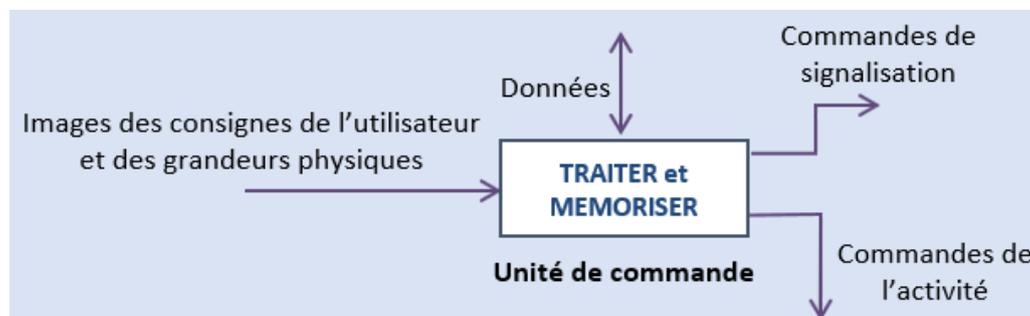


Figure 7 : schématisation de la fonction « Coder »

Fonction :

- **Traiter et mémoriser**, à l'aide d'un programme implanté en mémoire, les informations en provenance des capteurs et de l'interface H/M afin de commander l'activité aux pré actionneurs et de commander des signalisations à l'interface M/H

Exemple	Image	Description
Filtres analogiques		Réalisé à l'aide d'un ensemble de composant physique (résistances, inductances, ...), il permet de modifier une grandeur analogique en vue d'un traitement ultérieur

Filtres numériques		Réalisé à l'aide de composants dédiés ou d'un algorithme, il permet de modifier une grandeur numérique en vue d'un traitement ultérieur
Ordinateur		Permet le traitement automatique de l'information
Microcontrôleur		Permet de traiter l'information pour un système particulier (contrôle de robot, localisation GPS, ...)

Tableau 5 : Exemple de composants de la fonction « Traiter »

Exemple	Image	Description
Mémoire vive (RAM)		Permet l'accès rapide aux données pendant leur traitement. Le contenu est perdu à l'extinction de l'ordinateur
Mémoire morte (ROM)		Permet de lire des données et les conserve en mémoire, même après extinction de l'ordinateur
Clé USB, carte SD, ...		Stocke l'information

Tableau 6 : Exemple de composants de la fonction « Mémoriser »

4. Restituer : Interfaces M/H



Figure 8 : schématisation de la fonction « Restituer »

Fonction :

- **Informé l'utilisateur** sur l'état du système (en messages écrits ou en signaux lumineux et/ou sonores).

Exemple	Image	Description
Ecran, enceintes, ...		Permet de restituer les informations à destination de l'utilisateur, ou d'un autre système

Tableau 7 : Exemple de composants de la fonction « Restituer »

5. Communiquer : périphériques de communication



Figure 9 : schématisation de la fonction « Communiquer »

Fonction :

- Communiquer avec d'autres systèmes

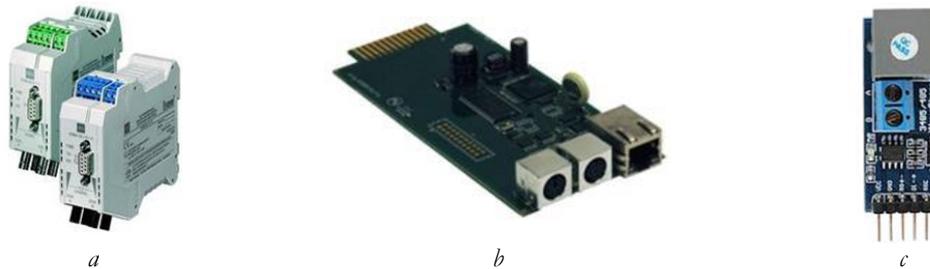


Figure 10 : Exemples de composants de la fonction « Communiquer » - Interface E/S bus (a), carte réseau (b) et émetteur/récepteur Wifi et Bluetooth (c)

C. Les composants de la chaîne d'énergie

1. Alimenter : unités d'alimentation :

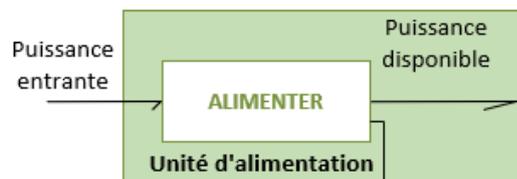


Figure 11 : schématisation de la fonction « Alimenter »

Fonction :

- Alimenter en puissance, la chaîne d'énergie au besoin de l'actionneur.

Exemple	Image	Description
Bloc d'alimentation / transformateur		Alimente le système en énergie électrique

Onduleur		Permet de convertir une tension continue en une tension alternative
Manostat		Permet de régler la pression au sein d'un circuit hydraulique ou pneumatique

Tableau 7 : Exemple de composants de la fonction « Alimenter »

2. Stocker : Unités de stockage



Figure 12 : schématisation de la fonction « Stocker »

Fonction :

- Stocker l'énergie en vue de rendre le système autonome temporairement.

Exemple	Image	Description
Batterie / piles		Stocke l'énergie électrique sous forme chimique
Volant d'inertie		Stocke l'énergie cinétique

Tableau 8 : Exemple de composants de la fonction « Stocker »

3. Moduler : pré-actionneurs

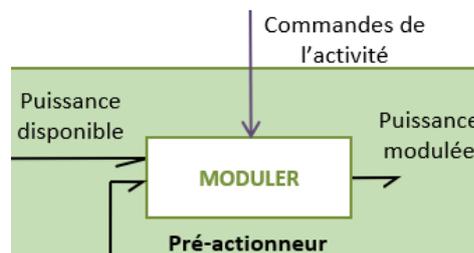


Figure 13 : schématisation de la fonction « Moduler »

Fonction :

- Moduler, sur commande de l'unité de commande, la puissance utile aux actionneurs.

Exemple	Image	Description
Hacheur		Distribue l'énergie électrique de la source à l'actionneur, en la modulant, sur ordre du module de traitement

<p>Distributeur pneumatique / hydraulique</p>		<p>Distribue l'énergie pneumatique / hydraulique de la source à l'actionneur en la modulant, sur ordre du module de traitement</p>
---	---	--

Tableau 9 : Exemple de composants de la fonction « Moduler »

4. Convertir : actionneurs



Figure 14 : schématisation de la fonction « Convertir »

Fonction :

- Convertir la puissance modulée en puissance d'un autre type, souvent mécanique de translation ou de rotation.

Exemple	Image	Description
Moteur électrique		Converti l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation
Moteur linéaire		Converti l'énergie électrique en énergie mécanique de translation
Vérin pneumatique / hydraulique		Converti l'énergie pneumatique / hydraulique en énergie mécanique de translation
Pompe hydraulique		Converti l'énergie mécanique en énergie mécanique hydraulique
Moteur hydraulique		Converti l'énergie hydraulique en énergie mécanique de rotation

Tableau 10 : Exemple de composants de la fonction « Convertir »

5. Transmettre : transmetteurs



Figure 15 : schématisation de la fonction « Transmettre »

Fonction :

- Transmettre la puissance convertie par l'actionneur pour la rendre utilisable par l'effecteur.

Exemple	Image	Description
Réducteur		Transmet l'énergie mécanique de rotation
Système poulie / courroie		Transmet l'énergie mécanique de rotation
Transmission par chaîne		Transmet l'énergie mécanique de rotation
Système vis / écrou		Transmet l'énergie mécanique de rotation en énergie mécanique de translation
Système bielle / manivelle		Transmet l'énergie mécanique de rotation en énergie mécanique de translation alternative

Tableau 11 : Exemple de composants de la fonction « Transmettre »

6. Agir : effecteurs

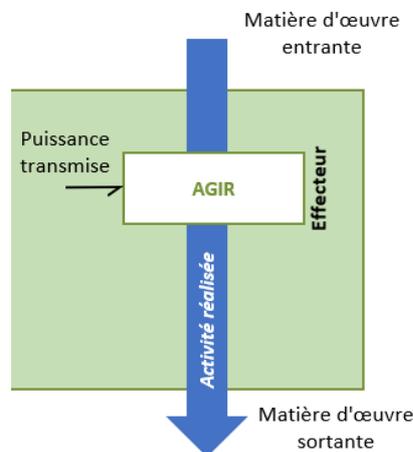


Figure 16 : schématisation de la fonction « Agir »

Fonction :

- Agir directement sur la matière d'œuvre pour la déplacer ou la transformer.

Exemple	Image	Description
Pince de robot		Agit sur la matière d'œuvre pour la saisir

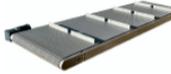
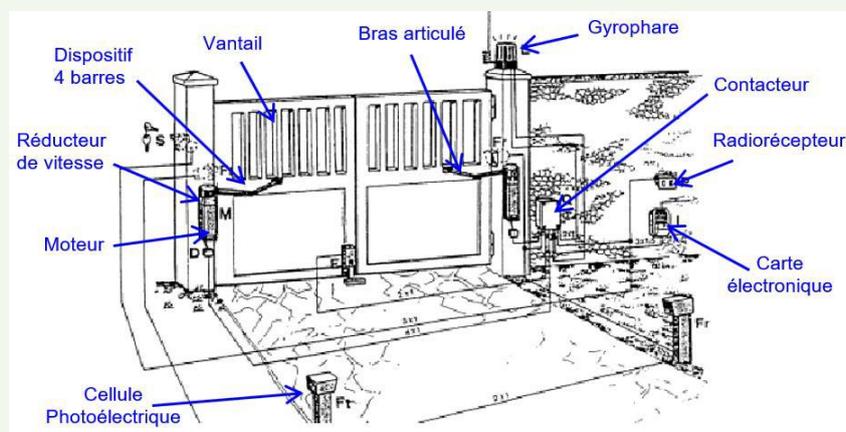
Tapis roulant		Agit sur la matière d'œuvre pour la convoyer
Foret		Agit sur la matière d'œuvre pour la percer

Tableau 12 : Exemple de composants de la fonction « Agir »

D. Applications

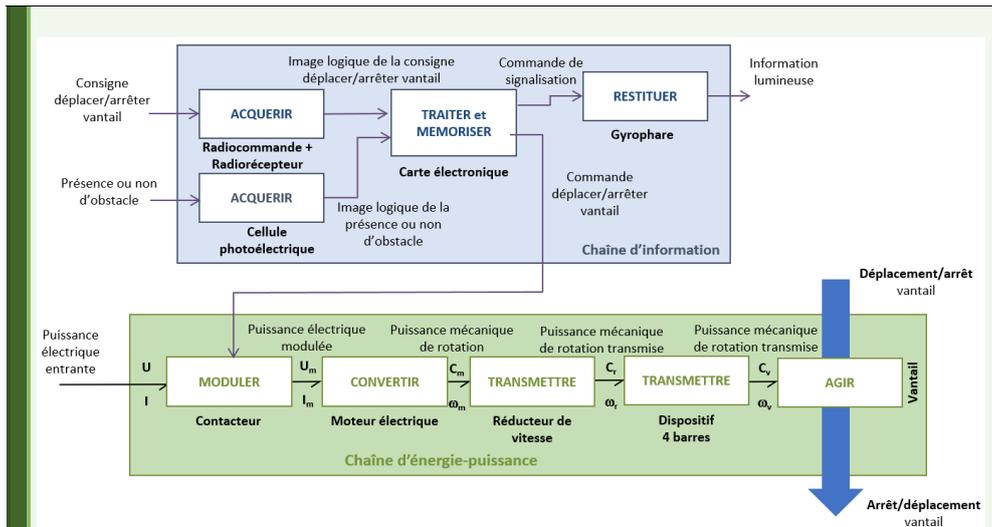
Exemple 3 : Un portail automatique



À la réception de la consigne de déplacement/arrêt en provenance du radiorécepteur associé à une radiocommande, et à condition qu'aucune information de présence d'un obstacle ne provienne de la cellule photoélectrique, la carte électronique commande un contacteur afin d'alimenter des moteurs. Ces derniers transmettent leur puissance aux vantaux par l'intermédiaire de réducteurs de vitesse et de bras articulés.

Question 1 : Donner la chaîne fonctionnelle associée à l'activité « déplacer / arrêter le vantail ».

- ✓ Quelle grandeur physique modifie cette activité ? *le déplacement/arrêt du vantail*
- ✓ Quel constituant agit directement sur la matière d'œuvre ? *le vantail*
- ✓ Quelle est le type de puissance entrante ? *électrique*
- ✓ Quel constituant convertit cette puissance ? *le moteur électrique*
- ✓ Quels constituants transmet cette puissance ? *le réducteur de vitesse et le dispositif 4 barres*
- ✓ Quel constituant acquiert la consigne de l'utilisateur ? *la radiocommande associée au radiorécepteur*
- ✓ Quel constituant acquiert la présence d'obstacle ? *la cellule photoélectrique*
- ✓ Quel constituant traite l'information ? *la carte électronique*
- ✓ Quel constituant restitue une information à l'utilisateur ? *le gyrophare*

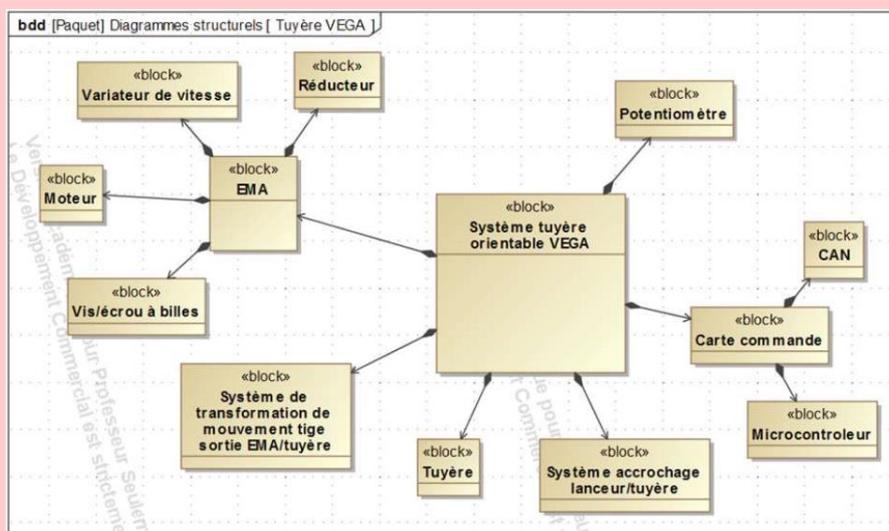


Exercice 1 : Actionneur ElectroMécanique (EMA) de la tuyère de la fusée VEGA

Le développement du lanceur européen VEGA a démarré en 1998 et s'est achevé en 2011. Ce projet répondait à une demande de mise en orbite basse et polaire, à coûts réduits, de satellites scientifiques ou d'observation de la terre, dont la masse peut aller jusqu'à 2000 kg. On s'intéresse ici à l'Actionneur ElectroMécanique (EMA) de la tuyère de cette fusée.

Lors du programme de développement, la minimisation des coûts s'est appuyée sur l'implémentation de technologies avancées déjà disponibles et l'utilisation des installations des lanceurs Ariane. Cependant certaines parties ont fait l'objet d'innovation comme le système de contrôle vectoriel de poussée (en Anglais : « Thrust Vector Control ») du premier étage de propulsion P80. D'une longueur de dix mètres, le P80 est chargé de 88 tonnes de propergol solide. Ceci lui permet de disposer d'une poussée maximale de 3000 kN et d'un temps de combustion de 107 secondes. Afin de bien contrôler la trajectoire de la fusée il est indispensable d'orienter très rapidement et très précisément la tuyère du P80. Alors que sur Ariane 5 le pilotage vectoriel de la poussée est assuré par des dispositifs à source de puissance hydraulique, sur le P80 cette tâche est assurée par des dispositifs à source de puissance électrique (en Anglais : « Power By Wire »).

On donne la structure du système de l'actionneur sous la forme d'un diagramme de définition de blocs (bdd).



Question 1 : Donner la chaîne structurelle de ce système.

Références

- [1] Cours de MPSI du lycée La Fayette, Clermont-Ferrand, 2013 (Pr. Pinault Bigeard)
- [2] Cours de CPGE du pôle Chateaubriand Joliot-Curie, Rennes, 2019
- [3] Cours du lycée d'Arsonval, Saint-Maur-des-Fossés, 2019 (Pr. Paillet)
- [4] Cours du lycée Carnot, Dijon, 2018 (Pr. Gondor)