



C0 - Introduction aux SII – Bienvenue

1	DES BESOINS DE L'HUMANITÉ AUX MÉTIERS D'INGÉNIEUR(E)S.....	2
1.1	LES DEFIS A RELEVÉ.....	2
1.2	QU'EST-CE QU'UN INGENIEUR ?.....	2
1.3	DES COMPETENCES A ACQUERIR	3
1.4	DES APPROCHES STRUCTUREES A APPLIQUER : MAITRISE DES GRANDEURS PHYSIQUES	4
1.5	LA DEMARCHE D'INGENIEUR EN CPGE.....	5
1.6	DEMARCHE DE VERIFICATION DES PERFORMANCES ATTENDUES D'UN SYSTEME COMPLEXE REEL	5
1.7	DEMARCHE DE VALIDATION D'UNE MODELISATION (SYSTEME VIRTUEL) A PARTIR D'EXPERIMENTATIONS	5
1.8	DEMARCHE DE PREDICTION DES PERFORMANCES D'UN SYSTEME A PARTIR D'UNE MODELISATION	5
1.9	DEMARCHE DE CONCEPTION DE SYSTEMES COMPLEXES.....	5
2	ORGANISATION PÉDAGOGIQUE EN PREMIÈRE ANNÉE	6
2.1	OBJECTIF : ACQUERIR LES COMPETENCES FONDAMENTALES A L'ETUDE ET AU PILOTAGE DES SYSTEMES COMPLEXES ASSERVIS	6
2.2	METHODE : 3 CYCLES D'ACQUISITION DES COMPETENCES (INITIATION, APPROFONDISSEMENTS 1, CONSOLIDATION-EXPERIMENTATION)	6
2.2.1	Cycle 1 : Initiation aux systèmes complexes multi-physiques	6
2.2.2	Cycle 2 : Approfondissements 1	6
2.2.3	Cycle 3 : Approfondissement 2 et Consolidation	6
3	LA STRUCTURE D'UN SUJET DE CONCOURS	6
3.1	EVOLUTION HISTORIQUE (ET FUTURE) DES SYSTEMES DE DIRECTION DE VEHICULES.....	7
4	BESOIN, PRODUIT, RESPONSABILITÉS, COMPÉTENCES	8
4.1	BESOIN-CdCf-PRODUIT	8
4.2	DIMENSIONNER LES COMPOSANTS, LES STRUCTURES CONFORMEMENT AUX REGLES DE SON METIER, AU CAHIER DES CHARGES ET DANS LE RESPECT DES NORMES.....	9
4.3	LE ROLE DES NORMES	10
4.3.1	Vecteur de protection des personnes et des biens, d'évolutions sociales et sociétales	10
4.3.2	Délimitation des responsabilités de l'entreprise prestataire du service	10
5	SUIVRE DES PROJETS ET COMMUNIQUER AVEC LES PERSONNELS D'AUTRES SERVICES, DES ENTREPRISES EXTERIEURES, DES INSTITUTIONS PUBLICS ET DES ETATS.....	10
5.1	ECHANGER DANS UNE LANGUE INTERNATIONALE.....	12

1 DES BESOINS DE L'HUMANITÉ AUX MÉTIERS D'INGÉNIEUR(E)S

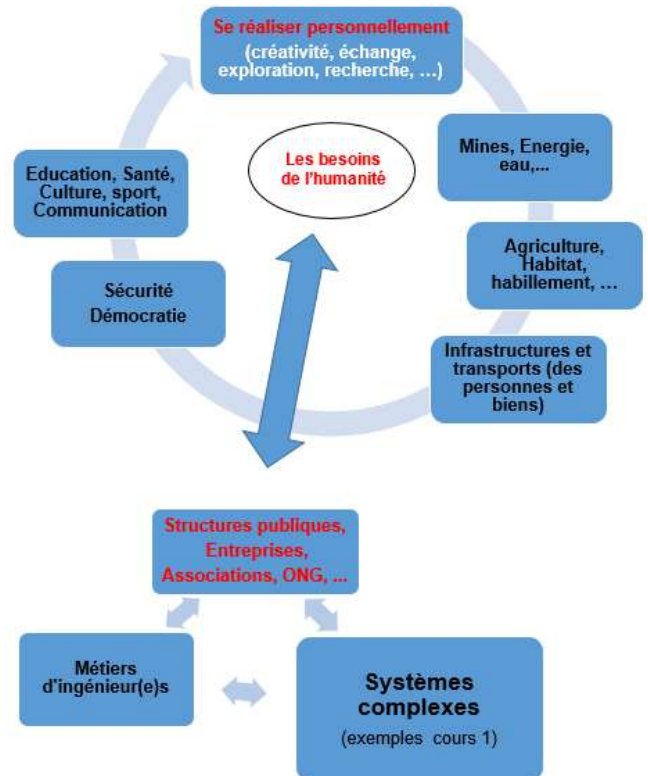
1.1 Les défis à relever

Accès à l'eau, à l'énergie, à la santé, à l'information, à la formation...sont quelques-uns des grands défis à relever au 21ème siècle.

Ingénieurs trois dimensions :

- généralistes de haut niveau scientifique et technique ;
- experts dans le lancement et le pilotage de projets innovants ;
- à forte culture internationale.

« Former, pour les entreprises, les gouvernements et les institutions, des acteurs capables d'intégrer les grandes questions environnementales et sociétales dans une stratégie de développement équilibré »



1.2 Qu'est-ce qu'un ingénieur ?

Définition du métier d'ingénieur proposée par la Commission des Titres d'Ingénieur (CTI) :

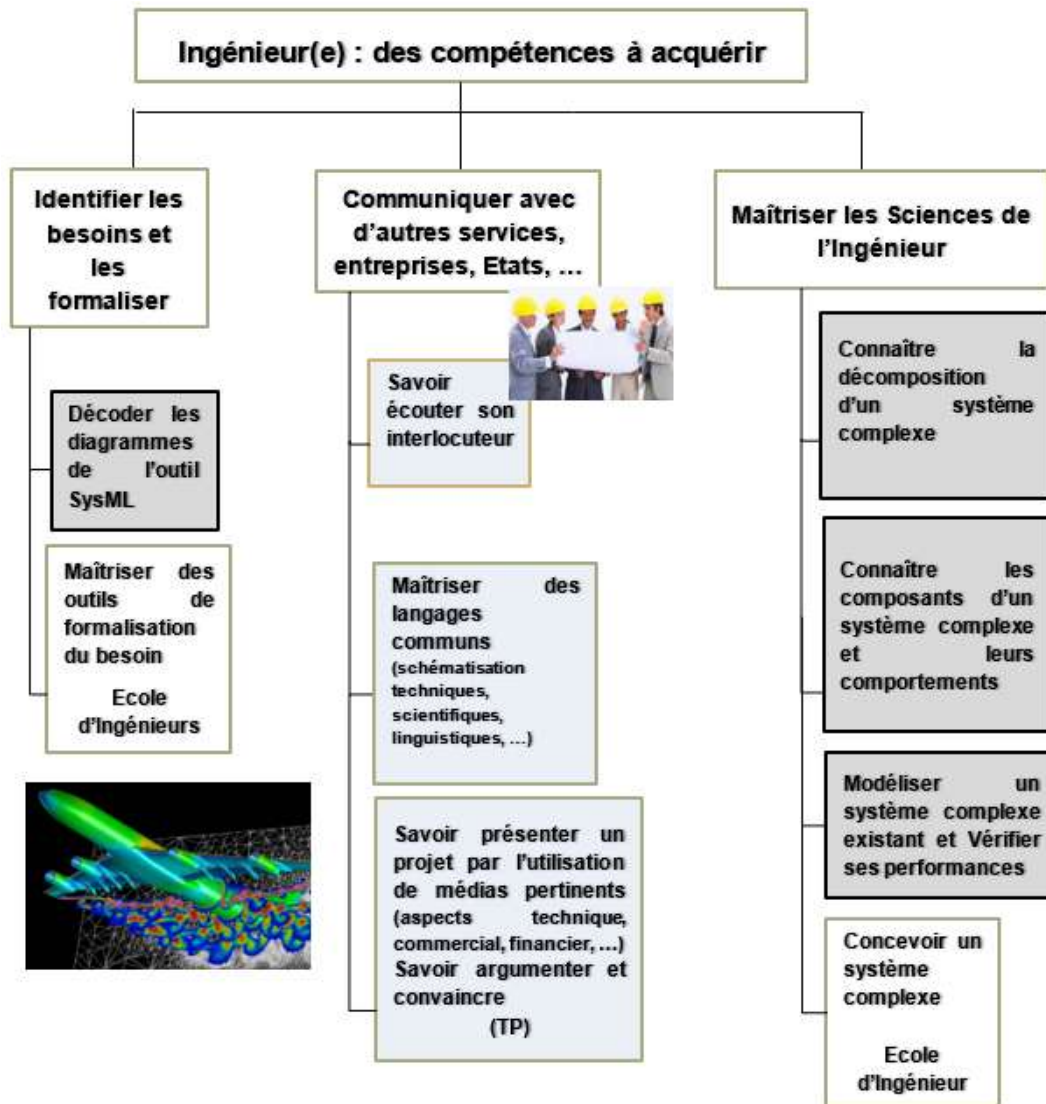
« Le métier de base de l'ingénieur consiste à résoudre des problèmes de nature *technologique, concrets* et souvent *complexes*, liés à la *conception*, à la *réalisation* et à la *mise en œuvre* de *produits*, de *systèmes* ou de *services*. Cette aptitude résulte d'un ensemble de connaissances techniques d'une part, économiques, sociales et humaines d'autre part, reposant sur une solide culture scientifique. »

Ainsi, un ingénieur doit être capable de :

- vérifier les performances attendues d'un système complexe ;
- valider une modélisation à partir d'expérimentations ;
- prévoir les performances d'un système à partir d'une modélisation ;
- imaginer et concevoir un système complexe ;
- piloter des projets ;
- communiquer avec d'autres services, institutions, entreprises.

1.3 Des compétences à acquérir

Les deux années d'enseignement de Sciences Industrielles pour l'ingénieur en CPGE sont les deux premières d'un cycle de formation d'ingénieurs d'une durée de 5 ans.



1.4 Des approches structurées à appliquer : Maîtrise des grandeurs physiques

1. Problématique de départ : **Vérification d'une performance**

C'est toujours une **grandeur physique** qui doit évoluer selon des attentes précisément définies (**analyse fonctionnelle**)

(une action mécanique, une cinématique, la résistance mécanique d'une structure, une quantité de chaleur, de travail ou d'énergie, un temps de réponse, un amortissement, une marge de phase, une précision, ...)

2. En **relation** avec les données techniques disponibles (**analyse structurelle**)
(valeurs, courbes, diagrammes, abaque, schémas de fonctionnement, data sheet, ...)



Mobilisation du ou des **modélisations** pertinentes
par rapport à la problématique

Application des démarches et lois spécifiques à chaque domaine des SII
(analyse comportementale)

Statique du solide  Equations	Cinématique Cinétique Dynamique Energetique du solide  Equations	Electricité Electro-magnétisme  Equations	Thermo-dynamique Mécanique des fluides Transfert thermique  Equations	Contrôle commande Asservissements  Equations	Résistance des matériaux Métallurgie Matériaux Composite Mécaniques des Milieux Continus  Equations	Lois particulières données par le constructeur du ou des composant(s)  Equations
--	---	--	---	---	--	---

3. Synthèse d'un système équationnel pertinent où les inconnues sont les grandeurs physiques intervenant dans le système technique

$$dh + de_c + de_p = \delta q + \delta w_r$$

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}$$

$$\frac{dA}{A} = -(1 - M^2) \cdot \frac{dV}{V}$$

$$U = E + R \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt}$$

$$\overrightarrow{\Gamma(P \in \iota/J)} = \left. \frac{d\overrightarrow{V(P \in \iota/J)}}{dt} \right|_{R_j}$$

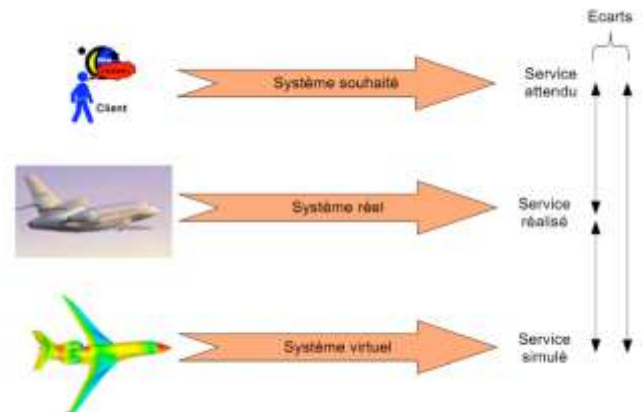
4. Résolution analytique ou numérique (simulation) du système équationnel,
Essais, vérification des résultats

(Les domaines en gras sont abordés en CPGE dans le cadre des enseignements de SII)

1.5 La démarche d'ingénieur en CPGE

Approches attendues : conduire des **analyses structurelle, fonctionnelle et comportementale d'un système complexe** (tout ou partie), vérifier ses performances en proposant une modélisation et valider une modélisation à partir d'expérimentations.

Dans le cadre des classes préparatoires, l'approche se fera de manière similaire avec l'étude des systèmes multi-physiques du laboratoire de SI.



Approche systèmes complexes dans l'industrie

1.6 Démarche de vérification des performances attendues d'un système complexe réel

- Identifier les grandeurs physiques liées à la problématique
- Elaborer / justifier un protocole expérimental
- Mettre en œuvre le protocole d'essai $\Rightarrow$ Activités de TP
- Afficher le résultat de l'expérimentation
- Comparer le résultat de la mesure avec les performances attendues

1.7 Démarche de validation d'une modélisation (système virtuel) à partir d'expérimentations

- Identifier les grandeurs physiques liées à la problématique
- Elaborer et/ou justifier une modélisation
- Mettre en œuvre le solveur (simulation numérique) $\Rightarrow$ Activités de TP
- Afficher le résultat de la modélisation
- Comparer le résultat de la mesure avec le modèle théorique (le modifier selon l'écart)

1.8 Démarche de prédiction des performances d'un système à partir d'une modélisation

- Identifier la problématique et les grandeurs physiques à maîtriser (exigences)
- Utiliser une (ou des) modélisation(s) (lois physiques)
- Mettre en œuvre une résolution analytique $\Rightarrow$ Activités de TD
- Analyser le résultat de la modélisation
- Comparer ce résultat avec la performance attendue (Exigence)

1.9 Démarche de conception de systèmes complexes

- Concevoir un système (innovation, dimensionnement et choix de composants) à partir d'un système

2 ORGANISATION PÉDAGOGIQUE EN PREMIÈRE ANNÉE

2.1 Objectif : Acquérir les compétences fondamentales à l'étude et au pilotage des systèmes complexes asservis

La formation en **première année** a pour but est **d'acquérir les compétences fondamentales à l'étude et au pilotage des systèmes complexes asservis**. L'enseignement met en évidence la forme générique de ces systèmes et mène des approches fonctionnelle, structurelle et comportementale.

La deuxième année complète ces compétences dans le domaine de la conception des systèmes et vise la préparation aux concours.

2.2 Méthode : 3 cycles d'acquisition des compétences (Initiation, Approfondissements 1, Consolidation-Expérimentation)

2.2.1 Cycle 1 : Initiation aux systèmes complexes multi-physiques

Dans ce cycle, on décompose les systèmes et on les représente en utilisant des outils spécifiques afin de comprendre à quels besoins ils répondent, quelles **fonctions** ils réalisent et quelle est leur **structure**.

Ces systèmes obéissent aux lois de la physique (multi-physiques). Leur **comportement** est donc régi par un système d'équations qui sera **synthétisé par une équation unique** (*fonction de transfert*) dont l'étude permet de prévoir le comportement du système.

2.2.2 Cycle 2 : Approfondissements 1

L'acquisition de connaissances spécifiques de la mécanique du solide (**cinématique, statique, ...**) et au contrôle des systèmes amèneront à l'écriture des équations indispensables à la description du comportement des systèmes complexes.

2.2.3 Cycle 3 : Approfondissement 2 et Consolidation

Parallèlement à la suite des enseignements spécifiques, apparaissent les séances de TIPE visant à consolider vos connaissances et compétences des systèmes.

Utilisation de logiciels de simulation, expérimentation et développement dans le cadre d'un mini-projet, restitution-communication à viser de préparation des oraux de concours.

3 LA STRUCTURE D'UN SUJET DE CONCOURS

Les sujets de concours s'appuient sur un système complexe *contextualisé* (textes et documents de présentation, décomposition fonctionnelle en chaînes d'information et d'énergie et de différents diagrammes dont les syntaxes de lecture sont connues des candidats (**cours C1**)). Ces outils graphiques permettent également aux candidats de comprendre la structure et le comportement du système et d'apprécier les performances souhaitées. Partant des démarches développées en cours pour chaque compétence (cinématique, dynamique, asservissement, ...) vous étudiez le comportement théorique du système afin d'en vérifier les performances, les comparer avec celles attendues (comparaison de courbes ou de valeurs).

Enfin, vous quantifierez les évolutions nécessaires du système qui le valident par rapport aux exigences du cahier des charges.

Les analyses doivent d'être fondées sur des éléments objectifs issus de l'énoncé et des résultats de calculs. On veillera à éviter de proposer des résultats aberrants.

3.1 Evolution historique (et future) des systèmes de direction de véhicules

La fonction ou sous-fonction *diriger un véhicule* que doit assurer Curiosity est applicable à tous véhicules sur pneumatiques.

Le tableau ci-dessous vous donne un aperçu de l'évolution historique des systèmes techniques pour la **sous-fonction : diriger un véhicule sur pneumatiques**.

La **matière d'œuvre** est classiquement l'angle de rotation des roues directrices, autour d'un axe vertical. Notons que la fonction globale d'un véhicule est d'assurer *le déplacement* de personnes et/ou de biens *d'un point A à un point B*. Le conducteur n'est pas absolument indispensable ...

Dénomination	Composants	Commentaires
Système de direction mécanique	Effecteur + cinématique de transmission de mouvement +pupitre de commande (volant)	Le conducteur grâce au volant impose directement l'angle de rotation des roues. C'est à lui de gérer toutes les informations extérieures et de réagir au mieux. Par ailleurs, il apporte l'énergie nécessaire pour vaincre les résistances du système.
Système de direction assistée	...énergie d'assistance +préactionneur +actionneur	Le conducteur réduit sa fatigue musculaire. Il ne fait plus que diriger le véhicule.
Système de direction assistée à gestion électronique	... + capteurs + calculateur (ECU) + afficheur	Une fraction des décisions sont transférées à un calculateur. Le système est maintenant complexe.
Système de direction assistée à gestion électronique et correction de trajectoire	... + bus CAN	Communication avec d'autres sous-systèmes (le dispositif de freinage dans notre cas). Communiquer est assuré par une technologie bus CAN
Système de direction assistée à gestion électronique, correction de trajectoire et assistance au trajet.	... + GPS	GPS et analyse du trajet en tenant compte des bouchons, travaux, accidents, ... Evidemment le pupitre de commande s'est déjà bien étoffé.
Système de direction assistée à gestion électronique, correction de trajectoire, assistance au trajet et manœuvres (self-parking car)	... + radar	Le système prend en charge des manœuvres compliquées réduisant les risques d'accrochages mais des responsabilités sont transférées aux ... constructeurs ! Par moment, le conducteur n'a plus la main. Son rôle se borne à celui d'un superviseur .
Système de direction robotisé sans intervention humaine	... + ?	Plus de volant. Le « conducteur » a disparu. Il est maintenant un passager . Cela pose la question de la responsabilité en cas d'accident.
?	?	...

4 BESOIN, PRODUIT, RESPONSABILITÉS, COMPÉTENCES

4.1 Besoin-CdCf-Produit

La conception d'un **produit**, dont la destination est sa commercialisation, est initiée par l'existence d'un **marché** présent ou futur (service de veille technologique : Technical Intelligence).

L'existence de ce marché est identifiée par un **besoin** et de **fonctions** à satisfaire.

Pour réaliser la fonction *se déplacer d'un point A à un point B* : une paire de jambe et un topoguide de l'IGN suffit. Le produit ici sera le Topoguide (ou un guide touristique).

Pour réaliser cette fonction triviale, on l'a déjà dit, on retrouve la décomposition classique d'un système complexe : il vous faudra de l'**énergie** et des actionneurs (muscles) ainsi que des **informations** (topoguide) et la capacité de les traiter.

Maintenant, on peut rajouter des **critères** associés à l'exigence *se déplacer d'un point A à un point B* dans le **cahier des charges fonctionnelles** (cdcf) :

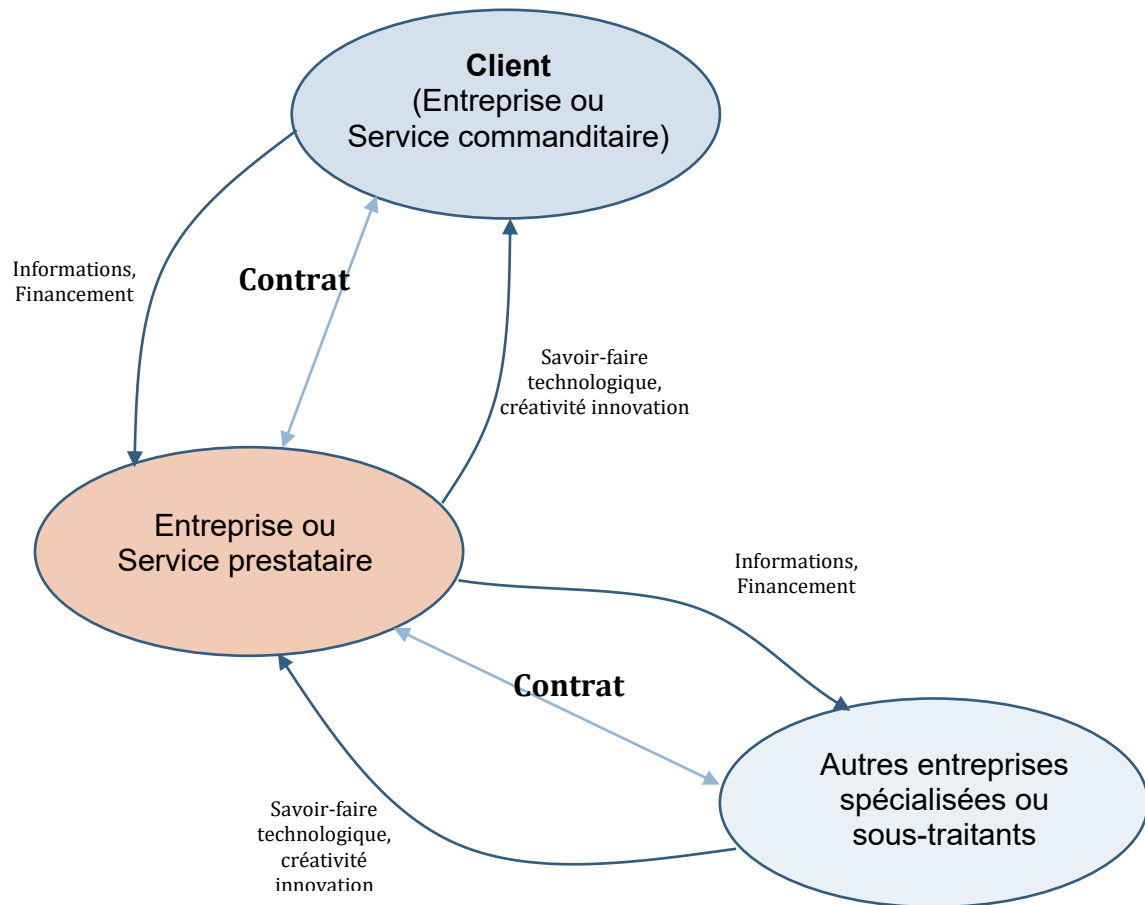
Critère	Niveau	Flexibilité
Nombre de passagers	1500	+/- 10 %
Trajet	Paris-Tokyo	Normes transport
Durée	2 heures	+/- 5 %
Energie	A définir	Fossiles exclues

La paire de jambes est alors à échanger avec des cerveaux **créatifs** et rompus aux **Sciences de l'Ingénieur** capable de **communiquer** avec d'autres ingénieur(e)s d'entreprises spécialisées dans leurs domaines.

Dans le schéma qui suit, l'entreprise prestataire l'est de son Client mais est l'entreprise commanditaire (le demandeur) des entreprises spécialisées. Le transfert d'informations est un problème sérieux encadré par des clauses de confidentialité inter-entreprises.

Enfin, la relation entre les entreprises se fait sur la base de **contrats** que chacune s'engage à respecter. Le contrat a un statut commercial mais aussi légal et juridique.

Remarquons qu'il existe des mini-contrats appelés **POC** (*Proof of Concept*) proposés par des entreprises très spécialisées *qui pensent être capables* de répondre à un critère ou une sous-fonction issu du cahier des charges fonctionnelles mais que l'entreprise prestataire a des difficultés à parachever.



4.2 Dimensionner les composants, les structures conformément aux règles de son métier, au cahier des charges et dans le respect des normes

Contrat, exigences, forment une définition précise des engagements s'appuyant sur la justification des performances.

Lorsque des ingénieur(e)s conçoivent un système, ils engagent la responsabilité de leur entreprise. Le système doit respecter le Cahier des Charges et des notices de calculs doivent pouvoir démontrer la validité des résultats. A défaut, le commanditaire peut refuser la commande et ne pas payer son prestataire. C'est particulièrement vraiment pour les structures accueillant du public ...

4.3 Le rôle des normes

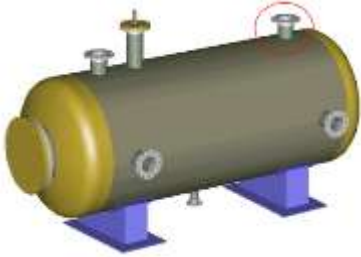
4.3.1 Vecteur de protection des personnes et des biens, d'évolutions sociales et sociétales

Que ce soit dans le domaine de l'environnement, de la sécurité ou des performances, de nouvelles exigences sociétales et une meilleure connaissance du comportement de la matière (combustion dans un moteur par exemple) conduisent à la création et à l'évolution des normes. Elles rendent notre cadre de vie plus agréable et sain et tirent vers le haut les sociétés humaines.

Dans les entreprises, il existe maintenant le **Document unique** qui, pour toutes tâches réalisées par un salarié, évalue le risque professionnel et les moyens à mettre en œuvre pour éviter les accidents. C'est le drôle de l'ingénieur sécurité. Cette démarche constitue **l'étape initiale de toute démarche de prévention en santé et sécurité au travail**.

4.3.2 Délimitation des responsabilités de l'entreprise prestataire du service

Les normes permettent également de définir ce qu'il faut faire tant sur la méthode que sur les critères (coefficient de sécurité, ...). Cela a des implications juridiques et légales. Si les normes sont respectées, le prestataire est inattaquable. Notons que si le prestataire est considéré comme majeur par rapport au commanditaire, ce dernier n'est pas autorisé à être négligeant. Il doit donc s'assurer dans une certaine mesure du respect des normes.



Conception d'une cuve sous pression

- CODAP : Code de Construction des Appareils à Pression
- RCC-M : Règles de Conception et de Construction des Matériels Mécaniques des Ilots nucléaires

5 SUIVRE DES PROJETS ET COMMUNIQUER AVEC LES PERSONNELS D'AUTRES SERVICES, DES ENTREPRISES EXTERIEURES, DES INSTITUTIONS PUBLICS ET DES ETATS

Exemple de démarche de projet et comité de pilotage

Le **comité de pilotage** est constitué de responsables du commanditaire et des entreprises prestataires. Il suit le projet et valide, redéfinit ou invalide chaque étape du projet.



Etapes		Remarques
	Réponse à un appel d'offre ou veille technologique.	La veille technologique permet de prévoir les besoins d'une cible commerciale. Cela suppose une connaissance profonde, culturelle du milieu visé.
Etudes et réalisation (solutions existantes, pré-solutions, innovations, ...)	Définition du problème posé, du besoin, du Cahier des charges (CdCF) et du travail à effectuer, Gantt prévisionnel	Cette étape est centrale dans le projet puisque vous allez définir vos engagements par rapport à l'entreprise commanditaire Dans le CdCF, on trouve les contraintes techniques et d'utilisation, financières, juridiques (normes, réglementation, environnement, ...), esthétiques, les protocoles d'essais, ... du produit. Echéancier Echéancier de paiement, proposition de Financement
	Comité de pilotage : Validation du CdCF par l'entreprise commanditaire	
	Etude des solutions existantes	Concurrences, existence de brevets, caractéristiques, ...
	Elaborations et propositions de solutions au demandeur	Avant-projets réalisés sur support numérique (traitement de textes, croquis, schémas, modeleurs volumiques(Solidworks, ...), logiciels d'agencement d'espace, ...)
	Comité de pilotage : Validation par l'entreprise commanditaire de la solution qui sera développée	
	Elaboration de l'ensemble des éléments nécessaires à la réalisation du projet et à sa présentation	Simulations sur logiciels multiphysique (Matlab), modeler volumique (Solidworks), CFD (Computational Fluid Dynamics), ... diaporamas lien hypertexte, Plans, schémas, notices de calculs
	Elaboration du (des) CdCF destiné aux sous-traitants	
	Comité de pilotage : Validation du (des) Cdcf par le demandeur, des choix de composants, ...	L'entreprise commanditaire valide la conception et les coûts de réalisation des sous-ensembles.
	Vérification de la conformité des produits sous-traités au Cdcf.	Ecart
	Assemblage, Essais, Mise au point	Sous-partie et ensemble Plan de test
	Réception du Produit par l'entreprise commanditaire	

5.1 Echanger dans une langue internationale

