

<b>Cours</b>	<b>CT 2</b>	<b>TSI 1 Période 1</b>
	Analyse fonctionnelle et structurelle	<b>1h</b>
	<b>Cycle 1</b> : Communication Technique	4 semaines

Analyser

Modéliser

Résoudre

Expérimenter

Réaliser

Concevoir

Communiquer

**ANALYSER**

- Décrire le besoin et les exigences, traduire un besoin fonctionnel en exigences.
- Qualifier et quantifier les exigences, associer les fonctions aux constituants.
- Identifier et décrire les chaînes fonctionnelles du système, identifier et décrire les liens entre les chaînes fonctionnelles.
- Identifier l'architecture structurelle d'un système, identifier la nature des flux échangés entre les différents constituants.

## 1 Ingénierie système et cycle de conception

Un système est un ensemble d'éléments, en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but.

L'ingénierie des systèmes permet de maîtriser le cycle de vie d'un produit.

La démarche peut être représentée par le **cycle en V** de la figure suivante.

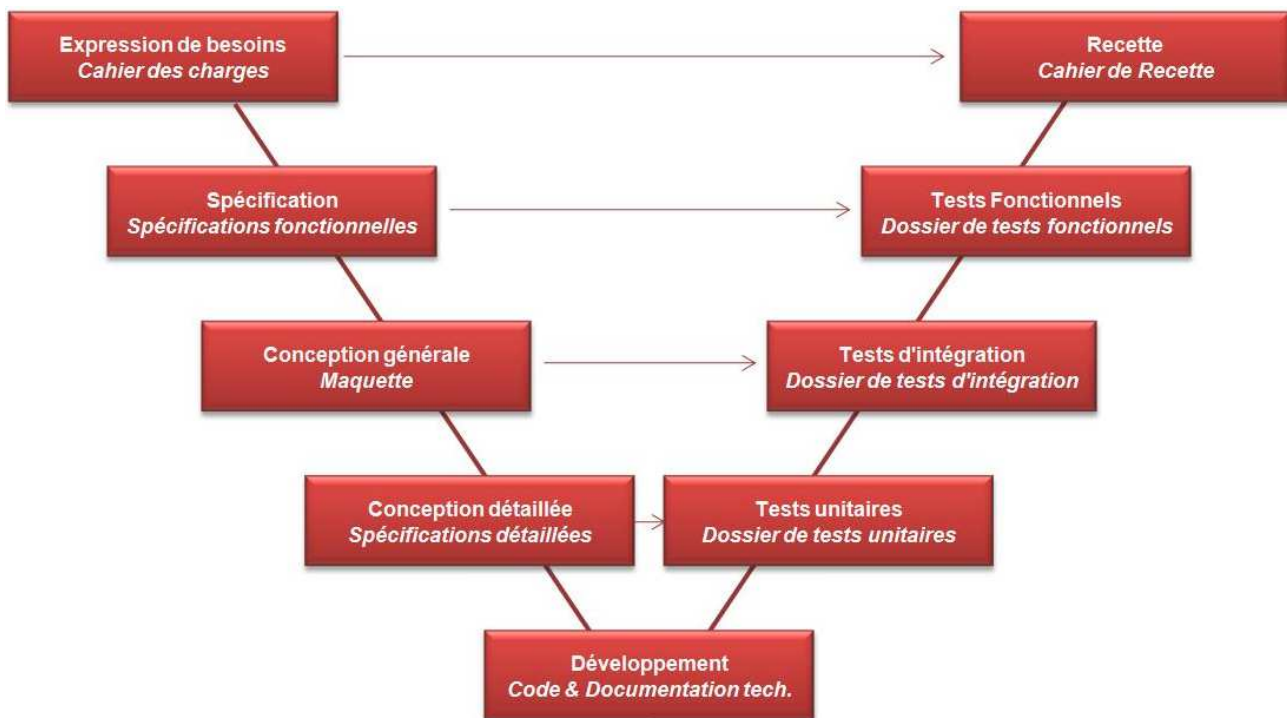


Figure 1 : cycle en V

La formation des étudiants en SII (**S**ciences **I**ndustrielles pour l'**I**ngénieur) aura pour objectifs de maîtriser les différentes étapes de ce cycle de vie en s'appuyant sur les compétences suivantes :

- **analyser** les systèmes pluri-technologiques complexes
- **modéliser** ces systèmes et **résoudre** pour déterminer les performances de ces systèmes
- **expérimenter** et **concevoir** ces systèmes
- **communiquer** en utilisant les outils et les moyens adaptés

La complexité des systèmes actuels impose des méthodes de décomposition fonctionnelle et structurale des systèmes complexes permettant de relier les différentes étapes du cycle de vie. C'est un des objectifs du langage SysML (**S**ystem **M**odeling Language ou langage pour la modélisation des systèmes).

Le SysML est un langage graphique qui permet d'aborder l'étude d'un système sous trois aspects :

- **Fonctionnel** : à quoi sert le système et quelles exigences sont attendues par le client
- **Structural** : quels sont les composants du système et quelles sont les échanges entre eux
- **Comportemental** : que fait le système lorsque des événements se produisent

## 2 Approche fonctionnelle

### 2.1 Diagramme des cas d'utilisation : Use Case (uc)

Le diagramme des cas d'utilisation permet **d'identifier la fonction (de service) globale d'un système**.

Une **fonction de service** est une **action assurée par le système en rapport avec son environnement. Elle commence toujours par un verbe à l'infinitif** (exemple : prélever du sang).

On trouve la fonction globale du système en répondant à la question :

« **Quels services rend le système à l'utilisateur et sur quoi agit-il ?** ».

Ce diagramme met en scène des acteurs (utilisateurs) et fait apparaître les cas d'utilisation qui doivent être énoncés en termes de service sans tenir compte de la technologie interne au système.

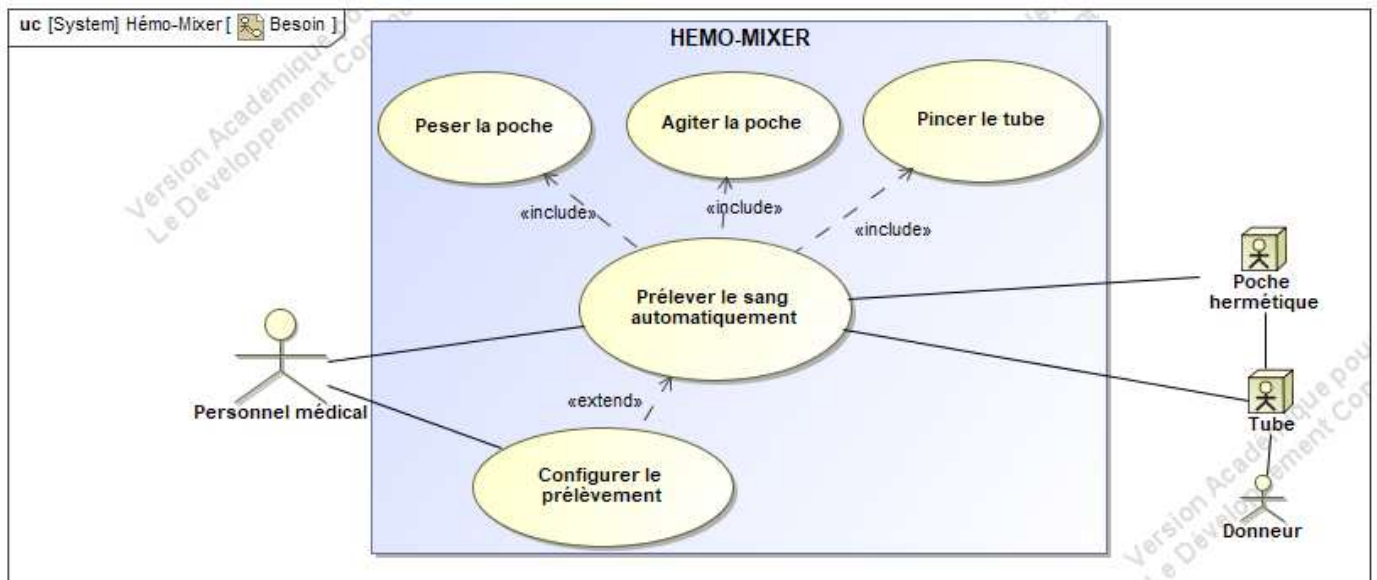


Figure 5 : Exemple du diagramme des cas d'utilisation pour le système Hemomixer

Diagramme de cas d'utilisation (UCD)

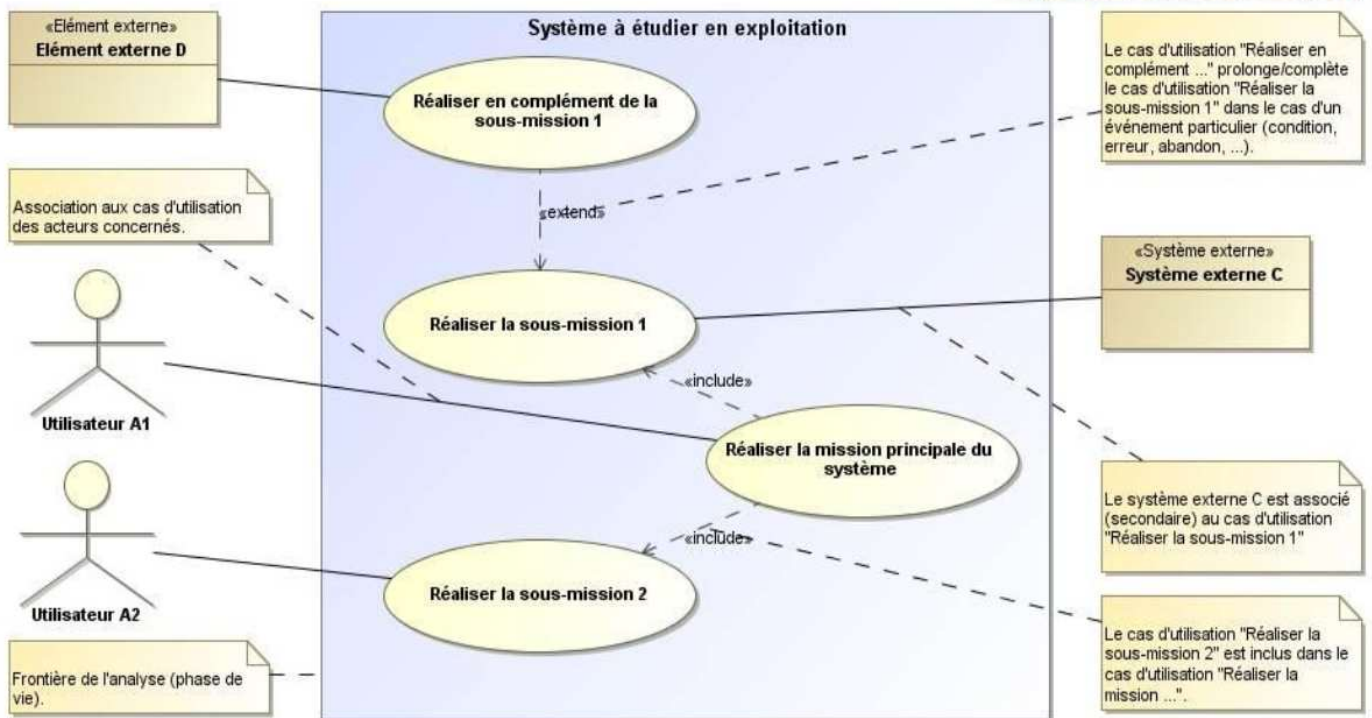


Figure 2 : Diagramme des cas d'utilisation général.

## 2.2 Le cahier des charges fonctionnel : C.d.C.F

Le C.d.C.F (Cahier des Charges Fonctionnel) définit **l'ensemble des fonctions de service que doit assurer le système ainsi que les critères de performances chiffrés associés.**

L'objectif de la mise en place du C.d.C.F. permet:

- avant la conception du système, de fixer les objectifs à atteindre (performances, esthétique ...) en rapport avec l'utilisation prévue (défini par le donneur d'ordre) : début et fin du cycle de vie en V.
- tout au long de la conception, de vérifier à partir de critères concrets que le système conçu par le bureau d'études correspond aux besoins exprimés (descente puis remontée du cycle de vie en V).

### Exemple : Fonction FS1.4 pour l'Hemomixer

Fonction de service	Critère (ou contrainte)	Niveau	Flexibilité
FS1.4: délivrer un prélèvement de sang n'ayant pas coagulé	• volume avant d'agitation de la poche	5 ml	+/- 5%
	• arrêt de l'agitation	20 ml avant la fin	+/- 5%
	• amplitude de l'oscillation	18°	2°
	• période de l'oscillation	12s	5s mini 12s maxi

**Critère** : concerne tous les domaines (technique, économique, esthétique...)

**Niveau** : quantifie les critères numériquement (valeur minimum, maximum, moyenne...)

**Flexibilité** : qualifie la plage de variation autorisée.

## 2.3 Le diagramme des exigences : Requirement diagram (req)

**Définition :** Une exigence permet de **spécifier une performance ou une contrainte qui doit être satisfaite** d'après le cahier des charges fonctionnel. Elle peut être définie par une fonction de service et/ou par son critère d'appréciation.

Le **diagramme des exigences** est une traduction **graphique du cahier des charges fonctionnel cdcf** mais peut aussi inclure des exigences relatives aux fonctions internes du système.

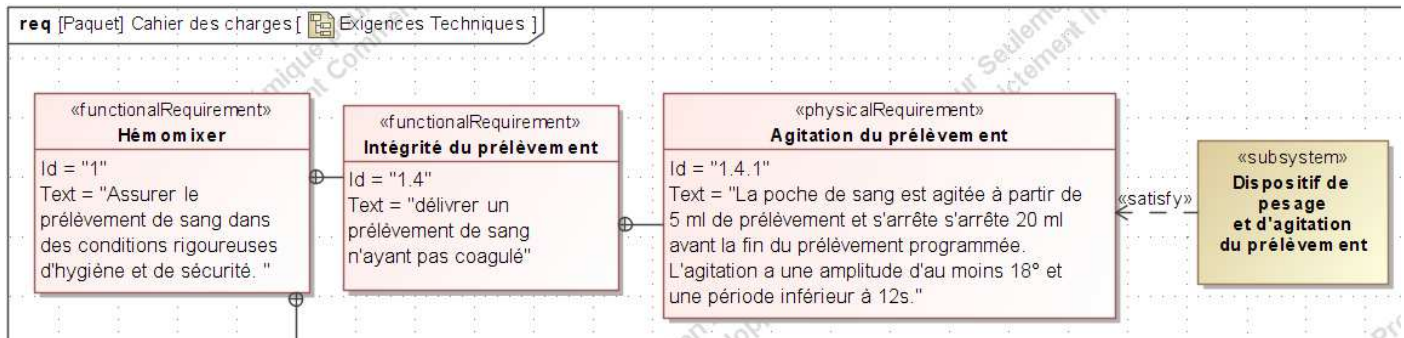


Figure 3 : Extrait du diagramme d'exigence de l'Hemomixer

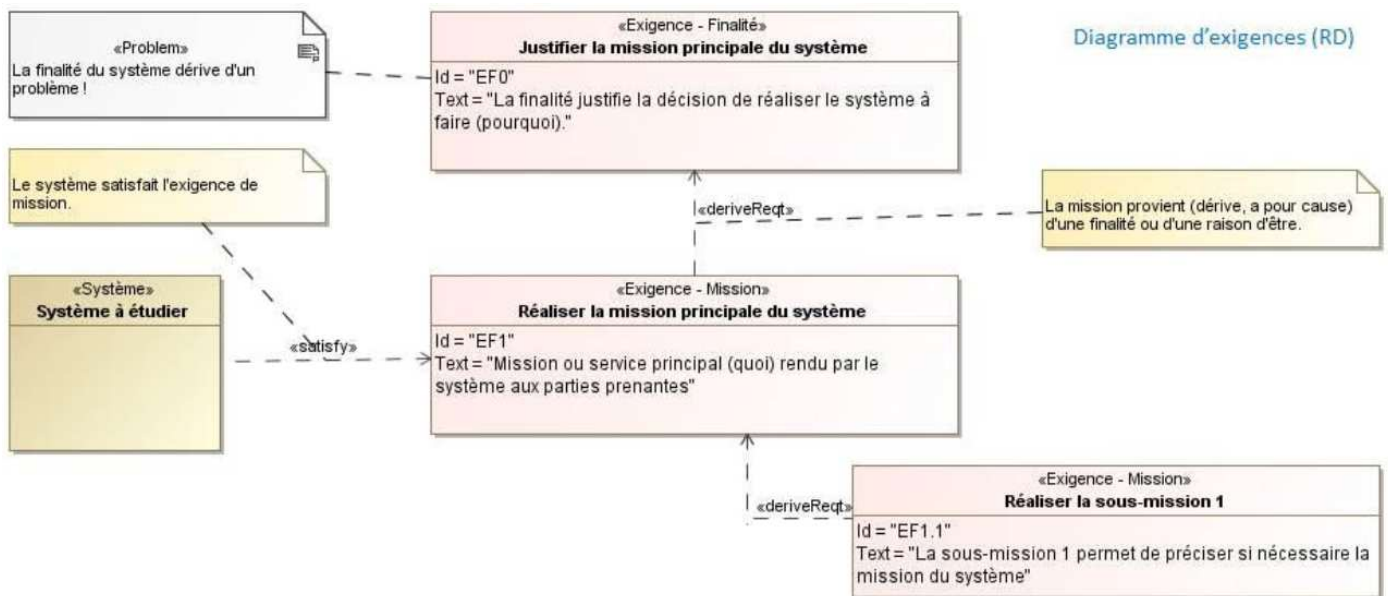


Figure 4 : Diagramme des exigences (en général)

### 3 Approche structurale

#### 3.1 Diagramme de définition de blocs (bdd)

Le diagramme de définition de blocs (bdd) **montre le système d'un point de vue composé / composants**, il répond à la question **"qui contient quoi ?"**.

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

Enfin il permet éventuellement de représenter les liens entre les blocs de même niveau par une association (simple trait entre 2 blocs).

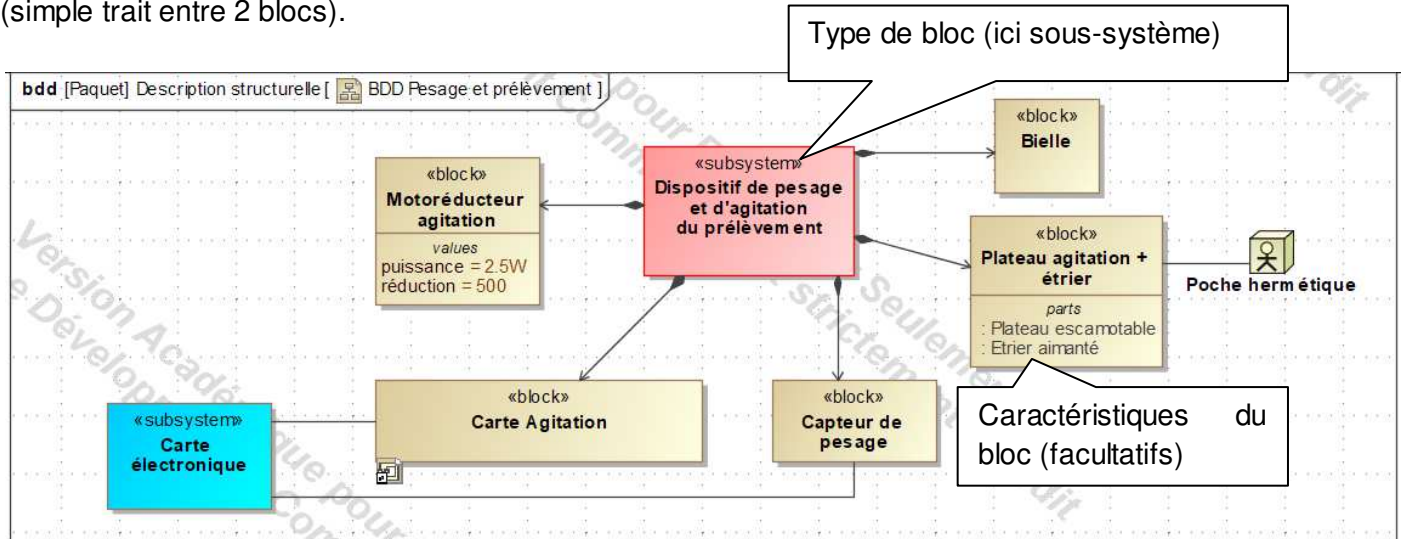


Figure 5 : Diagramme de définition de bloc (bdd) du sous-système d'agitation de l'Hemomixer (point de vue interne)

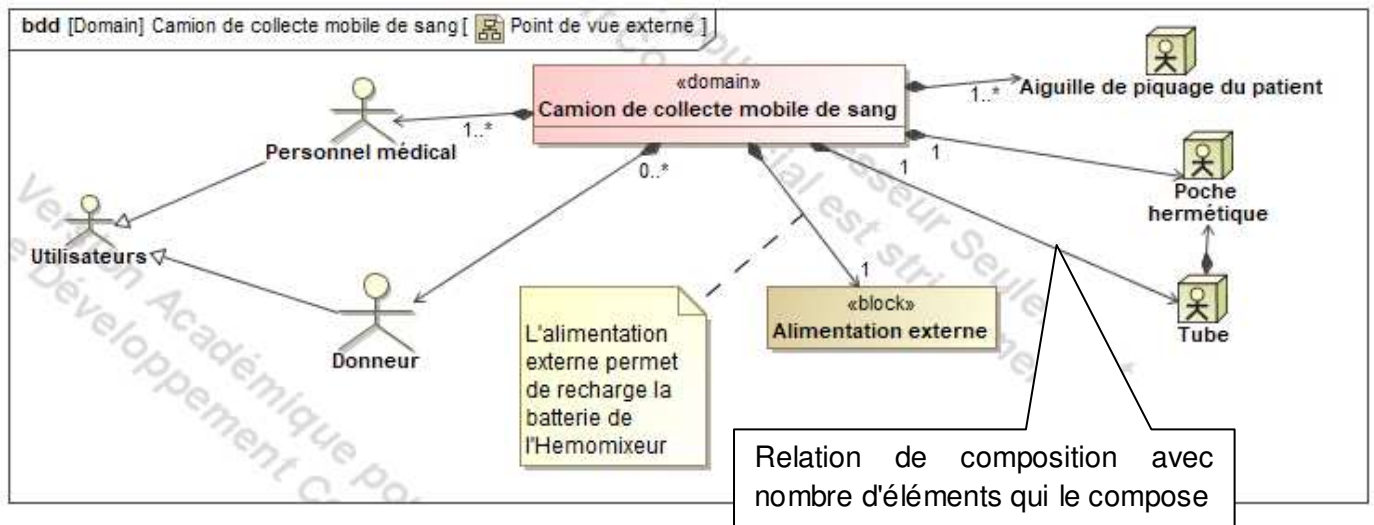
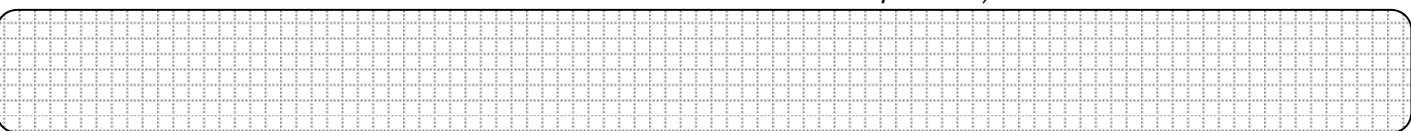


Figure 6 : Diagramme de définition de bloc (bdd) du point de vue externe (collecte de sang) rarement utilisé

Définition des relations dans le diagramme bdd :

- A —> B **Association** : relation d'égal à égal entre 2 éléments. **A utilise B**
- A - - - -> B **Dépendance** : l'un des deux éléments dépend de l'autre. **A dépend de B**
- A —◆ B **Composition** : Un élément est une composante obligatoire de l'autre. **A entre dans la composition de B et lui est indispensable à son fonctionnement.**
- A —▷ B **Généralisation** : Dépendance de type filiation entre 2 éléments. **A est une sorte de B.**

Un bloc est caractérisé notamment par ses **paramètres** (*values*) et les **blocs qui lui appartiennent** (*parts* ; défini dans le bloc ou à l'extérieur du bloc avec une relation de composition).



**Limites et préconisation :**

Ce diagramme est utile pour montrer les grosses briques du système (inutile voire improductif de détailler trop de niveaux).

Il n'est pas obligatoire de faire apparaître les propriétés et les opérations dans chaque bloc. Dans ce cas le diagramme est relativement pauvre en informations, mais il offre d'un coup d'œil la structure du système.

**3.2 Diagramme de blocs internes (ibd)**

Le diagramme de blocs internes (ibd) permet de **représenter les échanges de "matière / énergie / information" entre blocs de même niveau** grâce aux ports (petit carré à la frontière des blocs présentant éventuellement le sens possible du flux lorsque le flux concerne de l'énergie).

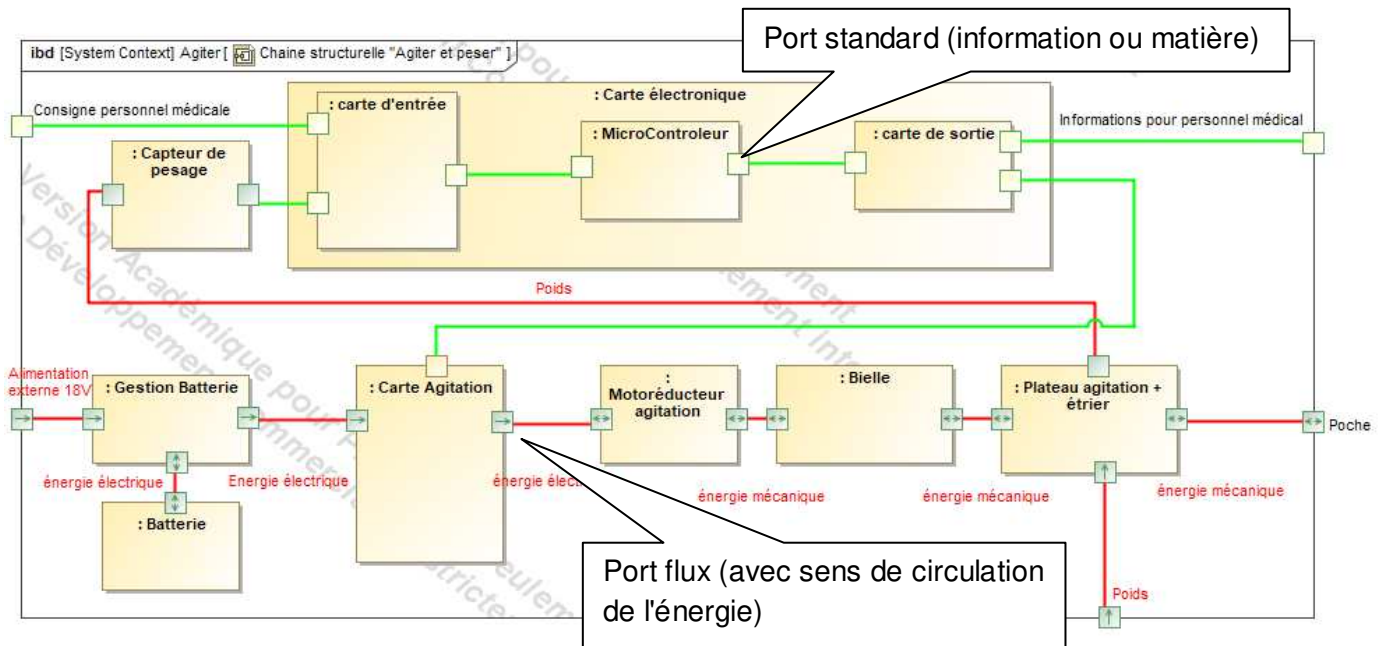


Figure 7 : Diagramme de bloc interne (ibd) de la chaîne fonctionnelle d'agitation de l'Hemomixer

Diagramme de bloc interne (IBD)

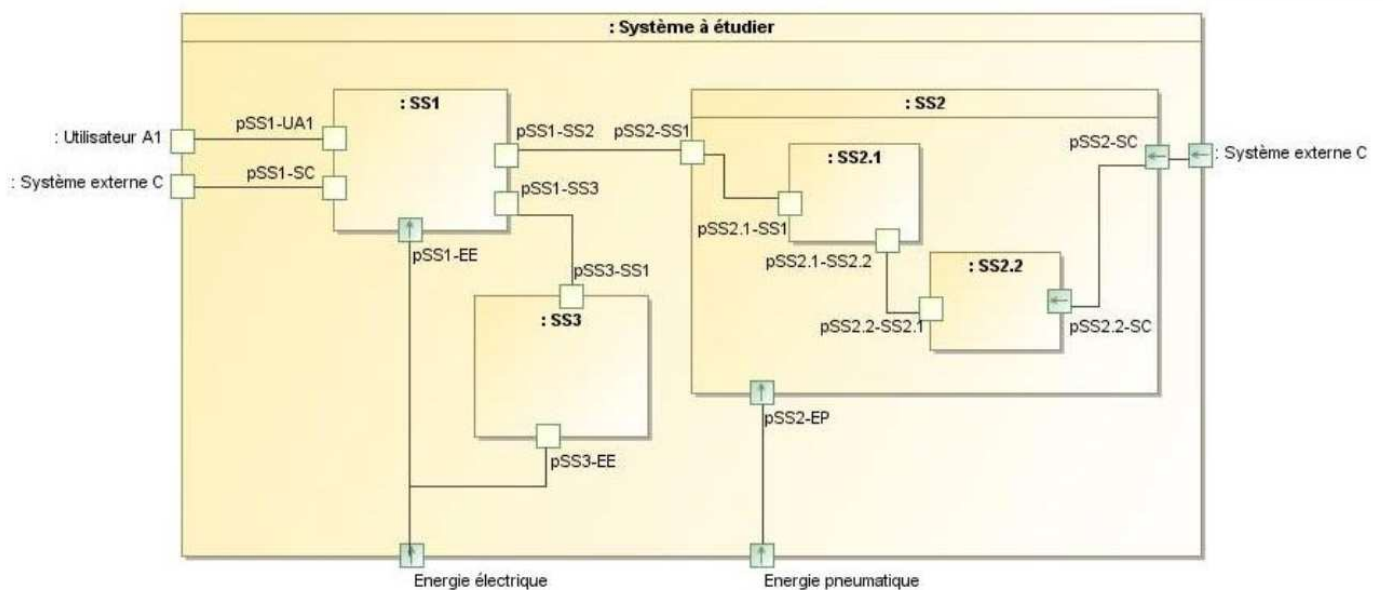


Figure 8 : Diagramme de bloc interne (en général)

**Limites et préconisation :**

Les liens se représentent entre blocs de même niveau, ils ne se contiennent pas.

Chaque bloc du BDD contenant d'autres blocs peut être détaillé par un IBD.

L'alimentation nécessaire au fonctionnement des blocs peut être définie dans un IBD spécifique.

## 4 Structure des systèmes industriels pluritechniques

La fonction principale "agir" des systèmes industriels multiphysiques complexes étudiés en SII, est d'apporter une valeur ajoutée à un flux de **matière**, d'**énergie** ou d'**information** (parfois désigné par MEI).

La valeur ajoutée par un système sur ces flux est de 3 types : **stockage**, **transport** ou **transformation**.

Pour réaliser cette fonction de service, le système réalise également un certain nombre de **fonctions techniques** : **fonctions faisant intervenir des flux internes au système**.

Ces fonctions sont classées en 2 chaînes :

- La **chaîne d'information** (ou partie commande) **élabore les ordres, transfère, stocke, transforme les informations puis pilote le fonctionnement du système**.
- La **chaîne de puissance** (ou partie opérative) **transforme et adapte la puissance, transmet les efforts puis agit sur la matière d'œuvre**.

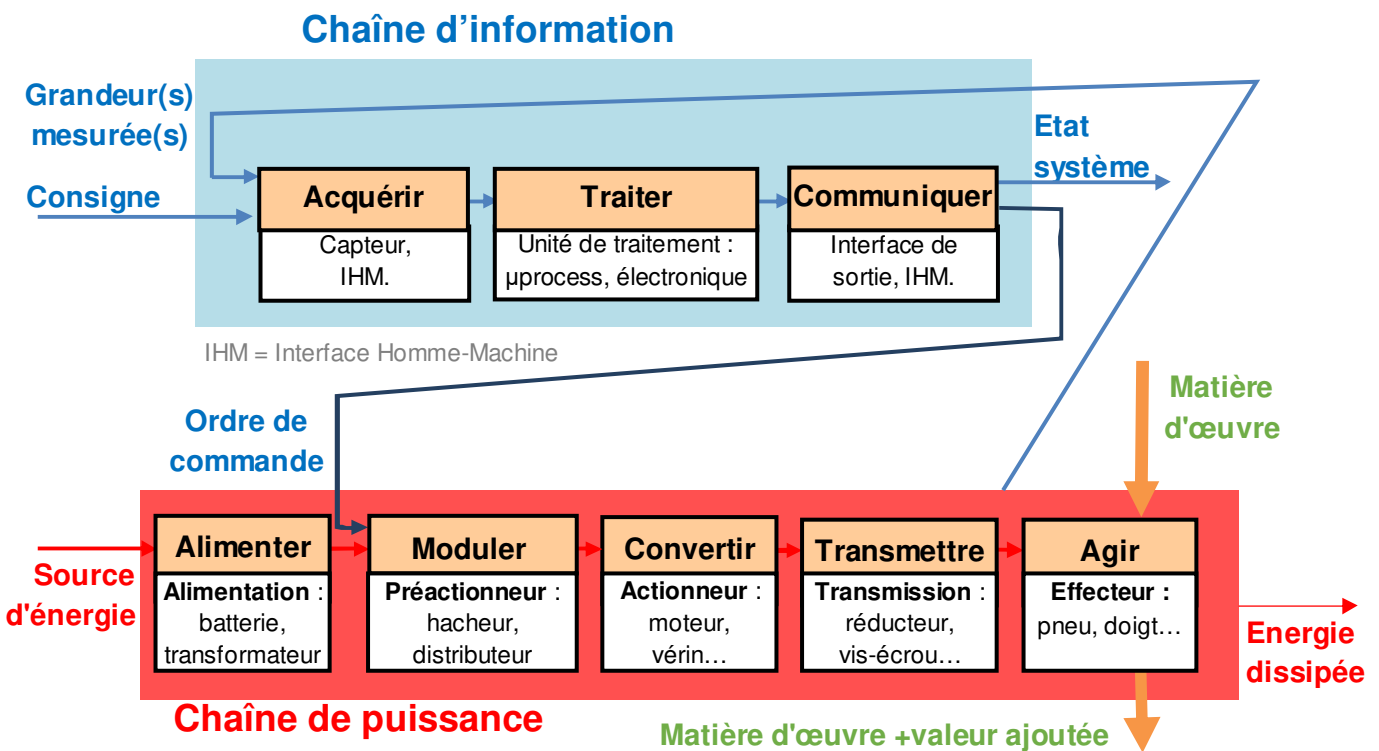


Figure 9 : Chaîne fonctionnelle (chaîne d'énergie et d'information)

## 5 Modélisation multi physique, variables conjuguées :

Les logiciels utilisés pour simuler les modèles multiphysiques résolvent en réalité les équations de transfert d'énergie entre les composants car les unités énergétiques sont indépendantes de la nature des flux échangés.

On peut ainsi établir une analogie entre les divers domaines physiques étudiés : électricité, hydraulique, mécanique, thermique, chimique, etc.

### Analogie :

La puissance est toujours le produit de deux grandeurs : une grandeur effort et une grandeur flux :

- **La grandeur effort** caractérise la tendance à créer un mouvement  
Exemple : la pression tend à déformer un ballon ou à déplacer un piston.
- **La grandeur flux** caractérise le déplacement effectif.  
Exemple : le déplacement d'un fluide est caractérisé par son débit.

$$P = \text{grandeur effort} * \text{grandeur flux}$$

P s'exprime en Watt (W)

Ordre de grandeur de la puissance d'un humain sur un vélo 200 W

Le tableau ci-dessous définit la variable effort et la variable flux pour différents domaines physiques :

Domaine	Variable effort	Variable flux	Puissance
Mécanique translation	<b>Force F (en N)</b> Poids humain : 800 N	<b>Vitesse de translation V (en <math>m.s^{-1}</math>)</b> Marche humaine : $1 m.s^{-1}$	<b><math>P = F.V</math></b>
Mécanique rotation	<b>Couple C (en Nm)</b> Couple de pédalage : 20 Nm	<b>Vitesse de rotation <math>\omega</math> (en <math>rad.s^{-1}</math>)</b> Cadence pédalage : $10 rad.s^{-1}$	<b><math>P = C.\omega</math></b>
Hydraulique	<b>Pression p (en Pa)</b> Atmosphère : 1 bar = $10^5$ Pa	<b>Débit volumique <math>Q_v</math> (en <math>m^3.s^{-1}</math>)</b> Débit eau potable : $10^{-4} m^3.s^{-1}$	<b><math>P = p.Q_v</math></b>
Electricité	<b>Tension U (en V)</b> Chargeur USB : 5V	<b>Courant I (en A)</b> Chargeur USB : 2A	<b><math>P = U.I</math></b>

Les composants qui stockent l'énergie sont : le ressort (en mécanique), le condensateur (en électricité) et le réservoir en hydraulique ou en pneumatique.

### Références :

[SysML: un langage pour la modélisation des systèmes, ENS Saclay, Lionel GENDRE](#)  
[RETRO INGÉNIERIE avec SysML, Education Nationale-AFIS](#)