



C1 : MODÉLISATION DES SYSTÈMES PLURITECHNIQUES

C1-1 - Introduction aux Sciences Industrielles de l'Ingénieur et à l'ingénierie systèmes

31 Aout 2021

Table des matières

I Métiers de l'ingénieur	2
1 Contexte du travail dans l'entreprise	2
2 Rôle de l'ingénieur	2
3 Les différentes formes du métier d'ingénieur	3
II Cours de formation pour être ingénieur	4
1 Déroulement du cursus en CPGE	4
2 Compétences visées	5
3 Organisation en CPGE	5
4 Principales débouchées	5
5 Quelques conseils pour l'années scolaires	6
6 Les cycles en MPSI	6
III L'ingénierie système	8
1 Définitions	8
2 Spécification du besoin	10
3 Triptyque "système souhaité-réel-simulé"	11
4 Cycle de vie d'un système	11
5 Processus du conception de produits complexes	11
6 Exemple de modélisation	12

Compétences

- Analyser
 - Décrire le besoin et les exigences.
 - Définir les domaines d'application et les critères technico-économiques et environnementaux.
 - Qualifier et quantifier les exigences.
 - Évaluer l'impact environnemental et sociétal.

I. Métiers de l'ingénieur

1 Contexte du travail dans l'entreprise



Définition 1 : *Entreprise*

L'**entreprise** dans le cadre du travail d'*ingénieur* peut être décrite comme une association de personnes mettant en commun des ressources intellectuelles, financières et matérielles dans un objectif partagé : la conception, la réalisation, la commercialisation et le suivi d'un produit ou d'un service à destination de **clients**.

Mise à part les toutes petites structures telle que les auto-entreprise, généralement au sein d'une entreprise les employés ont différentes fonctions :

- ouvriers;
- techniciens;
- agents des ressources humaines;
- gestionnaires;
- commerciaux;
- ingénieurs.

L'ensemble de ces employés forment une équipe et mettent à disposition leurs compétences en échange d'un salaire pour concevoir, réaliser et mettre en vente le **produit** dans le but d'un retour d'investissement qui assure la pérennité de l'entreprise mais aussi son évolution (innovation de produits et développement des marchés). On l'aura compris tout ceci est possible s'il existe au moins un **client** qui éprouve de l'intérêt pour le produit proposé.



Définition 2 : *client*

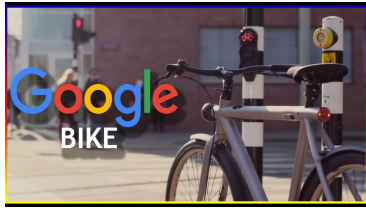
Le **client** est l'entité qui achète le **produit** (le client peut être une entreprise). Pour un seul client une entreprise peut être en concurrence avec une autre c'est pourquoi il est nécessaire d'identifier avec précision les **attentes et besoins** de ce dernier.

2 Rôle de l'ingénieur



Définition 3 : *Rôle d'un ingénieur*

- Le rôle de l'ingénieur est de définir, piloter et garantir la réussite du produit en mettant en oeuvre les méthodes permettant d'assurer que le **besoin du client soit satisfait**.
- L'ingénieur va devoir donc modéliser les attentes du client. Ce sera le rôle du **cahier des charges fonctionnel** (CdCF) qui permettra alors de définir et chiffrer les attentes du client.

**Exemple 1 : Google Bike****Attentes du client :**

-
-
-
-

3 Les différentes formes du métier d'ingénieur

Le titre d'ingénieur provient d'un diplôme délivré à l'issue d'une école d'ingénieur. La diversité des types d'ingénieurs reposent :

sur le secteur d'activité :

sur la tâche de l'ingénieur et donc son rôle :

**Exemple 2 : Ingénieurs célèbres**

Voici l'exemple de quelques ingénieurs célèbres :



1



2



3



4



5

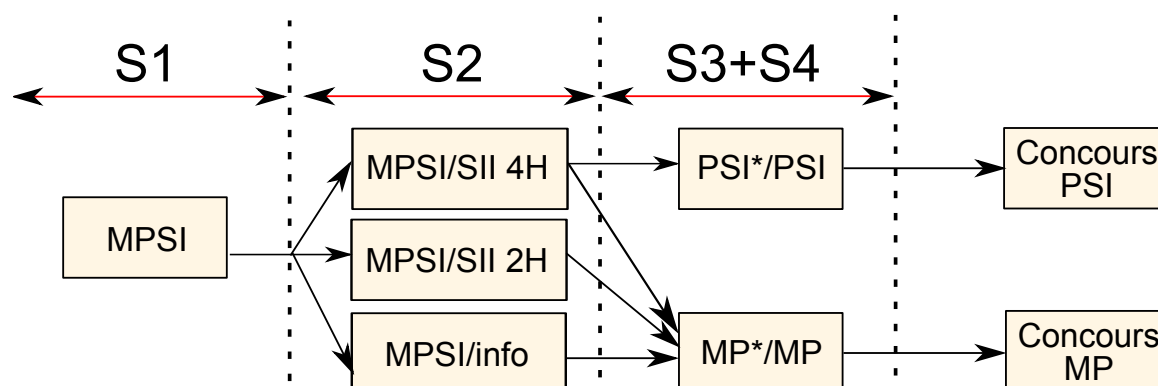
II. Cours de formation pour être ingénieur

1 Déroulement du cursus en CPGE

Le cursus en CPGE (Classe Préparatoire au Grande École) permet d'intégrer des grandes écoles d'ingénieurs par l'admission à des concours. En MPSI (Mathématiques Physique Sciences de l'Ingénieur) l'organisation des sciences de l'ingénieur se découpe en deux semestres avec deux volumes horaires hebdomadaires différents.

- S1 : 1h de cours + 1h de TD par demi-classe;
- S2 : 1h de cours + 1h de TD par demi-classe + 2h de TP par tiers de classe (maxi 18).

Si vous choisissez l'option informatique, vous arrêtez les sciences de l'ingénieur au S2.



2 Compétences visées

Ce qu'on attend de vous durant la formation en CPGE est le développement d'un certain nombre de compétences qui sont exigibles pour un ingénieur :

- modélisation;
- capacité à diriger et animer une équipe;
- créativité et esprit d'innovation;
- communication;
- capacité d'analyse;
- pluridisciplinarité;
- solides bases scientifiques;
- etc ...

3 Organisation en CPGE

- Le rythme en CPGE est soutenu mais pas insurmontable. Il convient alors de veiller à s'organiser convenablement.
- En SII, vous aurez 1h de cours + 1h de Travaux Dirigés par semaine. Il y aura également une séance de 2h de Travaux Pratiques (au S2).

4 Principales débouchées

La spécificité de la PSI fait que vous pouvez intégrer des écoles généraliste ou à dominante de SII qui vous permettront de viser un emploi dans les filières nécessitant une bonne connaissance des problématiques techniques et industrielles.



Exemple 3 :

Différents secteurs d'activité s'ouvrant aux filières SI

- Aéronautique;
- Ingénierie et santé;
- Transports;
- Grands ouvrages;
- Sciences des matériaux;
- Énergie;
- Logistique...

**Remarque 1 :**

Le cursus en CPGE vous permet également d'accéder à d'autres métiers que celui d'ingénieur, tels que :

- enseignant;
- chercheur;
- enseignant/chercheur;
- etc...

5 Quelques conseils pour l'années scolaires

Voici brièvement quelques conseils pour cette année scolaire. Il faut veiller à :

- l'organisation du travail : approfondissement des photocopiés, classement des données, prévisions des colles, DS et présentations;
- sa santé : pensez à bien manger, bien dormir et faire un peu de sport;
- l'avenir : se documenter sur les écoles d'ingénieurs et différentes débouchées (journée prépa plus en novembre);
- un travail homogène : ne pas négliger des matières.

6 Les cycles en MPSI

Cycle 1	Modélisation des systèmes pluritechniques
Cycle 2	Modélisation des systèmes asservis
Cycle 3	Analyse temporelle des systèmes asservis
Cycle 4	Modélisation cinématiques des systèmes composés de chaînes de solides
Cycle 5	Modélisation cinématique structurelle des systèmes composés
Cycle 6	Analyse et résolution pour déterminer les performances cinématiques des systèmes composés de chaînes de solide
Cycle 7	Analyse fréquentielle des systèmes asservis
Cycle 8	Modélisation multiphysique
Cycle 9	Modélisation des performances statiques des systèmes
Cycle 10	Modélisation de la chaîne d'information des systèmes

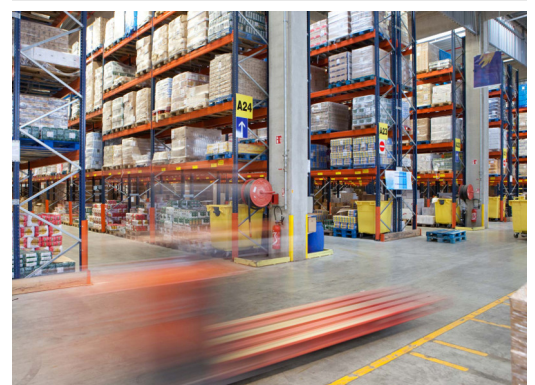
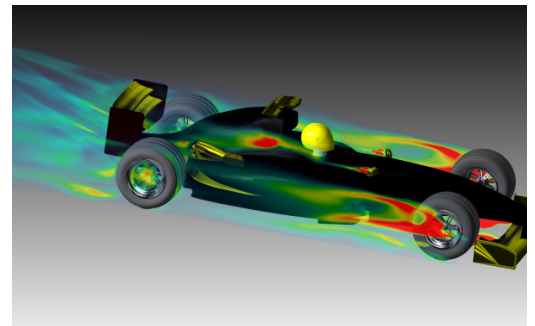
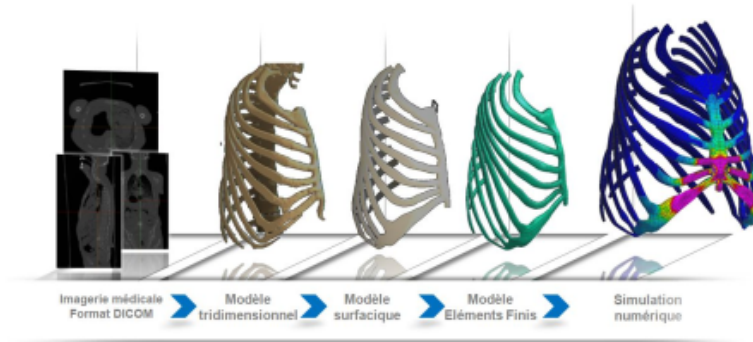
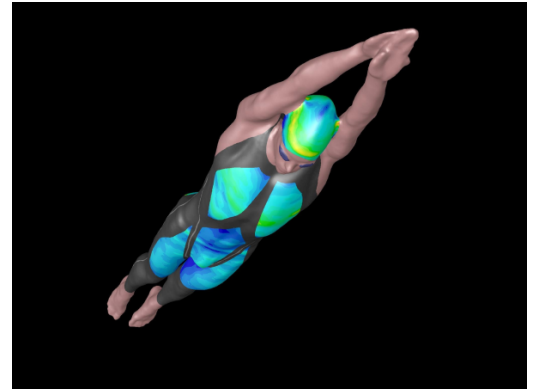


FIGURE 1 – Illustrations d'exemples de débouchées pour la filière PSI

III. L'ingénierie système

1 Définitions



Définition 4 : Système

Un **système** est un ensemble d'éléments en interaction entre eux et avec l'environnement de manière à créer un assemblage destiné à satisfaire un **besoin**.

Un système présente donc des propriétés nouvelles résultant des interactions entre ses constituants et est donc bien plus qu'un ensemble de composants :

les **flux d'information**, d'**énergie** ou de matière **échangées** entre les composants sont essentiels dans le comportement global.



Remarque 2 : Système complexe

Un système est dit **complexe** lorsque les inter-relations liant les composants sont multiples, inter-dépendantes et bouclées :

le **comportement global** n'est donc **pas directement prévisible** à partir des comportements élémentaires des composants.

Des données ^a montrent qu'il est difficile de garantir la réussite d'un projet de réalisation d'un système (figure 2) : Les trois principales causes du non-aboutissement des projets sont principalement dues :

- au manque de prise en compte des utilisateurs;
- aux exigences et spécifications incomplètes;
- aux changements des exigences et spécifications au cours de la conception.

Celles-ci résultent d'une méconnaissance d'outils performant utiles pour l'ingénierie système et peut conduire à de cuisants flops technologiques. D'où la nécessité de bien maîtriser la définition de cette science et également de ses aboutissants durant la conception et la réalisation d'un système complexe.

^a. Données collectées par le *Standish Group*, société qui a publié en 1995 le *Chaos Report*

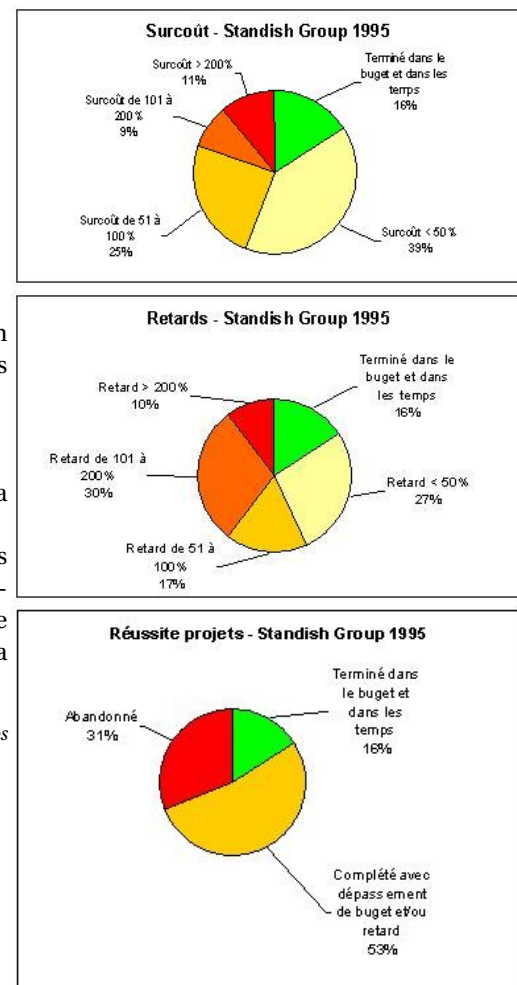


FIGURE 2 – Données sur la réussite ou non des projets

**Exemple 4 : Exemples de flops technologiques**

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.



1



2



3



4



5



Définition 5 : Ingénierie Système

L'**Ingénierie Système** est une approche scientifique interdisciplinaire dont le but est de formaliser et d'appréhender la conception de systèmes complexes avec succès. Le but de l'Ingénierie Système est donc l'analyse des échecs antérieurs afin d'apporter des solutions pour éviter qu'ils ne se reproduisent.



Remarque 3 :

En **Ingénierie Système**, la définition du système comporte :

- Celle de ses sous-systèmes et constituants (matériels, logiciels, organisations et compétences humaines) et de leurs interfaces, sièges des interactions recherchées.
- Celles des processus de leurs cycles de vie permettant de les concevoir, produire, vérifier, distribuer, déployer, exploiter, maintenir en condition opérationnelle et retirer du service, et donc des produits contributeurs nécessaires à ces processus.

2 Spécification du besoin

La mise en oeuvre du cahier des charges consiste à déterminer (définir et caractériser) le besoin des clients.

Le cahier des charges spécifie la ou les fonctions attendues du produits , les critères de performances et leurs niveaux associés. Ce document doit être le plus exhaustif possible.



Exemple 5 : Expression du besoin du google bike

Identifier le besoin d'une cafetière en caractérisant plusieurs critères.

Besoin	Critères	Valeurs



Remarque 4 : Acteurs de la définition du besoin

Selon le type de produit à concevoir et afin d'éviter les échecs lors de la conception d'un système, la définition du cahier des charges peut être réalisée par différents groupes de personnes :

- Une cafetière à capsule (type Nespresso) est avant tout un produit Marketing et l'élaboration du cahier des charges repose sur des résultats d'enquêtes.
- Un turbo-réacteur d'un gros porteur (ie Airbus A380) nécessite des critères technologiques plus pointus. Ce sont alors les ingénieurs qui l'élaborent directement.
- Un véhicule de tourisme (ie Renault Clio) est un produit dont la conception nécessite aussi bien des critères techniques que marketing. Ainsi la définition du cahier des charges est mixte.

3 Triptyque “système souhaité-réel-simulé”

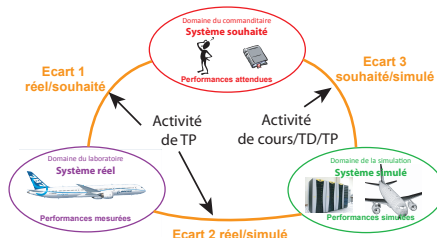


Définition 6 : Triptyque “système souhaité-réel-simulé”

Une fois le besoin caractérisé, nous devons être capable d'évaluer les performances du système et si possible de les prévoir le plus tôt possible dans la phase de conception. C'est pourquoi nous pouvons définir 3 types de performances :

- **performances attendues** : du domaine du commanditaire et/ou du cahier des charges qui s'estiment directement sur le **système souhaité**;
- **performances mesurées** : du domaine du laboratoire qui sont directement mesurées sur le **système réel**;
- **performances simulées** : du domaine de la simulation qui sont estimées sur un **modèle de simulation**.

Le but de l'ingénierie étant que les performances mesurées se rapprochent le plus possible des performances attendues sachant que nous pouvons utiliser les performances simulées pour optimiser le processus de conception.



4 Cycle de vie d'un système



Définition 7 : Cycle de vie d'un système

La notion de “cycle de vie” est indissociable d'un système. Elle exprime les différentes étapes, appelées **phases de vie**, qui vont de l'analyse du besoin jusqu'à l'élimination et/ou le recyclage de ses constituants. Les phases de vie rassemblent les différents cas d'utilisation du produit parmi lesquels les phases de réalisation, d'utilisation auprès du client, de maintenance et de recyclage.



5 Processus du conception de produits complexes

L'Ingénierie Système est la démarche de conception des systèmes complexes en entreprise.

Le cycle de **conception en “V”** (figure 3 (b)) est l'un des cycles les plus utilisés dans l'ingénierie système puisque, celui-ci ne nécessite pas forcément qu'une activité de conception soit complètement finalisée pour qu'une autre commence.

Cette démarche permet de diviser le **système complexe en sous-composants**. Les phases de validation sont donc ici primordiales pour valider la conception finale. Elles sont suivies d'**itérations** (modification de paramètres) si elles sont négatives.

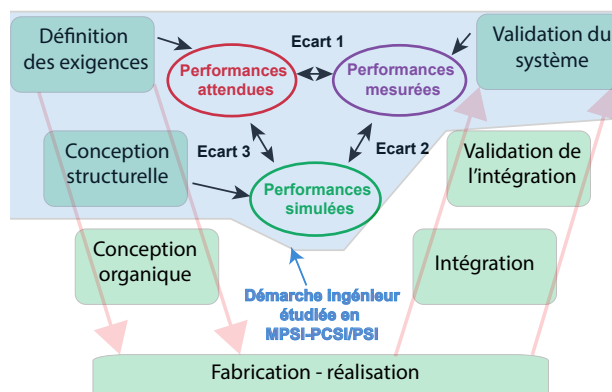


FIGURE 3 – Conception en V

L'**aspect pluritechnique** lors de la conception de systèmes complexes implique une participation d'experts dans plusieurs domaines pouvant être différents. Il est donc très important de développer des **outils de communication communs** :

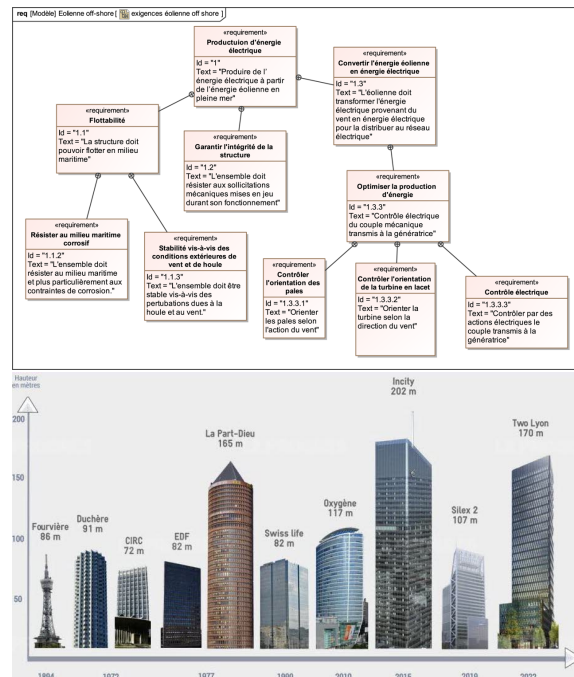
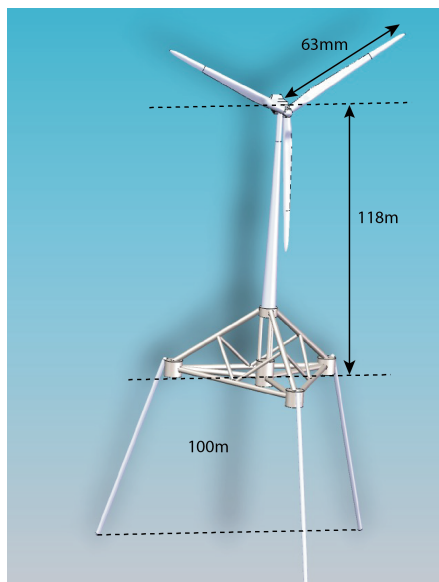
Le **langage SysML** répond à ces attentes et sera l'objet du chapitre suivant.

6 Exemple de modélisation



Exemple 6 : Exemple de modélisation

- Provence Grand Large : parc pilote de 3 éoliennes flottantes au large du golfe de Fos avec mise en service prévu pour 2020.
- Type de structure : structure légère combinée à un système d'ancrages s'inspirant des plateformes pétrolières.
- Entreprises : IFP Energie Nouvelle (IFPEN), SBM OFFSHORE.



Modélisation d'une éolienne offshore flottante^a

a. Agrégation externe SII - 2019 - Option SII et ingénierie mécanique - Épreuve de modélisation