

Étude des systèmes

Objectifs du cours : Après avoir *étudié* ce cours, vous devez être capable de :

- Définir la notion de système,
- Donner les caractéristiques générales d'un système automatisé,
- Analyser un système dans une démarche structurelle ou fonctionnelle,
- Présenter un système à un auditoire par un discours structuré.

1 Notion de système

1.1 Définitions et exemples

Système¹ :

On appelle système un *assemblage*, une collection organisée (possédant une structure) d'objets *reliés* ou branchés (en interrelation) les uns aux autres, de façon à former une *entité* ou un tout remplissant une ou plusieurs *fonctions*.

Un système est un produit artificiel de l'esprit des hommes.

Exemples de systèmes² :

- Système nerveux : combinaison d'éléments qui se coordonnent pour concourir à un résultat.
- Système de fermeture : Dispositif formé d'éléments agencés.
- Système linguistique : Ensemble de termes définis par les relations qu'ils entretiennent entre eux.
- Système capitaliste ; système de parenté : Modes d'organisation.
- Esprit de système : tendance à faire prévaloir l'organisation systématique sur l'enseignement pratique des faits.
- Système d'équations : Ensemble de plusieurs équations liant simultanément plusieurs variables.

Théorie des systèmes³ :

Théorie générale et *interdisciplinaire* qui étudie les systèmes en tant qu'*ensembles d'éléments*, matériels ou non, *en relation* les uns avec les autres et formant un tout.

Quelques remarques :

Un *système* n'est pas un *ensemble*. Il suffit de connaître tous les éléments d'un ensemble pour connaître l'ensemble, mais connaître tous les composants d'un système est insuffisant pour appréhender le système : il faut aussi connaître les relations entre les composants (figure 1).

Trois idées fortes sont à la base des systèmes :

- les composants du système (éléments),
- les relations entre les composants (organisation),
- les fonctions réalisées par le système (comportement).

Un système n'est jamais isolé de l'extérieur car il est étudié pour comprendre ou prévoir son comportement dans un contexte extérieur. Vu de l'extérieur, un système est uniquement défini par la fonction qu'il réalise, par son comportement. Un système est donc fait pour *interagir avec l'extérieur*.

1. J.L. Lemoigne — Théorie du système général — Ed. PUF.

2. Larousse.

3. Larousse.

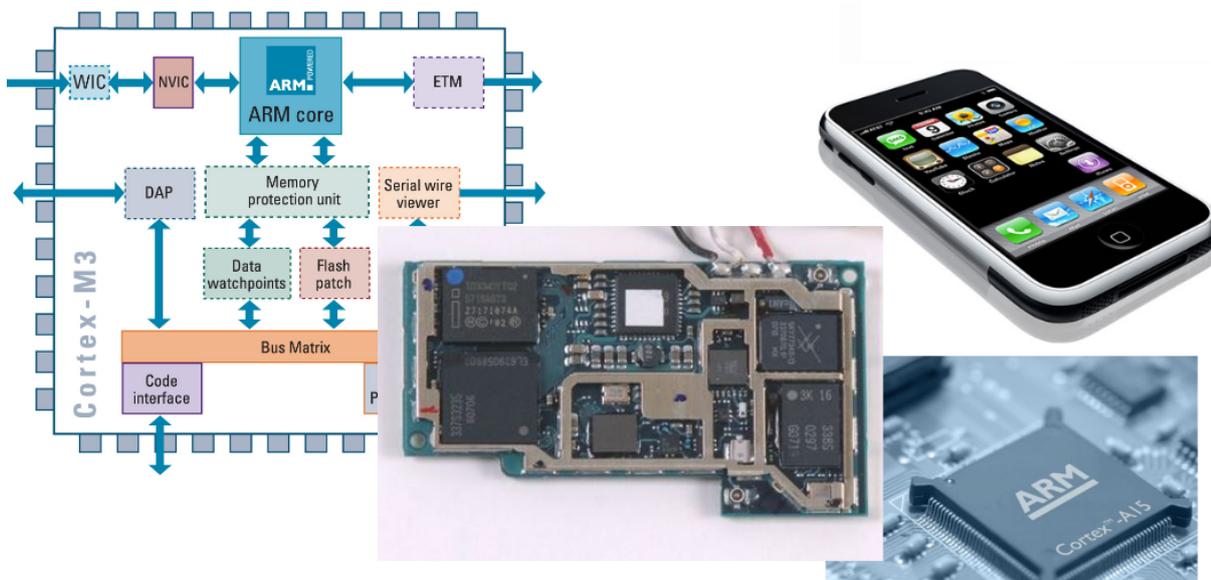


FIGURE 1 – Connaître tous les éléments de l’iPhone ne suffit pas pour comprendre le fonctionnement du système : les flux échangés entre composants sont essentiels.

Si votre vélo vous sert à aller au lycée le matin, il est uniquement vu comme *un moyen de se déplacer* et non pas comme un ensemble de pièces. Vous jugez de ses performances par son prix, l’effort à fournir pour le trajet, la rapidité, l’estime de la marque, etc... Autant de caractéristiques de la fonction du système.

Système technique :

La norme NFE 90-001 définit un système technique comme "un ensemble d’éléments interconnectés de façon logique, qui se coordonnent pour réaliser une tâche précise".

Système automatique :

Un système est dit automatique s’il réalise la fonction seul, sans intervention humaine.

L’homme est le seul être vivant sur terre à avoir inventé des systèmes automatiques. La plupart des animaux n’utilisent que leurs propres capacités physiques pour accomplir diverses tâches. Au mieux, certains animaux utilisent des outils (un singe utilise des cailloux pour ouvrir les noix de coco).

L’homme fut rapidement confronté à sa faible capacité physique et a appris à maîtriser d’autres sources d’énergies pour accomplir des tâches à sa demande (maîtrise des énergies naturelles ou animales). Un grand nombre de *systèmes techniques* sont apparus, où l’homme commande (en fournissant une faible énergie) un système mettant en œuvre de grandes énergies. Par exemple les charrues, les systèmes d’irrigation, les engins de chantier, les voitures, etc... L’homme commande le système technique qui est la *partie opérative* réalisant la tâche que l’homme ne peut faire de ses propres forces.

Récemment, l’homme a aussi cherché à rendre les systèmes *automatiques*, en intégrant au système une *partie commande* qui pilote la partie opérative de manière autonome. La partie commande tient compte d’informations provenant de l’extérieur pour commander la partie opérative. L’homme n’a plus besoin d’agir sur le système pour qu’il réalise la tâche, sauf pour éventuellement donner des consignes ou des réglages. Par exemple on trouvera les machines à café

automatiques remplaçant les machines à café et le garçon de café. Les avions de ligne peuvent se comporter comme un système technique (avion commandé par le pilote) ou en système automatique (avion sur pilotage automatique). Les centrales nucléaires sont aussi des systèmes automatiques (l'homme donne seulement les consignes de production).

L'automatisation est aujourd'hui indispensable dans le milieu industriel et présente différents avantages :

- **Coût** : C'est la première source de motivation pour l'automatisation : une machine qui fonctionne seule, sans opérateur, permet d'économiser de l'argent à long terme.
- **Quantité** : Un système automatisé est souvent plus rapide que l'homme et permet des *cadences* plus élevées (fabrication des cartes électroniques).
- **Qualité** : Un système automatisé est plus fiable que l'homme sur les opérations répétitives.
- **Pénibilité** : Un système automatisé évite à l'homme des tâches pénibles, dangereuses ou en environnement hostile (manipulation de pièces lourdes dans l'automobile, peinture, nettoyage des zones radioactives des centrales nucléaires...)

1.2 Complexité

Complexe⁴ :

Qui contient plusieurs éléments différents et combinés d'une manière qui n'est pas immédiatement claire pour l'esprit, qui est difficile à analyser.

Un système est par nature *complexe* puisque les fonctions résultent de l'ensemble des interactions entre les différents composants.

Un système *complexe* s'oppose à un système *simple* où une information d'entrée permet de trouver le comportement de sortie par une analyse *déductive* (figure 2).



FIGURE 2 – Démarche déductive permettant de déterminer le comportement d'un système simple.

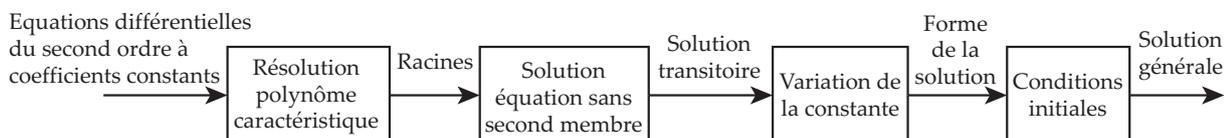


FIGURE 3 – Démarche déductive permettant de résoudre une équation différentielle.

Les méthodes déductives sont essentiellement traitées en mathématiques et font appel à la logique. Les problèmes sont bien posés et il y a souvent une solution unique. La figure 3 montre par exemple le processus de résolution d'une équation différentielle.

L'analyse des systèmes complexes nécessite une approche *inductive* qui vise à *modéliser* le comportement du système dans des cas simplifiés. Cette approche sollicite l'esprit de synthèse et d'initiative (figure 4).

4. Larousse.

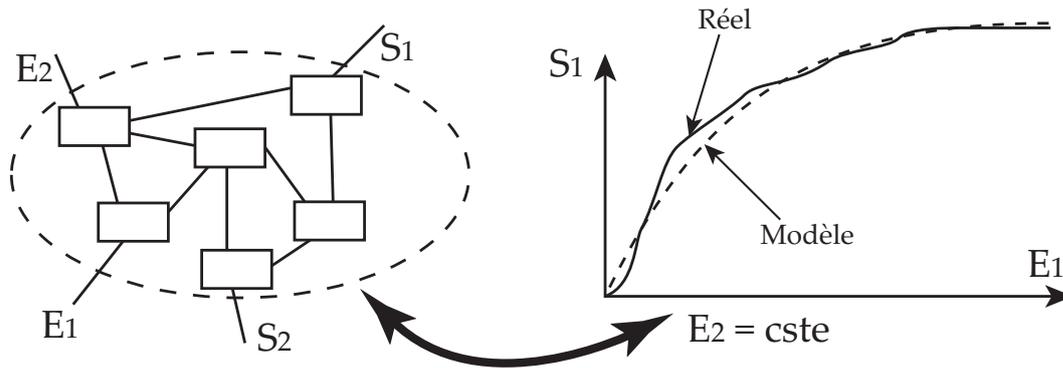


FIGURE 4 – L’approche inductive vise à analyser le comportement du système dans des cas simplifiés pour le modéliser.

Compétences attendues

L’analyse des systèmes est un point central en Sciences de l’Ingénieur aux concours. On ne vous demandera pas de restituer des connaissances apprises par cœur au cours de l’année. Vous serez jugés sur vos capacités à :

- présenter un système réel dans son contexte et dans sa globalité,
- mobiliser vos connaissances pour analyser le comportement du système complexe,
- proposer des solutions vis-à-vis de problèmes d’ingénierie.

Concrètement, il s’agit pour vous de faire preuve d’esprit de synthèse lorsque vous présentez le système ou vos résultats et d’esprit d’initiative et de créativité lorsque vous manipulez le système, lorsque vous proposez des modèles simples et lorsque vous êtes face à une difficulté.

2 Caractéristiques globales d’un système automatisé

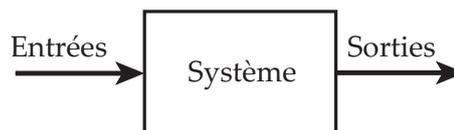


FIGURE 5 – Point de vue global du système.

Nous allons introduire dans ce paragraphe les principales caractéristiques attendues d’un système automatisé, en le considérant comme une *boîte noire* : on ne s’intéresse pas pour le moment à son contenu (figure 5).

2.1 Définir le système

Contexte :

le contexte du système représente l’environnement dans lequel s’insère le système d’un point de vue très général. Il s’agit généralement de définir :

- le type de milieu environnant (milieu marin, milieu domestique...),
- le domaine d’application (transport, mécanique agricole, sports nautique...),
- le type de public utilisateur (professionnel du bâtiment, particulier, jeunes...),
- le niveau de qualité par rapport aux systèmes concurrents,
- etc...

Frontière :

La frontière d'un système est une limite réelle ou fictive, partageant l'ensemble des composants considérés comme appartenant au système, du reste appelé *milieu extérieur*.

La frontière d'un système n'est pas toujours simple à définir et les interactions avec l'extérieur en dépendent directement. Dans le cas du lanceur Ariane par exemple, faut-il considérer que le système est le lanceur sans les satellites transportés, en incluant ou pas les installations au sol de lancement, en intégrant ou pas le centre de contrôle? Dans le premier cas, les échanges de communications avec le sol sont des interactions extérieures tandis que dans le dernier cas, il s'agit de flux d'informations internes au système.

Fonction principale

Tout système étant destiné à accomplir une tâche, il peut être défini globalement par la *fonction* qu'il remplit. La fonction doit être décrite par un *verbe à l'infinitif* suivi de compléments.

La représentation classique d'un système, sa fonction et ses interactions avec l'extérieur est constitué d'un rectangle symbolisant la frontière, contenant la fonction. Les entrées sont données à gauche et les sorties à droite (figure 6).

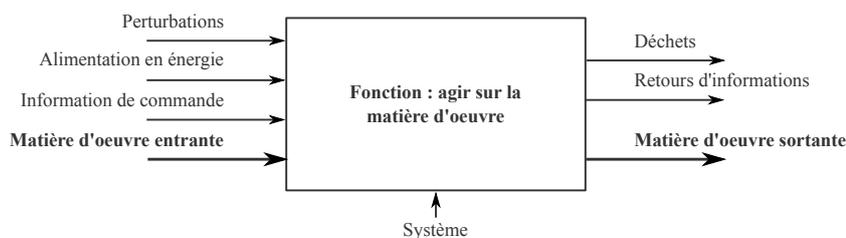


FIGURE 6 – Représentation globale du système.

Matière d'oeuvre

Un système agit sur de la *matière d'oeuvre*. La matière d'oeuvre entrante est alors modifiée par le système pour devenir la matière d'oeuvre sortante. La matière d'oeuvre ne change pas de nature au passage dans le système. Il existe quatre types de matière d'oeuvre :

- un produit ou une matière,
- une énergie,
- une information,
- un être humain.

Valeur ajoutée :

La valeur ajoutée est l'apport du système à la matière d'oeuvre entrante. Elle est schématiquement décrite par la relation :

$$\text{Matière d'oeuvre sortante} = \text{Matière d'oeuvre entrante} + \text{Valeur ajoutée}$$

Il faut noter qu'en toute rigueur, toutes les phases de vie du système sont à envisager (figure 7) : la conception, la réalisation, le transport, l'utilisation auprès du client, et la fin de vie (recyclage). Dans le cadre des études de systèmes en CPGE cependant, l'effort porte essentiellement sur la phase d'utilisation auprès du client.

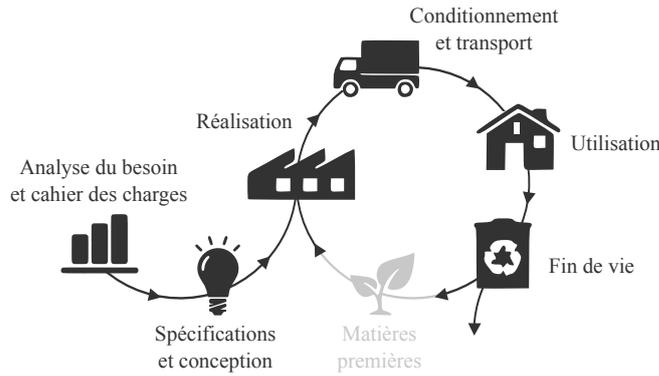


FIGURE 7 – Cycle de vie d'un système industriel.

2.2 Performances d'un système automatisé – cahier des charges

Un système automatisé peut être caractérisé de façon globale par la fonction qu'il réalise. On peut compléter cette définition par des critères de performances du système (figure 8).

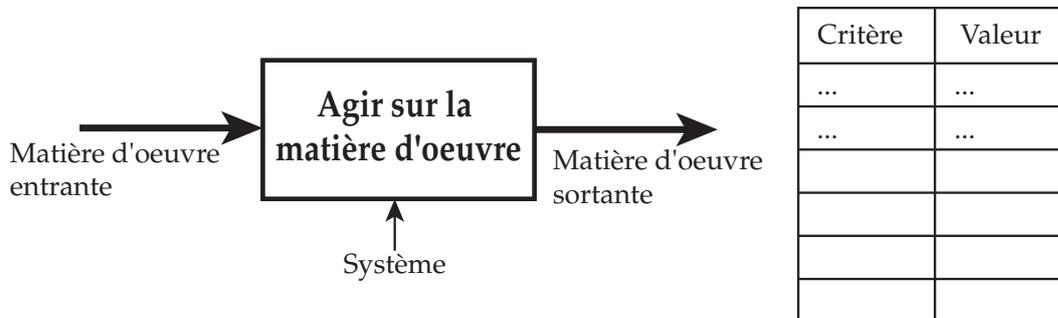


FIGURE 8 – Représentation globale du système avec niveaux de performances.

Ces critères apportent souvent l'information la plus utile. S'il est intéressant de savoir qu'une chaîne HiFi a pour fonction d'"émettre la musique écrite sur un support d'enregistrement", il est plus utile de connaître les performances du système (figure 9) comme la puissance maximale, la qualité sonore, le type de supports lisibles, le nombre d'ambiances possibles, etc...

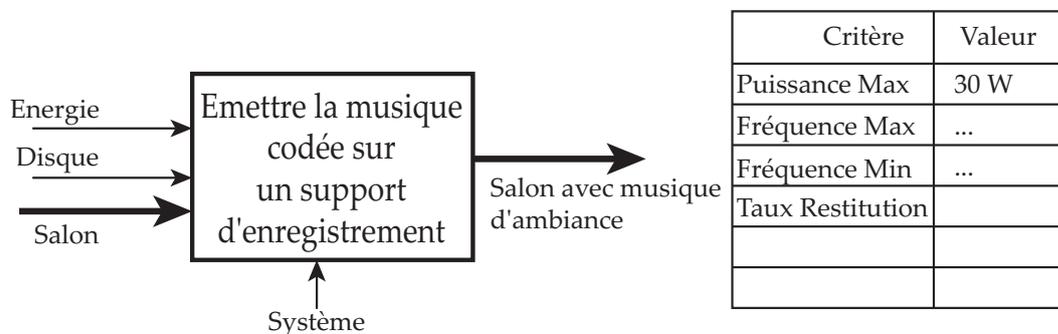


FIGURE 9 – Performances d'une chaîne HiFi.

On retrouve généralement les critères de performances du type (la liste n'est bien-sûr pas exhaustive) :

- plages d'entrées ou sorties admissibles,
- précision d'une grandeur de sortie,
- rapidité de la partie opérative pour des variations de consigne,
- fiabilité du système à réaliser la tâche,
- coût du système à l'achat initial,
- consommation du système.

Lorsqu'un système est en phase de conception (c'est souvent la situation qui intéresse l'ingénieur), les performances attendues du système à concevoir sont définies très précisément avant même la recherche de solution. Le document rassemblant les performances visées est le *cahier des charges (CdC)*. Il s'agit essentiellement d'une liste de *critères clients* à respecter pour que le système remplisse la tâche qui lui sera confiée avec satisfaction du client. Chaque critère doit être chiffré pour pouvoir être évalué, tout au long de la phase de conception (évaluation des écarts) ou en phase finale de production (qualification).

Si le cahier des charges contient les performances attendues par le *client*, le processus de conception détaillée du système nécessite de fixer des critères techniques dérivés du cahier des charges. Ces critères techniques sont usuellement appelés des *spécifications*.

Le langage *SysML* dispose d'un diagramme permettant d'exprimer les *exigences* sous la forme d'un diagramme (diagramme *req* comme requirements) ou sous la forme d'un tableau. Les exigences sont déclinées de façon hiérarchiques (en explicitant les relations de dépendance) et recouvrent à la fois les critères du cahier des charges et les spécifications.

2.3 Cycle de conception des produits

La réussite commerciale d'un produit est directement liée à l'adéquation entre le service qu'il rend et le besoin du client. Il est donc naturel d'amorcer la conception d'un nouveau produit par l'expression formalisée du besoin du client : le cahier des charges.

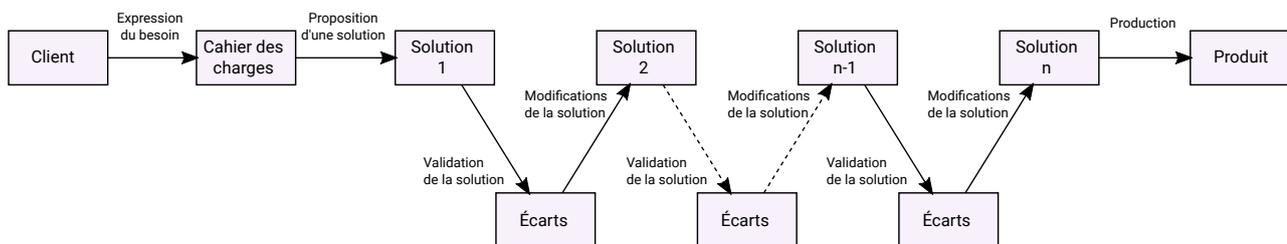


FIGURE 10 – Cycle de conception d'un système complexe.

Dans le cas des systèmes complexes, l'élaboration d'une solution répondant à tous les critères du cahier des charges est une tâche nécessairement itérative (figure 10). À chaque étape, de nouvelles solutions ou des modifications des solutions sont proposées, puis les performances sont évaluées, et se rapprochent progressivement des niveaux requis au cahier des charges.

Le cycle itératif de conception, appelé couramment *cycle en V*, comporte en réalité plusieurs niveaux d'itérations, localement sur les sous-composants, et plus globalement sur l'architecture complète du produit. Nous n'aurons pas besoin de ce niveau de détail pour le programme de CPGE mais il prend tout son sens au niveau industriel. Il existe par ailleurs d'autres cycles de conception (comme les méthodes agiles par exemple en informatique) ; n'hésitez pas à consulter la page wikipédia du « cycle en V ».

2.4 Validation des solutions – démarche de l'ingénieur

Le programme de CPGE se concentre en particulier sur la phase de validation de solution, celle qui nécessite calculs et mesures pour chiffrer les niveaux de performance atteints.

Pour calculer une performance et la comparer au cahier des charges, l'ingénieur dispose classiquement de deux stratégies :

- Réaliser un *banc d'essais* représentatif du système réel (ou instrumenter le système réel) et *mesurer* la performance;
- Réaliser une représentation théorique du système, c'est-à-dire un *modèle*, et *calculer* la performance, par des calculs analytiques « à la main » ou par des simulations numériques.

La figure 11 décrit les trois pôles qui sont au cœur des démarches scientifiques et techniques : le domaine industriel, correspondant au produit en usage auprès du client, le domaine du modèle et de la simulation, et le domaine expérimental du banc d'essais. Il faut noter que pour l'ingénieur dans la phase de conception (de même que pour les activités de TP), la situation du produit en usage auprès du client n'est accessible que par le biais du cahier des charges.

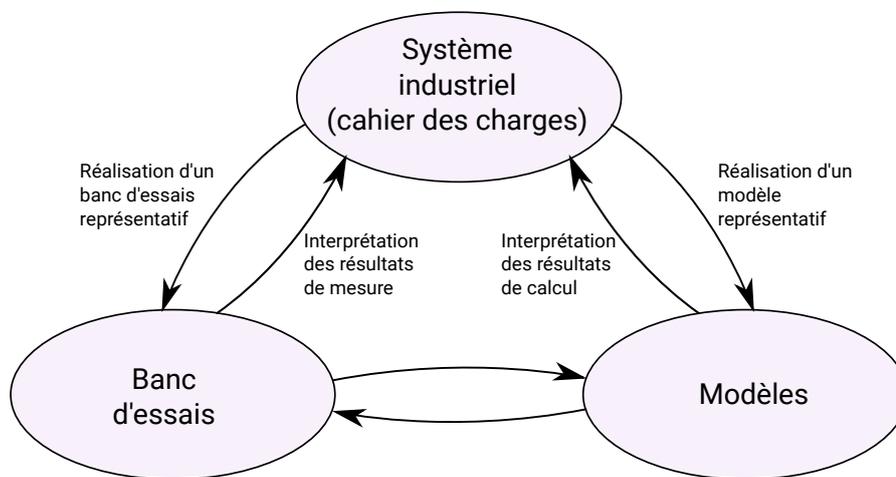


FIGURE 11 – Triptique représentant les démarches d'analyse de l'ingénieur.

Le banc d'essais est toujours une version plus ou moins réductrice du système réel en usage auprès du client : il est difficile de reproduire les sollicitations réelles, le banc est parfois à échelle réduite, il ne comporte souvent qu'une partie du système, l'instrumentation n'est pas parfaite... Les résultats de mesure doivent être interprétés à leur juste valeur.

De même, les modèles sont toujours des représentations plus ou moins simplifiées de la réalité. Les équations n'intègrent pas la totalité des phénomènes physiques, les calculs sont souvent approchés, les sollicitations sont difficiles à prévoir... Les résultats de calculs doivent être interprétés à leur juste valeur.

Au delà de ces deux stratégies principales, il existe des situations hybrides, où un modèle du système réel se nourrit de paramètres obtenus sur bancs d'essais (des paramètres expérimentaux par exemple), ou encore lorsque le modèle sert dans un premier temps à représenter le banc d'essai, ce qui permettra de le valider sur les mesures du bancs afin de l'utiliser pour le système industriel en toute sécurité...

Les démarches d'analyse sont parfois complexes ; il faut garder en mémoire le rôle de chaque domaine et affuter son esprit critique quant aux limitations de chacun. L'objectif terminale vise toujours *une conclusion au regard du système industriel* : les bancs d'essais et modèles ne sont que des outils pour l'ingénieur, permettant d'atteindre les performances du système réel en usage qu'il n'a pas.

3 Analyse des systèmes automatisés

Les systèmes étant par nature complexes, une formalisation de la description du système est nécessaire. Les outils de description sont nombreux depuis la seconde moitié du siècle dernier (FAST, SADT, Grafcet...). Le temps est aujourd'hui à l'utilisation d'outils numériques de représentation tels que SysML (System Modeling Language), capables de gérer la base de données complète de grands systèmes (avion, usine de production...).

Trois points de vues seront développés dans ce document :

- la descriptions *fonctionnelles* des systèmes,
- la descriptions *structurelles* des systèmes,
- la descriptions *comportementales* des systèmes.

3.1 Descriptions fonctionnelles des systèmes

3.1.1 Diagramme des cas d'utilisation

Le *diagramme des cas d'utilisation* (use case – uc) donne une représentation simplifiée du système du point de vue des fonctions réalisées (ou les services rendus) par le système et ses sous-ensembles. Il relie les acteurs pour un cas d'utilisation du cycle de vie.

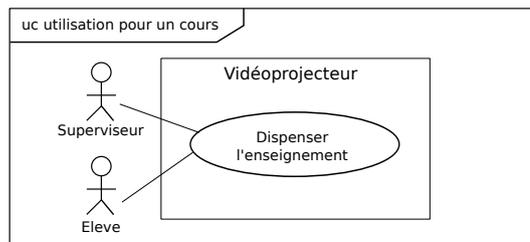


FIGURE 12 – Exemple de diagramme de cas d'utilisation pour un vidéoprojecteur

Dans l'exemple d'un vidéoprojecteur de la figure 12, le vidéoprojecteur a pour fonction principale de permettre à l'enseignant de "dispenser l'enseignement" à l'élève pour une utilisation en cours.

3.1.2 Diagramme des exigences

Le *diagramme des exigences* (requirements – req) décrit de façon hiérarchique les exigences et spécifications à respecter. Les exigences détaillées sont qualifiées par un niveau chiffré à atteindre.

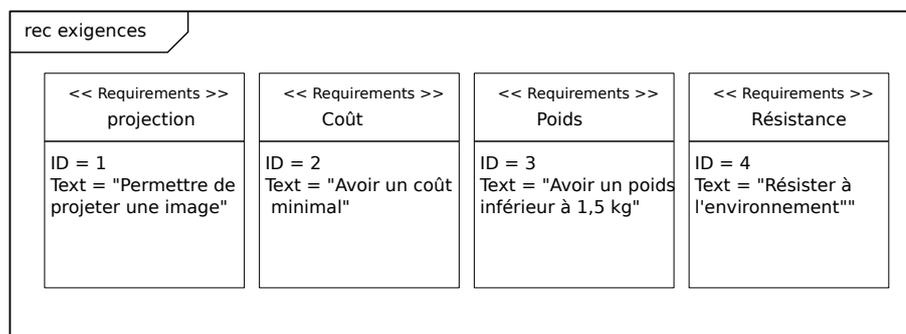


FIGURE 13 – Exemple de diagramme des exigences pour un vidéoprojecteur

Dans l'exemple d'un vidéoprojecteur, la figure 13 donne un extrait du diagramme des exigences.

Ce diagramme peut aussi être présenté sous la forme d'un tableau, plus synthétique.

3.2 Descriptions structurelles des systèmes

Une description structurelle vise à décomposer le système, non plus en fonctions et sous-fonctions mais en composants et sous-composants. L'architecture classique des systèmes fait appel à différents types de composants qu'il est nécessaire de reconnaître.

3.2.1 Chaîne fonctionnelle

Un système automatisé peut dans la plupart des cas être décomposé en deux parties : la *partie commande* et la *partie opérative* (figure 14).

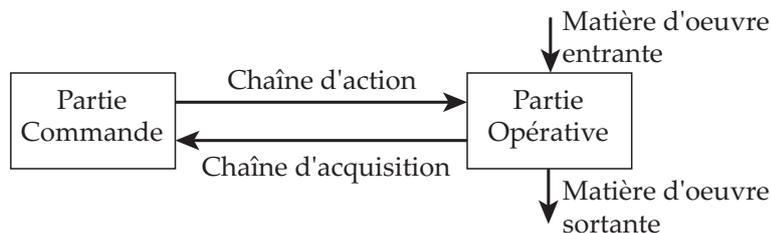


FIGURE 14 – Décomposition en partie commande et partie opérative.

L'architecture générale d'un système automatisé peut se mettre sous la forme générale de la figure 15.

La *partie commande (PC)* échange et traite les informations avec l'extérieur, l'opérateur et la partie opérative pour commander la partie opérative. Elle représente le "cerveau" du système. Les énergies manipulées sont souvent faibles (alimentation 5 V en électrique, 15 bars en hydraulique, etc...).

Les principales techniques rencontrées dans les parties commandes sont programmées (réalisation électronique ou logicielle), ou encore câblées (réalisation électrique, pneumatique ou électro-pneumatique).

La *partie opérative (PO)* exécute les ordres de la partie commande et agit sur la matière d'œuvre pour lui apporter la valeur ajoutée. Elle représente la "main" du système. Les énergies manipulées sont souvent élevées (alimentation 220 V ou 380 V en électrique, 250 bars en hydraulique, etc...).

Les principales techniques rencontrées dans les parties opératives sont électrique, hydraulique, pneumatique, thermique ou mécanique.

La partie commande est en lien avec l'opérateur qui lui donne des consignes et reçoit des informations. Ce lien est appelé « interface homme/machine » (IHM).

3.2.2 Chaîne d'énergie et chaîne d'information

Cette représentation permet de mettre en évidence les flux de deux grandeurs principales au sein du système : le flux d'information et le flux d'énergie. Le système peut se mettre sous la forme générale présentée figure 16.

La représentation par CI/CE est très similaire à la représentation par chaîne fonctionnelle. Elle reste cependant complémentaire car ce diagramme fait clairement apparaître les grandeurs physiques pertinentes qui transitent entre les blocs. Elle dissocie les composants et flux relatifs à l'information (basse énergie) et les composants et flux relatifs à l'énergie (haute énergie).

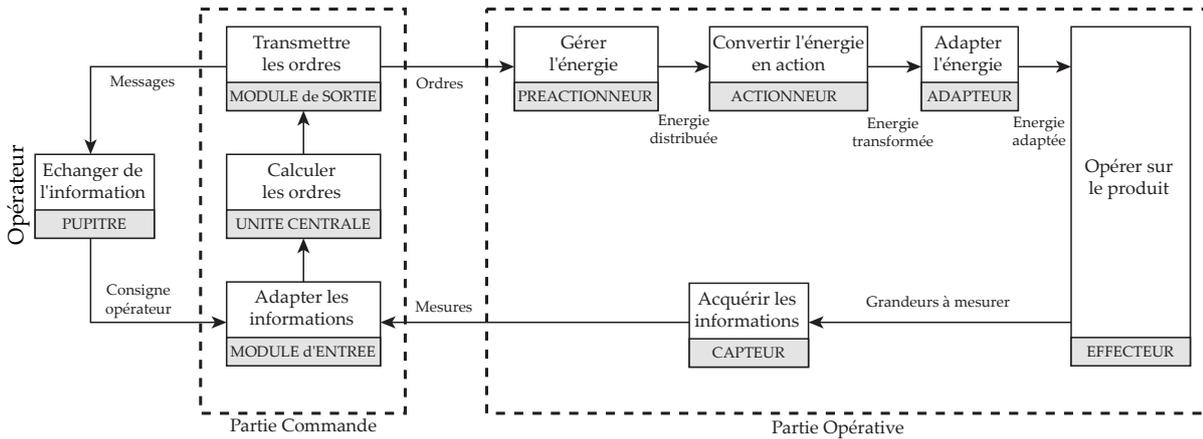


FIGURE 15 – Vue détaillée de la structure d'un système automatisé.

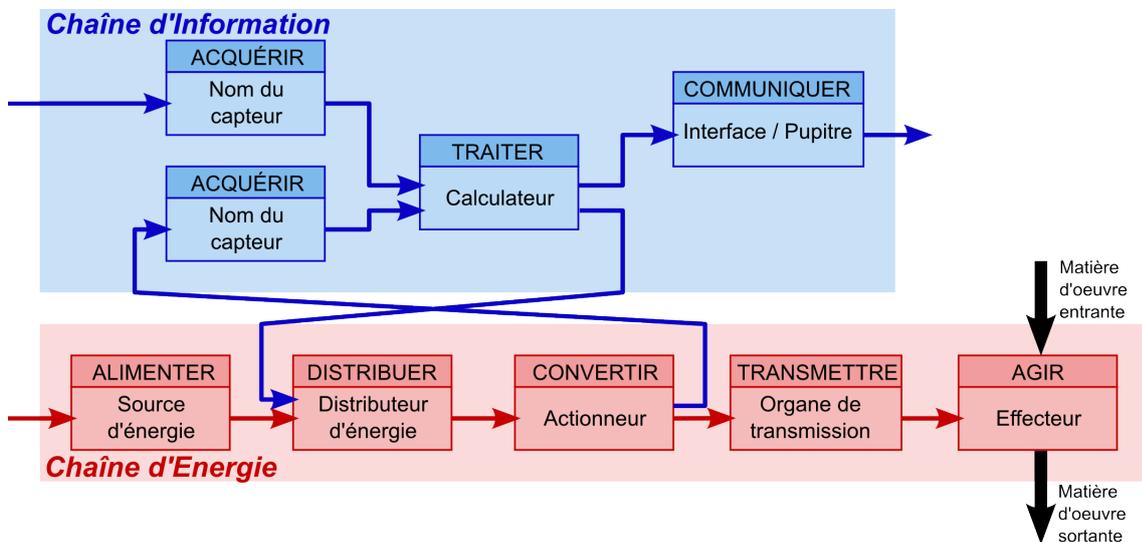


FIGURE 16 – Représentation d'un système sous forme de chaîne d'information et chaîne d'énergie.

La réalisation de ces fonctions se fait, dans la grande majorité des cas, par des organes standards qu'il est nécessaire de connaître. Cette culture des composants de mécatronique est importante pour être capable d'analyser un système automatisé.

Les composants de la chaîne d'information

Il s'agit de la partie du système automatisé qui capte l'information et qui la traite. La chaîne d'information est généralement décomposée en trois fonctions :

1. Acquérir

- Fonction : prélever des informations sur l'état du système (grandeurs physiques issues de la chaîne d'énergie) et recevoir les informations fournies par les systèmes environnants et les interfaces homme/machine.
- Réalisation technique : capteurs de position (potentiomètres, codeurs, codeurs incrémentaux,...), capteurs de vitesse (tachymètre), capteurs de force (dynamomètre, cellule piézoélectrique), capteurs d'accélération...

2. Traiter



Capteur de présence infrarouge



Capteur de position capacitif



Capteur rotatif codeur



Potentiomètre



Capteur de température

- Fonction : comparer les consignes et les signaux fournis par les capteurs afin de générer une commande à destination de la chaîne d'énergie.
- Réalisation technique : automates programmables, ordinateurs, microcontrôleurs, ...



Microcontrôleur de la carte Arduino



Ordinateur Raspberry Pi



Automate programmable

3. Communiquer

- Fonction : assurer l'interface entre la partie commande et son environnement, générer les ordres à destination de la chaîne d'énergie et les informations à destination de l'interface H/M et des autres systèmes.
- Réalisation technique : Commandes TOR, réseau WIFI ou fibre optique.



Carte fibre optique



Bus CAN utilisé dans l'automobile



Carte WiFi

Les composants de la chaîne d'énergie

Il s'agit de la partie du système automatisé qui regroupe l'ensemble des procédés nécessaires à la réalisation d'une action. Elle se décompose de façon générique en cinq fonctions, décrites ci-dessous. Le dernier bloc de la chaîne d'énergie a pour fonction d'agir sur la matière d'œuvre (grâce à un composant nommé effecteur) pour réaliser la fonction de service attendue. Le flux de matière d'œuvre est représenté verticalement.

1. Alimenter

- Fonction : mettre en forme l'énergie externe pour la réalisation d'une action (énergie hydraulique, pneumatique ou électrique).
- Réalisation technique : prise réseau, raccord réseau, pile, batterie, accumulateur

2. Distribuer



Réseau électrique



Réseau pneumatique



Batterie

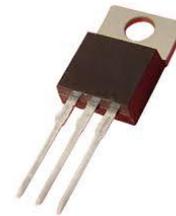
- Fonction : recevoir les ordres de la chaîne d'information et libérer l'énergie nécessaire aux actionneurs pour déclencher la réalisation de l'action.
- Réalisation technique : relais, contacteurs, variateurs, distributeurs,...



Contacteur



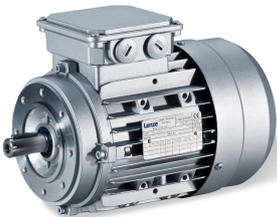
Distributeur



Transistor

3. Convertir

- Fonction : transformer l'énergie disponible (mécanique, pneumatique, électrique ou hydraulique) en énergie utile.
- Réalisation technique : moteurs électriques, moteurs thermiques, hydrauliques, vérins,...



Moteur rotatif



Moteur linéaire



Vérin hydraulique

4. Transmettre

- Fonction : adapter l'énergie utile pour la rendre utilisable par l'effecteur.
- Réalisation technique : réducteurs, multiplicateurs, poulies-courroies, engrenages, ...



Embrayage



Poulie-courroie



Accouplement permanent

5. Agir

- Fonction : agir sur la matière d'œuvre pour réaliser la fonction de service attendue.
- Réalisation technique : bras robot, pince, convoyeur, outils (foret, ...)



Ventouse



Pince



Monte charge

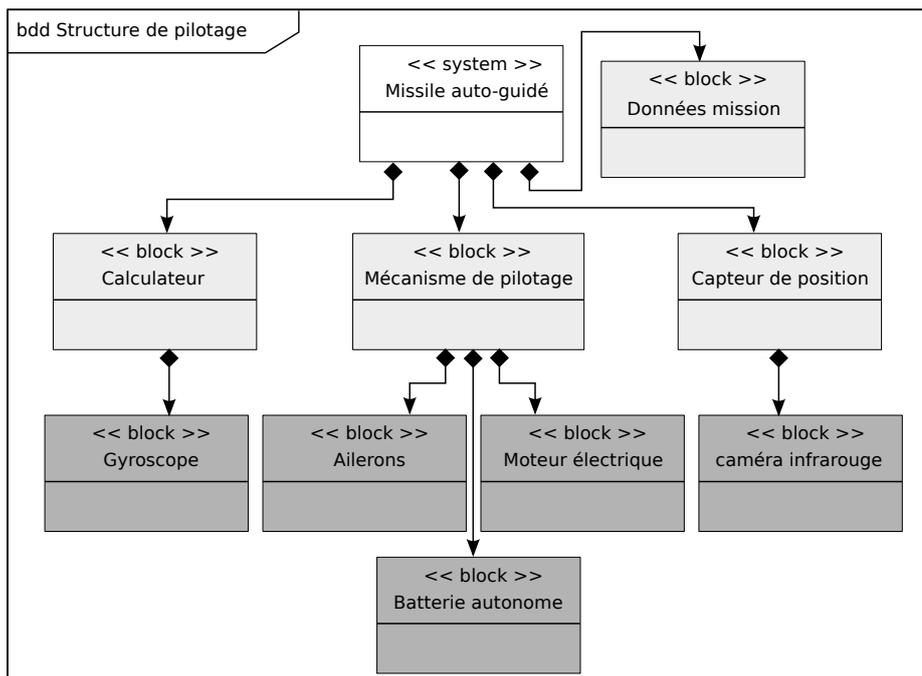
3.2.3 Diagramme de définition de blocs SysML (bdd)

Ce diagramme permet de montrer le système d'un point de vue architecture de composants, il répond à la question "qui contient quoi?". Il permet de représenter les liens entre les composants ou sous systèmes physiques de même niveau par une association (simple trait entre 2 blocs)

Prenons l'exemple d'un missile autoguidé, capable de gérer seul sa trajectoire à l'aide d'une caméra infrarouge et d'un système de pilotage du vol par ailerons :



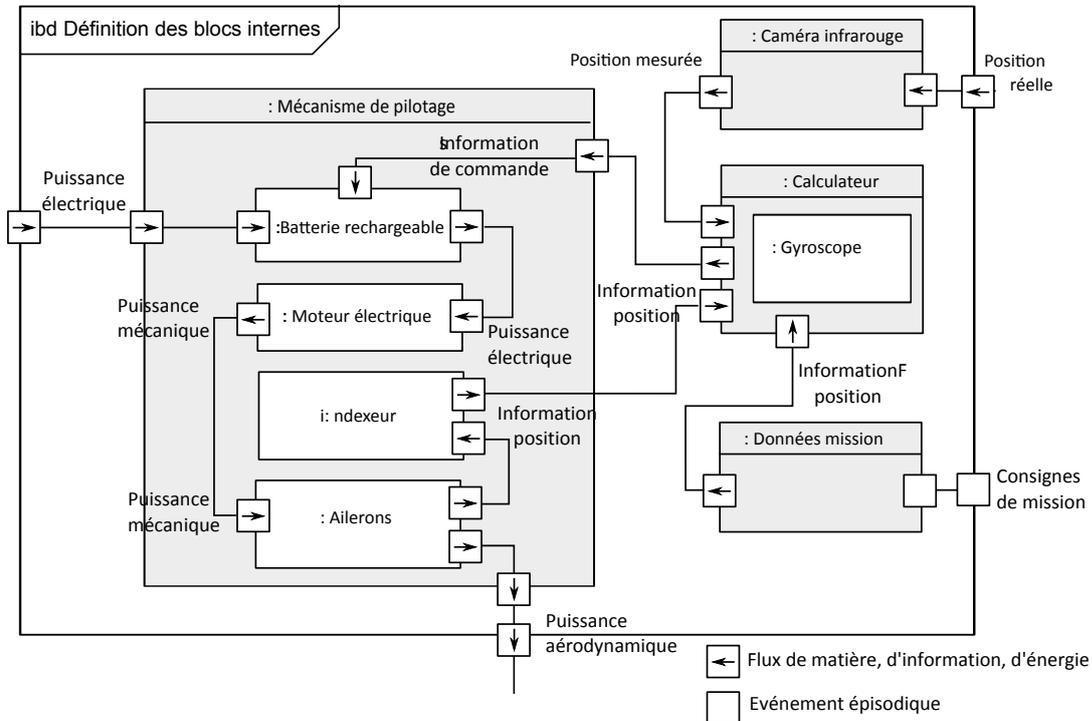
L'architecture du système est représenté ci-dessous :



3.2.4 Diagramme de définition de blocs internes SysML (ibd)

Ce diagramme permet de représenter les échanges de matière/information/énergie entre les composants ou sous systèmes de même niveau grâce aux ports de flux (petit carré avec une flèche). Il permet également de représenter les services fournis/offerts par un bloc grâce aux ports standards (petit carré sans flèche), et par extension toute entrée/sortie de contrôle/commande.

Dans notre exemple l'ensemble des échanges d'énergie et d'information entre les blocs précédemment définis peuvent être identifiés grâce au diagramme de définition de blocs internes :



3.3 Description comportementale des systèmes

Une description comportementale d'un système vise à caractériser le comportement du système plus que sa structure ou sa fonction. Il existe plusieurs outils de description comportementale.

Nous présenterons ci-dessous deux outils particulièrement adaptés à la description des systèmes analogiques : le schéma bloc et le diagramme paramétrique. Ces outils seront revus de façon plus approfondie au cours de l'année, ainsi que d'autres descriptions comportementales pour les systèmes logiques et séquentiels.

3.3.1 Schéma blocs – modèle causal

Les *schémas blocs* (figure 17), encore appelés *schémas fonctionnels* (où le terme fonctionnel désigne ici le comportement) utilisent trois objets :

- les **blocs** caractérisent une relation de comportement entrée/sortie. Ces blocs peuvent contenir soit le nom d'un sous-ensemble dont le comportement n'est pas encore explicité, soit une équation permettant de calculer la sortie en fonction de l'entrée. Certains blocs contiennent une fonctions de transfert, qui représente une équation différentielle exprimée avec le formalisme de Laplace que nous verrons très prochainement.
- Les **liens** représentent une grandeur d'entrée ou de sortie d'un bloc. Ces liens représentent généralement des grandeurs physiques.
- Les **sommateurs** additionnent ou retranchent les grandeurs qui doivent bien entendu être *du même type*.

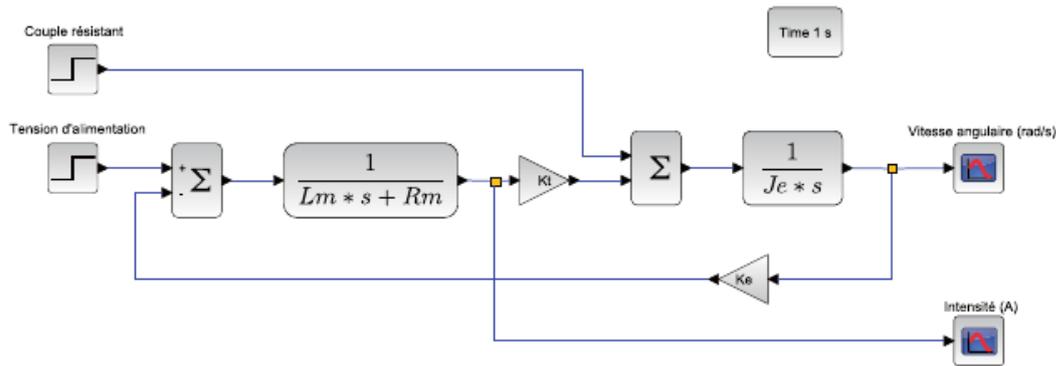


FIGURE 17 – Description du comportement du système par un schéma bloc.

Les schémas bloc sont adaptés à l'étude des systèmes continus (ou analogiques) où les grandeurs étudiées sont des fonctions du temps continues par morceaux. Les relations de comportement sont généralement décrites par des équations différentielles liant la fonction de sortie à la fonction d'entrée.

3.3.2 Modèle acausal

Les modèles acausaux comportent eux aussi des blocs contenant des relations entre entrées et sortie et des liens véhiculant des grandeurs physiques (figure 18).

À la différence de la modélisation causale précédente, les liens peuvent contenir plusieurs grandeurs physiques, généralement deux grandeurs duales (tension et intensité par exemple en électricité, ou force et vitesse en mécanique) et la description des équations dans les blocs n'est pas nécessairement explicite.

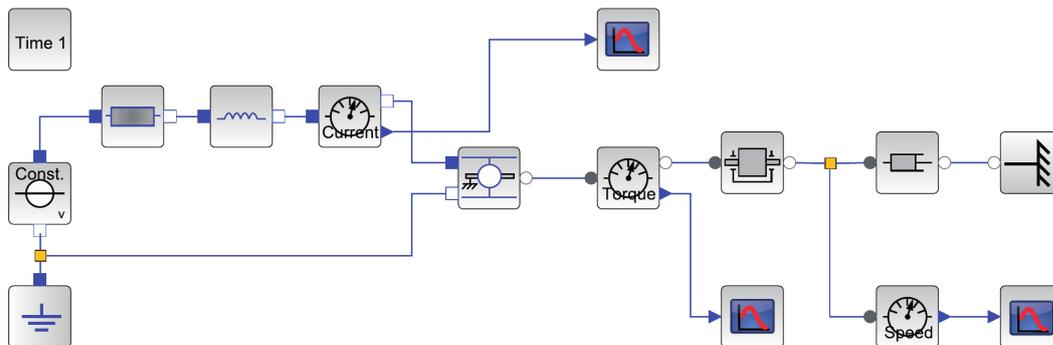


FIGURE 18 – Description du comportement du système par un modèle acausal.

Les modèles acausaux sont plus proches de la physique des phénomènes (tandis que les modèles causaux correspondent plutôt à une représentation mathématique des équations), mais ils s'avèrent plus difficiles à débloquer en cas de problème mal posé à la simulation (le solveur ne pouvant pas définir le lieu exacte du problème de modélisation).

3.3.3 Diagramme paramétrique SysML

Le diagramme paramétrique permet d'intégrer dans le modèle SysML d'un système des représentations de contraintes ou d'équations à des fins d'analyse. Chaque contrainte ou équation est définie par des paramètres et des règles de dévolution de ces paramètres.

Il a vocation à traiter des analyses plus poussées d'ingénierie avec des outils de simulation similaires aux modèles causaux et acausaux mais il n'est pas encore implanté dans les logiciels de simulation.

le diagramme paramétrique d'un moteur à courant continu est présenté fig. (19), il relie les grandeurs physiques mises en jeu et les équations mécaniques et électriques qui en modélisent le comportement.

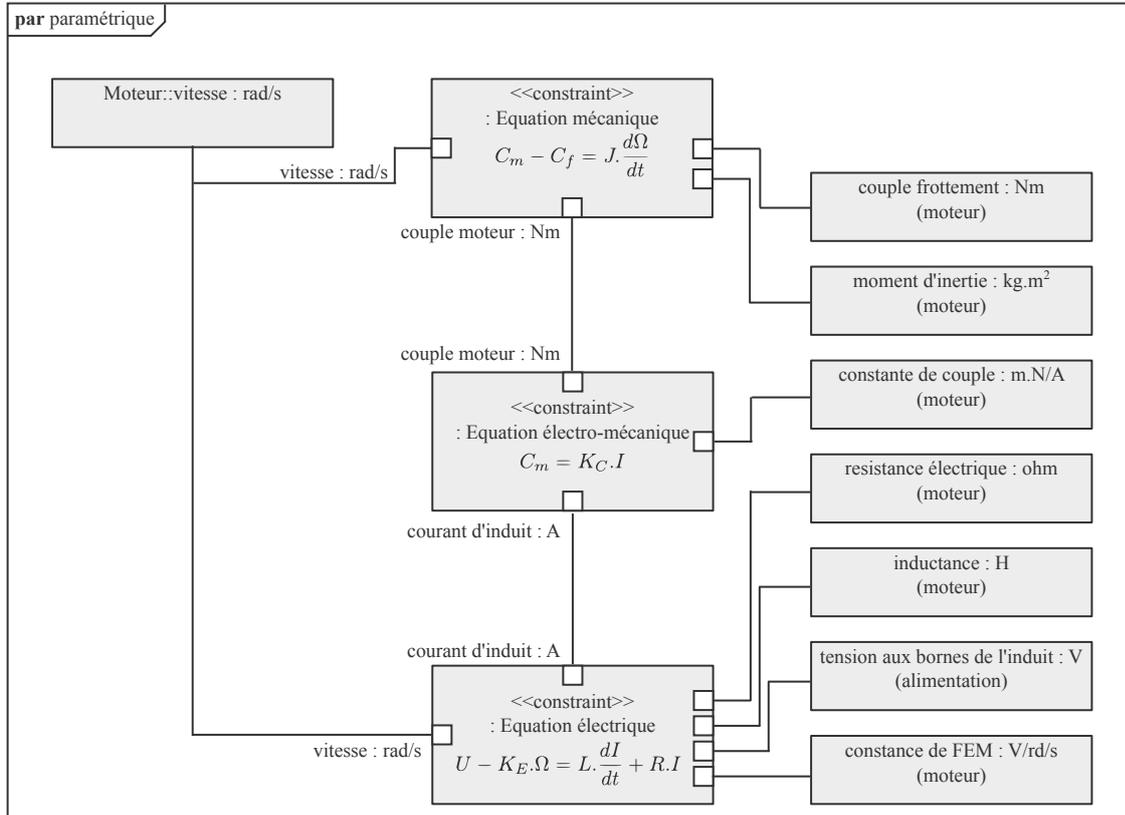


FIGURE 19 – Description du comportement du système par un diagramme paramétrique.

D'autres diagrammes SysML de description du comportement existent (diagramme d'état, diagramme d'activité) et seront vus plus tard dans l'année.