

# Chapitre I

## Conception mécanique : contexte et notions de base

### 1 CONTEXTE GLOBAL DE LA CONCEPTION MECANIQUE

Un produit mécanique est constitué d'un ensemble de pièces et composants, exploité par un utilisateur pour accomplir une fonction d'usage. Le tout forme un système mécanique qui peut être subdivisé en sous-systèmes. Chacun des sous-systèmes réalise une ou plusieurs fonctions pour produire globalement au niveau de l'ensemble une ou plusieurs fonctions d'usage ou de service à l'utilisateur. Dans le monde industriel (Fig. I-1), un produit peut être soit très simple avec un nombre limité de pièces, soit très compliqué avec un grand nombre de sous-systèmes et de composants. Dans ce texte, un produit sera défini par l'ensemble des informations qui le décrivent (résultats de calculs, dessins, etc.) et par une réalisation matérielle (un prototype) testée et homologuée. Le produit est ensuite fabriqué en un certain nombre d'exemplaires qui sont utilisés dans des conditions plus ou moins adaptées puis au bout d'un certain temps, temps qualifié de durée de vie, le produit est déclassé (soit jeté, soit recyclé). En général, un produit est conçu et réalisé dans une entreprise par une équipe projet constituée d'un certain nombre de personnels. Cette équipe réalise et gère un ensemble de travaux de conception du produit, de fabrication et d'essais du prototype du produit. L'équipe projet peut faire appel à des sous-traitants et des fournisseurs pour compléter ses ressources. L'équipe est aussi en relation avec des représentants des utilisateurs.

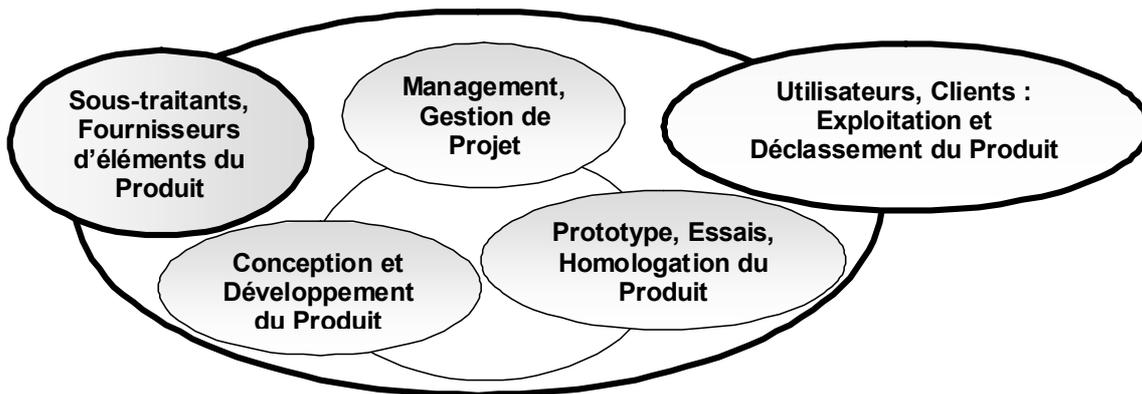


Fig. I-1 : Contexte général industriel de l'élaboration d'un produit

#### 1.1 LES GRANDES ETAPES DE LA CONCEPTION DE PRODUIT

La démarche de conception (design process) consiste à concevoir, innover, créer et réaliser un produit à partir d'un besoin à satisfaire suggéré par le client. Ce produit peut être nouveau ou être le résultat d'une amélioration de l'existant. Les concepteurs de l'équipe projet doivent avoir des connaissances variées dans les domaines de bases

(mécanique - thermique - électricité - électronique - chimie - statistiques - chimie, etc.) mais également dans des domaines des sciences de l'ingénieur (matériaux, composants technologiques, productique, etc.). De plus, la participation de plusieurs acteurs dans la réalisation du projet suppose qu'il faut savoir communiquer oralement (présentation, conférences, réunions) et savoir présenter ses idées et résultats de façon écrite (dessins, CAO, rapports,...) et plus globalement savoir gérer le projet dans le cadre d'un travail collaboratif. Sept étapes essentielles sont distinguées (Fig. I-2).

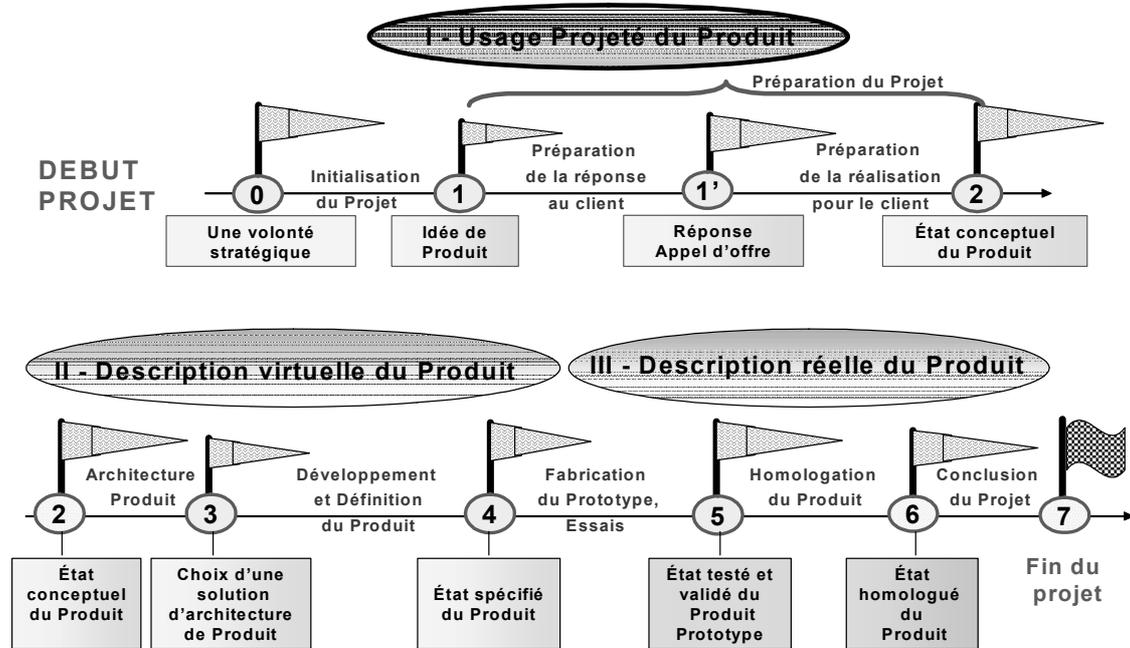


Fig. I-2 : Processus simplifié de déroulement d'un projet de conception

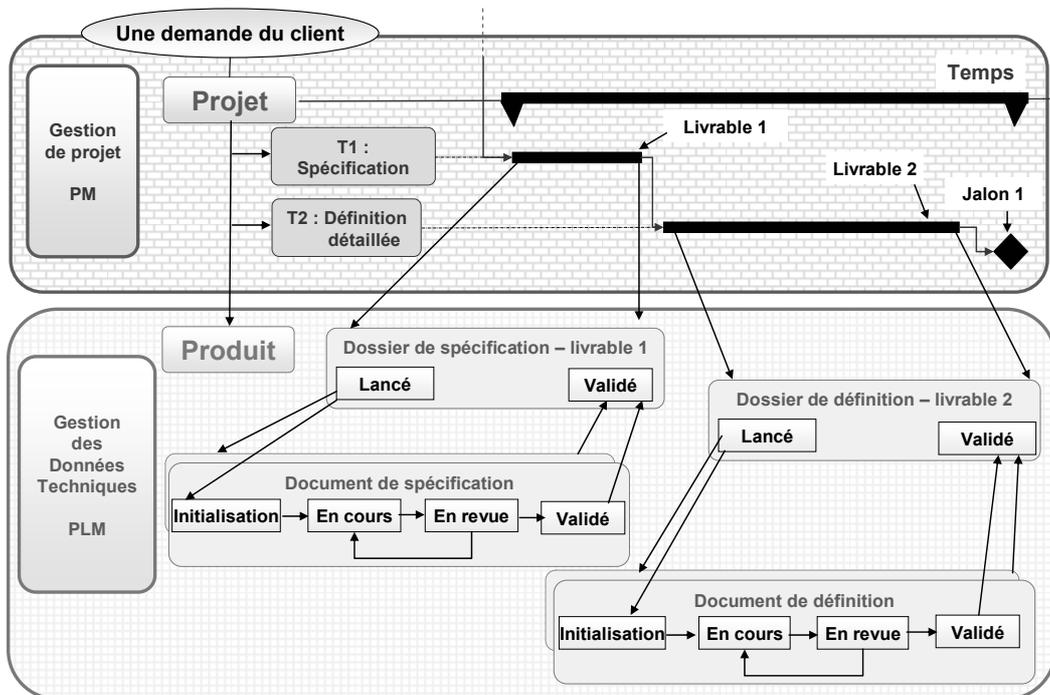


Fig. I-3 : Liaison entre gestion de projet et gestion de données techniques

Jusqu'à ce que le prototype du produit soit réalisé, ce sont des informations qui décrivent le produit (produit virtuel). Comme en général un grand nombre d'informations décrivent le produit virtuel et que de nombreuses itérations sont nécessaires pour aboutir à un produit virtuel optimisé, un système de gestion des données et informations accompagne le déroulement du projet (product lifecycle management system, PLM). Il faut en particulier souligner que la définition progressive du produit conduit à une évolution des données dont la trace doit être conservée (variables et valeurs numériques, versionnement des évolutions).

Aussi un dialogue et un échange d'informations permanents doivent avoir lieu entre les systèmes de gestion de projet et de gestion des données techniques (Fig. I-3).

### **1.1.1 Le cahier des charges fonctionnel (cdcf)**

Le cahier des charges fonctionnel définit ce que fait le produit ou le système mécanique. Il est utilisé pour préparer et suivre le développement d'un produit. Il sert de référence et de base de négociation en cas de litiges, conflits ou de modifications. Il peut cependant évoluer au cours du temps et faire l'objet d'avenants. Le cahier des charges fonctionnel est accompagné d'un dossier qui comprend l'arborescence du produit et les spécifications techniques du produit, et qui décrit ce qu'est le produit (PBS et spécifications). Le CdCF s'intéresse aux fonctions de service du produit et en général n'évoque aucune solution technique. C'est un document contractuel, sa rédaction et sa modification nécessitent l'accord des parties prenantes du projet. Quatre chapitres composent le CdCF :

- présentation générale du problème : cette partie donne toutes les informations générales relatives au produit : marché et secteur d'utilisateurs, contexte, objectif, énoncé du besoin, environnement, et le but à atteindre,
- expression fonctionnelle des besoins : cette partie résulte de l'analyse fonctionnelle, et décrit les fonctions de service, les contraintes, les critères d'appréciation, ainsi que les missions remplies par le produit,
- exigences et appel à des variantes : cette partie fixe des limites à l'étude de variantes ou d'autres solutions pour réaliser le produit, de même que les conditions d'obtention d'une solution de produit,
- cadre de réponse : cette partie définit les normes et standards applicables au produit considéré, de même que la façon de répondre (forme et fond) pour qualifier le produit.

### **1.1.2 La conception mécanique dans le processus de conception**

La difficulté majeure en conception de produit est d'avoir une vision globale du produit tout en n'hésitant pas à considérer des éléments de détail. Cette orientation du global au local (top-down analysis) se concrétise par un découpage de plus en plus fin du produit. Et au cours de la conception du produit dont l'objectif est d'obtenir un tout, l'assemblage et la cohérence des éléments vont devenir essentiels. Cette démarche est caractérisée et visualisée dans les bureaux d'études, par un cycle en V (Fig. I-4). Une décomposition progressive du produit en éléments est réalisée dans la branche gauche du V, et une reconstruction du produit se fait dans la branche droite du V en vérifiant toutes les compatibilités. Ainsi, les étapes du processus de conception de produit

apparaissent dans la visualisation du cycle en V où la branche de gauche du cycle représente la conception des éléments et composants du produit et la branche de droite représente l'intégration des éléments du produit. Ainsi partant d'une idée, le produit se concrétise progressivement en maîtrisant les parties ou sous-ensembles.

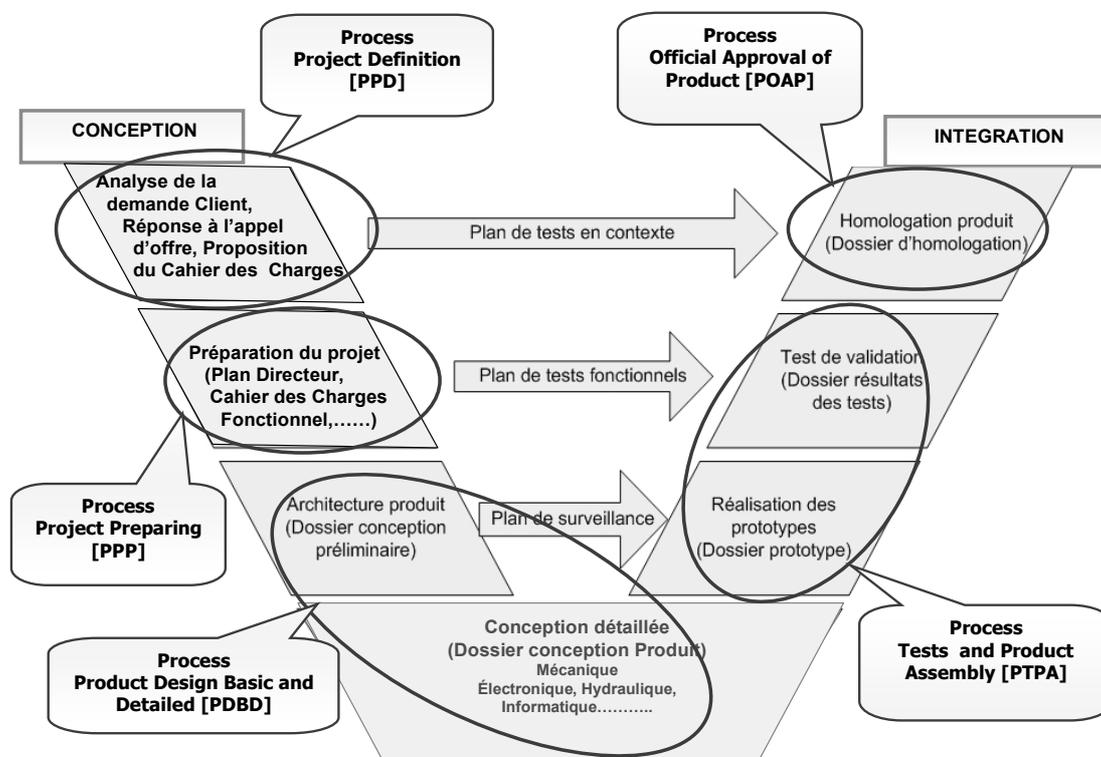


Fig. I-4 : Visualisation du cycle de conception par un cycle en V

### 1.1.3 Les aspects économiques et stratégiques de la conception

Le coût de la conception est généralement faible devant le coût total du produit. Ainsi, l'importance de la conception de produit n'est pas à l'image de son coût (Fig. I-5) mais elle est stratégique car :

- les décisions prises au cours de la conception conditionnent largement les autres coûts car les choix technologiques conditionnent la production de masse des exemplaires du produit,
- les décisions sont prises toujours très tôt en amont du processus de conception, et les capacités de modification des éléments et de réduction de coûts diminuent avec l'avancement du projet.

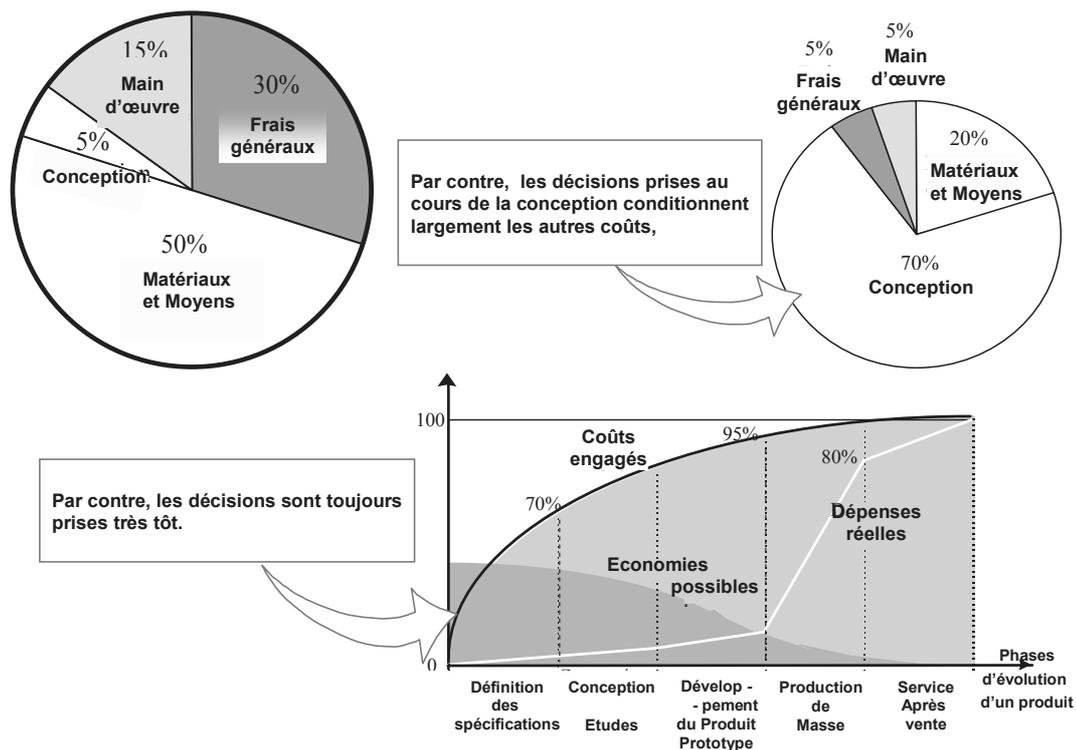


Fig. I-5 : Engagements stratégiques en conception de produit

## 1.2 UNE METHODOLOGIE DE CONCEPTION

La conception de systèmes mécaniques repose pour une grande part sur des savoirs faire et connaissances tacites. Ainsi, une méthodologie de travail adaptée mais simple sera utilisée pour introduire la conception mécanique de produit.

### 1.2.1 Conditions de réalisation : conception intégrée

Dans une approche de conception intégrée ou totale au sens de la qualité totale (Fig. I-18), on trouve l'ingénierie de conception avec notamment la définition de modèles de comportement. Mais deux autres aspects doivent aussi être considérés pour assurer à priori toutes les chances de succès. Les aspects technologiques vont très largement conditionner l'ingénierie de conception, de même que l'aspect contexte d'utilisation du produit va préciser toutes les contraintes appliquées au produit.

La concrétisation des éléments d'un produit dans une unité structurale conduit à la notion d'interactions entre les éléments constitutifs du produit. Aussi faut-il imaginer un produit comme un système où des interactions entre éléments et composants vont apparaître et vont conditionner le comportement du système lui-même. Imaginer et comprendre ces interactions, c'est agir sur la conception. Il faut donc faire ressortir les interactions qui sont à priori déterminantes pour ensuite établir des modèles significatifs de comportement et de calcul. Toute activité de conception de produit comprend trois étapes clés (Fig. I-7) qui sont :

- la définition de la géométrie,
- l'évaluation du comportement,

- le choix d'une solution.

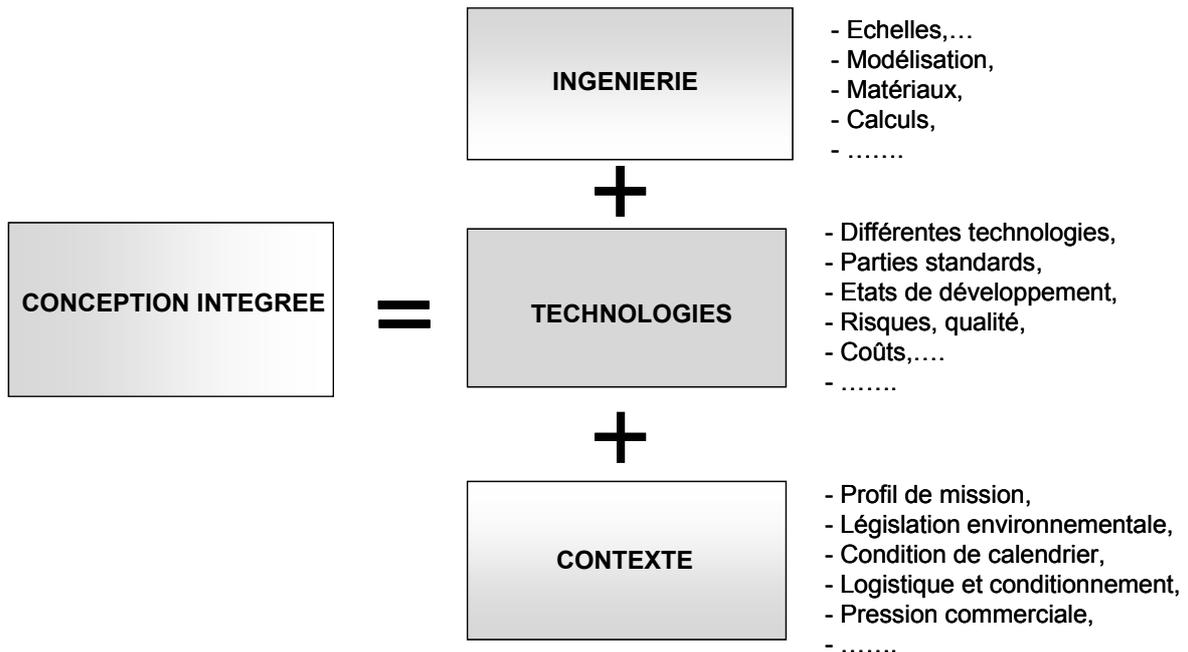


Fig. I-6 : Schéma de la conception intégrée de produit (total design)

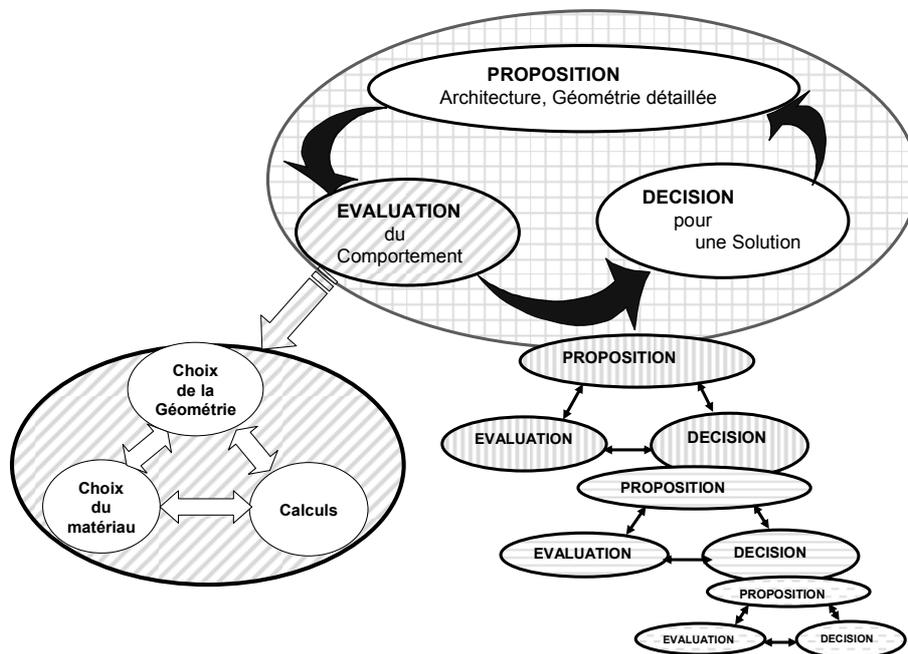


Fig. I-7 : Le triptyque, géométrie - comportement - choix, en conception de produit

La concrétisation des éléments d'un produit dans une unité structurale conduit à la notion d'interactions entre les éléments constitutifs du produit. Aussi faut-il imaginer un produit comme un système où des interactions entre éléments et composants vont apparaître et vont conditionner le comportement du système lui-même. Imaginer et comprendre ces interactions, c'est agir sur la conception. Il faut donc faire ressortir les

interactions qui sont à priori déterminantes pour ensuite établir des modèles significatifs de comportement et de calcul. Ainsi, trois étapes clés (Fig. I-10) sont définies: la définition de la géométrie, l'évaluation du comportement, le choix d'une solution.

L'évaluation du comportement repose aussi sur un processus en trois points clés qui peut être itératif : choix de la géométrie, calculs, choix des matériaux. Aussi, l'évaluation du comportement se présente principalement suivant deux problématiques de dimensionnement :

- la géométrie est connue, les calculs sont activés alors le matériau est déterminé (choix à partir de valeurs numériques et d'informations),
- le matériau est connu, les calculs sont activés alors les valeurs numériques d'une géométrie préalablement paramétrée (forme et/ou dimension) sont définies.

Pour accélérer la convergence du processus, une géométrie initiale peut être proposée à priori et de même qu'un matériau. Ensuite, la réalisation de conditions (résistance, etc.) est vérifiée pour qualifier la géométrie et le matériau initialement proposé.

### 1.2.2 Structuration, description, représentation

Ce paragraphe s'appuie sur l'exemple d'un renvoi d'angle (Fig. I-8), mais peut être transposé à tout autre système mécanique. En entrée, une puissance est transmise à la vitesse supposée constante  $\omega_1$ , et en sortie deux cas sont rendus possibles à l'aide d'un changement de vitesse élémentaire (crabot) : pas de transmission ( $\omega_2=0$ ), transmission de la puissance mais avec un rapport de transmission de vitesse tel que  $\omega_2=3/5 \omega_1$ .

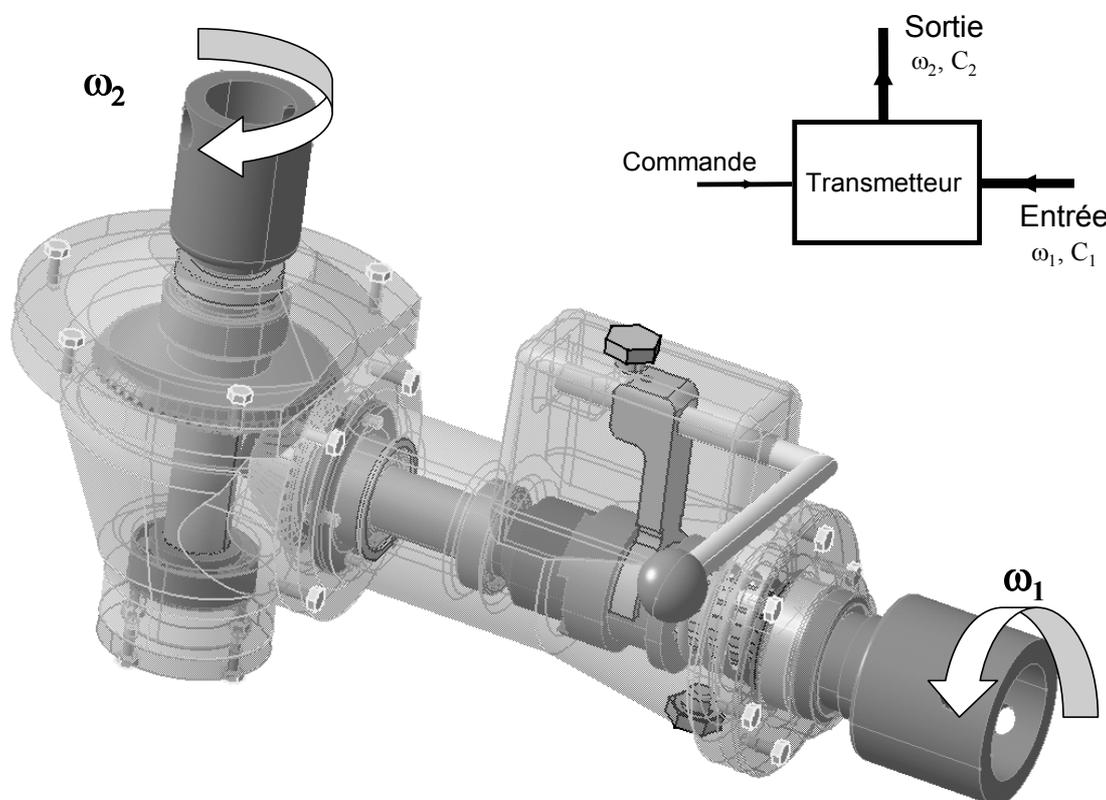


Fig. I-8: Vue d'ensemble du renvoi d'angle

Le système présente une architecture organique qui est représentée par une structure en arborescence : un ensemble ou sous-ensemble est composé de composants ou articles, des liens de composition relient ces éléments. Une structure produit est une description des niveaux successifs de décomposition du produit en objets techniques (Fig. I-9).

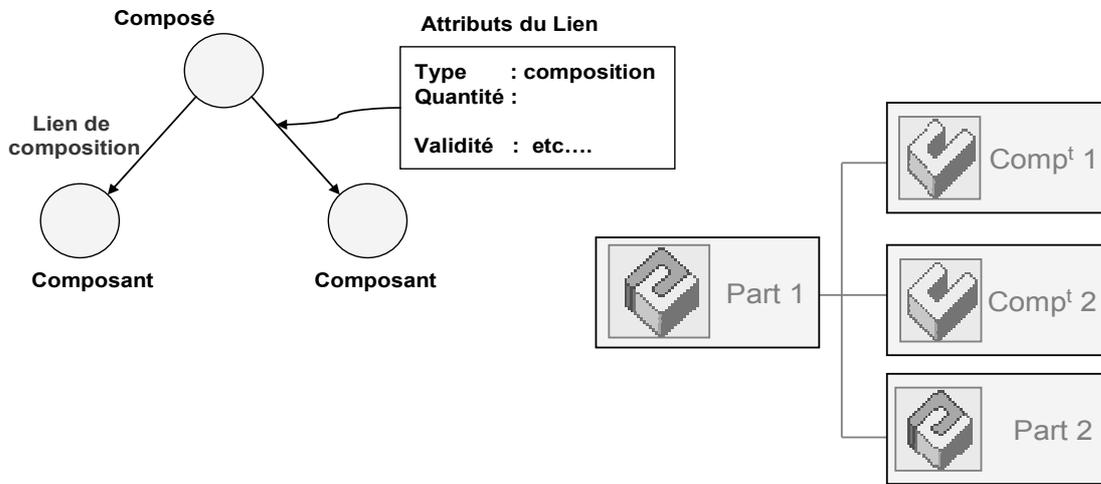


Fig. I-9 : Définition de configurations

Chaque lien de composition contient des métadonnées (carte d'attributs). Les liens de composition sont porteurs de propriétés telles que l'identification du lien (nature, composition), type de structure (fonctionnelle, technique, industrielle), type de configuration décrite (préliminaire, de référence, ...), la quantité de composants entrant dans le composé et la validité (effectivité) du lien (date de création, date de péremption,...).

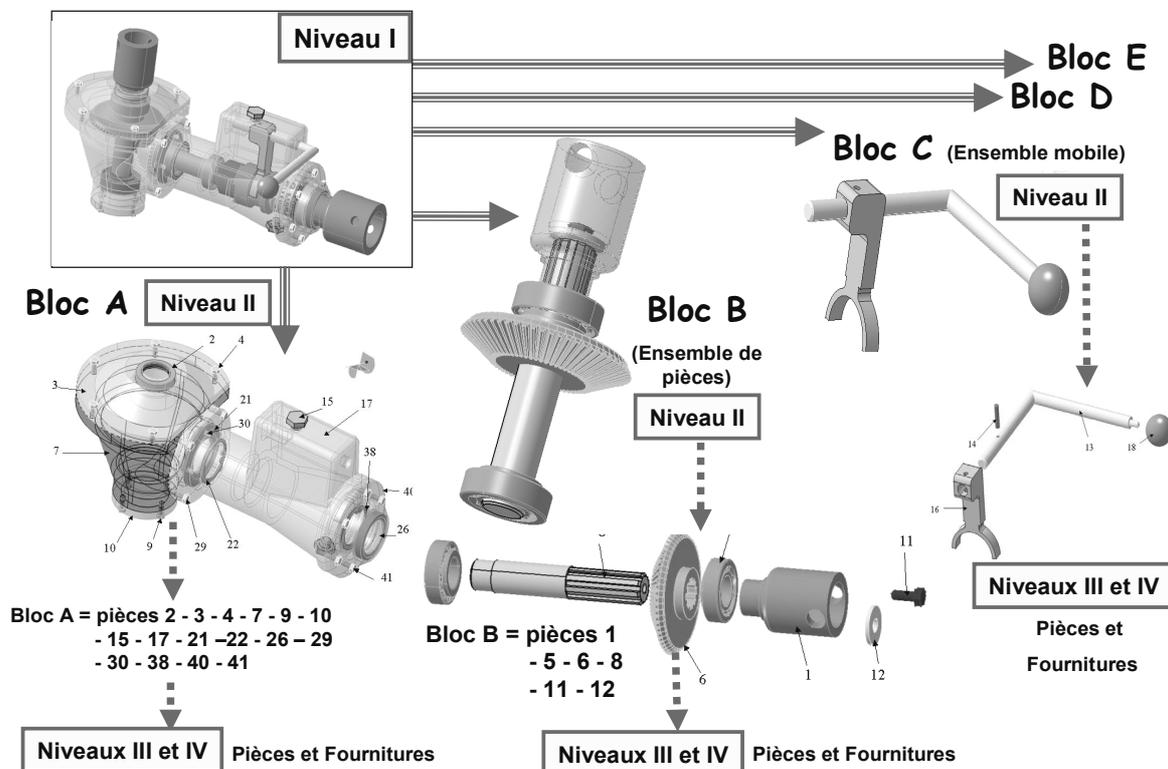


Fig. I-10 : Définition de niveaux dans l'arborescence du produit