

Avant-propos

L'ouvrage que nous avons construit s'appuie sur des situations concrètes qui permettent de découvrir progressivement tous les concepts et toutes les connaissances à acquérir pour le **nouveau baccalauréat STI2D**. Nous avons souhaité mettre à votre disposition les contenus nouveaux, particulièrement sur la modélisation avec SysML, et rentrer dans les attendus du développement durable dès ce premier volume.

Dans chaque chapitre, toutes les notions abordées sont contextualisées à partir de cas concrets, et il est proposé des activités et des exemples permettant de se familiariser avec les concepts. Les exercices sont classés par niveau de difficulté pour permettre de s'entraîner ; ils peuvent s'appuyer sur des simulations qui vous permettront de mettre en évidence différents résultats expérimentaux. Cet ouvrage est également un soutien pour choisir ce qu'il faut retenir grâce aux synthèses de fin de chapitre. Enfin, il constitue une aide dans les activités de projet pour faire émerger les solutions techniques que vous pourrez proposer.

Vous pouvez utiliser ce livre et l'ensemble des enrichissements proposés dans la version numérique comme une référence dans les situations d'apprentissage et les études de cas que vous aurez à conduire.

Nous espérons que les réflexions que nous avons eues et la richesse des échanges qui nous ont conduits à gommer nos disciplines d'origines pour vous proposer des chapitres homogènes vous permettront d'avoir autant de plaisir à utiliser cet ouvrage que nous en avons pris à le faire.

Les auteurs

Sommaire

PARTIE I

Principes de conception - Développement durable

Chapitre 1	Les étapes de la démarche de conception	p. 6
Chapitre 2	Cycle de vie d'un produit - éco-conception	p. 14
Chapitre 3	Mise à disposition des ressources	p. 23

PARTIE II

Analyses des systèmes et représentations

Chapitre 4	Chaîne d'énergie et d'information	p. 29
Chapitre 5	SysML-UML	p. 33
Chapitre 6	Schématisation	p. 46

PARTIE III

Matières et structures

Chapitre 7	Comportement mécanique des matériaux	p. 55
Chapitre 8	Caractérisation des liaisons mécaniques	p. 67
Chapitre 9	Comportement mécanique des structures et des systèmes	p. 82

PARTIE IV

Énergies

Chapitre 10	Énergies	p. 99
Chapitre 11	Efficacité énergétique - Principe de réversibilité	p. 117
Chapitre 12	Besoins énergétiques	p. 126
Chapitre 13	Transformations d'énergies mécanique/électrique	p. 140
Chapitre 14	Transformations d'énergies mécanique/thermique	p. 155

PARTIE V

Informations

Chapitre 15	Caractérisation de l'information analogique et numérique	p. 170
Chapitre 16	Codage des informations	p. 184
Chapitre 17	Modélisation et pilotage des systèmes linéaires	p. 195
Chapitre 18	Pilotage des systèmes événementiels	p. 216
Chapitre 19	Programmation procédurale	p. 225
Chapitre 20	Approche objet	p. 239
Chapitre 21	Topologies et constituants des réseaux	p. 249
Chapitre 22	Modèle en couche	p. 257
Chapitre 23	Systèmes d'exploitation	p. 263
Chapitre 24	Architecture client/serveur : protocoles HTTP/FTP	p. 271
Chapitre 25	Adressage et routage des réseaux	p. 277
Chapitre 26	Captage de l'information	p. 283
Chapitre 27	Traitement analogique	p. 296

PARTIE VI

Systèmes

Chapitre 28	Ballon-sonde expérimental	p. 304
Chapitre 29	Maison à énergie positive	p. 309
Chapitre 30	Robovolt	p. 315

ANNEXES

Schématèques

Annexe 1	Schématèque électrique	p. 320
Annexe 2	Schématèque fluïdique	p. 322
Annexe 3	Schématèque électronique	p. 325

Objectifs

- Définir les principales étapes de la démarche de conception
- Définir les acteurs d'une démarche de conception

1 LES ÉTAPES DE LA DÉMARCHE DE CONCEPTION

1 Pourquoi une démarche de conception ?

La **démarche de conception** (*design process*) vise à réaliser un produit qui répond à un **besoin** exprimé par des utilisateurs.

EXEMPLE

Besoin n° 1 :

« Produire de l'énergie électrique grâce au vent ».



Une éolienne

Besoin n° 3 :

« Se déplacer en ville en conduite automatique, en silence et sans polluer ».



Le CYCAB

Besoin n° 2 :

« Observer et étudier des volcans à distance ».



Le ROBOVOLC

Besoin n° 4 :

« Permettre à sa maison de suivre le soleil ».



La maison dôme rotative DOMESPACE

Nous désignerons par **produit** (*product*) le résultat créatif d'une activité humaine. Le produit pourra être matériel (téléphone, voiture, etc.) ou immatériel (service, logiciel, etc.).

Un **besoin** est une nécessité ou un désir éprouvé par un utilisateur.

ACTIVITÉ 1 Citez des produits qui répondent au besoin suivant :

« Communiquer oralement à distance avec une autre personne ».

ACTIVITÉ 2 À quel besoin correspond le produit « panneau photovoltaïque », plus communément appelé « panneau solaire » ?

2 Qu'est-ce qu'une démarche de conception ?

En général, la démarche de conception passe par la réalisation d'un **prototype** du produit à partir **d'activités de conception et d'études de faisabilité**. Ces études permettent de savoir si le produit est réalisable, tant du point de vue technique qu'économique. Le prototype, une fois réalisé, fait l'objet d'essais et de modifications, si nécessaire. Après **validation**, celui-ci pourra être industrialisé (produit en petite ou grande série par une entreprise industrielle).

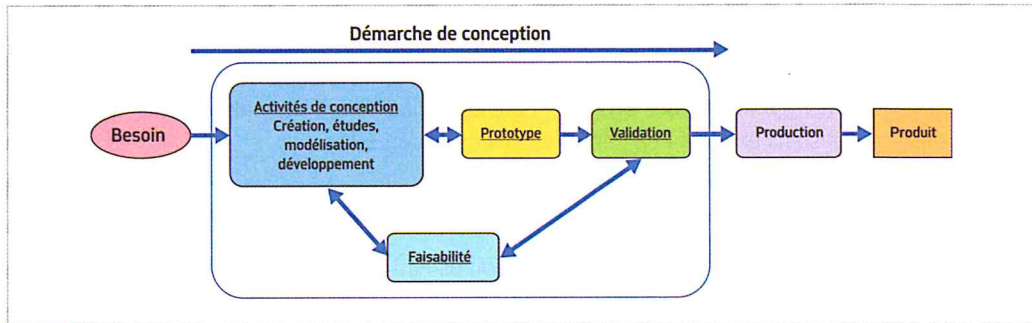


Fig. 1 Démarche générale de conception d'un produit

Le produit doit respecter les exigences du demandeur. La démarche technologique de conception suppose d'abord l'identification d'un besoin à satisfaire.

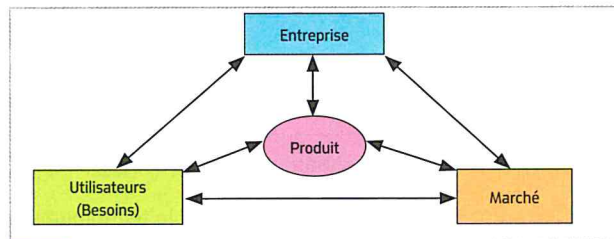


Fig. 2 Interactions entre l'entreprise, le produit, ses utilisateurs et le marché

Le choix de la solution la plus appropriée permet de planifier et de réaliser les différentes étapes de la conception et de la fabrication de l'objet.

3 Les différentes étapes de la démarche de conception

Comment un besoin identifié se transforme-t-il en produit ?

La démarche de conception permet de définir les étapes nécessaires à l'obtention d'un produit fini. Il existe beaucoup de démarches, probablement autant qu'il y a de familles de produits. Construire une maison, un pont, un moteur, un bateau, une armoire électrique, une voiture électrique ou encore un logiciel n'utilise pas exactement les mêmes étapes et les mêmes méthodes. Néanmoins, un certain nombre d'entre elles sont communes à l'ensemble de la conception de ces produits. Nous allons les définir.

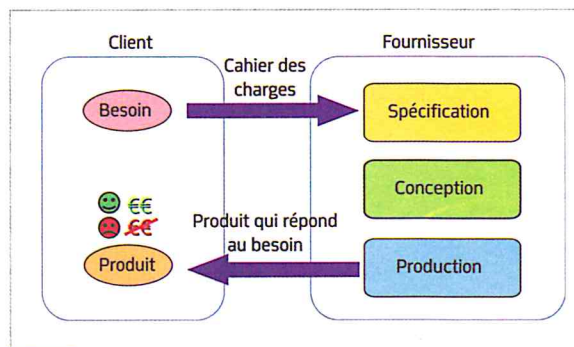


Fig. 3 Étapes nécessaires à la « conception » d'un produit

Identifier puis formuler un besoin n'est pas simple. Ces actions doivent être réalisées souvent à partir d'une étude de marché par des équipes pluridisciplinaires intégrant des concepteurs, des designers, des producteurs, des vendeurs.

a « Formuler un besoin » : du besoin au cahier des charges

La démarche de conception suppose d'abord l'identification d'un besoin à satisfaire.

Lorsqu'une entreprise identifie un besoin, qu'il soit pour elle ou pour un de ses clients, elle doit le formuler. Le fait de définir les règles de fonctionnement d'un logiciel, les surfaces utiles d'un bâtiment, les performances d'un système est appelé une « **expression du besoin** » qui se traduit par un document appelé **cahier des charges fonctionnel (CdCf)**.

Une norme existe pour aider à la définition des besoins : **Norme AFNOR NF X50-151 - Analyse de la valeur, Analyse fonctionnelle, Expression fonctionnelle du besoin (EFB) et cahier des charges fonctionnel (CdCf)** (www.afnor.fr).

Un prototype désigne un des premiers exemplaires d'un produit industriel (voiture, avion...) qui permet de faire des tests de validation des choix de conception. Il précède des exemplaires qui seront produits en série.

En génie civil, chaque bâtiment est un prototype. L'industrialisation, rare est réservée en général aux constructions modulaires comme la maison dôme.

L'étude de faisabilité permet de savoir si le produit est réalisable avant du point de vue technique qu'économique.

Ce qu'il faut retenir de cette norme :

- ▶ L'expression du besoin est fondamentale, le développement des entreprises dépend de leur capacité à fournir des produits, dans des conditions économiques saines pour elles, répondant aux besoins exprimés ou implicites des utilisateurs.
- ▶ **Il faut énoncer le besoin en termes de finalité, sans référence aux solutions techniques**, de manière à favoriser l'innovation au moment de la conception du produit. On parle de fonction.

Fonction : action réalisée par un produit ou l'un de ses constituants, exprimée uniquement en termes de but à atteindre.

Fonction de service : fonction liée au service ou à l'usage d'un produit. Elle définit une action attendue du produit répondant à un besoin.

EXEMPLE

Le Robovolc (voir présentation au chapitre 30).

La fonction « Collecter des échantillons de rejets éruptifs » ne fait pas référence à la technologie de collection utilisée.

Fonction contrainte : c'est une fonction particulière imposant des limites aux fonctions principales.

EXEMPLE

La fonction « Résister aux conditions physiques des sites volcaniques » est une fonction contrainte.

En bref, on exprime la fonction attendue et non la technique utilisée.

b Le cahier des charges

Il doit exprimer la demande du client au fournisseur. Les cahiers des charges peuvent prendre plusieurs formes suivant les domaines industriels. Toutefois, plus un CdC est précis et plus le client a la chance de voir apparaître un produit conforme à ses attentes.

EXEMPLE

« Construisez-moi un pont entre les deux rives de la Seine ». Avec un CdC aussi léger le fournisseur va se poser quelques questions ! Où ? Quel type de pont ? Quel budget ? Quels délais ? Etc.

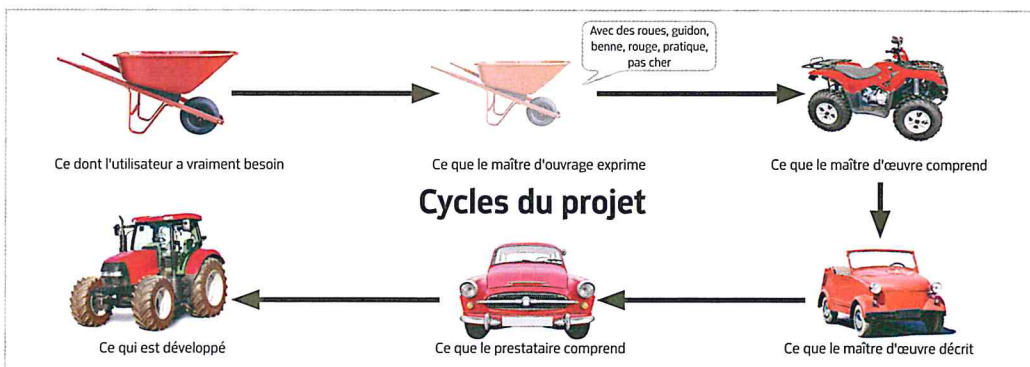


Fig. 4 Le cahier des charges

c La spécification ou l'analyse et la traduction du CdC

Après avoir été correctement établi et validé par le client et le fournisseur, le cahier des charges doit être analysé. Cette analyse passe généralement par une reformulation du besoin. C'est une étape indispensable à la bonne compréhension du besoin par le fournisseur. On parle de **spécification**.

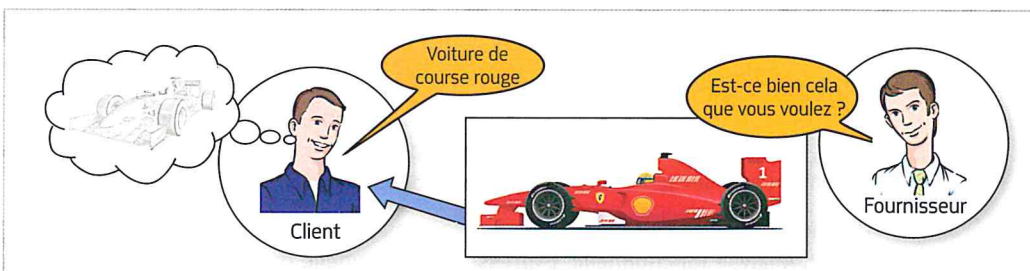


Fig. 5 Une histoire de cahier des charges

Cette analyse est conduite à l'aide de modèles. Un modèle est une représentation abstraite et simplifiée, d'une entité du monde réel en vue de le décrire, de l'expliquer ou de le prévoir.

Un modèle est synonyme de théorie, mais avec une connotation pratique. Concrètement, le modèle doit réduire la complexité d'un phénomène en éliminant les détails, refléter ce que le concepteur croit important pour la compréhension, définir les limites du phénomène modélisé dépendant des objectifs du modèle.

d Les activités de conception ou plus simplement « la conception »

La conception consiste à inventer, créer, développer un produit en utilisant des connaissances, des techniques, des outils et des méthodes des Sciences et Techniques de l'Industrie et du Développement Durable. Celles-ci sont propres à chaque domaine des STI2D. Elles sont développées dans les chapitres de ce manuel.

Le produit va être conçu entièrement s'il n'existait pas auparavant, ou reconçu s'il existait déjà mais ne s'adaptait plus au besoin des utilisateurs.

La conception d'un produit nouveau est rare. La reconception des produits existants est un travail permanent en vue de :

- ▶ l'élimination ou la diminution des insatisfactions ;
- ▶ l'amélioration de la valeur ;
- ▶ la prise en compte des progrès de la concurrence ;
- ▶ l'adaptation aux besoins nouveaux.

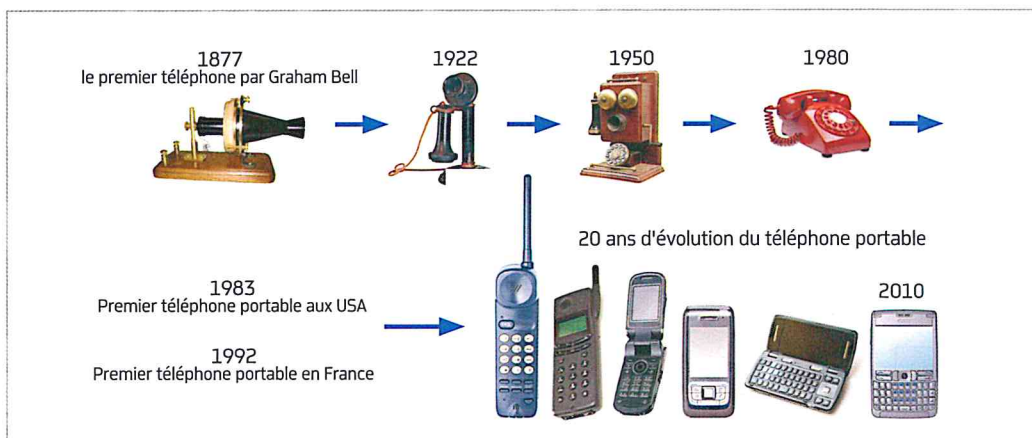


Fig. 6 Conception-reconception : le téléphone, 123 ans d'évolution

e La production (ou fabrication, réalisation du produit)

La production consiste à fabriquer tous les éléments qui constituent le produit et, ensuite, les assembler pour réaliser le produit.

4 Les cycles de développement

a Cycle en cascade

Ce cycle, hérité du domaine du génie civil, a une succession d'étapes ordonnées. Ces étapes sont effectuées simplement les unes après les autres, avec un retour sur les précédentes, voire au tout début du cycle.

L'inconvénient majeur du modèle de cycle de vie en cascade est que la vérification du bon fonctionnement du produit est réalisée trop tardivement, quasiment lorsque le produit est terminé. Par exemple, pour un logiciel, lors de la phase d'intégration, ou pire, lors de la mise en production.

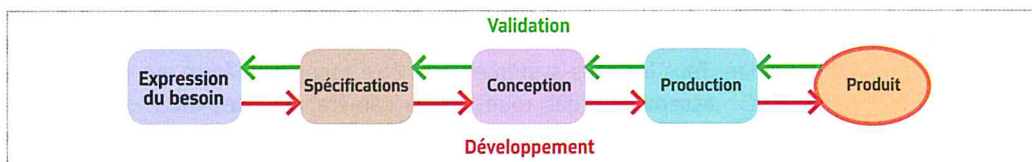


Fig. 7 Cycle en cascade

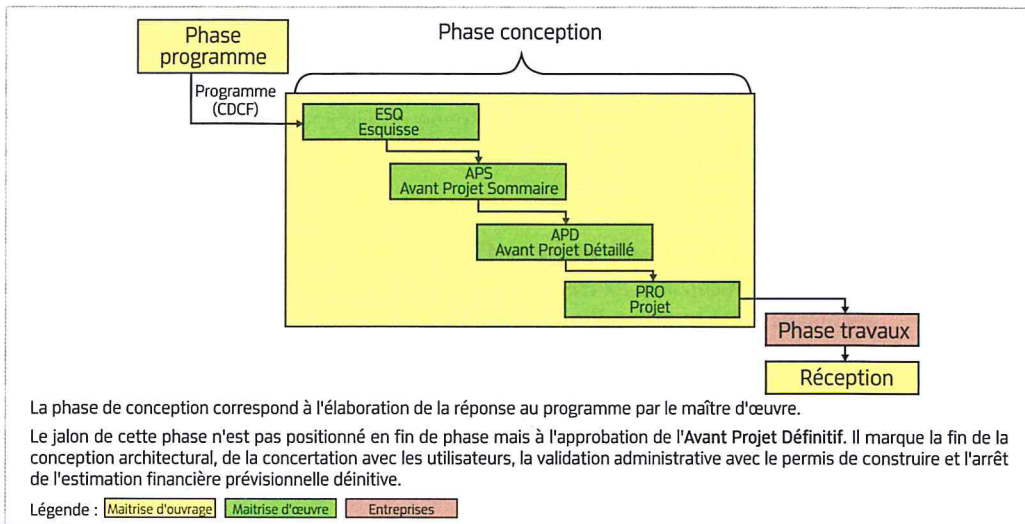


Fig. 8 Étapes de la construction d'un bâtiment neuf

b Cycle en V

Le **modèle du cycle en V** est un modèle de démarche imaginé suite au problème de réactivité du modèle en cascade. Il permet, en cas d'anomalie, de limiter un retour aux étapes précédentes. Les phases de la partie montante doivent renvoyer de l'information sur les phases en vis-à-vis lorsque des défauts sont détectés, afin d'améliorer le produit.

De plus, le cycle en V met en évidence la nécessité d'anticiper et de préparer dans les étapes descendantes les « attendus » des futures étapes montantes : ainsi les attendus des tests de validation sont définis lors des spécifications, les attendus des tests unitaires sont définis lors de la conception, etc.

Le cycle en V est devenu un standard dans tous les domaines de l'industrie.

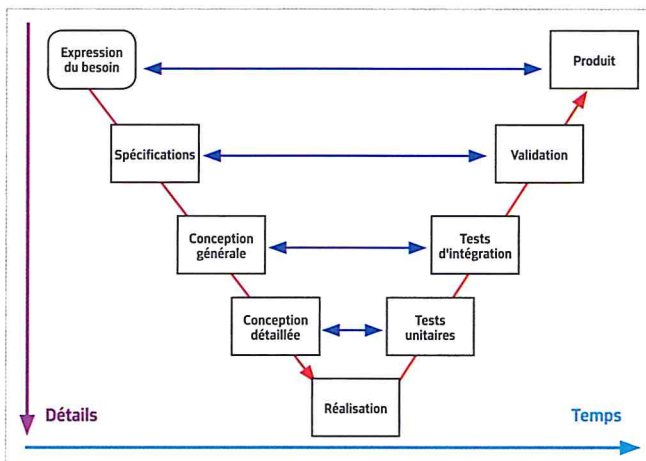


Fig. 3 Cycle en V

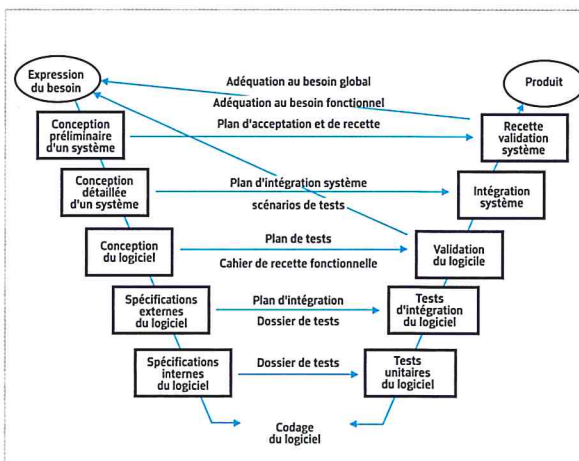


Fig. 4 Cycle en V dans le domaine logiciel

EXEMPLE

Utilisation du cycle en V lors de la conception du ROBOVOLC

Lors des tests unitaires, les concepteurs vont tester indépendamment les différents sous-systèmes du ROBOVOLC qui ont été réalisés : roues motorisées, châssis, caméra, bras manipulateur, carte de contrôle-commande, système GPS, etc... Si un constituant n'est pas validé lors de ce test, les concepteurs vont reprendre sa conception détaillée en vue de le modifier ou de l'améliorer puis le faire réaliser de nouveau.

Si tous les constituants sont validés lors des tests unitaires, les concepteurs passent à la phase d'intégration. Tous les sous-systèmes vont être assemblés entre eux pour constituer le produit ROBOVOLC : assemblage des roues, de la caméra, du bras, etc... sur le châssis, connexion des systèmes aux cartes de commande, d'énergie, etc. Les tests d'intégration vont permettre de vérifier la conception générale du ROBOVOLC.

C Méthodes agiles

Les **méthodes agiles** sont des méthodes qui visent la satisfaction réelle du besoin du client et non les termes d'un contrat de développement. Elles peuvent s'appliquer à divers types de projets, mais sont plutôt actuellement limitées aux projets de conception de logiciels informatiques. Elles impliquent au maximum le demandeur, c'est-à-dire le client et permettent une grande réactivité à ses demandes. Cette réactivité repose sur quatre valeurs fondamentales :

- ▶ **l'équipe** (« Personnes et interaction plutôt que processus et outils ») : dans une méthode agile, une équipe soudée de développeurs qui communiquent est bien plus importante que les outils ou les procédures de fonctionnement imposés par une équipe composée d'experts fonctionnant chacun de manière isolée. La communication est une notion fondamentale ;
- ▶ **l'application** (« Logiciel fonctionnel plutôt que documentation complète ») : il est vital que l'application fonctionne. Le reste, et notamment la documentation technique, est une aide précieuse mais non un but en soi. Une documentation précise est utile comme moyen de communication. La documentation représente une charge de travail importante, mais peut pourtant être néfaste si elle n'est pas à jour. Il est préférable de commenter abondamment le code lui-même, et surtout de transférer les compétences au sein de l'équipe (d'où l'importance de la communication) ;
- ▶ **la collaboration** (« Collaboration avec le client plutôt que négociation de contrat ») : le client doit être impliqué dans le développement. On ne peut se contenter de négocier un contrat au début du projet, puis de négliger les demandes du client. Le client doit collaborer avec l'équipe et fournir un retour continu sur l'adaptation du logiciel à ses attentes ;
- ▶ **l'acceptation du changement** (« Réagir au changement plutôt que suivre un plan ») : la planification initiale et la structure du logiciel doivent être flexibles afin de permettre l'évolution de la demande du client tout au long du projet, les premières releases du logiciel provoquant souvent des demandes d'évolution.

5 Qui fait quoi ?

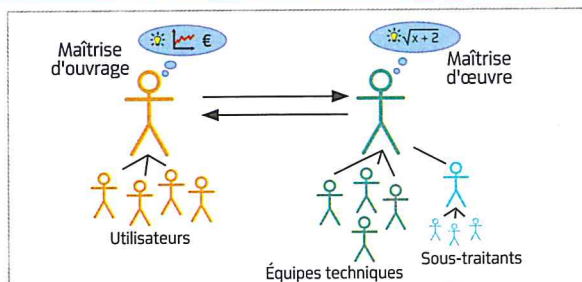


Fig. 5 Maîtrise d'ouvrage / d'œuvre

Les différentes étapes de la démarche sont rarement réalisées par la même entité. On parle de **maîtrise d'ouvrage** et de **maîtrise d'œuvre**.

a Maître d'ouvrage (MOA)

C'est l'entité porteuse du besoin, elle :

- ▶ définit l'objectif du projet ;
- ▶ définit son calendrier ;
- ▶ définit le budget consacré à ce projet.

b Maître d'œuvre (MOE)

C'est le fournisseur, l'homme de l'art :

- ▶ il est retenu par le maître d'ouvrage ;
- ▶ il respecte les conditions de délais, de qualité et de coût fixées dans le contrat ;
- ▶ il est responsable des choix techniques ;
- ▶ il définit les ressources nécessaires au projet, les délais nécessaires pour chaque tâche, il coordonne les différentes équipes qui le réalisent ;
- ▶ il rapporte tous problèmes et communique sur l'avancement du projet, il en gère les dépenses en charges, en coûts...

Le MOA est parfois aidé d'un Assistant à maître d'ouvrage (AMO) qui fait l'interface entre le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage pour l'aider à définir clairement ses besoins.

EXEMPLE

La construction d'un nouveau lycée

En France, l'entité responsable de la gestion d'un lycée est le Conseil régional de la région dans laquelle le lycée est situé. Lorsqu'il est nécessaire de construire un nouveau lycée, le maître d'ouvrage du projet de construction est le conseil régional. Les utilisateurs (élèves, parents, professeurs) peuvent être consultés mais ne font pas partie de la MOA.

Le Conseil régional publie un appel d'offres de marché public. Des entreprises vont répondre à cet appel d'offres. Les entreprises retenues seront les maîtres d'œuvre MOE.

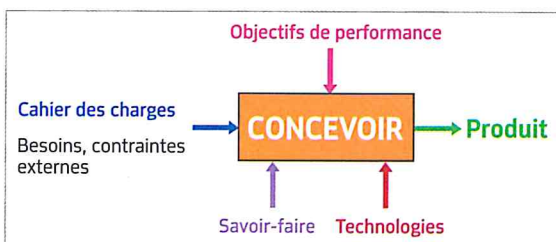
Le génie civil utilise un vocabulaire un peu différent ; les procédures complexes de marchés publics ne pouvant être résumé en quelques lignes sans faire quelques approximations, voici, en simplifié, le déroulé des opérations.

- ▶ L'équipe de maîtrise d'œuvre (architecte et bureau d'étude) retenue étudie le projet validé par le maître d'ouvrage. Il lui proposera ensuite un dossier de consultation des entreprises pour les marchés de travaux.
- ▶ Par la suite, la maîtrise d'ouvrage publiera un appel d'offre pour les travaux sur la base du dossier préparé par le maître d'œuvre. La ou les entreprises exécutant les travaux ne font pas partie de la maîtrise d'œuvre, ils sont d'ailleurs choisis par la maîtrise d'ouvrage. Ce sont eux qui réalisent les travaux.
- ▶ Le maître d'œuvre est responsable du suivi des délais et des budgets selon les modalités définies dans le cahier des clauses administratives particulière.

Pour le génie civil, le maître d'œuvre est la personne chargée par le maître de l'ouvrage de concevoir le bâtiment à construire ou à rénover selon le programme fourni par le maître de l'ouvrage, de diriger l'exécution des marchés de travaux, de proposer le règlement des travaux et leur réception. Ce n'est pas lui qui fait les travaux.

SYNTHÈSE

La **conception d'un produit** est une activité créatrice qui, en partant des besoins exprimés et des connaissances existantes, aboutit à la définition d'un produit industriellement réalisable.



Activité de conception

- ▶ Le **maître d'œuvre** (ou fournisseur) est l'entité retenue par le maître d'ouvrage pour réaliser l'ouvrage, dans les conditions de délais, de qualité et de coût fixées par ce dernier conformément à un contrat.

Après avoir analysé et traduit le CdC en paramètres, critères, données qui permettront de contrôler la conformité du produit par rapport au besoin (**spécification**), le fournisseur va réaliser des **études de faisabilité** et des **activités de conception** qui aboutiront à la réalisation d'un prototype.

Après validation, ce prototype pourra être produit **en série** par une **entreprise industrielle**.

On utilise principalement **deux modèles de démarches** dits **cycles de développement** : le **cycle en cascade** et le **cycle en V**. Le premier sera plutôt utilisé pour la construction en génie civil, le second pour le développement de produits d'ingénierie logicielle et mécatronique.

- ▶ Le **Cahier des charges (CdC)** est document par lequel le demandeur d'un produit exprime son **besoin** en termes de **fonctions de service** et de **contraintes** sans référence aux solutions techniques.

- ▶ Le **maître d'ouvrage** (ou client) est l'entité responsable de l'expression des besoins mais n'a pas forcément les compétences techniques liées à la réalisation de l'ouvrage.