

Cycle 1: Etude des systèmes pluri-techniques et multi-physiques

Chapitre 1 – Introduction à l'Ingénierie Systèmes

Quelles solutions utilisent les industriels pour proposer des produits compatibles avec le besoin des consommateurs? Quelles solutions utilisent les industriels pour renouveler leur offre de produit? Quelles solutions utilisent les industriels pour rester à la pointe de la technologie? Quelles solutions utilisent les industriels pour mener à bien leurs projets?



Concept car Peugeot Ex 1 [1] – 100% électrique

La bonne santé des industriels dépend de la réponse à ces questions. Pour cela de nombreux outils leurs permettent de maîtriser la conception, la réalisation, la diffusion et le recyclage des produits.

Le but de l'Ingénierie Système (IS) est de proposer des outils permettant d'aider les industriels lors de toute la vie d'un produit.

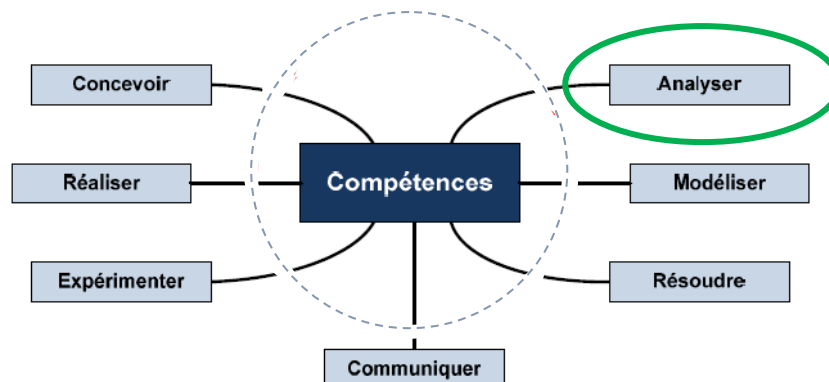
Problématique

Quels sont, dans un premier temps, les outils à notre disposition permettant de gérer au mieux la conception, la production, la diffusion et le recyclage des produits industriels?

Savoir

SAVOIRS :

- A-C1.1 : Besoin, système, services attendus du système, cahier des charges fonctionnel, spécifications fonctionnelles, analyse du cycle de vie, acteurs, interactions, solution technique.
- A-C1.S1 : Décomposer une exigence en plusieurs exigences unitaires.
- A-C1.S2 : Identifier les interactions entre les acteurs et le système étudié.
- A-C3.1 : Analyse structurelle et comportementale.
- A-C3.2 : Chaîne d'information, chaîne d'énergie.



Sommaire

1. <u>Le système</u>	3
2. <u>Le besoin, exigences et Cahier des Charges (CDC)</u>	5
3. <u>L'évolution des technologies</u>	6
4. <u>Le cycle de vie d'un produit</u>	7
5. <u>Cycle d'industrialisation d'un système complexe</u>	8
6. <u>Nécessité de l'Ingénierie Systèmes</u>	10
7. <u>Les enseignements de SII en CPGE</u>	11



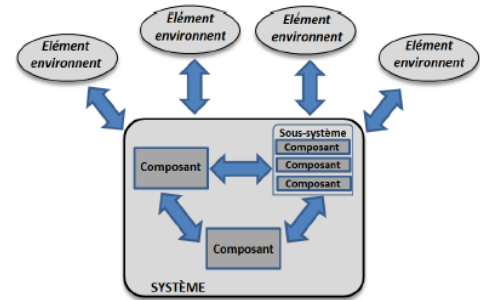
Introduction à l'Ingénierie Systèmes

1. Le système

Définition :

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

La fonction globale du système répond à un **besoin** d'un utilisateur.



Il est important de bien identifier les **limites du système**, les éléments qui le constituent et qui en font une entité organisée, c'est à dire la **frontière**.

Exemples de systèmes complexes :



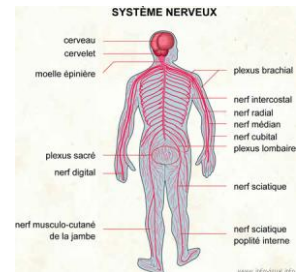
Ipad (Apple)



Falcon 7X (Dassault Aviation)



I-step runner (Matra Sports)



Système technique – Produit :

Dans la suite nous ne nous intéresserons qu'à une catégorie bien particulière de systèmes que sont les systèmes techniques. Ces derniers sont des systèmes physiques créés par l'homme dans un but précis.

Un **système technique** est un ensemble technique conçu pour répondre à un **besoin**. Un **produit** est ce qui est fourni à l'utilisateur pour répondre à ce besoin.

Il existe ainsi plusieurs façons de satisfaire un besoin :

- *immédiatement par un produit existant ;*
- *après reconception ou modification d'un produit existant ;*
- *après conception complète d'un nouveau produit.*



Le produit peut être de nature diverse : **matière première, produit manufacturé, énergie, information, service, ...**

Classification des systèmes :

Suivant le contexte technico-économique, on peut distinguer deux types de systèmes :

Systèmes de diffusion limitée : On rencontre ces systèmes dans le domaine de l'industrie essentiellement. Ces systèmes peuvent être unitaires, font l'objet d'une étude réduite, et sont constitués d'éléments standard assemblés.



Systèmes de grande diffusion (produits d'usage courant) : Ils sont produits en grande série et font l'objet d'études approfondies afin d'optimiser les coûts. Le design est souvent un élément important. On rencontre ces systèmes dans de très nombreux domaines (automobile, électroménager, ...)



Introduction à l'Ingénierie Systèmes

Systèmes complexes :

Remarque

On abordera régulièrement la notion de *système complexe*. Un tel système est multiphysique et pluritechnologique. Cela signifie que son fonctionnement fait appel à plusieurs disciplines de la physique (mécanique, électronique, thermique, optique ...). Sa conception, sa fabrication et son fonctionnement font appel à un grand nombre de technologies.

Exemple

Automobile – Concept car Peugeot EX1 Loisir – Modélisme – Drone quadrihélice Électronique – Téléphones à écrans flexibles – Oled [6] Génie Civil – Pont Bacalan Bordeaux[7]

Ces systèmes sont multiphysiques et pluritechnologiques dans la mesure où ils intègrent à la fois de l'électronique ou de l'électrotechnique, de la mécanique, des matériaux innovants.

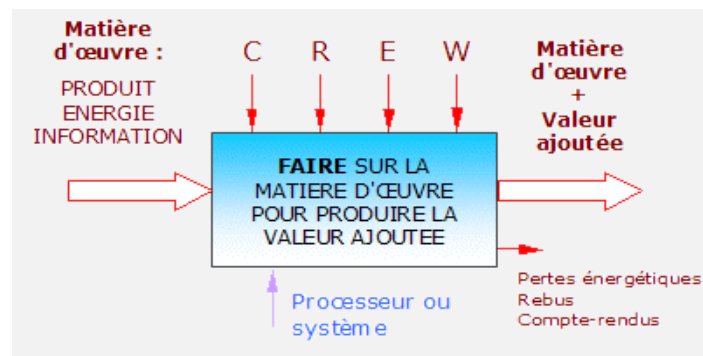
Caractéristiques d'un système :

L'environnement du système est ce qui lui est extérieur lorsqu'il a été isolé par sa frontière. Le système agit sur une partie de son environnement, la matière d'oeuvre, qu'il modifie en fonction de l'état des autres éléments extérieurs pour créer de la valeur ajoutée.

La **matière d'oeuvre (M.O.)** est l'élément d'entrée sur lequel s'exercent les activités du système. Il existe 3 types de M.O : **matière, énergie ou information**

La **valeur ajoutée** est définie comme la modification apportée au flux de matière d'oeuvre entre l'entrée et la sortie du système. La valeur ajoutée (V.A.) est la valeur supplémentaire apportée à la matière d'oeuvre par l'activité du système.

On distingue 3 types de valeur ajoutée : **la transformation, le stockage et le déplacement.**



2. Le besoin, exigences et Cahier des Charges (CDC)

Le **besoin** est ce qui est nécessaire à l'utilisateur et désiré par lui. Le besoin ainsi défini concerne la nature des attentes de l'utilisateur.

J'ai besoin de me rendre au Mourillon.

Plusieurs produits peuvent satisfaire le besoin du client.



Vibram fivefingers [8]



Magsurf – Surf à sustentation magnétique [9]



Segway[10]




Vélo électrique Audio [11]

Il est donc important que les attentes du client soient spécifiées en détail afin que le produit industriel soit en phase avec les besoins de l'utilisateur.

Une **exigence** permet de spécifier une capacité ou une contrainte qui doit être satisfaite par un système. Elle peut spécifier une fonction que le système devra réaliser ou une condition de **performance, de fiabilité, de sécurité, etc.** Les exigences servent à établir un contrat entre le client et les réalisateurs du futur système.

Le **cahier des charges (CDC)** est un document par lequel le **demandeur exprime ses besoins** en terme **de fonctions de service et de contraintes**. Pour chacune d'elles sont définis des critères d'appréciation ainsi que leur niveaux, chacun d'entre eux étant assorti d'un certain degré de flexibilité.

Satellite d'observation géophysique DEMETER



L'orbite choisie pour DEMETER impose que ses panneaux solaires ne captent la lumière du Soleil que pendant une durée limitée à chaque révolution. Le courant n'est généré par les cellules des panneaux que pendant ces périodes éclairées qui permettent alors de recharger le système de batteries.

Fonction	Critère	Niveau	Flexibilité
Gérer l'énergie de DEMETER	Durée d'éclairage des panneaux solaires	65 min	Maxi
	Capacité du système de batteries	15 A.h	-
	Nombre de circuits électriques à alimenter	44	Aucune
	Intensité dans le circuit	0,6 A	Maxi

La **solution technique** correspond au choix adopté par l'industriel pour répondre au besoin du client et aux exigences.



Introduction à l'Ingénierie Systèmes

3. L'évolution des technologies

Par définition, la technologie c'est l'étude des techniques industrielles et intègre : la conception, la fabrication de produits et de systèmes avec des performances explicitées et maîtrisées. La mise en œuvre des technologies doit répondre aux besoins exprimés, par une **approche fonctionnelle, technique et économique**.

Les étapes clés de l'évolution technologique :



La maîtrise de l'énergie



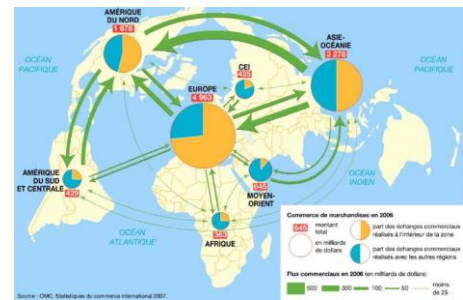
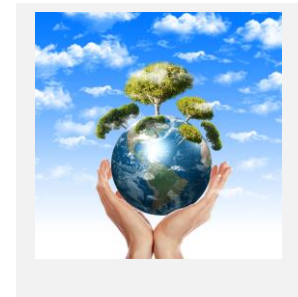
La maîtrise de l'information et « l'explosion » de l'informatique



L'évolution des produits et systèmes d'aujourd'hui = pluritechniques



Contraintes humaines et environnementales

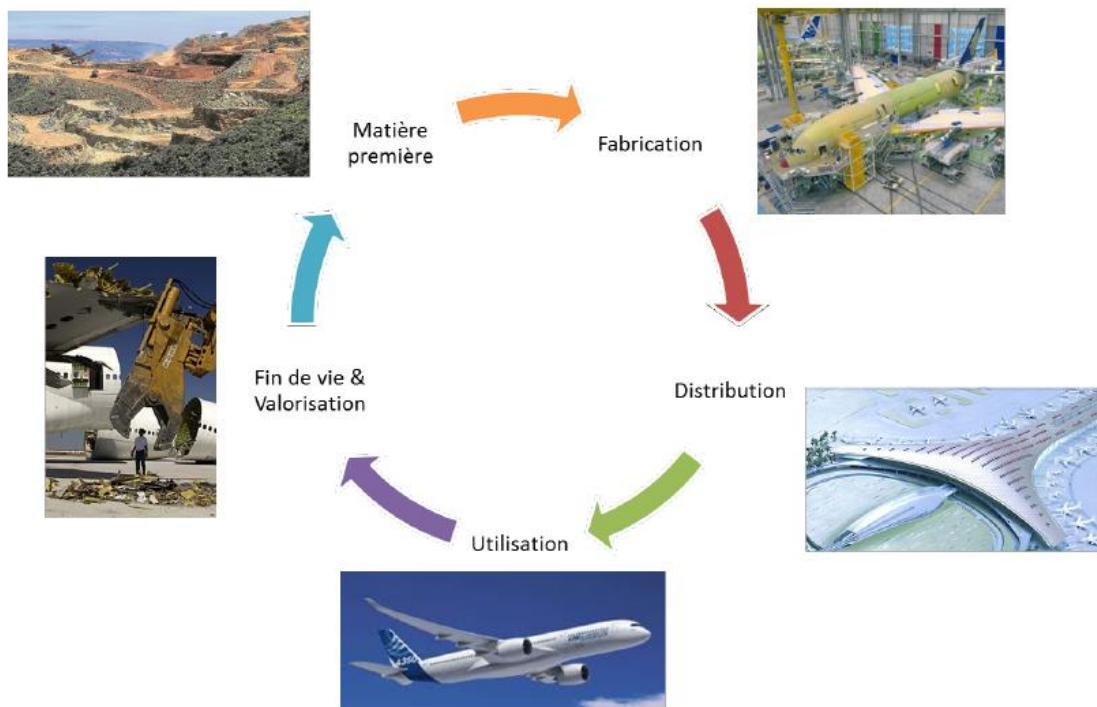


Elargissement des marchés et des échanges = mondialisation

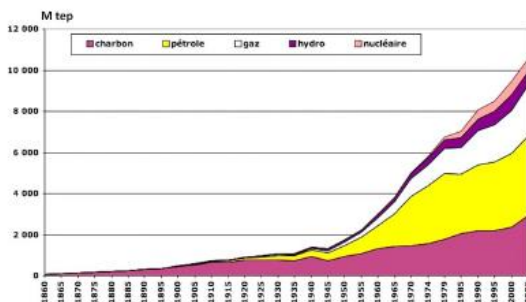
(Voir annexe sur les énergies)

4. Le cycle de vie d'un produit

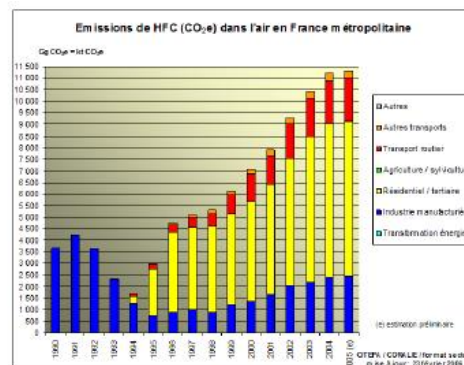
Le **cycle de vie** recense les **différentes étapes** d'un produit, de l'identification **du besoin** à l'origine de sa conception **jusqu'au recyclage** de ses constituants. Chacune des étapes **consomme des ressources et a un impact certain sur l'environnement**. Les ressources naturelles n'étant pas inépuisables et l'impact de la pollution humaine impactant toujours plus les écosystèmes, il devient nécessaire de limiter l'impact des produits sur l'environnement. C'est ce qu'on appelle **l'éco-conception**.



Pour information :



Consommation mondiale en millions de tonnes équivalent pétrole. Schilling & Al



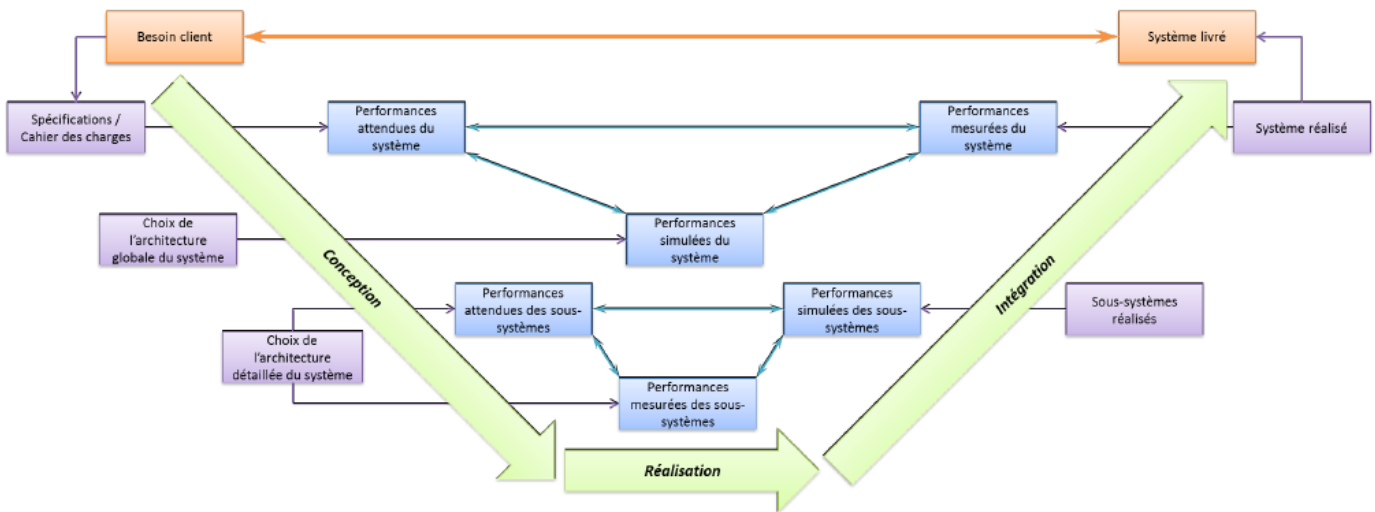
Emissions de CO2 en France métropolitaine

Les enjeux de l'éco-conception sont :

- la **recherche de la compétitivité** avec l'apparition de nouveaux marchés
- de répondre aux **pressions externes** (réglementation, normes...) et aux attentes des clients (boycott, labels...)
- la **diminution des coûts** (recyclage des matières, réduction des emballages, diminution des coûts de dépollution...).

5. Cycle d'industrialisation d'un système complexe

Le cycle d'industrialisation d'un système complexe peut être schématisé selon la figure suivante.



Problématique

Les principaux problèmes de l'ingénierie système pourraient être résumés ainsi :

Comment faire en sorte que le système livré par l'industriel soit en adéquation avec les besoins du client ?

Comment faire en sorte, à chaque étape de l'industrialisation que les écarts entre le produit en cours d'industrialisation et le produit souhaité par le client soient minimums ?

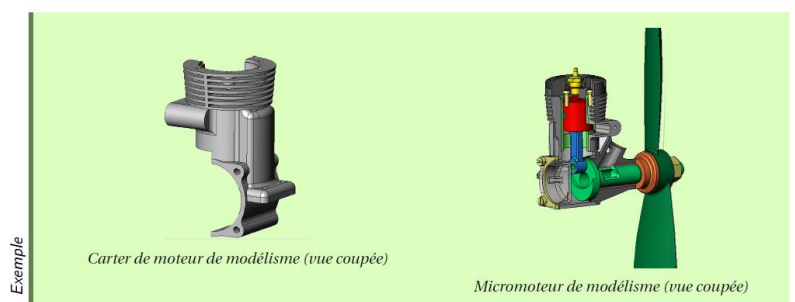
En effet, la vie des entreprises dépend de la vente des produits fabriqués. Il est donc indispensable de faire en sorte que tout soit fait pour définir au mieux le besoin du client afin de le satisfaire.

Organisation industrielle :

Tout commence par l'analyse de marché effectuée par le service marketing d'une entreprise. Elle sert à **prospector sur les nouveaux besoins**, les marchés...qui permettront un jour à l'entreprise de créer ces produits pour les vendre (c'est une des composantes de **l'innovation**).

Ensuite, la réalisation d'un produit pour un client démarre à la réception du **CDC : Cahier des Charges**, qui recense l'ensemble des **caractéristiques attendues par le client** (*performances, encombrement, poids, résistance, délais...*).

C'est le **bureau d'étude (BE)** qui interprète le CDC et qui a en charge la **conception globale du produit**. Pour cela, l'ingénieur de conception réalise différentes études (*notices de calculs, dessins, schémas, simulation...*).



Introduction à l'Ingénierie Systèmes

Exemple

Simulation d'une opération d'emboutissage[12]

Simulation d'un crash par éléments finis[14]

Simulation d'une opération de Fabrication Assistée par Ordinateur[13]

Simulation multiphysique avec Scilab-XCOS[15]

Puis le dossier d'étude est transféré au **bureau des méthodes de fabrication (BM)** qui a en charge la réalisation des **gammes de fabrication**, le choix des machines, outils, opérations... **L'atelier réalise ensuite les pièces et assemble le produit final.** En parallèle de la production, le **service métrologie et contrôle** surveille le bon respect des exigences sur les pièces et valide les lots produits pour envoi au client (suivant la série = contrôle statistique ou 100%).

Exemple

Chaîne de fabrication d'un Wafer de Silicium[16]

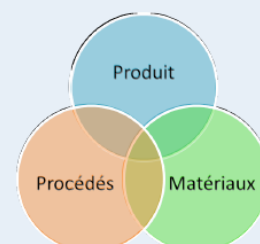
Centre d'usinage 5 axes[17]

Moule d'injection plastique d'une chaise en ABS[18]

Assemblage d'un satellite[19]

Le triptyque Produit – Procédé – Matériau – PPM

Comme tout le cycle d'industrialisation d'un produit, sa réalisation n'est pas un processus linéaire, mais est un fruit de compromis. On abordera le triptyque que PPM qui met en évidence que les choix des formes d'un produit, de matériaux et de procédés résultent de discussion nombreuses entre les différents bureau d'étude d'une entreprise.



Remarque



Introduction à l'Ingénierie Systèmes

6. Nécessité de l'Ingénierie Systèmes

L'ensemble de ce qui a été énoncé précédemment touche du doigt les difficultés qui peuvent être liées à la réalisation d'un système. Aussi, il est nécessaire pour les entreprises de disposer de méthodes robustes pour faire en sorte que tous les acteurs participants à la réalisation d'un produit puissent **communiquer**.

Définition

Ingénierie Système [3]

Approche interdisciplinaire rassemblant tous les efforts techniques pour faire évoluer et vérifier un ensemble intégré de systèmes, de gens, de produits et de solutions de processus de manière équilibrée au fil du cycle de vie pour satisfaire aux besoins client.

Le travail des différents acteurs intervenant lors des étapes du cycle de vie d'un système est **collaboratif** 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.



Bureau d'études Dassault Aviation

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

- **maquette numérique** (CAO pour Conception Assistée par Ordinateur) unique et partagée,
- **langage unique et compréhensible par tous** les métiers (publicitaires du service marketing, concepteurs du bureau d'étude, sous-traitants...) pour compléter les informations de la maquette CAO,
- **modélisations** du système basées sur cette maquette et ce langage.

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



Il a l'avantage de proposer différents **outils de description graphique**, des **diagrammes**, permettant de **modéliser le système** dans les différentes phases du cycle, en complément de la maquette numérique. Ces **diagrammes interagissent entre eux** grâce à des logiciels dédiés, ce qui permet de répercuter immédiatement toute modification à l'ensemble des acteurs concernés par le projet.

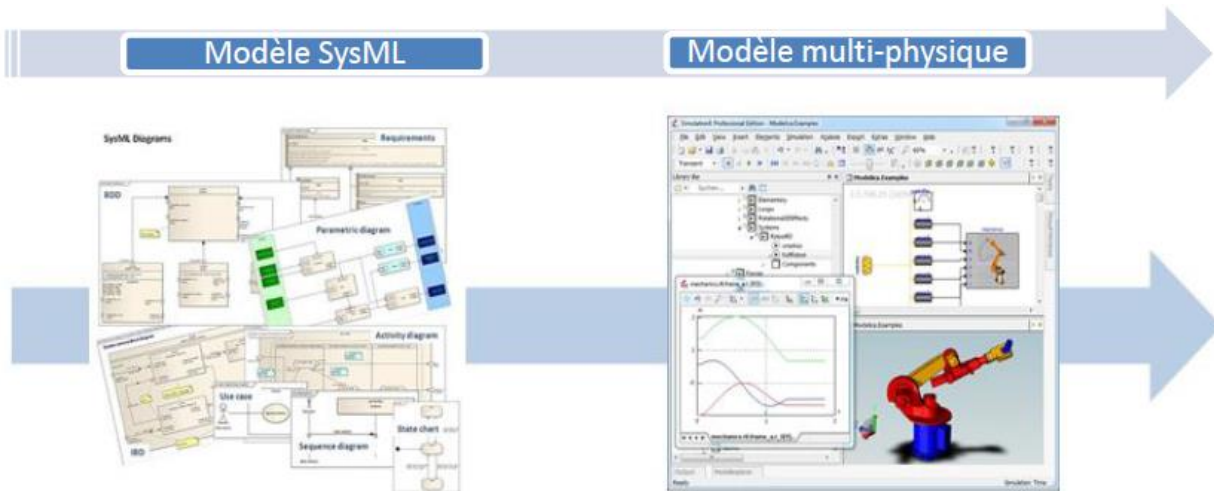
Les diagrammes permettent de décrire un système sous **différents points de vue** en répondant aux questions :

- A quoi sert ce système ?
- De quoi est composé ce système ?
- Quelles sont les activités (tâches) réalisées par ce système ? Dans quel ordre ?
- ...

Maquettes 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.



Introduction à l'Ingénierie Systèmes



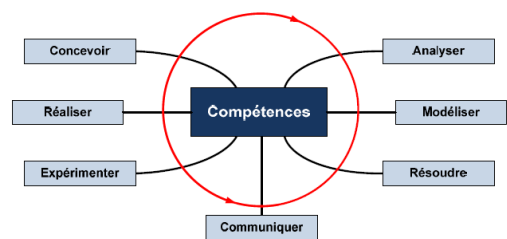
7. Les enseignements de SII en CPGE

En CPGE, concernant ces outils de modélisation :

- vous utiliserez des **modèles CAO** dans un logiciel professionnel : **Solidworks**,
- vous devrez savoir lire des modèles représentés sous la forme de **diagrammes SysML**,
- vous réaliserez des **simulations numériques dans l'environnement CAO** afin d'évaluer des performances,
- vous réaliserez des **simulations multi-physiques** afin d'évaluer des performances : **Scilab**,
- vous serez amenés à programmer des **outils d'aide aux calculs** : **Python**.

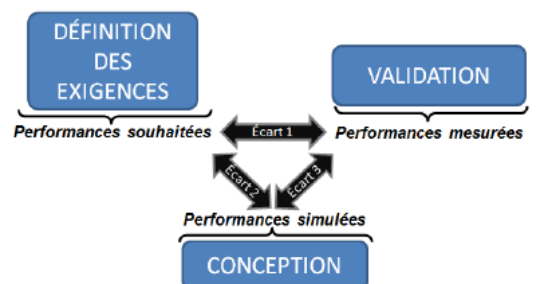
La formation en **Sciences Industrielles pour l'Ingénieur (SII) en CPGE** s'inscrit dans une démarche d'ingénieur et a pour objectif de mettre en place différentes compétences qui sont :

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



Mais comme l'ensemble du processus industriel fait naître des **écarts** :

- *écarts entre les performances du produit imaginées par l'industriel et les performances du produit désiré par le client ;*
- *écarts entre les performances du produit conçu par le bureau d'étude et les performances du produit réalisé par l'atelier de fabrication ;*
- *écarts entre les simulations issues du bureau d'étude et les performances réelles du système ;*
- *entre les performances du produit commercialisé et les attentes du client.*



Le but des Sciences Industrielles de l'Ingénieur (et des industriels) est de quantifier et maîtriser l'ensemble de ces écarts pour atteindre la satisfaction client la plus grande possible.