

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ HADJ LAKHDAR « BATNA » FACULTÉ DE TECHNOLOGIE



DÉPARTEMENT DE GÉNIE INDUSTRIEL

MÉMOIRE DE MAGISTER

Présenté au

Laboratoire d'Automatique et Productique (LAP)

En vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Spécialité: *Génie Industriel et Productique*

Par

KHIREDDINE ZAKARIA

Ingénieur en Génie Industriel

Thème :

**Optimisation des processus de
conception des procédés de fabrication.**

Cas Pratique : COMPLEXE PELLERES & GRUES (CPG), Aïn-Smara, Constantine

Soutenu le : 17 /06 /2012, devant le jury composé de:

JURY :

Président :	Dr : SMADI HASSAN	M.C	Université de Batna
Rapporteur :	Dr : MELAKHESSOU HAYAT	M.C	Université de Batna
Examineurs :	Dr : DJEBAYLI HAMID	Pr	Centre Universitaire de Khenchela
	Dr : MECHENENE ATHMANE	M.C	Université de Batna

Année universitaire 2011-2012

Remerciements

J'exprime toute ma reconnaissance envers la directrice de ce travail Dr. H. Mellakhessou pour la rigueur, les nombreuses initiatives et le sens des responsabilités dont elle a toujours fait preuve et aussi pour les remarques et conseils qu'elle m'a donnés dans le cadre de l'examen de ce mémoire.

Je tiens à remercier par ailleurs Monsieur A. LAMRI chef du département Technique du complexe : pelles et grues (CPG) pour son intérêt à mon travail, ses remarques bien vaillantes ainsi que ses conseils qui m'ont été d'une aide précieuse, témoignent de ses qualités scientifiques et humaines.

Mes remerciements s'adressent également à toute l'équipe du Laboratoire d'Automatique et de Productique (LAP) pour leur sympathie et collaboration...

Je tiens plus particulièrement à remercier les membres de jury pour nous avoir fait l'honneur de présence. Ainsi que pour avoir consacré une partie de leur temps précieux pour lire et corriger ce mémoire.

Ma reconnaissance et remerciement vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce travail tout particulièrement mes parents qui n'ont pas cessé de me soutenir.

Dédicace

A mes parents

A ma femme et mon fils

A mes sœurs

A mon frère

A tout ce qui me connaissent

Khiredidine Zakaria

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	I
POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE DU THEME DE RECHERCHE.....	II
CHAPITRE I : CONCEPTION DES PRODUITS	6
I-1- INTRODUCTION	6
I-2- CONCEVOIR DES PRODUITS NOUVEAUX : UNE ACTIVITE COMPLEXE	6
I-2-1- L'ACTIVITE DE CONCEPTION DE PRODUIT INDUSTRIEL NOUVEAU :	7
I-2-1-1- Définition de l'activité de conception de produit nouveau.....	7
I-2-1-2- La conception de produits nouveaux : un processus transversal.....	8
I-2-1-3- Typologie de conception	9
a)- Conception routinière ou prédéfinie (routine design).....	10
b)- Conception innovante (Innovative design).....	11
c)- Schéma global de conception.....	11
I-2-2- ÉVOLUTION TECHNIQUE ET ORGANISATIONNELLE DE LA CONCEPTION :.....	13
I-2-2-1- Évolution technique de la conception.....	13
I-2-2-2- Évolution organisationnelle de la conception	19
I-3- DU CONCEPT AU PRODUIT : LE PROCESSUS DE CONCEPTION	19
I-3-1- PROCESSUS DE CONCEPTION DE PRODUIT : DEFINITION ET TERMINOLOGIE :	20
I-3-1-1- Définition	20
I-3-1-2- Terminologie.....	20
a)- Processus.....	20
b)- Phase	21
c)- Activité.....	22
d)- Produit.....	22
I-3-2- MODELES DE PROCESSUS DE CONCEPTION	23
I-3-2-1- Exemples de modèles de P.Cs	25
a)- Axiomatic Design.....	25
b)- Design For Six Sigma (6 σ).....	26
c)- New Product Design.....	28
d)- Systematic Design	29
e)- TRIZ.....	31
I-3-2-2- Différents niveaux de sélection des méthodes des P.Cs	32
I-3-3- ÉVOLUTION DU PROCESSUS DE CONCEPTION DE PRODUIT.....	33
I-4 CONCLUSION	35
CHAPITRE II : DEVELOPPEMENT D'UNE DEMARCHE DE CONCEPTION SIMULTANEE	37
II-1- INTRODUCTION	37
II-2- ENVIRONNEMENT ECONOMIQUE DE L'ENTREPRISE	38
II-2-1- METHODES D'ATTEINTE DE LA COMPETITIVITE	38
II-2-1-1- Réduction des délais.....	39
a)- Just in time (juste à temps).....	39

b)- Design for manufacturing (DFM)	39
c)- Ingénierie simultanée.....	39
II-2-1-2- Réduction des coûts : Benchmarking ou étalonnage concurrentiel.....	40
II-2-1-3- Amélioration de la qualité	40
a)- Total quality management (TQM).....	40
b)- Quality function deployment (QFD).....	41
c)- Statistical process control (SPC)	41
d)- Certification ISO 9000	41
II-2-2- PROCESSUS DE CONCEPTION EN INGENIERIE SIMULTANEE	41
II-2-2-1- Le produit	41
II-2-2-2- Le processus de conception.....	42
II-3- DEMARCHE DE L'INGENIERIE SIMULTANEE	43
II-3-1- CAUSES ET ORIGINES DE L'INGENIERIE SIMULTANEE	43
II-3-1-1- Causes.....	43
II-3-1-2- Précisions sémantiques	44
II-3-1-3- Origines.....	44
II-3-2- DEVELOPPEMENT TRADITIONNEL OU APPROCHE SEQUENTIELLE	45
II-3-2-1- Cycle de vie d'un produit.....	45
II-3-2-2- Cycle de vie d'un projet	47
II-3-3- DU SEQUENTIEL AU SIMULTANE.....	49
II-3-3-1- Définition de l'approche simultanée	49
II-3-3-2- Intérêts de l'approche simultanée	51
II-3-4- MISE EN ŒUVRE DE L'INGENIERIE SIMULTANEE.....	52
II-3-4-1- Les outils	52
a)- Maquettes numériques.....	53
b)- Les Systèmes PLM (Product Lifecycle Management).....	54
II-3-5- EXEMPLES INDUSTRIELS D'APPLICATIONS DE L'INGENIERIE SIMULTANEE.....	59
II-4 CONCLUSION	60
CHAPITRE III : APPLICATION INDUSTRIELLE.....	63
III-1- INTRODUCTION	63
III-2- PRESENTATION DE L'ENTREPRISE.....	64
III-3- PRESENTATION DE LA PROCEDURE DE CONCEPTION ET DEVELOPPEMENT UTILISEE AU CPG	67
III-4- PRESENTATION DE NOTRE DEMARCHE DE CONCEPTION SIMULTANEE DU PRODUIT.....	68
III-4-1- LA DEMARCHE PROPOSEE	68
III-4-1-1- Phase 1 : Élaboration du concept :	70
a)- Définition des caractéristiques du produit : Définition du Besoin.....	70
b)- Étude de faisabilité & sélection du concept	71
c)- Élaboration du cahier de charges.....	71
d)- l'étude préliminaire.....	71
e)- Avant Projet / Préconception.....	71
III-4-1-2- Phase 2 : Conception du produit :	72

III-4-1-3- Phase 3 : Construction du prototype :.....	72
III-4-1-4- Phase 4 : Essais, vérification & validation :.....	73
III-4-1-5- Phase 5 : Processus de production :.....	73
III-4-2- EXEMPLE POUR UN PROCESSUS DE CONCEPTION SIMULTANEE D'UN PRODUIT (CAS D'ETUDE : RADIATEUR POUR MOTEUR DEUTZ (TD/TCD 2012/L04/ 2V/M), MONTE SUR LE CHARGEUR 2320)	73
III-4-2-1- Étude de l'existant.....	73
III-4-2-2- Un nouveau environnement de travail « Mise en place d'un système PLM ».....	76
a)- Utilisation de Ms Project comme outil de gestion de projet	77
b)- Utilisation d'un logiciel CAO « Solidworks » pour la conception du Radiateur	82
III-5- CONCLUSION	83
CONCLUSION GENERALE.....	84
BIBLIOGRAPHIE	87
ANNEXES.....	92

Figures et illustrations

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE	1
FIGURE I : POSITIONNEMENT AU SEIN DES SCIENCES DE LA CONCEPTION [HUBKA AND EDER, 96].....	III
FIGURE I.1 : ACTIVITE DE CONCEPTION : PROCESSUS DE RESOLUTION DE PROBLEMES.....	7
FIGURE I.2 : LA CONCEPTION DE PRODUITS.....	9
FIGURE I.3. TYPES DE CONCEPTION ET NATURE DE PRODUITS.....	10
FIGURE I.4. SCHEMA GLOBAL DE CONCEPTION	12
FIGURE I.5 : BOUCLES D'« INGENIERIE SYSTEME » MULTI-OBJECTIFS ET BASEES SUR LES CONNAISSANCES METIER DU PROCESSUS DE CONCEPTION.....	14
TABLEAU I.1 : DIFFERENTES GENERATIONS DE SYSTEMES CAO : DU 2D AU 5D	16
FIGURE I.6 : CHRONOLOGIE CONJOINTE DE LA CONCEPTION ET DE L'INFORMATIQUE.....	18
FIGURE I.7 : PHASES EN AMONT ET EN AVAL DU PROCESSUS DE CONCEPTION.....	22
FIGURE I.8: MISE EN PARALLELE DES PROCESSUS DE CONCEPTION [SCARAVETTI, 04].....	24
FIGURE I.9 : LES QUATRE DOMAINES DE L'AXIOMATIC DESIGN	26
FIGURE I.10: DEMARCHE DFSS [KWAK AND ANBARI, 06].....	27
FIGURE I.11 : DEMARCHE DE CONCEPTION DE PRODUITS (NPD) [AOUSSAT ET AL, 2000].....	28
FIGURE I.12 : DEMARCHE DE CONCEPTION DEVELOPEE PAR PAHL ET BEITZ.....	30
FIGURE I.13 : VUE D'ENSEMBLE D'ARIZ D'APRES [CAVALLUCCI, 99].....	31
FIGURE I.14: DIFFERENTS NIVEAUX DE SELECTION	33
FIGURE II.1 : ILLUSTRATION SIMPLIFIEE DU PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT ET DE CONCEPTION DE PRODUITS.....	43
FIGURE II.2. CYCLE DE VIE DU PRODUIT [BENCHIMOL, 03].....	46
FIGURE II.3. CYCLE DE VIE DU PROJET.....	48
FIGURE II.4. COMPARAISON DES DEUX APPROCHES.....	50
FIGURE II.5. LES ORIGINES DU PLM.....	54
FIGURE II.6. CYCLE DE VIE DU PRODUIT REEL	55
FIGURE II.7. PRINCIPES DU SYSTEME PLM [DUT 05]	55
FIGURE II.8. SYSTEME PLM ET APPLICATIONS METIERS.....	56
FIGURE II.5. RENAULT TWINGO, FRUIT DE L'INGENIERIE SIMULTANEE.....	59
FIGURE III-1 PROCEDURE DE CONCEPTION ET DEVELOPPEMENT D'UN PRODUIT DU CPG	67
FIGURE III.2 : DEPLOIEMENT DE LA FONCTION QUALITE	69
FIGURE III.3- ILLUSTRATION DU PROCESSUS DE CONCEPTION SIMULTANEE DU PRODUIT A ETUDIER	70
FIGURE III.4 : SCHEMA DU CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT	74
FIGURE III.5 : VUE GENERALE D'UN RADIATEUR	75
FIGURE III.6 : FAISCEAU D'UN RADIATEUR.....	75
FIGURE III-7. INFORMATION SUR LE PROJET	80
FIGURE.III.8. CALENDRIER DE TRAVAIL.....	80
FIGURE.III.9.SAISIR UNE TACHE.....	81
FIGURE.III.10. OPTION DE PROJECT.....	81
FIGURE III.11 : PLANNING PREVISIONNEL DU PROCESSUS DE CONCEPTION DU PROJET SUR MS-PROJECT	82
FIGURE III.12 : ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL DU LOGICIEL SOLIDWORKS.....	83
FIGURE.1- RADIATEUR PROPOSE PAR DEUTZ.....	92
FIGURE.2- RADIATEUR CONÇUE PAR LE CPG	92

Introduction Générale

Dans notre environnement économique à faible croissance et à forte concurrence, l'avance technologique est importante, mais très souvent ne suffit pas. Plus que jamais, les entreprises doivent innover dans des domaines d'activités de plus en plus larges. Elles se doivent ainsi de proposer de nouveaux produits afin de pérenniser leurs activités. Concevoir un produit est devenu un acte stratégique, qui a bien entendu des dimensions économiques et technologiques.

Face à ce défi, de nouvelles organisations industrielles sont apparues, connues sous le nom « d'ingénierie collaborative, concourante, simultanée, distribuée ou intégrée ». Très rapidement, cette démarche, définie comme **une approche organisationnelle** tendant vers la conception simultanée, intégrée des produits, de leurs méthodes et de leurs procédés de fabrication, permet d'améliorer la qualité des produits, de réduire les coûts et les délais de conception. Les entreprises mettent ainsi sur le marché de bons produits, des produits qui techniquement fonctionnent bien, et ceci, dans des délais de conception de plus en plus courts.

Dans ce contexte, l'acte de conception est devenu plus que jamais interdisciplinaire, traduisant ainsi le rôle déterminant que doit jouer le chef de projet. Lui revient ainsi la tâche de coordonner, en termes de qualité, performance, coûts, délais, etc., l'ensemble des tâches du groupe. Bien que conception « simultanée » ou « intégrée » n'est pas un sujet nouveau, son importance s'est accrue considérablement au cours des dernières années. L'idée de conception « simultanée » conduit à associer au processus de conception l'ensemble des acteurs ayant compétence pour intervenir aux différents moments et sur les différents aspects du cycle de vie du produit, et à travailler autant que possible simultanément et de façon concourante. Il est clair que ces nouvelles formes d'organisation passent en premier lieu par l'étroite coordination des différents acteurs métiers travaillant sur un même projet (ingénieurs, ergonomes, designers, etc.). Elles impliquent également la collaboration, souvent distante, entre plusieurs groupes de travail lorsque les entreprises sous-traitent certaines de leurs activités en vue de renforcer leurs domaines d'expertise.

Contexte et Problématique :

Le Génie Industriel qui a pour objectif l'amélioration de la performance des entreprises s'intéresse à l'étude des organisations industrielles et à l'amélioration des processus qu'elles mettent en œuvre, il est concerné par la conception, l'amélioration et l'implantation des systèmes intégrés des ressources humaines, matérielles, d'équipement, de l'information et

d'énergie, pour réaliser un produit en s'appuyant sur les connaissances spécialisées et les qualifications dans la science physique, mathématique et sociale et sur des principes et méthodes d'analyse et de synthèse de l'ingénierie afin de spécifier, prédire et évaluer les résultats que de tels systèmes peuvent produire. Cet objectif pose à la fois la question de développement du produit, il s'agit de reconsidérer le cycle de vie du produit dans sa globalité, de raccourcir les délais, de diminuer les coûts, et augmenter la qualité et la robustesse dans le cadre d'ingénierie simultanée (le Génie Industriel fait le carrefour des disciplines appelées à intervenir dans l'entreprise).

Les entreprises Algériennes ont la difficulté à innover et concevoir leurs produits, parmi les difficultés qu'on peut rencontrer, pour le processus de conception du produit, les entreprises n'utilisent aucune méthodologie claire ou au moins connue de conception des produits nouveaux. Elles sont loin de satisfaire le client en termes de QCD et de performance. Aussi la démarche de conception est aléatoire ce qui réduit l'amélioration de ce processus, en outre les acteurs qui doivent participer au développement sont organisés de manière informelle (organisation qui est plus séquentielle) dans le monde de la simultanéité.

Positionnement scientifique du thème de recherche

Conception et science ont traditionnellement été envisagées séparément. Or, depuis les années 60, de nombreuses publications attestent des passerelles qui peuvent exister entre ces deux domaines. Ainsi, certains chercheurs suggèrent le développement d'une **science de la conception** (*design science*), comme corpus de connaissance analytique, partiellement empirique, partiellement formalisable. A propos du processus de conception, [Hubka and Eder, 96] en donnent les contours et proposent un découpage des thématiques abordées dans ce domaine « **science de la conception** » en quatre catégories: la théorie des systèmes techniques (1) ; la théorie de la conception et théorie du processus de conception (2); la connaissance appliquée issue des sciences humaines et sociales (3) et enfin, les méthodologies de conception (4).

Une large partie de notre recherche se positionne à l'intersection des catégories de la **théorie de la conception et théorie du processus de conception (2)** et des **méthodologies de conception (4)** : comme le montre la (Figure I). Ce champ de connaissance est un domaine de recherche à part entière et est désigné sous l'acronyme anglais DTM (*Design Theory and Methodology*) [Lahonde, 10].

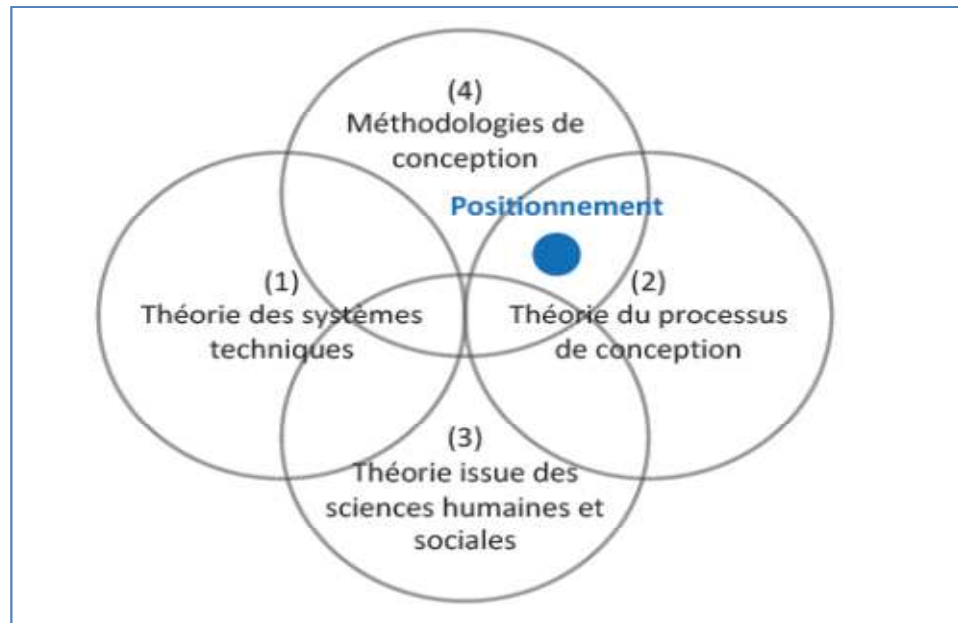


Figure I : Positionnement au sein des sciences de la conception [Hubka and Eder, 96]

Objectifs du mémoire :

Le mémoire cherche :

- la modélisation du processus de conception décrivant les activités de conception, les rapports de simultanéité entre les activités,
- la formulation d'une démarche de conception simultanée qui aborde les différentes contraintes (Réduction des délais, des coûts, et mieux gérer les ressources) dans une démarche d'ingénierie simultanée.

Plan du mémoire :

Le mémoire est rédigé en trois chapitres comme suit :

Chapitre I : (Conception des produits) : Ce chapitre présentera : l'activité de conception qui est décrite comme ayant pour objet de définir un produit ayant une fonctionnalité particulière et se conformant à certaines spécifications.

La Conception de Produits Nouveaux, qui peut être considérée comme un processus complexe. Bien qu'il ne se limite pas à cet aspect, le terme « complexité » désigne d'abord ce qui nous échappe, ce que nous avons du mal à comprendre et à maîtriser. L'objet de ce chapitre est de situer la Conception de Produits Nouveaux dans cette complexité. Ceci nous

amène à conclure sur la nécessité de modéliser cette activité en tant que processus pour comprendre et pour pouvoir agir sur la qualité de ce processus.

Chapitre II (Développement d'une démarche de conception simultanée) : ce chapitre consiste à développer un nouveau mode de travail et d'organisation en conception sous le nom de démarche de conception simultanée, nous utilisons le terme "Ingénierie Simultanée" pour désigner les trois notions de simultanéité, de concourance et d'intégration des activités d'un projet de conception de produit. L'objectif de ce chapitre est de présenter l'I.S, de manière plus précise, pour voir notamment quels sont les points qui doivent être développés pour sa mise en œuvre avec succès.

Chapitre III (Application industrielle) : Théoriquement, la mise en œuvre de la démarche de l'ingénierie simultanée dans l'entreprise se traduit par l'étude d'un produit à concevoir au niveau du complexe CPG « L'exemple d'étude qu'on va aborder représente un projet de conception d'un Radiateur de refroidissement pour le nouveau moteur fourni par le producteur DEUTZ (TD/TCD 2012 L04/06 2V/m), qui va être monté sur le chargeur 2320 ». Nous proposons notre approche de conception simultanée ou d'ingénierie simultanée par la présentation d'un système d'information (PLM) En tant qu'outils fonctionnels, les pour rendre plus facile la collaboration entre logiciels experts (XAO) et des différents métiers impliqués dans la conception d'un produit.

Chapitre I : Conception des produits

Chapitre I : Conception des produits

I-1- Introduction

Nous entendons par conception de produit une conception globale qui prend en compte à la fois les impératifs mécaniques, d'usages, esthétiques, les attentes de l'utilisateur et les contraintes des systèmes de production sur l'ensemble du cycle de vie du produit.

L'ensemble des activités allant des études de conception jusqu'à la réalisation de l'objet d'un contrat (ouvrage, unité industrielle, système, équipement) par une société spécialisée (maître d'œuvre) pour un client (maître d'ouvrage), s'appelle **l'ingénierie**. Le génie industriel recouvre un grand nombre de phases (conception, études, achat...) et de métiers (mécanique, électricité, architecture...), avec un environnement et des contraintes spécifiques (budget, planning, qualité...), pour des secteurs d'application variés (énergie, papeterie, construction mécanique...); pour cela **l'ingénierie de la conception** (*engineering design*) est une branche du génie industriel. Elle est définie par [Hales and Gooch, 04] de la manière suivante : “ *L'ingénierie de la conception est le processus par lequel une idée ou besoin du marché est transformé en information détaillée qui permette à un produit ou système technique d'être produit* ”.

I-2- Concevoir des produits nouveaux : une activité complexe

L'activité de conception présente de multiples facettes. Nous nous intéressons à la conception de produits industriels. Ces derniers peuvent être eux aussi perçus et définis de diverses façons. En tant qu'ensemble de composants, ou en tant que support de fonctions permettant de rendre des services à des utilisateurs. Ces produits peuvent être des évolutions subtiles de produits déjà existants ou au contraire ils peuvent présenter des caractéristiques de nouveauté importante dans leurs fonctions, leurs technologies, leur esthétique. Leur degré de nouveauté est donc variable mais quel que soit ce degré de nouveauté, il est le fruit d'un processus industriel mettant en œuvre des méthodes, des outils, des relations humaines, des flux d'informations. Ce processus est lui même en interaction avec l'environnement de l'entreprise : celui des produits et des services, celui des technologies et des méthodes, celui des découvertes scientifiques et des évolutions de la pensée. L'objet de cette partie est de

situer la Conception de Produits Nouveaux dans cette complexité. Ceci nous amène à conclure sur la nécessité de modéliser cette activité en tant que processus pour comprendre et pour pouvoir agir sur la qualité de ce processus.

I-2-1- L'activité de conception de produit industriel nouveau :

I-2-1-1- Définition de l'activité de conception de produit nouveau

Les définitions de l'activité de conception sont nombreuses. D'une manière générale, elle est décrite comme ayant pour objet de définir un produit ayant une fonctionnalité particulière et se conformant à certaines spécifications.

La norme NF L 00-007¹ définit la conception (d'un produit) comme étant une « *activité créatrice qui, partant des besoins exprimés, des moyens existants et des possibilités technologiques, aboutit à la définition d'un produit satisfaisant ces besoins et industriellement réalisable* ».

L'AQAP² l'a défini comme une démarche de définition des tâches à accomplir et de résolution des problèmes dans le but de créer un produit ou un service destiné à satisfaire des besoins exprimés. Le terme « conception » désigne également le résultat des opérations précitées.

L'activité de conception étant une activité complexe, les situations de conception sont généralement considérées comme des situations de résolution de problèmes, (Figure II.2) [Bonnardel 92].

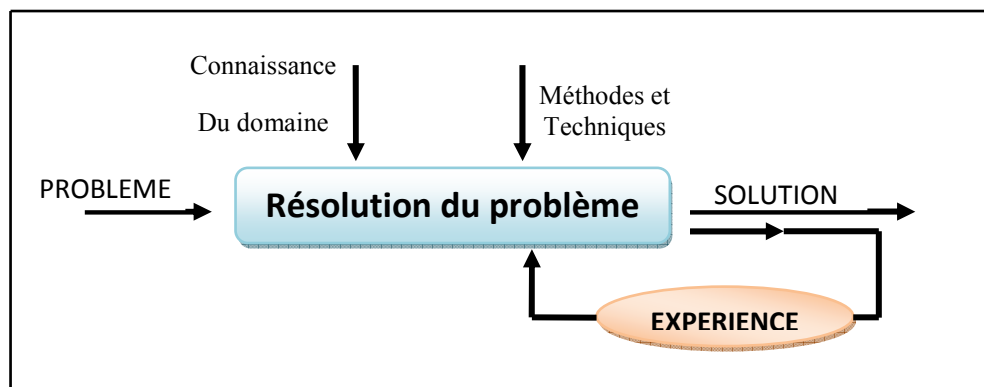


Figure I.1 : Activité de conception : processus de résolution de problèmes.

¹ NF L 00-007 : Norme française - industrie aéronautique et spatiale - vocabulaire- termes généraux - Paris, AFNOR, mars 1987.

² AQAP : Allied Quality Assurance Publication: publication interalliée (OTAN) (cf THOMSON CSF "Vocabulaire de termes normalisés usuels de la Qualité".)

I-2-1-2- La conception de produits nouveaux : un processus transversal

Aujourd'hui, tout industriel est confronté à la gestion du système complexe et évolutif composé par l'entreprise, ses produits et ses marchés. En particulier, cette complexité croissante se trouve aux niveaux **des produits** de l'entreprise et de leur système d'élaboration.

L'observation des produits proposés sur le marché et les expériences en matière de conception mettent en évidence trois niveaux de complexité :

- La complexité intrinsèque des produits, caractérisée par une composition pluri-technologique (mécanique, informatique, électronique...) mais aussi par une perception pluri-sensorielle du client et de l'utilisateur (couleur, toucher, esthétique, usage, etc.) ;
- La complexité managériale, caractérisé par : la pluridisciplinarité de l'équipe de conception et la nécessité d'outils de dialogue comme l'utilisation des outils et méthodes du management de projet.
- La complexité et la diversité des procédés de mise en œuvre du produit, caractérisées par : la connaissance et la maîtrise du savoir-faire de l'entreprise, l'identification et l'assimilation de nouveaux procédés tels que la robotique d'assemblage ou la découpe jet d'eau et leurs conséquences sur la conception de produits.

Cette complexité du produit nécessite de faire appel à plusieurs disciplines « carrefour » telles que l'ergonomie, le design, la qualité, la fiabilité...

On peut répertorier ces disciplines en trois types qui vont intervenir dans la conception des produits nouveaux :

- 1-** Les disciplines propres à l'ingénieur (mécanique, science des matériaux, informatique...) : tout ingénieur généraliste est sensé connaître le fondement de chacune de ces disciplines, c'est-à-dire qu'au moment voulu, il fera appel aux différents spécialistes pour résoudre des problèmes spécifiques ;
- 2-** Les disciplines qui sont nouvellement intégrées dans les sciences pour l'ingénieur, comme la qualité. On peut citer aussi la fiabilité, non en tant que discipline nouvelle, mais plutôt comme discipline appliquée à la conception de produits ;

3- Les disciplines « carrefour », telles que le design, l'ergonomie, le marketing, la créativité, qui relèvent d'autres champs de connaissances. Par exemple, l'ergonomie fait appel à la psychologie, à la physiologie, à l'anatomie, à la biomécanique...

Il apparaît que toutes ces disciplines peuvent être définies comme carrefour d'une discipline horizontale : « la conception de produits nouveaux à prendre au sens d'un processus qui va de l'identification du besoin à la matérialisation du produit » (Figure II.3) [Tollenaere, 98].

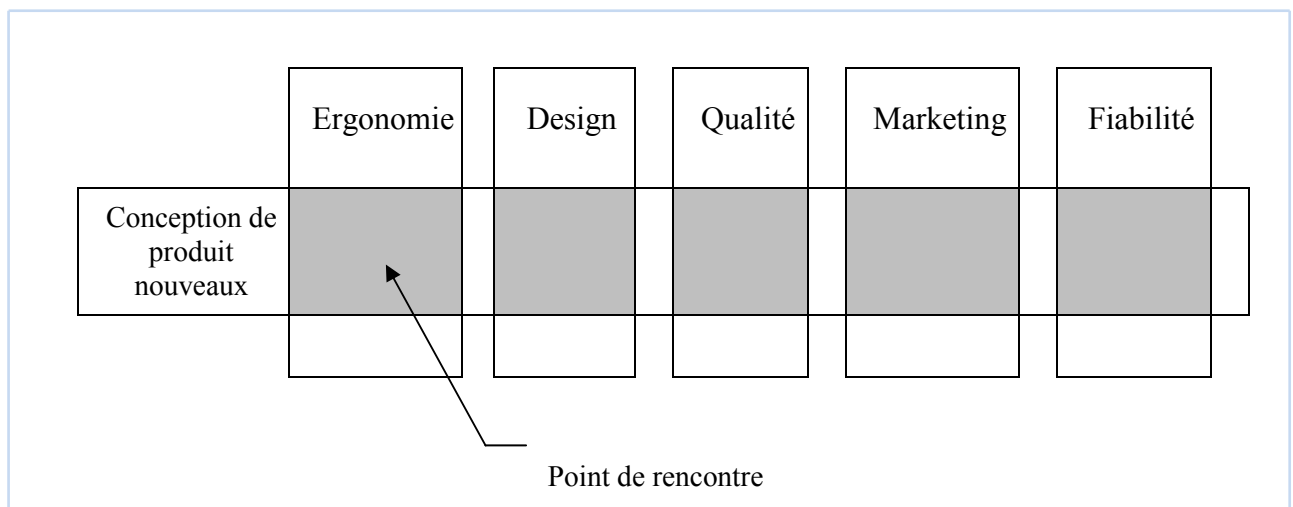


Figure I.2 : La conception de produits

A partir de ce schéma, nous constatons que le concepteur devrait maîtriser :

- L'identification du champ, c'est-à-dire l'intersection de toutes ses disciplines carrefour avec la conception du produit,
- Le séquençement et l'organisation dans le temps de l'apport de ses disciplines qui est un processus dynamique et évolutif.

I-2-1-3- Typologie de conception

Dans la plupart des travaux menés sur le thème de la conception de produits, les auteurs ont proposé une typologie des problèmes de conception [Chandrasekaran, 90].

Une classification retenue par beaucoup d'auteurs et générique à la plupart des domaines d'application de la conception fait ressortir deux grandes classes :

- la conception prédéfinie ou routinière,
- la conception nouvelle (non routinière).

Le type « *nouvelle* » est nuancé par [Brown et al. 85] en :

- conception innovante,
- conception créative.

La **figure I.3** synthétise une structuration de ces types de conception et des produits associés. [Blaise, 06]

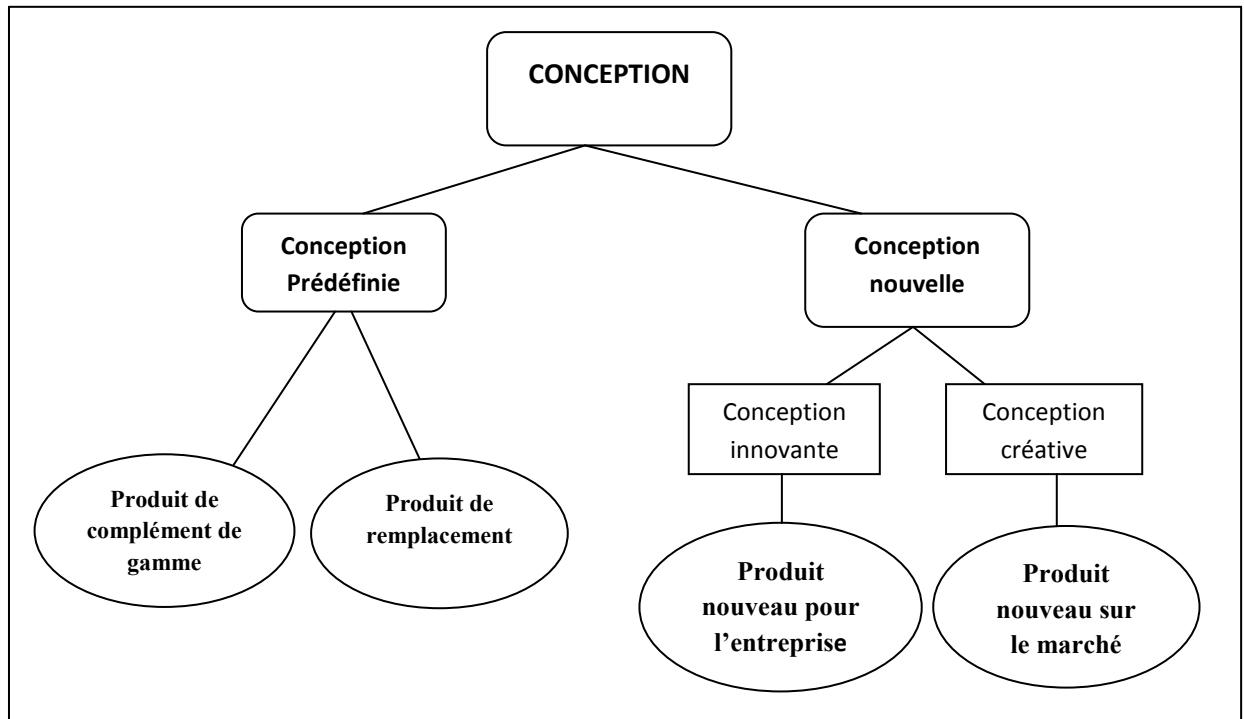


Figure I.3. Types de conception et nature de produits

a)- Conception routinière ou prédéfinie (routine design)

Selon [Brown et al. 85], dans ce type de conception, les connaissances à exploiter sont clairement identifiées et les plans d'action du processus de conception sont globalement connus. En fait, les données relatives au produit et au processus sont disponibles préalablement au lancement de la conception. Ce type de conception s'appuie largement sur les études antérieures et peut être par exemple une modification ou amélioration d'un produit existant. Notons que le travail du concepteur est important et qu'il ne s'agit pas simplement d'un paramétrage des caractéristiques du produit. Son rôle consiste à justifier ses choix, à retenir ou non telle ou telle solution, et dans d'autres cas, à améliorer ou à modifier des solutions antérieures qui vérifient un ensemble de contraintes prédéfinies. La conception routinière ne permet qu'une modification des valeurs des paramètres qui caractérisent le produit. La conception routinière, appelée également reconception,

représente environ 80 % des activités de conception mécanique. Dans ce cadre, bien que le concepteur connaisse l'espace des solutions potentielles (les caractéristiques et les attributs à instancier sont connus à l'avance), la recherche d'une solution spécifique peut s'avérer complexe et coûteuse du fait de la taille de l'espace des solutions ou du fait de la difficulté à mesurer les conséquences d'un choix ou d'une modification.

b)- Conception innovante (Innovative design)

Selon [Blaise, 06] en conception innovante, les connaissances de départ sont globalement connues (expression de besoin, technologie à exploiter,...) mais les plans d'action du processus de conception sont à déterminer. Ce type de conception correspond à des projets de développement de produits nouveaux pour satisfaire un besoin (client, marché,..) dont l'objectif produit a été clairement défini (cahier de charges, coût objectif, délai objectif). Ceci implique d'importantes actions de veille technologique, de recherche et développement, qui se révèlent payantes pour l'entreprise à condition de bien maîtrisé le déroulement du projet. A ce niveau, le concepteur possède une large autonomie de travail et un espace de recherche de solutions plus large. Afin d'éviter des erreurs et contretemps préjudiciables, il est nécessaire de fournir une aide (conduite d'activités, outils d'évaluation et de contrôle) aux acteurs de la conception pour améliorer l'efficacité de leur travail. Le résultat d'une conception innovante est un produit familier à l'utilisateur mais avec un aspect nouveau résultant des nouvelles valeurs des attributs et des caractéristiques.

c)- Schéma global de conception

[Kota & Ward, 91] proposent un schéma synthétique qui illustre les différentes classes de problèmes de conception selon la disponibilité du niveau de connaissance.

La figure I.4 montre le caractère créatif d'un processus de conception, qui devient routinier lorsque les choix des principes technologiques ont été effectués.

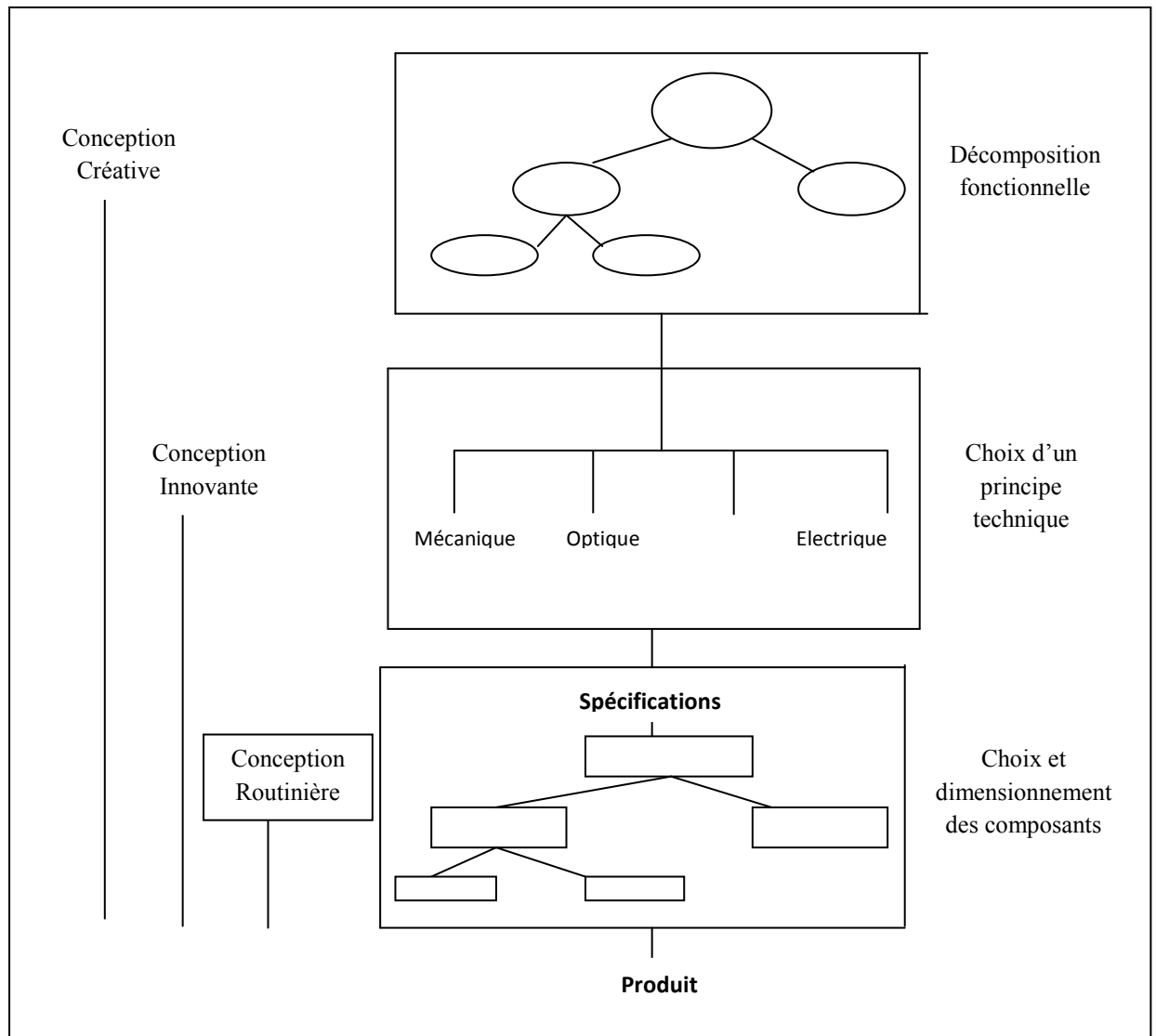


Figure I.4. Schéma global de conception

Toutefois dans l'approche systématique développée par [Pahl & Beitz, 96], la conception nouvelle correspond à des tâches de conception pour lesquelles de nouvelles solutions sont développées pour de nouveaux principes trouvés. La conception adaptée exploite les principes et les solutions déjà établis et l'effort de conception consiste à adapter ces principes et solutions aux nouvelles contraintes et aux nouveaux besoins spécifiques. A partir d'une conception existante, la conception par variantes consiste à définir un produit par de simples variations de dimensions ou des agencements des composants.

I-2-2- Évolution technique et organisationnelle de la conception :

Whitney [Whitny, 90] présente la conception sous deux points de vue différents : (1) la conception est un processus technique à accomplir, (2) la conception est un processus organisationnel à gérer. Le premier point de vue concerne plus l'individu, alors que le second implique le groupe ou l'équipe de conception. Ces deux points de vue ne sont pas seulement d'égale importance, ils ne doivent pas être séparés.

I-2-2-1- Évolution technique de la conception

Les méthodologies de conception changent

Aujourd'hui, pour concevoir des solutions technologiques aux problèmes de conception de plus en plus complexes, les méthodologies de conception doivent s'adapter et passer d'une logique d'organisation séquentielle stricte des acteurs marketing/étude/industrialisation/fabrication à une logique intégrée de coopération simultanée inter-métiers entre tous les acteurs du triptyque projet/produit/process.

L'objectif de ces nouvelles modalités organisationnelles est alors de concevoir un produit congruent (i.e. performant et harmonieux sur les 6 axes : qualité / coût / délai / innovation / écologie / service) dans un délai moindre [Tiger, 01].

C'est ainsi qu'est apparu à la fin des années 1990, le vocable de « Conception DfX » (« Design for X ») qui peut être résumée ici comme la conception du couple produit/process sous contrainte d'ingénierie de différents métiers (voir **Figure I.5**), notamment :

- le « **Design for Performance** » (baptisé ici « **perfo-conception** ») : conception fonctionnelle du produit du point de vue des prestations et fonctions rendues au client, impliquant notamment des méthodologies de modélisation fonctionnelle du besoin par la valeur, l'objectivation des performances produit attendues, l'analyse des risques de défaillance (AMDEC), la recherche de différents concepts innovants, la conception systémique du produit du point de vue « ingénierie système », la conception à l'écoute du marché,
- le « **Design for Usability** » (dénommé aussi « **ergo-conception** ») : conception ergonomique du produit du point de vue de l'utilisateur, de son interaction avec le produit, de son utilisabilité et de son adéquation à l'utilisateur en objectivant et optimisant les aspects confort, santé, sécurité et efficacité dans la relation homme / produit / environnement,
- le « **Design for Manufacturing** » (baptisé ici « **copo-conception** ») : conception sous contrainte de fabrication des pièces unitaires avec intégration, tout au long du processus de définition des formes fonctionnelles simultanément avec les choix des matériaux, de

règles métier de fabrication (ex : emboutissage, forgeage, moulage, injection plastique, fraisage, tournage, brochage, rectification, électro-érosion, traitement thermiques, ...),

- le « **Design for Assembly** » (baptisé ici « **légo-conception** ») : conception sous contrainte de montage aisé et ergonomique de sous-ensembles fonctionnels (ex. en automobile : cockpit véhicule, sellerie, ligne d'échappement, ...) qui peuvent alors éventuellement être sous-traités en totalité à des fournisseurs de rang 1 (ex. en automobile : Valéo, Faurecia, Delphi, Visteon, TRW, Bosch, Siemens, NipponDenso, Michelin, ...). Par exemple, cette notion poussée de modularité des ensembles fonctionnels automobiles a notamment donné naissance à des organisations industrielles centrées sur les notions de « modules » et de « plateformes automobiles »,
- le « **Design for Logistics** » (baptisé ici « **géo-conception** ») : conception sous contrainte de logistique et de décisions géostratégiques de production en usines « low cost », avec organisation d'un réseau logistique de transport juste-à-temps des productions expatriées à destination des usines d'intégration finales,
- le « **Design for Maintenance** » (baptisé ici « **méso-conception** ») : conception sous contrainte de maintenance et d'entretien où la durée de vie des produits a tendance à se rallonger avec des délais d'intervention augmentés entre chaque révision tandis que les délais de réparation – vus les taux horaires élevés des réparateurs – sont optimisés. La notion de « coût total de possession du produit » voit alors le jour pour prendre en compte les coûts de maintien en conditions opérationnelles et du soutien logistique intégré,
- le « **Design for Recycling** » (dénommé aussi **éco-conception**) : sous contrainte de compatibilité avec l'environnement et de recyclage des produits industriels usagés avec obligation, pour les constructeurs, de retraitement des déchets industriels dangereux.

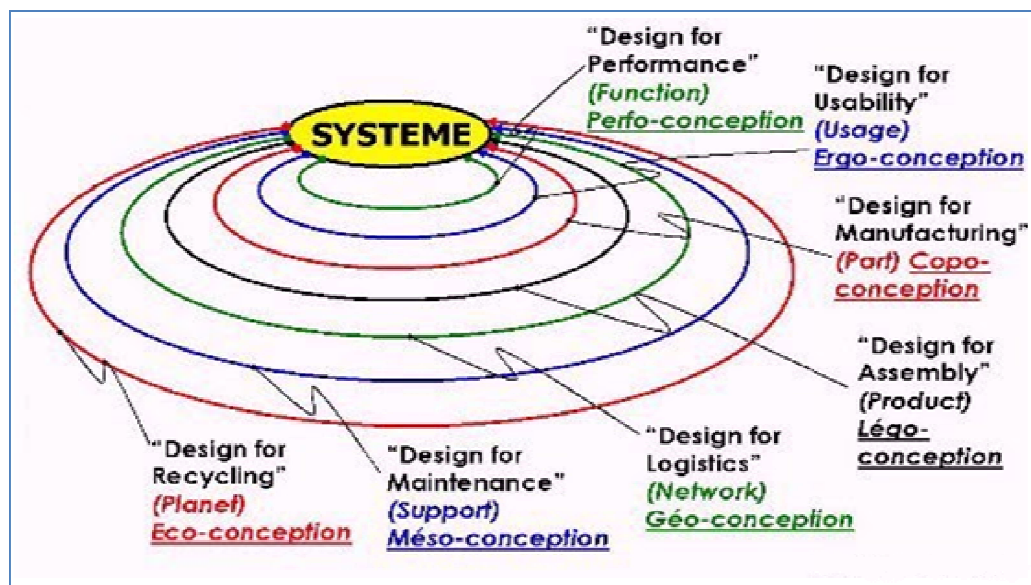


Figure I.5 : Boucles d'« ingénierie système » multi-objectifs et basées sur les connaissances métier du processus de conception.

Ainsi, l'arrivée dans les bureaux d'ingénierie des méthodologies du « Design for X » du XXIème siècle organise progressivement les équipes projets autour de pôles d'expertise

métier, portées par une organisation matricielle projets/métiers devenue maintenant un grand classique managérial, lui-même ancré dans une vision industrielle partenariale, désormais qualifiée d'« *entreprise étendue* ».

✚ Les outils logiciels d'ingénierie numérique évoluent

Comme en a vu dans les points précédant, les méthodologies de conception ou d'ingénierie évoluent pour permettre aux ingénieurs et aux concepteurs de répondre aux cahiers des charges de plus en plus exigeants sous contraintes de temps de plus en plus étroites, de même, les outils logiciels d'ingénierie numérique doivent aussi s'adapter et évoluer sous l'action de 2 tendances fortes :

- une mutation collaborative « des software vers les groupware » : dans une logique de productivité collective, les logiciels d'ingénierie numérique évoluent vers des outils collaboratifs intégrés où les nouvelles technologies de l'information et de la communication ouvrent des espaces fonctionnels nouveaux,
- une mutation sémantique « de la DAO 2D vers la CAO en 5D » : dans une logique de productivité individuelle, les logiciels de génération de formes géométriques fonctionnelles (remplissant une fonction technique), performantes (tenant les charges statiques et dynamiques) et fabricables (réalisables sur machines-outils) assistent de plus en plus le concepteur.

La mise en place de la maquette numérique pilotée par des outils de « groupware » tels que les Systèmes de Gestion de Données Techniques (SGDT) ou de Product Lifecycle Management (PLM) couplés à des moteurs de Workflow (gestion des processus de travail) s'est donc développée naturellement dans les bureaux d'ingénierie.

Le **Tableau I.1** résume et positionne ces différentes générations d'outils CAO ainsi que les progrès logiciels déjà effectués et envisagés, de la CAO 2D à la CAO 5D, [Hamelin, 99] :

	CAO en 2D	CAO en 3D	CAO en 4D	CAO en 5D
Dénomination	CAO graphique	CAO géométrique	CAO cognitive	CAO apprenante
Années de déploiement	[1960-1990]	[1975-2005]	[1990-2020]	[2005-2035]
Exemples de produits logiciels représentatifs	AUTOCAD CADKEY MEDUSA	EUCLID3 CATIA5 Pro-Engineer	KADVISER ICAD Knowledgeware	KAD-Office
Théories mathématiques support	Géométrie des intersections, Intégrales de surfaces fermées	Algèbre des solides, Topologie, Courbes et surfaces complexes	Algèbre des intervalles, Logique formelle	Théorie positive de cognition
Exemples de problèmes d'ingénierie adressables	Génération automatique de nomenclatures et de cartouches de plans	Calcul automatique du volume d'un solide, de ses moments d'inertie, Génération automatique de trajets FAO	Génération automatique de gammes d'usinage, d'assemblage et de montage	Génération automatique de la conception d'un magnétoscope à enregistrer les rêves
Motivations industrielles	Remplacement de la planche à dessin, Corrections rapides des plans, Echanges de données	Rendus réalistes, Simulation numérique par éléments finis, Détection de collisions	Ingénierie robuste, Assurance Qualité, Knowledge Management, Plan d'expérience Numérique	Conception et Innovation Assurées par les connaissances
Domaines d'excellences	La génération de plan	L'ingénierie Intégrée	La conception Routinière	La conception Innovante

Tableau I.1 : Différentes générations de systèmes CAO : du 2D au 5D

Le rôle des technologies de l'information dans l'évolution de la conception

Depuis son invention, l'informatique a vécu deux cycles de décentralisation qui ont favorisé la diffusion des ordinateurs dans les différentes fonctions de l'entreprise, entre elles la conception. Pendant son évolution, l'informatique a permis la création et l'adaptation continues d'outils de support à la conception. Les techniques de calcul de temps de la gestion de projets (ex : GANT), la CAO ou les outils d'éléments finis sont des exemples des applications dont la conception a directement bénéficié.

Pendant les années 1950 les gros systèmes étaient utilisés en conception notamment pour les calculs d'ingénierie. Suite à la mise en place des terminaux décentralisés pendant les années 1960 la CAO s'est installée dans les bureaux d'études. Dans les années 1970 la technologie a permis l'accès à distance. Les premiers serveurs de données sont installés dans les grandes entreprises. Ceci ferme le premier cycle de décentralisation de l'informatique. Le deuxième cycle de décentralisation commence dans les années 1980 avec l'arrivée de l'ordinateur personnel permettant le développement d'outils spécifiques pour la conception.

Des exemples d'outils développés pendant cette époque sont les systèmes experts, le prototypage rapide, les logiciels de gestion de projet et les modeleurs 3D. Au début des années 1990 les ordinateurs personnels sont reliés par des réseaux locaux et des architectures client-serveur. Cette évolution a permis le développement de l'ingénierie simultanée et de la conception collaborative avec la mise en place des serveurs de données partagés. La popularisation du protocole TCP/IP au milieu des années 1990, à la base de l'internet et l'intranet, a favorisé la prolifération des outils coopératifs d'aide à la conception.

Ainsi sont créés les bases de connaissance, les systèmes d'annotations CAO, le dessin coopératif, le workflow, entre autres. Des outils génériques comme la messagerie, les conférences électroniques et les portails documentaires ont également contribué au développement de la conception (**Figure I.6**) [Restrepo, 06].

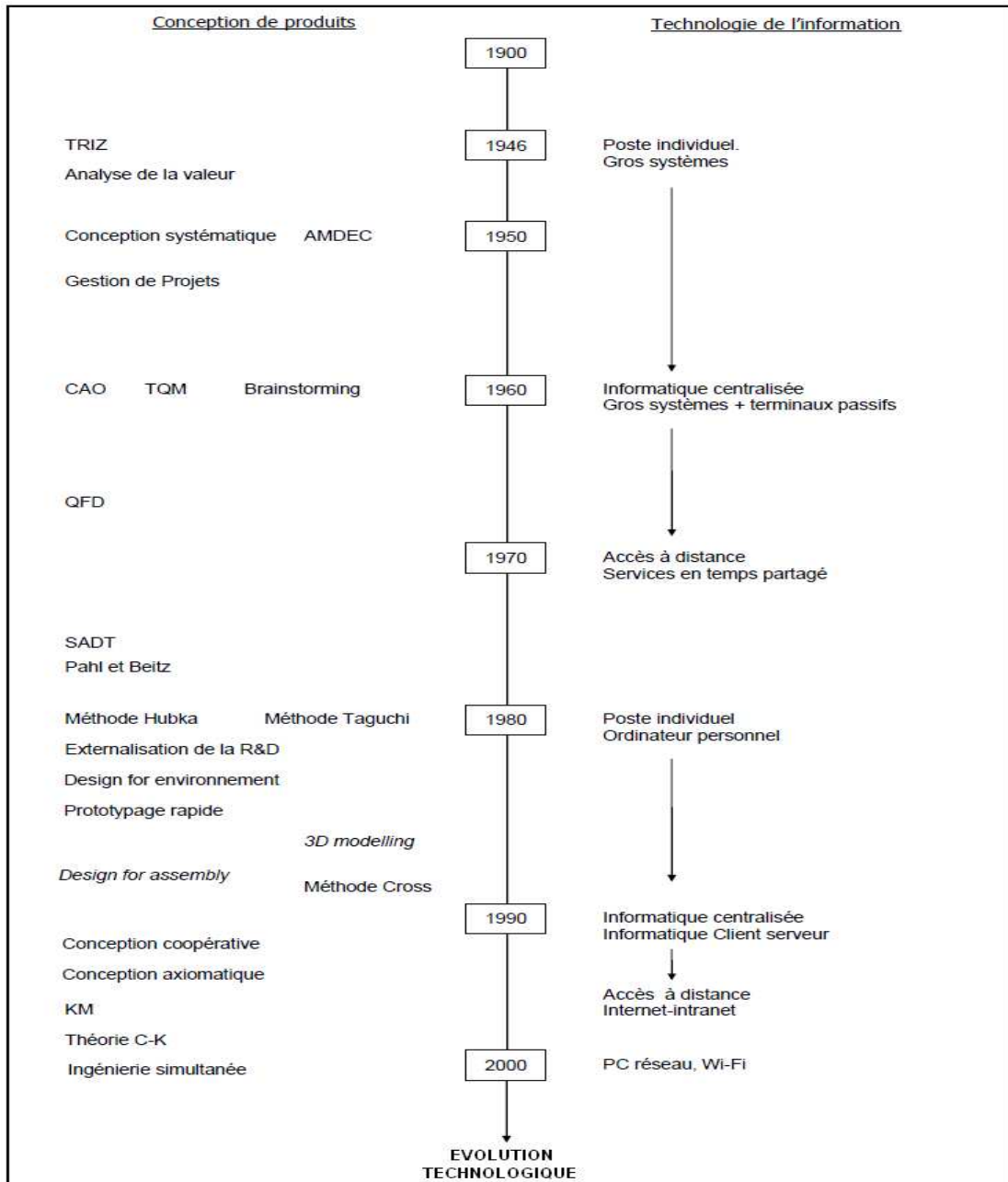


Figure I.6 : Chronologie conjointe de la conception et de l'informatique.

On peut conclure de cette chronologie conjointe que les avancées de l'informatique ont permis d'améliorer les performances de l'activité de conception d'abord grâce à l'automatisation des tâches de calcul (CAO, GANT, etc.), puis par les possibilités de stockage (par exemple les bases de données de matériaux) pour favoriser à partir des années 1990 l'émergence de la conception coopérative et de la capitalisation des connaissances. Les nouvelles technologies « mobiles » favoriseront certainement la réactivité des équipes de conception dans les années à venir.

I-2-2-2- Évolution organisationnelle de la conception

Du séquentiel vers le simultané

Durant les dernières décennies, la pression économique exercée par les consommateurs oblige les constructeurs à être toujours plus réactifs et à renouveler toujours plus vite leurs gammes de produits. De plus, la mondialisation des marchés ouvre les portes à une concurrence de plus en plus forte à une échelle internationale. Cette situation pousse les entreprises à remettre radicalement en cause leurs processus de développement de produits, à revoir leur fonctionnement pour garantir leur survie, et à proposer des produits mieux adaptés. Après avoir travaillé à améliorer leurs méthodes de production, celles-ci vont alors profondément modifier leurs méthodes de conception et de développement de produit. La plus importante de ces modifications est l'introduction des concepts de la CO (Concurrent Engineering). L'objectif visé par l'introduction de cette approche de développement de produit est de réduire de manière significative les délais de mise à disposition d'un produit sur le marché (ou Time-to-Market).

Cette nouvelle approche de la conception doit permettre de prendre en compte, dès les premières phases du projet de développement, l'ensemble du cycle de vie d'un produit, depuis sa définition jusqu'à son déclin en passant par son industrialisation, sa distribution et son utilisation [Sohlenius, 92]. Elle doit permettre d'adopter une organisation simultanée pour paralléliser au mieux les différentes phases du processus de développement ou encore une organisation concourante pour converger vers un même objectif. Cette organisation doit donc impliquer la participation des différents acteurs représentant les différentes fonctions du cycle de vie du projet de développement.

Par la suite nous parlerons d'une manière plus détaillée du concept de l'ingénierie simultanée.

I-3- Du concept au produit : le processus de conception

Dans un premier lieu, nous allons définir le processus de conception de produit, et parler de ses différentes terminologies. Nous citons après, les différents modèles du processus de conception de produit, et enfin, nous terminons ce point par l'évolution du processus de conception de produit.

I-3-1- Processus de conception de produit : Définition et terminologie :

I-3-1-1- Définition

La conception est une activité sociale et collaborative. Elle se déploie dans un contexte dynamique et chaque projet de conception est par définition : unique. Cette unicité a deux principales causes. La première concerne la création de produit qui n'existe pas encore. La deuxième porte sur le contexte de déroulement de l'activité de conception où chaque projet de conception se déroule dans un contexte différent et avec des acteurs différents. Le contexte varie selon les organisations, les marchés, les stratégies de l'entreprise, les technologies employées, les législations, les connaissances, etc. Cette nouveauté est d'autant plus redoutable quand la taille de l'équipe projet et la diversité des métiers impliqués sont importantes [Grebici, 07].

Dans la littérature de conception, il existe deux approches de recherche pour étudier le processus de conception : l'approche descriptive³ [Blessing, 02] et l'approche prescriptive⁴ [Pahl et Beitz, 96].

L'approche descriptive décrite par Blessing [Blessing, 94] se base sur l'observation des pratiques effectives et propose des descriptions fines du fonctionnement des organisations. On cite parmi ces approches : l'approche ethnographique [Vinck, 99]. Les approches prescriptives proposent des modèles opératoires et produisent des spécifications du processus de conception ; ce sont des méthodes qui ont pour objet de supporter l'apprentissage, de rationaliser le travail, de faciliter la planification des projets, de contrôler et de suivre la conception.

I-3-1-2- Terminologie

a)- Processus

En ingénierie, un processus est défini comme : « un ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie ». Les travaux des sciences de l'organisation et des sciences sociales [Deneux, 02] proposent de définir le processus comme une ou plusieurs démarches qui permettent d'analyser, de concevoir, de

³ Les modèles descriptifs résultent des études portées sur comment la conception prend, effectivement, place. Ces modèles rendent compte des activités des acteurs à un niveau individuel ou inter individuel.

⁴ Les modèles prescriptifs suggèrent des modèles de conception qui sont des procédures plus ou moins complexes suivies par les acteurs de conception de manière effective et efficiente. Ces modèles, à quelques exceptions près, donnent une séquence systématique et méthodique des phases ou des activités.

rétro concevoir ou de refaire les systèmes d'objets. Une démarche est un ensemble de tâches ordonnées avec un déroulement séquentiel ou parallèle.

Les définitions du processus ci-dessus ne se veulent pas exhaustives de ce qu'il peut exister dans la littérature, nous les avons choisis car elles conviennent au contexte de notre étude qui est le processus de produit. Nous retenons, de façon générale, la définition du processus de conception suivante :

«Un processus de conception est un ensemble d'activités mises en œuvre, utilisant des ressources humaines et matérielles, permettant la transformation d'éléments d'entrée en éléments de sortie, afin de satisfaire des objectifs et permettant d'aboutir à une définition du produit ».

b)- Phase

Dans les travaux de modélisation du processus de conception [Blessing, 94], une phase ou une étape est définie comme étant une subdivision du processus basée sur l'état du produit.

Chaque phase correspond à la réalisation d'un ensemble d'activités sous la responsabilité des membres de l'équipe de conception issus de différentes fonctions impliquées dans le processus [Lonchamp 04].

Nous définissons une phase de conception comme suit :

« Une phase de conception est un ensemble d'activités, utilisant des ressources humaines et matérielles, permettant la transformation d'éléments d'entrée en éléments de sortie, afin de satisfaire des objectifs et permettant d'aboutir à une définition d'un état intermédiaire du produit ». voir (Figure I.7).

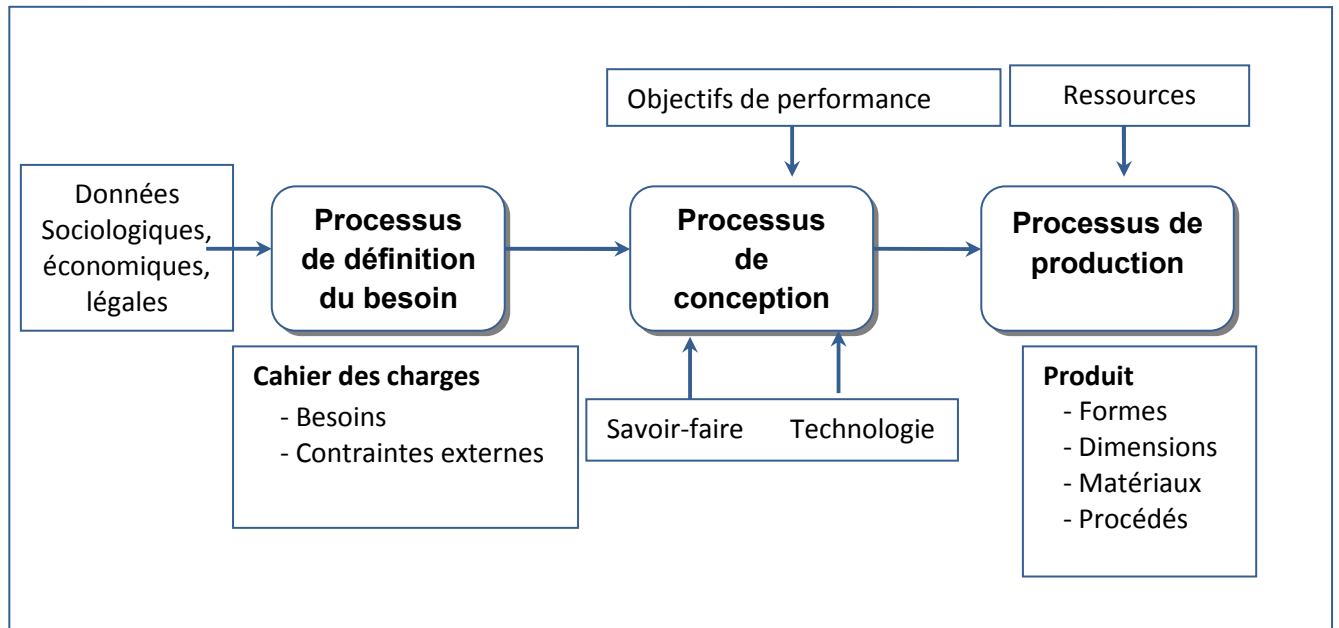


Figure I.7 : Phases en amont et en aval du processus de conception.

c)- Activité

Comme pour le processus, différentes définitions de l'activité sont proposées dans la littérature. En conception de produit, une activité est définie comme une subdivision du processus relative au processus de résolution de problème individuel [Blessing, 94]. L'activité peut avoir aussi un caractère social dans la mesure où elle fait intervenir des acteurs ayant des langages, des règles, des objectifs et des contraintes différentes.

Nous pouvons donner la définition de l'activité comme suit :

« Une activité est une microstructure du processus, appartenant à une phase, correspondant à la transformation d'informations en entrée en informations en sortie, via des actions individuelles ou collectives, afin de satisfaire des objectifs donnés. Pour ce faire, l'activité fait intervenir des acteurs ayant des langages, des règles, des objectifs et des contraintes données ».

d)- Produit

Le terme 'produit' prend différents qualificatifs. On parle d'exemplaire de produit, de produit générique, de famille de produit, de produit de base, de produit modèle, de type de produit, de version de produit, etc. Cela dit, le produit peut être qualifié de manières diverses et variées selon l'objectif de la description.

I-3-2- Modèles de processus de conception

Il existe beaucoup de modèles représentant le processus de conception, nous retiendrons les plus caractéristiques et les plus répandues. Pour cela, nous avons regroupé sur une même figure le déroulement des processus les plus caractéristiques.

La **Figure I.8** met en parallèle les étapes et jalons ⁵ de plusieurs descriptions de processus de conception séquentiels, à partir du besoin exprimé jusqu'à la définition du produit.

Nous proposons de discerner des points communs dans les phases et les jalonnements [Scaravetti, 04].

Dans tous les cas, il existe un découpage en phases assez semblable, qui provient d'un besoin de segmenter le temps et de prévoir des étapes de validation; chacune des phases se termine en effet par des choix et des décisions. Ce qui diffère surtout, ce sont les contenus des représentations intermédiaires du produit.

Selon Suh, il existe plusieurs pratiques et démarches de conception, mais une trame est commune aux activités de conception [Suh 90] :

- Connaître et comprendre les besoins du client;
- Définir le problème à résoudre pour satisfaire les besoins;
- Conceptualiser la solution;
- Effectuer l'analyse, pour optimiser la solution proposée;
- Vérifier la conception obtenue, pour voir si elle répond aux besoins clients initiaux.

Nous allons détailler les processus les plus caractéristiques dans le paragraphe suivant :

⁵ Un jalon marque la transition entre deux étapes. Il est souvent associé à un livrable permettant de valider ce passage.

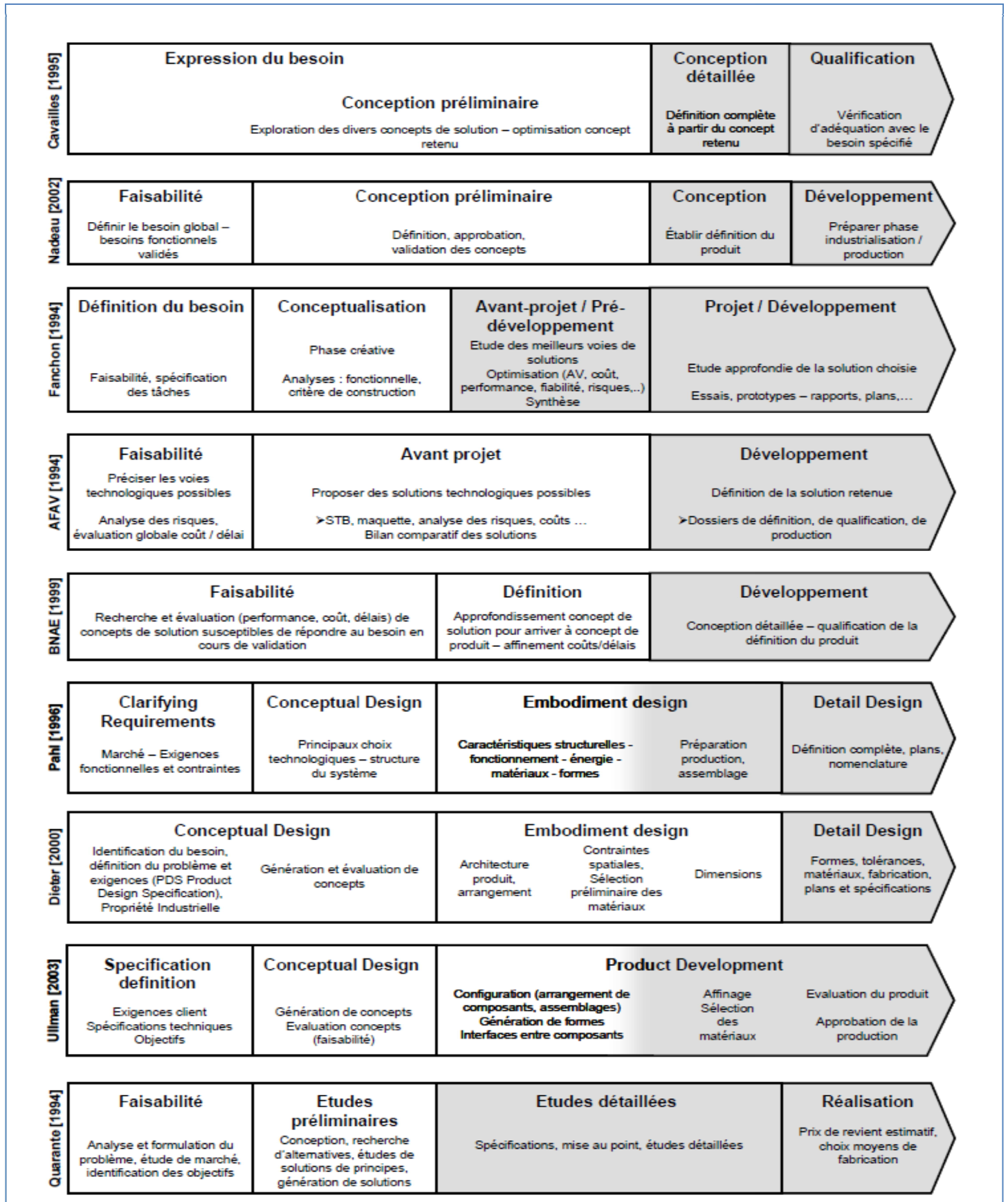


Figure I.8: Mise en parallèle des processus de conception [Scaravetti, 04].

Une telle représentation des différents processus de conception **Figure I.8**, nous a permis de sélectionner cinq modèles. Ils sont présentés dans les sections suivantes par ordre alphabétique en utilisant leur appellation anglaise qui est la plus communément utilisée dans la littérature scientifique. [Lahonde, 10]

I-3-2-1- Exemples de modèles de P.Cs

a)- Axiomatic Design

L'Axiomatic Design repose sur l'existence de principes de conception (axiomes), de domaines, de structure hiérarchique. Selon Suh [Suh 90], il existe quatre domaines dans le monde de la conception :

- Le domaine "consommateur" où sont listés ses attentes (Attentes Consommateur : AC).
- Le domaine "fonctionnel" où sont listées les Exigences Fonctionnelles (EF) et des contraintes.
- Le domaine "physique" où sont listés les Paramètres de Conception (PC) : dans les niveaux hiérarchiques les plus bas, les PC sont des pièces, des spécifications précises de géométrie, de matériaux, de tolérances. Au plus haut niveau, les PC ne sont pas nécessairement physiques mais peuvent représenter des solutions de principe ou des concepts.
- Le domaine "procédé" où sont listées les Variables du Procédé de fabrication (VP).

Lorsque les AC sont identifiés, elles sont exprimées sous forme de fonctionnalités (EF) dans le domaine fonctionnel. Les paramètres de conception (PC) satisfaisant les (EF) sont définis dans le domaine physique, ainsi que les VP dans le domaine procédé. Il y a ainsi un traitement continu d'information entre et dans les domaines distincts.

La description de chaque domaine évolue de concepts en informations détaillées, d'une manière descendante, en zigzagant entre deux domaines (voir **Figure I.9**). Les hiérarchies fonctionnelles et physiques sont interdépendantes, et il n'est pas possible de construire la hiérarchie fonctionnelle complète sans se référer au domaine physique à chaque niveau. La définition des PC de niveau système est nécessaire pour que les EF du niveau inférieur puissent être définies. Cette nature hiérarchique des problèmes de conception est le concept le plus important de l'Axiomatic Design.

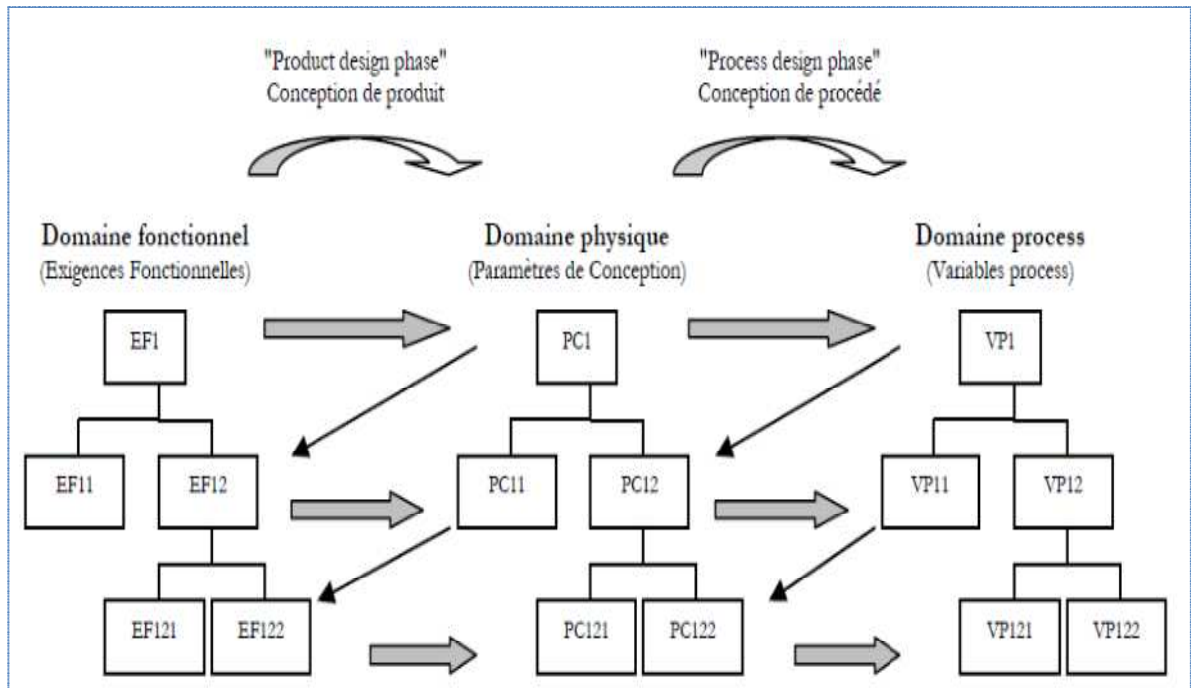


Figure I.9 : Les quatre domaines de l'Axiomatic Design

Cette méthodologie connaît un succès important dans le domaine académique. Elle est employée sur des cas industriels comme le souligne les publications de la conférence internationale ICAD (*International Conference on Axiomatic Design*) dédiée à l'Axiomatic Design. Néanmoins, son apparente difficulté de mise en œuvre freine son transfert dans l'industrie. De même, on se rend compte que si cette méthodologie n'est pas suffisamment enseignée et expérimentée en formation, elle ne sera pas utilisée en pratique [Tomiyama et al., 09]

b)- Design For Six Sigma (6 σ)

Six Sigma (6 Sigma ou 6 σ) est une méthodologie de management structurée qui vise l'amélioration de la qualité et de l'efficacité des processus. Elle doit son nom à la lettre grecque σ qui désigne en statistique l'écart type. Dans cette approche, on s'assure que tous les éléments de sortie du processus considéré ne s'écartent pas à plus de 6 sigmas de la moyenne.

Depuis sa création, Six Sigma a permis de réelles avancées comme en témoigne les travaux de [Kwak and Anbari, 06].

D'abord appliquée à des procédés industriels, elle a été étendue à tous types de processus, et en particulier au processus de conception au travers *Design For Six Sigma*

(DFSS). Ainsi, **DFSS** repose tout comme Six Sigma sur les notions de client, de processus et de mesure. **(Figure I.10) :**

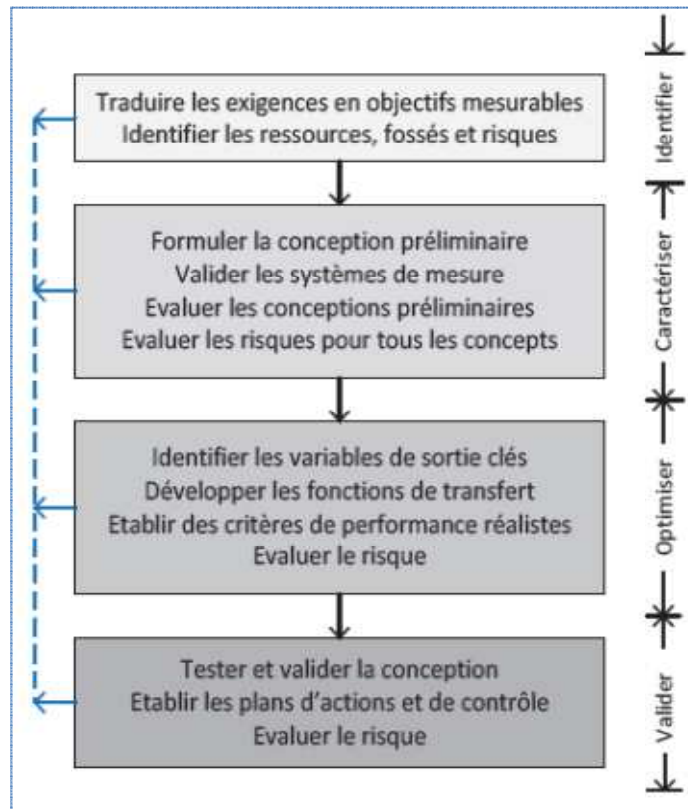


Figure I.10: Démarche DFSS [Kwak and Anbari, 06].

La phase d'**identification** consiste à développer une compréhension fine des exigences des clients et de les traduire en spécifications techniques. L'étape suivante consiste alors à identifier les ressources matérielles, temporelles, humaines, etc. ainsi que les lacunes éventuelles pour atteindre les cibles définies. Lors de la deuxième phase dite de « **caractérisation** », l'objectif est de développer les concepts et leurs plans de validation associés, de les tester et de les valider pour un développement ultérieur. Seuls les concepts qui répondront aux exigences spécifiées en phase d'identification tout en maintenant un degré de risque et de coût tolérable pourront être prolongés dans la phase suivante.

La troisième phase consiste à **optimiser** les conceptions préliminaires validées lors de la caractérisation des concepts. Enfin, la dernière phase correspond au test et à la **validation** de la conception optimisée. Il s'agit alors de confirmer la validité de la solution vis-à-vis des exigences client (performance, fiabilité, etc.).

Les méthodes utilisées dans cette méthodologie sont relativement anciennes et connues depuis de nombreuses années. DFSS ne peut donc pas être considérée comme étant une méthodologie nouvelle par nature. De plus, on lui reproche souvent une certaine lourdeur

dans sa mise en œuvre. Néanmoins, sa force réside dans une organisation et une succession logique des méthodes via une stratégie cohérente. Ainsi, cette méthodologie connaît un succès toujours croissant bien que les pionniers de cette démarche (*General Electric*, en particulier) semblent se détourner progressivement de DFSS pour accueillir de nouvelles méthodologies.

c)- New Product Design

New Product Design (NPD) est la traduction anglaise de la démarche de conception du Laboratoire Conception de Produits et Innovation (LCPI) des Arts et Metiers ParisTech. Cette démarche découle directement des travaux du Professeur Améziane Aoussat, Directeur du laboratoire [Aoussat et al, 2000]. NPD, ou encore désigné sous le nom de méthode globale de conception, s'articule autour de quatre phases que sont la traduction du besoin, l'interprétation du besoin, le développement et l'évaluation (ou validation) de la solution (Aoussat, 1990), (Figure I.11) :

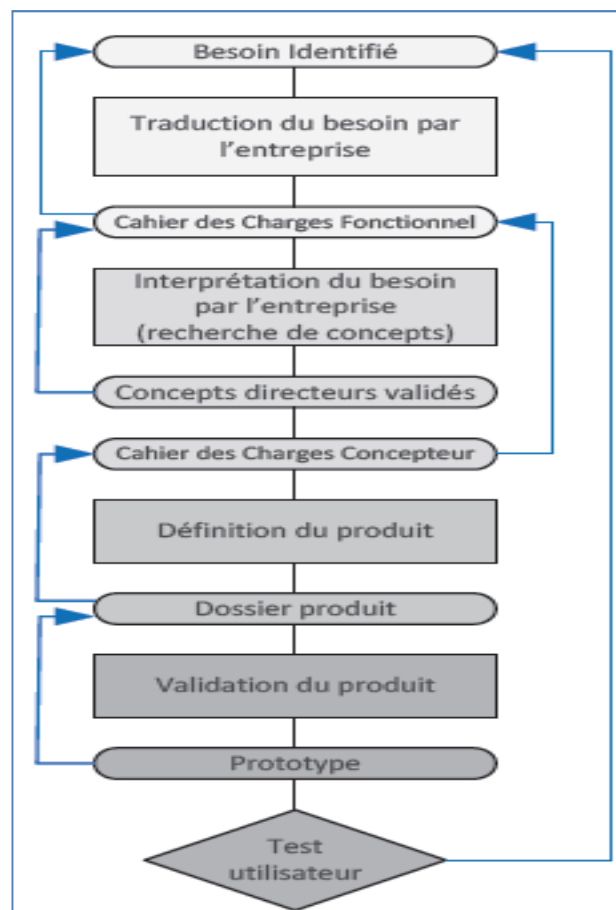


Figure I.11 : Démarche de conception de produits (NPD) [Aoussat et al, 2000].

La première phase de **traduction du besoin** est initiée avec l'identification du besoin par l'entreprise et s'achève par la rédaction du Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF). L'objectif est alors de « traduire » les attentes et besoins de l'entreprise en données exploitables pour une utilisation par les équipes de conception. La phase d'**interprétation du besoin** correspond à la génération de concepts et de principes de solution via notamment des méthodes de créativité. Ensuite, la phase de **développement de la solution** amène progressivement le concept en une solution détaillée qui pourra alors être évaluée et validée dans la dernière phase de **validation de la solution**.

Cette méthodologie a fait l'objet de multiples expérimentations sur des projets académiques au travers des études d'élèves-ingénieurs et d'étudiants en Master de Recherche, mais aussi sur de nombreux projets industriels via l'activité TVR (Transfert et Valorisation de la Recherche) du laboratoire. Cette démarche met en exergue la nature pluridisciplinaire du processus de conception via l'intégration de méthodes issues des métiers du design, de l'ergonomie, du marketing, etc. C'est ce qui fait la spécificité et la force de ce modèle.

d)- Systematic Design

La méthodologie du **Systematic Design** développée par **Pahl and Beitz** [Pahl, & Beitz, 07], ingénieurs issus de l'école allemande de la conception, s'articule autour de quatre grandes phases à l'intérieur desquelles se succèdent plusieurs étapes (**Figure I.12**) :

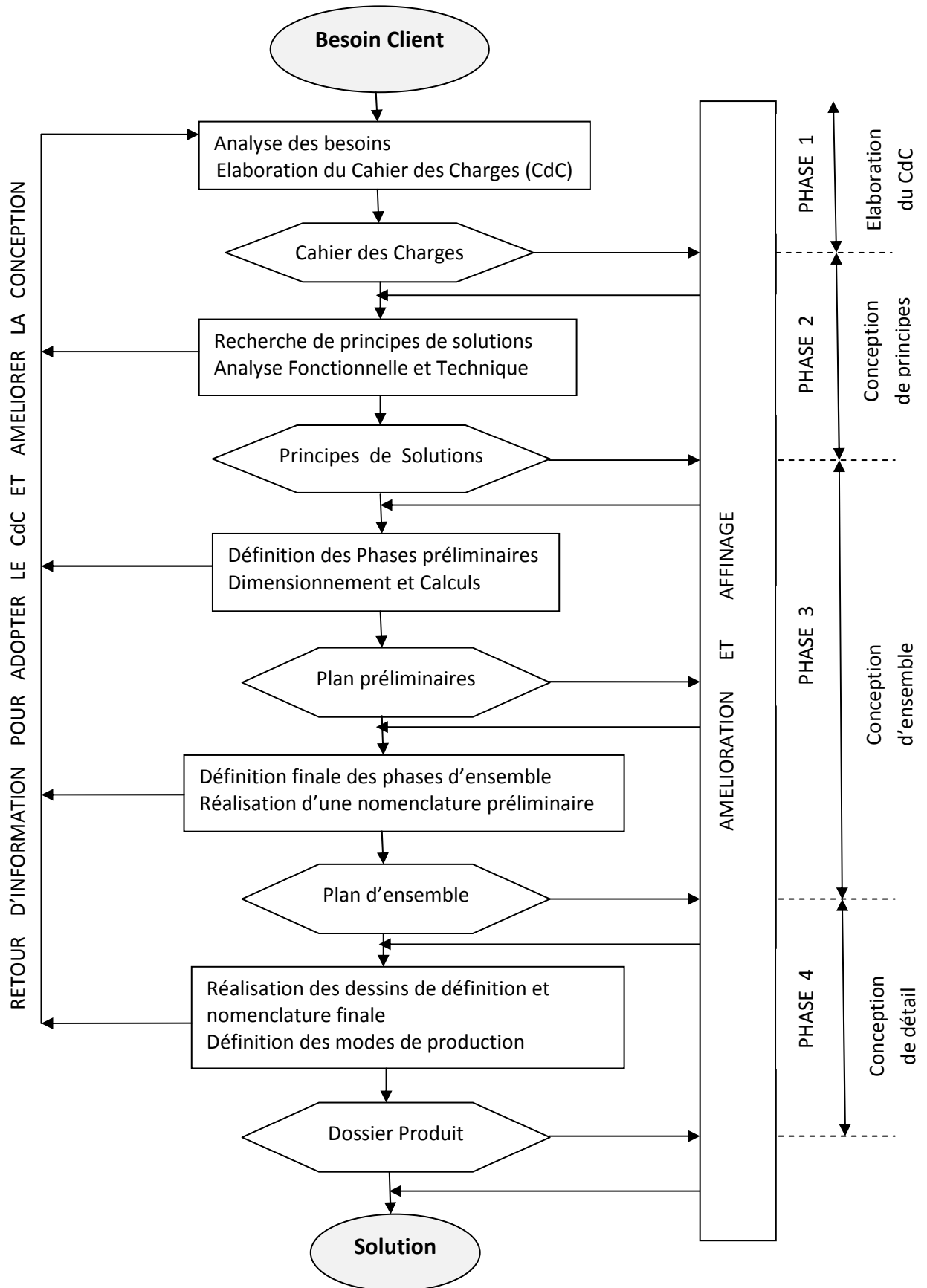


Figure I.12 : Démarche de conception développée par Pahl et Beitz.

e)- TRIZ

TRIZ est un acronyme russe traduit en français par « Théorie de la Résolution des Problèmes Inventifs » et en anglais par « *Theory of Inventive Problem Solving* » [Altshuller, 06]. Cette méthodologie englobe de nombreuses méthodes permettant de générer des solutions inventives lors de la résolution de problème. Développée en 1946 par Genrich Saoulovich **Altshuller**, TRIZ offre aux concepteurs une nouvelle façon d'aborder les problèmes de créativité et la recherche d'idées de manière générale. Elle s'appuie sur quatre sources d'analyse différentes : brevets, comportements psychologiques des inventeurs, outils et méthodes existants et littérature scientifique [Cavallucci, 99]. De ces analyses, Altshuller en a déduit un certain nombre de lois d'évolution des systèmes techniques qui constitue le socle théorique des deux concepts fondamentaux et des outils de TRIZ.

TRIZ s'appuie sur deux concepts fondamentaux qui sont : *l'évolution vers un Résultat Idéal Final* (connu aussi sous l'acronyme RIF) et *la notion essentielle de contradiction*.

La méthodologie a donné naissance à ARIZ, démarche destinée à structurer la mise en application des concepts et des outils développés dans le cadre de TRIZ (**Figure I.13**).

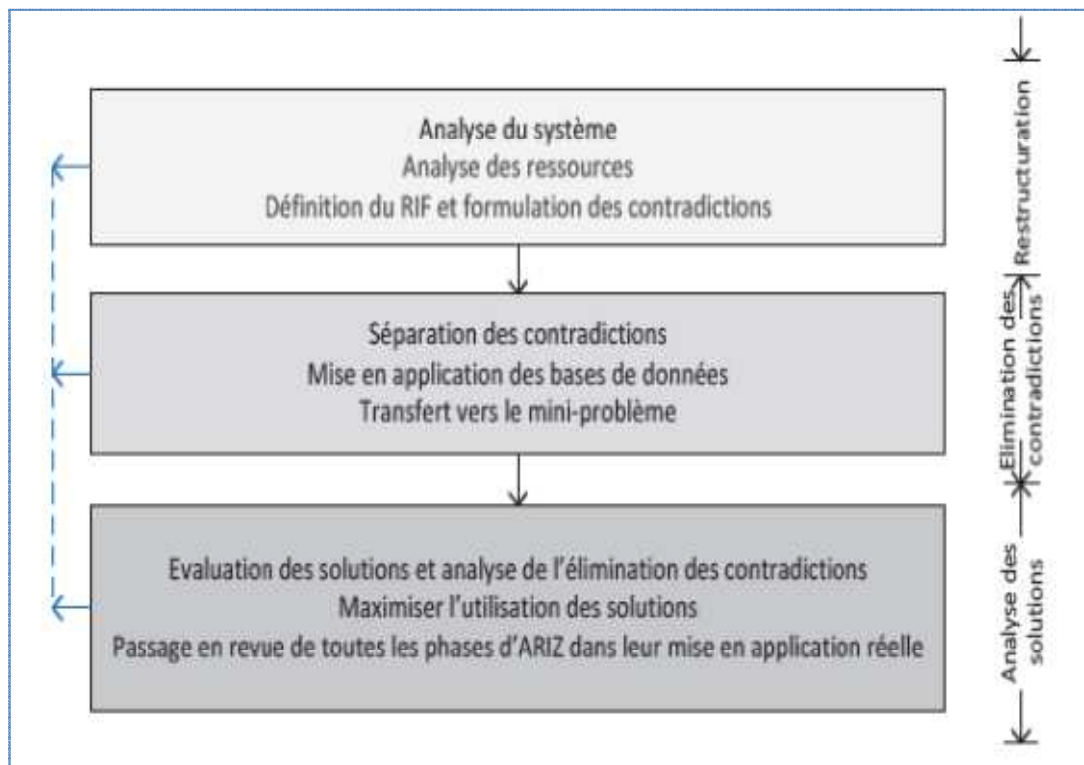


Figure I.13 : Vue d'ensemble d'ARIZ d'après [Cavallucci, 99]

Finalement, l'un des principaux avantages de TRIZ est que malgré le fait qu'elle soit basée sur l'analyse des brevets, cette méthodologie s'affranchit tout à fait de l'industrie et du

domaine d'origine. Les analyses qui en découlent mettent en évidence des principes fondamentaux simples et des effets physiques, chimiques, etc. disponibles dans la littérature et ré-exploitable dans d'autres domaines. Aujourd'hui, de nombreuses entreprises ont intégré TRIZ dans leur démarche d'innovation. Cette intégration est facilitée par la mise en version informatique de plusieurs outils de TRIZ comme par exemple TechOptimizer et Phenomenon de la société Invention Machine.

I-3-2-2- Différents niveaux de sélection des méthodes des P.Cs

Avant d'aborder plus en détail l'ensemble des enjeux qui sous-tendent la sélection des méthodes, nous allons énumérer dans un premier temps quelles sont les situations dans laquelle cette activité prend place au sein des organisations industrielles.

[López-Mesa and Thompson, 06] ont développé un **modèle de sélection des méthodes** basé sur **trois étapes**. Selon eux, trois sélections successives doivent être réalisées pour assurer un choix de méthodes réussi : la sélection d'une **base de méthodes** ; la sélection au niveau **stratégique** et la sélection au niveau **opérationnel**.

Les **chercheurs et académiciens** réalisent la **première sélection**. Ils assurent le développement, l'évaluation et la validation des méthodes de conception. Dès que leurs recherches sont suffisamment matures et abouties pour une application industrielle, ils transfèrent les résultats de leurs recherches dans les entreprises.

Certains travaux académiques se concentrent exclusivement sur cette étape, en particulier [Birkhofer et al, 01]. Au **niveau stratégique**, la sélection est assurée par l'**entreprise**. Elle sélectionne, parmi les méthodes disponibles après le premier « filtre », celles qui correspondent à ses besoins. Enfin, à un **niveau opérationnel**, le **concepteur** est en charge de l'ultime étape de sélection des méthodes, méthodes qui seront finalement appliquées sur les projets industriels.

Étant donné que nous visons essentiellement une **application industrielle** pour notre travail de recherche, nous nous focalisons sur ces deux derniers niveaux (stratégique et opérationnel) que nous enrichissons par un niveau intermédiaire (tactique). En effet, nous considérons que la sélection des méthodes de conception dans les organisations industrielles se situe à trois niveaux distincts : au **niveau de l'entreprise** ; au **niveau du projet** et au niveau de la tâche ou de l'activité individuelle.

Dans le premier cas, il s'agit d'une sélection que l'on pourrait qualifier de stratégique, de tactique dans le deuxième et enfin d'opérationnelle dans le dernier cas. La personne qui est à

l'origine de ces choix pourra être différente selon les niveaux. Selon nous, la vision stratégique de l'entreprise se répercute directement sur les directions de l'entreprise. Ainsi, l'acteur en charge de la sélection stratégique est le directeur (président directeur général, recherche et développement, innovation, etc.). Au niveau opérationnel, l'acteur qui assure le choix définitif des méthodes est le concepteur. Entre ces deux niveaux, nous intercalons la vision tactique du chef de projet (ou du responsable du processus de développement communément rattaché au service qualité de l'entreprise) qui réalise une présélection des méthodes utilisables sur les projets (**Figure I.14**).

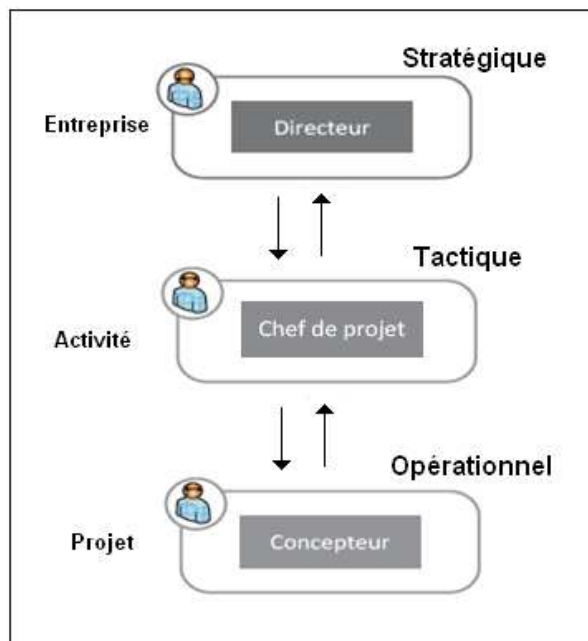


Figure I.14: Différents niveaux de sélection

Enfin, il existe **trois situations distinctes de sélection des méthodes de conception** : la sélection au niveau stratégique qui incombe au Directeur ; celle au niveau tactique qui revient au chef de projet ou responsable du processus développement de produits nouveaux ; et enfin, celle au niveau opérationnel qui appartient au concepteur-praticien. Bien évidemment, il existe de multiples connexions entre les différents niveaux.

I-3-3- Évolution du processus de conception de produit

Comme on a déjà introduit, la conception se définit de façon générale comme “ la formation d'un concept, d'une idée générale dans l'esprit humain “. Dans un cadre plus industriel, la conception recouvre des sens différents suivant le domaine d'activité,

l'organisation, la structuration, l'histoire et les employés de l'entreprise. Il est généralement reconnu que la conception est un processus, ses limites sont en fait très mal identifiées [Aidi, 07].

On peut par exemple identifier la conception à l'activité du concepteur, « homme créatif, transformant le cahier des charges d'un produit en une proposition sous forme de dessin technique ». Blanco, dans [Blanco, 98], définit les concepteurs dans une action de « coopération » avec des spécialistes de différents métiers pour « la création mentale d'un nouveau produit ». Dans ce cas, la conception correspond à cette transformation. Nous identifions effectivement la conception à l'activité du concepteur où le concepteur est une personne qui effectue des choix techniques pour faire évoluer la définition du produit. Des outils méthodologiques issus de l'analyse de la valeur permettent de formaliser le besoin auquel le produit conçu doit répondre (Méthode SADT, diagramme FAST...). Des modèles sont proposés pour supporter le passage de la représentation fonctionnelle à la représentation structurelle du produit.

Dans [Tichkiewitch, 94], Tichkiewitch décrit l'évolution de la conception vers l'ingénierie intégrée ou simultanée (apparue à la fin des années 80, début des années 90), Il définit alors plusieurs sens au terme intégration. Le premier sens consiste en la prise en compte de tout le cycle de vie du produit (sa fabrication, sa mise en route, son usage, sa destruction) dès sa conception. L'intégration peut être également vue comme la possibilité d'imaginer des solutions en fonction du contexte dans lequel doit évoluer le produit. En d'autres termes, cette intégration est liée à la prise en compte de l'environnement de développement du produit (différent de son environnement d'usage). Enfin, l'intégration doit aussi être vue sous l'aspect participatif des différents corps de métiers au moment de la conception.

Le terme intégration regroupe donc ces trois sens :

- § Intégration du cycle de vie dès la conception,
- § Intégration de l'environnement de développement
- § Intégration des différents métiers.

Dans le chapitre suivant « Chapitre II », nous nous focalisons sur l'introduction de l'ingénierie simultanée comme méthodologie adaptée pour la conception de produits.

I-4 Conclusion

Les entreprises se trouvent de plus en plus confrontées à une concurrence mondiale très rude les incitant à rechercher une meilleure productivité de leurs systèmes industriels. Il s'agit de concevoir et de produire avec une meilleure qualité, au moindre coût et dans les délais les plus brefs. Dans ce contexte, un intérêt particulier a été porté au développement de méthodes et de moyens pour la maîtrise de la conception des produits manufacturiers et aussi du processus de conception de ses produits. On a introduit le chapitre par le positionnement scientifique du thème de recherche, notamment notre recherche s'inscrit dans le cadre de l'ingénierie de la conception (engineering design) qui est une branche du génie industriel, cette partie se positionne à l'intersection des catégories de la théorie de la conception et théorie du processus de conception d'une part et des méthodologies de conception d'une autre part.

Aujourd'hui, concevoir mieux et plus rapidement est une obligation pour les entreprises qui évoluent dans un marché où la compétition fait rage. C'est pourquoi on observe une volonté toujours plus grande de la part des entreprises de définir et de systématiser leur processus de conception.

Le processus de conception est un processus complexe qui fait intervenir un grand nombre d'acteurs métiers différents et qui peut être représenté sous différentes modèles, toutes ces modèles s'organisent suivant un certain nombre d'étapes ou de phases bien déterminées, ces derniers peuvent se représenter sous la forme d'un processus séquentiel, faisant apparaître la hiérarchisation des tâches. Dans le contexte économique actuel, les entreprises quittent depuis de nombreuses années ce processus séquentiel afin de se rapprocher d'une conception simultanée ou concourante, qui consiste en une optimisation des délais de conception dans le but d'en réduire les coûts, ce point sera l'objet du chapitre suivant (chapitre II).

Chapitre II : Développement d'une démarche de conception simultanée

Chapitre II : Développement d'une démarche de conception simultanée

II-1- Introduction

De manière traditionnelle, le processus de conception est mis en œuvre par un transfert continu et séquentiel des informations allant de la spécification des besoins jusqu'à la conception détaillée. C'est assurément en raison de ce fonctionnement séquentiel que des erreurs se propagent le long du processus. Ces erreurs ne sont détectées que dans les phases ultérieures du processus, voire même au-delà, lors de l'industrialisation. C'est dans ce contexte d'inadéquation entre les pratiques de conception de produits selon un schéma séquentiel et les nouveaux enjeux économiques qu'au milieu des années quatre-vingt, l'industrie japonaise a vu émerger une nouvelle forme d'organisation qui est l'ingénierie simultanée dite aussi ingénierie concourante (Concurrent Engineering) [Bonnevault et al, 01]. Elle consiste en une mise en parallèle des activités de développement du produit et du système de production ayant pour but principal de réduire de manière significative les délais de mise à disposition d'un produit sur le marché (ou time-to-market) et aussi d'améliorer la qualité. L'idée est de faire passer tous les acteurs du projet, directs ou indirects, y compris en aval les clients, destinataires du produit final ou en amont le fournisseur.

La notion de Concurrent Engineering (CE) est utilisée sous d'autres appellations : "conception ou ingénierie intégrée", "ingénierie simultanée", "ingénierie parallèle" et "ingénierie concourante". Pour notre part, et tout au long de ce chapitre, nous utilisons le terme "Ingénierie Simultanée" pour désigner les trois notions de simultanéité, de concourance et d'intégration des activités d'un projet de conception de produit.

Après avoir rappelé les objectifs habituels que visent les entreprises dans leur environnement économique, nous présenterons, succinctement, les méthodes mises à leur disposition pour leur permettre de devenir plus compétitives du triple point de vue de la réduction des délais, des coûts et d'amélioration de la qualité. Quelques repères historiques nous permettront ensuite de situer le contexte dans lequel est apparue l'ingénierie simultanée dont nous exposerons les principes fondamentaux. Nous présentons ensuite l'I.S, de manière plus précise, pour voir notamment quels sont les points qui doivent être développés pour sa mise en œuvre avec succès. Par la fin, nous citons quelques exemples industriels pratiques.

L'objectif de ce chapitre est de fournir une étude de ce nouveau concept qu'est l'Ingénierie Simultanée.

II-2- Environnement économique de l'entreprise

Dans notre société de consommation de masse, n'importe quelle entreprise, quel que soit son domaine d'application, tente d'atteindre des objectifs en articulant ses activités autour d'une réalisation fondamentale : le **produit**. Qu'il se présente sous une forme matérielle, ou sous la forme d'un service, ou toute combinaison des deux, son but est de **répondre à un besoin** représentant un **marché** potentiel. Mettre sur le marché un produit de qualité, c'est tout mettre en œuvre pour satisfaire le client. Ce degré de satisfaction constitue le baromètre interne de l'entreprise quant à ses capacités à subsister dans un univers concurrentiel. En effet, en fonction de son besoin, un client va s'adresser auprès des entreprises reconnues comme aptes à répondre à ce besoin. Mais ce n'est pas suffisant, le client se tournera vers l'entreprise envers laquelle il a le plus confiance, qui a su démontrer son aptitude à être choisie de par la qualité de ses prestations. En résumé, le choix du client dépend de la compétitivité de l'entreprise.

Pour Claude Petidemange [Petidemange, 90] être compétitif c'est : « pouvoir soutenir la concurrence du marché ». Ce qui signifie qu'une entreprise doit pouvoir connaître mais surtout maîtriser sa situation économique en sachant :

- limiter la part de hasard dans sa gestion ;
- avoir une connaissance des éléments entrant dans la prise de décision ;
- utiliser des moyens appropriés à tous les événements et toutes les circonstances du déroulement de la vie du produit.

Ce contexte est restitué dans l'expression de la triple contrainte coût/délais/qualité. Il est nécessaire de réaliser un équilibre et une maîtrise entre les composants de ce triptyque, sans quoi on ne peut plus garantir la pérennité de l'entreprise.

II-2-1- Méthodes d'atteinte de la compétitivité

Le projet d'entreprise a pour but d'affiner la mission et les valeurs de l'entreprise. La mission pour une entreprise est bien entendu d'assurer sa pérennité et son devenir alors que ses valeurs correspondent à l'écoute du client, la satisfaction des actionnaires, l'épanouissement des employés.

Le projet d'entreprise formalise et synthétise les fondements de la culture de l'entreprise, son positionnement par rapport aux marchés, son vécu, sa stratégie.

Concrètement, il intègre des exigences telles que la réduction des délais, la réduction des coûts et l'amélioration de la qualité. Voyons succinctement et en bref quelles sont les méthodes et outils qui permettent d'atteindre ces trois objectifs [Jagou, 93].

II-2-1-1- Réduction des délais

On recense trois techniques principales que l'on regroupe sous un terme générique : « **time based competition** » (compétition basée sur le temps) ou encore : « **time to market** ». Ces termes traduisent le fait d'arriver sur un marché économique au bon moment, ni trop tôt, ni trop tard par rapport aux concurrents.

a)- Just in time (juste à temps)

C'est la réduction des délais d'obtention d'un produit qui passe par une réduction des stocks pouvant retarder la résolution des problèmes quotidiens et générer des comportements inefficaces.

Les problèmes inhérents à la production sont mis en valeur et sont alors d'autant plus faciles à résoudre. Il est donc intéressant de mettre en place des outils et méthodes qui permettront une réduction des stocks et de la surproduction, on passe alors pour un atelier du mode « push » (réactif, subi) au mode « pull » (pro-actif voulu).

b)- Design for manufacturing (DFM)

C'est une démarche qui doit être intégrée au niveau du bureau d'étude, elle vise à réduire la complexité des produits et des pièces qui le composent. Les ingénieurs Études doivent avoir une connaissance assez large des méthodologies et techniques utilisées aux Méthodes ainsi que des moyens de production de l'atelier afin de prendre en compte dès la phase de conception les contraintes attachées à ces autres services.

L'exemple de Philips qui en 1984 a réduit de 75 % le nombre de composants de ses lecteurs de disques compacts vient illustrer une application du DFM.

c)- Ingénierie simultanée.

Nous ne la citons ici que pour mémoire étant entendu qu'il s'agit du thème principal de ce chapitre. Nous précisons seulement que son champ d'application se situe principalement au niveau du bureau d'études, bureau des méthodes et aussi le département organisation

informatique. Une réduction des délais peut être appréciée par une clientèle pressée dans les services après-vente.

II-2-1-2- Réduction des coûts : Benchmarking ⁶ ou étalonnage concurrentiel

C'est une technique qui consiste à rechercher en dehors de l'entreprise, auprès de la concurrence l'état de l'art dans son propre domaine.

Il faut ensuite comparer les résultats trouvés à ceux de sa propre entreprise, ce qui permet d'identifier ses faiblesses et de mettre en œuvre les moyens qui permettront d'y remédier. La finalité étant d'être le meilleur dans un corps de métier, dans une catégorie. C'est ce que nomment les Américains le « best in class ». Cela permet à l'entreprise de mieux connaître les domaines pour lesquels elle fait référence, d'optimiser ses activités, mais aussi de passer en sous-traitance les secteurs où des faiblesses sont détectées.

La veille technologique peut contribuer à faciliter cet étalonnage concurrentiel de l'entreprise vis-à-vis de ses concurrents.

II-2-1-3- Amélioration de la qualité

a)- Total quality management (TQM)

Dans l'industrie française, le coût de la non-qualité entraîne une variation de 5 à 12 % du chiffre d'affaires de l'entreprise. C'est ainsi que dans les années 1980, les grandes entreprises ont mis en œuvre des programmes « total quality management » ou gestion de la qualité totale.

Il s'est avéré que la qualité pouvait apporter un atout concurrentiel décisif, face aux Japonais par exemple. Mais cet état d'esprit ne se met en place au sein de l'entreprise que petit à petit.

Les groupes de l'amélioration de la qualité et les cercles de qualité facilitent la mise en place du TQM. Ces cercles de qualité sont constitués par des groupes d'individus de corps de métiers variés qui identifient les dysfonctionnements locaux qui peuvent générer de la non-qualité dans l'entreprise. Après identification, on décide de traiter ce dysfonctionnement d'une manière ou d'une autre.

⁶ Technique de gestion et de marketing consistant à comparer son entreprise à une ou plusieurs autres qui font référence dans un domaine spécifique.

b)- Quality function deployment (QFD)

C'est un outil très puissant pour la compréhension du besoin client. On commence par former une équipe composée de responsables marketing, responsables clientèle et d'ingénieurs d'études. On liste concrètement tous les points susceptibles de satisfaire le client. Charge ensuite à l'équipe de mettre en regard de ces points les moyens techniques et expertises nécessaires qui répondront à ces besoins. La qualité est dans ce cas directement liée à l'indice de satisfaction du client [Akao, 93].

c)- Statistical process control (SPC)

C'est une méthodologie développée pour améliorer de façon continue les processus de fabrication. C'est une étude de corrélation entre une grandeur d'une matrice d'entrée et une grandeur d'une matrice de sortie, ainsi que des paramètres du processus. Le SPC aide à établir et à améliorer les taux de dispersion acceptable au sein d'un processus industriel en utilisant des statistiques, des lois de probabilité et des matrices de décision.

d)- Certification ISO 9000

Elle permet de normaliser les relations entre les donneurs d'ordre et les sous-traitants, entre les clients et les fournisseurs. Cette norme se divise en trois normes principales : la norme 9003 les contrôles et essais finaux sur les produits, la norme 9002 qui concerne la production et la livraison du produit et enfin celle qui est sans doute la plus difficile à obtenir, la norme 9001 qui s'applique à la production, la livraison et le service après-vente du produit. Par la suite, nous verrons comment une entreprise peut mener au quotidien une démarche d'ingénierie simultanée.

II-2-2- Processus de conception en ingénierie simultanée

Concevoir un produit implique trois notions fondamentales : celle du *produit* en tant qu'objet sur lequel porte la conception ; et celle du *processus de conception* qui vient s'appliquer à chacune des phases du projet. Nous nous proposons de définir plus précisément chacune de ces notions.

II-2-2-1- Le produit

Le produit, en tant qu'objet matériel, est défini différemment selon le point de vue des sciences humaines ou des sciences pour l'ingénieur.

Du côté des sciences pour l'ingénieur qui nous intéressent le plus, le produit est défini comme un objet « qui permet à l'entreprise de satisfaire les besoins et les attentes de ses clients ». Dans ce cadre, le produit correspond à la matérialisation d'un besoin dont l'identification sera déterminante pour la santé de l'entreprise.

Le produit suivra une succession d'étapes qui constitueront son *cycle de vie* : introduction (phase de conception et de développement), lancement (industrialisation), croissance (mise sur le marché), déclin puis retrait (destruction ou recyclage). Dans le cadre de notre recherche, nous ne nous intéresserons qu'à l'introduction du produit, c'est-à-dire à sa naissance au cours des phases de *conception* et de *développement*. Chaque étape du cycle de vie du produit s'inscrira dans une phase de la gestion d'un projet.

II-2-2-2- Le processus de conception

Le processus de conception correspond à la démarche de pensée, conceptuelle et intellectuelle, opérée dans chacune des phases du projet. S'il diffère sensiblement d'une phase à une autre.

C'est au cours du processus de conception que sont mobilisées les compétences de chaque acteur du projet. L'ingénierie simultanée a introduit de nouvelles méthodes techniques et sociales qui « placent l'utilisateur final au centre de toutes les interventions » [Gobin, 01]. Dès lors, tous les acteurs-métiers qui composent le collectif de conception (ingénieurs, designers, ergonomes, informaticiens, utilisateurs, opérateurs, etc.) seront sollicités à toutes les étapes du projet, et leurs points de vue seront partagés au cours du temps. [Levan, 04] souligne à cet égard que la performance de l'I.S dépend de la performance des pratiques collaboratives.

Pour cela, nous proposons une modélisation du processus de conception qui reprend aux principales caractéristiques du projet concourant, abordées précédemment dans le deuxième chapitre (§ I) par le modèle du Systematic Design [Pahl, & Beitz, 07], en termes de *rétroaction* et de *coopération* ; le processus est en effet « rétroactif, de par les possibilités de remise en cause des résultats issus des phases précédentes et ceci à tous les niveaux en cas, par exemple, de non compatibilité des solutions proposées avec les objectifs de l'étude ; coopératif, du fait d'une relation privilégiée entre les différents acteurs engagés dans le projet » (**figure II.1**), voyons que le cycle de vie du produit se termine volontairement au niveau de la phase de « production du produit ». Toutefois, le cycle se poursuit dans une démarche itérative, comme l'indique ce modèle qui représente le début d'une spirale.

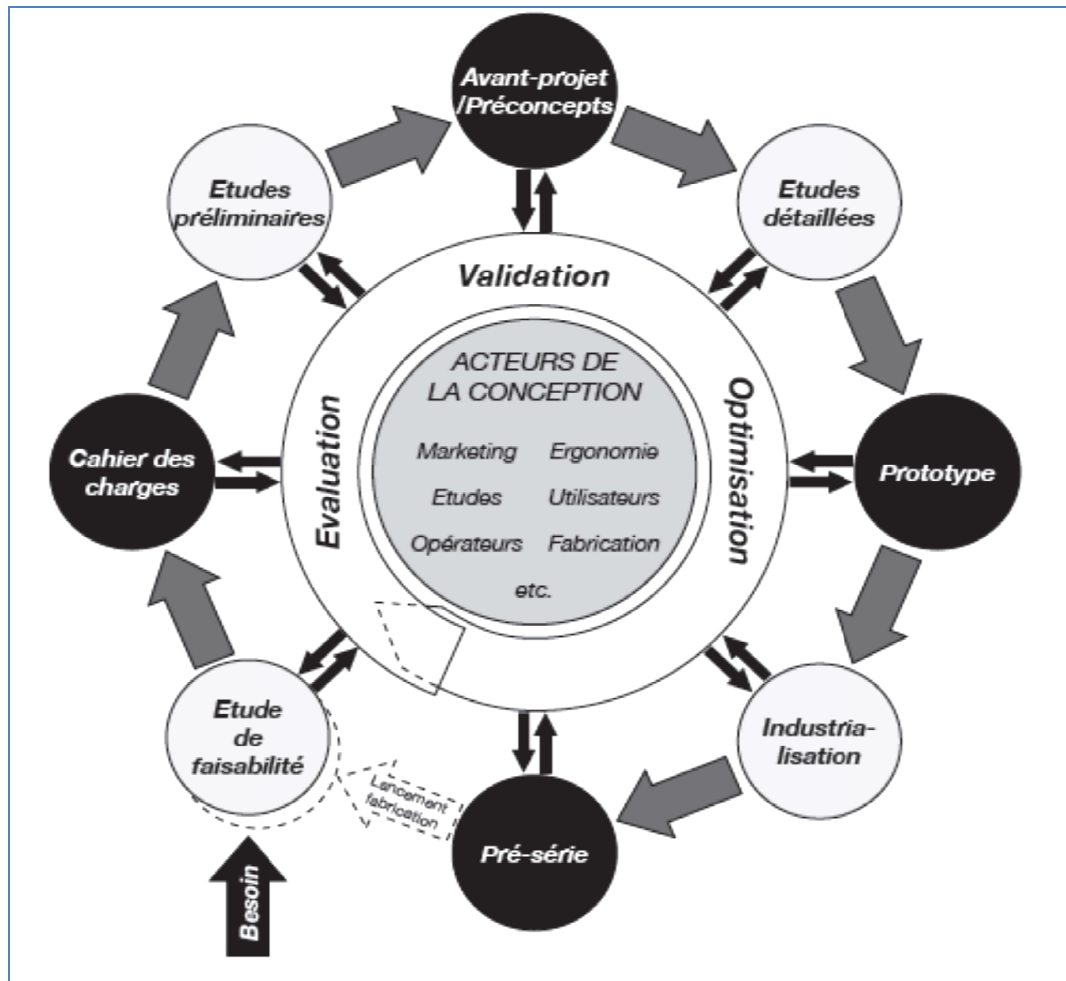


Figure II.1 : Illustration simplifiée du processus de développement et de conception de produits.

Notons que c'est sous l'éclairage de ce modèle proposé issu de l'ingénierie simultanée que seront analysés les processus de conception que nous aborderons au cours de notre recherche.

II-3- Démarche de l'Ingénierie Simultanée

II-3-1- Causes et origines de l'ingénierie simultanée

II-3-1-1- Causes

Les structures organisationnelles du tissu industriel que nous venons de présenter permettent d'aboutir à deux conclusions. La première traduit l'incompatibilité entre les moyens informatiques existants et l'organisation de l'entreprise « éclatée et cloisonnée » telle que l'on peut l'observer dans les années 1980. Par ailleurs, compte tenu de la situation économique versatile des années 1990, nous concluons à la nécessité de saisir les fenêtres

de marché, en réalisant une réduction maximale du cycle de vie du produit depuis la définition jusqu'à la mise à disposition. Il est donc impératif d'adopter une organisation **simultanée** pour diviser les procédures, une organisation **concourante** pour se diriger ou concourir vers le même objectif et une organisation **pluridisciplinaire** pour partager des compétences. Cette nouvelle organisation et ces méthodes de travail novatrices sont satisfaites par le concept d'ingénierie simultanée.

II-3-1-2- Précisions sémantiques

Nous retiendrons le terme « ingénierie simultanée » pour traduire concurrent engineering. Ainsi nous levons l'ambiguïté sémantique entre les mots concurrent, qui se traduit dans la langue de Shakespeare par competitor et concourant par concurrent. Par le terme ingénierie simultanée, nous souhaitons exprimer qu'un ensemble de personnes concourent simultanément vers un objectif qui leur est commun, c'est-à-dire le **projet**.

II-3-1-3- Origines

Les précisions sémantiques étant apportées, nous pouvons maintenant nous pencher sur l'origine réelle de l'ingénierie simultanée. Ce sont les Américains qui ont commencé, dans les années 1980 à mettre en place des structures d'ingénierie simultanée consécutivement aux observations réalisées dans les entreprises japonaises.

Ces observations consistaient à analyser les pratiques de développement de produits des entreprises japonaises essentiellement dans le domaine de l'automobile.

En effet, leur nombre d'heures d'études étaient réduites de moitié par rapport au concurrent américain pour une durée globale de développement de 30 % inférieure. Les explications apportées traduisent le fait que plusieurs sociétés japonaises pratiquaient déjà une organisation de type ingénierie simultanée sans en être réellement conscientes. C'est le cas de Toyota et Kamatsu, qui dès la fin des années 1970 avaient mis en place des comités multifonctionnels, avec un chef de projet qui avait pour souci de coordonner le lancement d'un véhicule. Honda, quant à elle, avait introduit un comité SED (sales engineering development) qui avait pour fonction de permettre à la société de répondre plus rapidement aux évolutions des besoins des clients et aux innovations introduites par les concurrents [Meingan, 93]. Grâce à ces pratiques, Honda, qui était à l'époque un producteur relativement modeste (production de l'ordre d'un million de véhicules par an), produit aujourd'hui plus de deux millions de véhicules par an en ayant étendu sa gamme de produits.

Ces exemples montrent les potentialités qu'offre le concept de *groupes de projets*. Mais avant d'aboutir à ces résultats, voyons quelles sont les étapes qu'il faut franchir pour passer d'une démarche séquentielle à une démarche simultanée.

II-3-2- Développement traditionnel ou approche séquentielle

II-3-2-1- Cycle de vie d'un produit

Partant du fait que la vie d'un produit est semblable à celle d'un être humain, en ce sens qu'il passe de la vie à la mort, nous allons raisonner ici d'un point de vue chronologique. Nous distinguons le produit, du projet qui lui est consacré et commençons par définir le **cycle de vie** d'un produit, qu'il ne faut pas confondre avec sa courbe de vie. En effet, le cycle de vie représente la succession de phase de **développement, fabrication, distribution, exploitation, maintenance** et de **mise au rebut** du produit (**Figure II.2**). Ce cycle de vie s'inscrit dans le cadre plus général de la **courbe de vie** d'un produit générique qui représente en quelque sorte l'ensemble des produits fabriqués suivant ce modèle. Elle se compose de la manière suivante [Benchimol, 03] :

- l'introduction (entre développement et lancement) ;
- le lancement ;
- le point mort (entre lancement et croissance) ;
- la croissance ;
- la saturation ;
- le déclin ;
- le retrait.

Pendant la phase d'**introduction** de la courbe de vie, nous sommes en présence d'un produit que nous pouvons qualifier de « **produit virtuel** » en ce sens qu'il n'est matérialisé que par des plans et autres documents papiers qui permettent de le qualifier au regard d'un marché potentiel.

L'entrée dans la phase de **lancement** correspond au démarrage effectif de la fabrication et au début de la vie du produit qui, cette fois, passe de l'état virtuel à un état matériel. Puis nous pénétrons dans une phase dite de **croissance** du produit qui représente essentiellement la production. Pendant cette phase, le chiffre d'affaires croît rapidement, ce qui correspond à l'entrée effective du produit sur le marché.

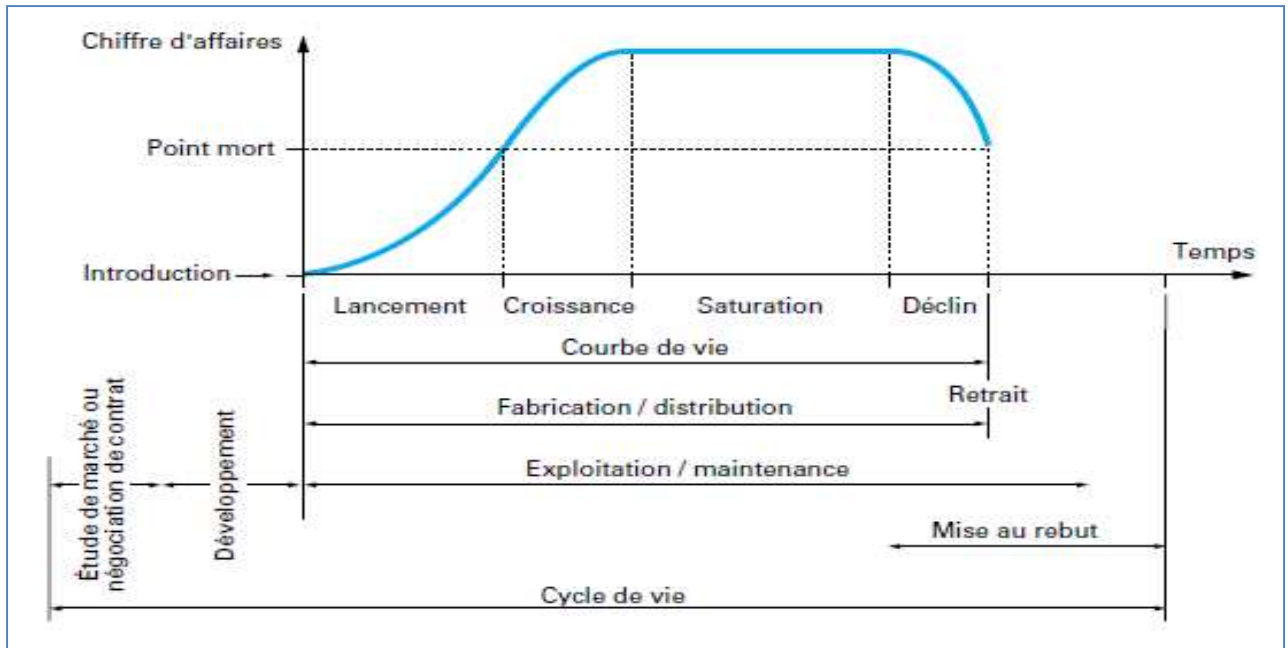


Figure II.2. Cycle de vie du produit [Benchimol, 03].

Ensuite, notre produit parvient à maturité car il est figé dans ses attributs morpho-techniques, ce qui représente alors la phase de **saturation**. Cette phase permet de s'assurer du bon positionnement du produit sur le marché par rapport aux concurrents. Il faut vérifier auprès des consommateurs que la qualité technique du produit répond à leurs attentes, dans ce but, on s'efforcera de répondre aux questions suivantes :

- les performances sont-elles suffisantes ?
- la durée de vie est-elle confirmée ?
- la maintenance est-elle aisée ?
- le prix est-il compétitif ?
- etc.

Enfin, une phase de **déclin** conduit à son recyclage et à un retrait progressif du service. L'objectif est de retirer progressivement le produit de ses segments de marché tout en maintenant des marges bénéficiaires les plus élevées possibles. Cette cessation progressive d'activités peut se traduire par l'arrêt d'un atelier, auquel cas on se trouve confronté à des problèmes de revente ou de destruction de machines, ou par la fermeture complète de l'usine. En plus de ces problèmes matériels viennent se greffer des problèmes sociaux : une cessation d'activité peut conduire à des retombées écologiques qu'il faut traiter par la mise en place de processus de recyclages (cas du nucléaire, par exemple).

Après avoir passé en revue les différentes étapes de vie d'un produit, nous pouvons nous pencher sur la logique de déroulement des étapes du projet qui lui correspond.

II-3-2-2- Cycle de vie d'un projet

Il s'agit maintenant de définir une suite cohérente d'actions qui permettront à terme d'enrichir la connaissance de tous les aspects du produit dans son futur marché. Ces actions représentent le **cycle de vie du projet (figure II.3)** qui intègre complètement le cycle de vie du produit. Comme nous l'avons entr'aperçu à travers le **cycle de vie du produit**, le développement, la fabrication..., sont des activités complexes qui font intervenir de nombreux spécialistes.

On peut trouver par exemple des techniciens de chacune des technologies intervenant dans le produit, des managers de projets, du personnel de la production... Bien entendu, l'intervention de ces différents **acteurs métiers** suit un ordre logique. Ceux-ci vont prendre un ensemble de décisions qui vont permettre de valider ou de réfuter la décision de faire, en fonction des données issues du **marketing**. Celui-ci permet la production de biens et de services répondant à des besoins exprimés ou latents grâce à une **étude de marché**. Cette nouvelle fonction diffère de celle qui consistait à s'efforcer de vendre des produits créés par des bureaux d'études plus ou moins indifférents à ces besoins. Il faut dénicher les clients potentiels et analyser leurs désirs pour fabriquer les produits qu'ils attendent.

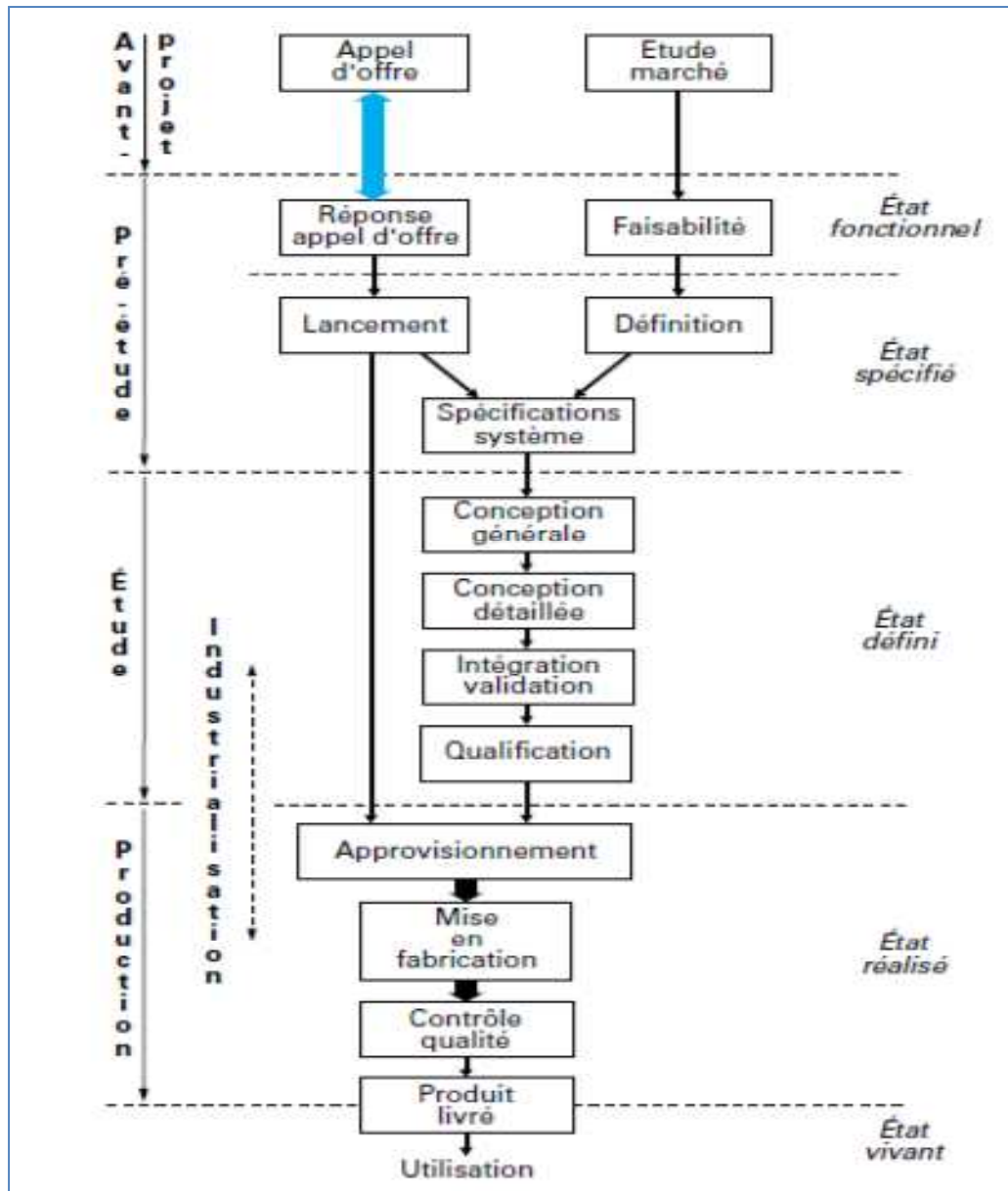


Figure II.3. Cycle de vie du projet.

Lorsque la possibilité d'un produit nouveau apparaît, le marketing établit un dossier de demande de programme rassemblant toutes les données nécessaires à une prise de décision pour les décideurs, c'est la **phase d'avant-projet** à laquelle les designers apporteront leur contribution. Lors de cette phase, les décisions prises vont avoir des conséquences importantes sur la suite du projet. Mais malheureusement et paradoxalement, les décisions sont difficiles à prendre compte tenu du manque de définition du produit à ce stade de l'étude.

La phase de **pré-étude** confirme la décision de « faire » le produit ; on décide d'un investissement global au regard des considérations stratégiques sur le niveau de charge et la rentabilité du projet.

L'investissement engagé doit être correctement fixé, on peut s'aider pour cela d'outils tels que l'analyse de la valeur [Bourdichon, 94], ou encore de la conception pour un coût objectif (CCO) qui représente des outils méthodologiques qui permettent d'atteindre la compétitivité industrielle par la maîtrise de la valeur [Petitdemange, 90].

Vient ensuite la **phase d'étude** qui permet le passage du produit d'un état spécifié à un état **défini**. On explore différentes solutions possibles pour retenir finalement la solution optimale, c'est-à-dire celle qui permet de réaliser un compromis entre la satisfaction des besoins clients et les marges bénéficiaires laissées par le produit.

Cette phase prend en compte tous les facteurs influençant la conception que ce soit en termes de besoins logistiques (documentations, pièces de rechange...) ou environnementaux (recyclage, destruction).

La fin de cette phase de développement permet de prendre la décision de lancer la **production**. Le produit passe petit à petit d'un état de spécifications à un état physiquement réel ou **réalisé**. Il s'agit de définir les moyens tant humains que matériels à mettre en œuvre pour aboutir au produit final ; c'est l'objectif des **Méthodes**. Le contrôle du planning, l'enclenchement des différentes actions est assuré par l'**Ordonnancement**. La présence de la matière première étant assurée par la fonction approvisionnement, la fabrication du produit peut alors débuter. Enfin, une partie contrôle qualité s'assure de la conformité du produit avant sa mise sur le marché.

II-3-3- Du séquentiel au simultané

II-3-3-1- Définition de l'approche simultanée

L'Ingénierie Simultanée est une approche de la conception qui permet de prendre en compte, dès les premières phases du projet de développement, l'ensemble du cycle de vie du produit, depuis sa définition jusqu'à son déclin en passant par son industrialisation, sa distribution et son utilisation [Prasad, 97]. Elle permet d'adopter une organisation simultanée pour paralléliser au mieux les différentes phases du processus de développement [Sohlenius, 92] ou encore une organisation concourante pour converger vers un même objectif. Cette organisation doit donc impliquer la participation de différents

acteurs représentant les différentes fonctions du cycle de vie du projet de développement. Voire (**figure II.4**), comparaison entre les deux approches.

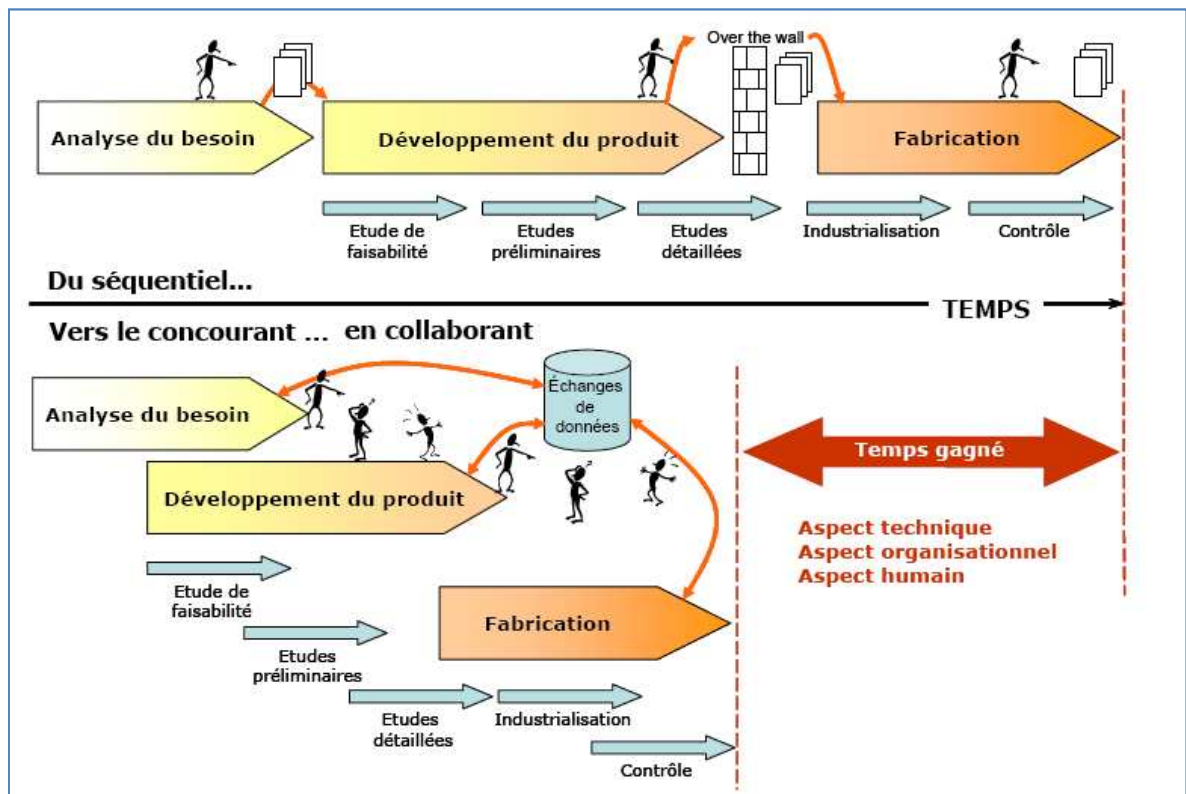


Figure II.4. Comparaison des deux approches.

Pour les entreprises, le développement rapide de nouveaux produits est devenu une nécessité pour se maintenir à un haut niveau de compétitivité. Pour atteindre un tel but, de nombreuses entreprises ont utilisé et utilisent les techniques de l'IS ou du Concurrent Engineering (CE) pour développer un produit plus vite, moins cher et avec une qualité éprouvée.

Le Concurrent Engineering [Prasad, 97] est présenté comme une approche systématique pour la conception intégrée et simultanée des produits et des processus de production. Quand la conception du produit atteint un certain stade, des informations préliminaires sont transmises aux concepteurs du système de production et sa conception commence dès que possible. C'est ainsi que l'on peut mettre en évidence de manière précoce les erreurs de conception du produit et que l'on peut les réviser (itération). La qualité des produits est ainsi améliorée, les coûts supplémentaires dus aux modifications sont éliminés et les délais de mise sur le marché sont réduits. Par conséquent, l'entreprise

parvient à tenir ses engagements de satisfaction du besoin client et de diminution de ses coûts globaux.

De nos jours, les concepts et les applications du concurrent engineering sont largement traités par de nombreux ouvrages. Plusieurs définitions souvent complémentaires ont été proposées [Clermont, 98] ; [Boudouh, 2000], parmi elles, l'une des plus synthétiques est « le Concurrent Engineering qui est une approche organisationnelle systématique et globale de l'entreprise, basée sur la conduite simultanée et intégrée du cycle de vie du produit, mettant en œuvre des équipes pluridisciplinaires travaillant en symbiose et visant des objectifs de production communs de coût-délai-qualité ». De cette définition découlent deux grands principes : la simultanéité et l'intégration. Le premier consiste à développer en même temps différentes activités concourant à la conception du produit et de son système de production, le second principe est caractérisé par l'établissement d'une interdépendance étroite entre les différentes phases du projet. Les principales caractéristiques en sont l'exécution parallèle des activités de conception, l'intégration et la prise en compte des activités aval pendant le déroulement des activités amont, la constitution d'équipes pluridisciplinaires qui regroupent différents acteurs impliqués dans le projet de développement de produit, l'optimisation des processus de développement existants (en particulier les méthodes de conception et de gestion de la production et de la distribution).

II-3-3-2- Intérêts de l'approche simultanée

Les problèmes rencontrés, dans le cadre d'une approche séquentielle, sont systématiquement remontés au bureau d'études qui se voit chargé d'apporter les corrections nécessaires. Mais il faut bien avouer que là, n'est pas la fonction première d'un bureau d'études. Il en résulte une certaine lenteur quant aux modifications apportées aux produits ainsi qu'un certain immobilisme lors de la redescende de l'information dans les autres services. On constate alors un allongement des temps de mise sur le marché dont nous avons déjà exposé les graves conséquences. La seule solution physique qui permette une réduction efficace du « time to market » consiste à **éclater cette structure linéaire séquentielle** en faisant travailler les différents services en même temps sur un **même projet**. Cela a pour effet à court terme de limiter fortement les modifications apportées au produit et de pouvoir ainsi concevoir et fabriquer le produit dès le premier jet.

Une autre différence par rapport à l'approche projet classique, est la constitution d'**équipes de projet pluridisciplinaires**, qui regroupent les différents acteurs métiers qui

interviennent tout au long du cycle de vie du projet. Ces équipes représentent le centre nerveux de l'ingénierie simultanée. L'idée est d'aboutir à une solution quasi optimale, en un minimum de temps en recueillant les opinions tout aussi diverses que variées de ces acteurs métiers et ce, dès la phase de conception, en faisant **participer** toute l'entreprise et en comprenant le rôle des différents services.

Ces équipes permettent de **catalyser l'innovation** en assurant un niveau de qualité d'adéquation aux exigences du marché. Enfin, le fait de travailler en équipe dynamise le **sens des responsabilités** de chacun d'où une **motivation accrue**. Ce sentiment de responsabilité est renforcé du fait de la déstructuration des fonctions de chacun. La voie hiérarchique traditionnelle est cassée. De ce fait, l'affectation des ressources est réalisée en tenant compte des besoins des étapes clés du projet et non plus par rapport aux besoins des services.

II-3-4- Mise en œuvre de l'Ingénierie Simultanée

Les changements dans le monde du travail passent par une prise en compte des points que nous avons présentés précédemment. Nous avons constaté que la mise en œuvre de tous ces changements a obligé les industriels à une véritable réflexion sur leurs capacités, leurs connaissances, leurs ressources ainsi que sur leurs besoins. Ces réflexions étaient nécessaires pour trouver et utiliser les nouveaux outils, les nouvelles méthodes de travail ainsi que les nouvelles architectures les mieux adaptés à leur entreprise. [Anumba et al, 99] ont effectué une étude sur la mise en œuvre de l'I.S au Royaume-Uni. Leurs conclusions sont que les avancées portent communément sur les outils de gestion de la communication et de l'information, pour améliorer le partage et l'échange d'information. Elles portent également sur le développement d'outils et de techniques pour aider l'équipe de conception. Cependant, des efforts doivent être faits pour mieux prendre en compte les besoins du client.

Nous allons donc dans cette partie nous intéresser aux outils, méthodes de travail et architectures qui rendent compte de l'état actuel de l'I.S dans le monde industriel.

II-3-4-1- Les outils

De nombreux outils ont été créés ces dernières années pour épauler les experts, les plus connus étant les systèmes de CAO/CFAO ; on cite parmi eux le logiciel de conception SolidWorks de Dassault Systèmes. Cependant, l'aide que ces outils peuvent fournir, aussi précieuse soit elle, se limite à la seule phase de conception du produit. Il est vite apparu que

cela n'était désormais plus suffisant pour répondre aux besoins qu'induits l'I.S. Les outils dont ont besoin les industriels doivent désormais permettre aux participants d'un projet de communiquer et d'échanger toutes sortes d'informations d'une manière qui soit la plus efficace possible. Ils doivent également permettre de stocker et de restituer de gros volumes de données, de même qu'ils doivent aider les industriels à réduire le plus possible les temps de production. Les outils que nous allons étudier dans cette partie répondent chacun à un ou plusieurs de ces objectifs.

a)- Maquettes numériques

Un des premiers types d'outil qui tend à se développer ces derniers temps est la maquette numérique. De plus en plus d'entreprises l'ont adoptée, dont les plus connues sont Renault, Dassault Aviation ou encore EADS AIRBUS SA. La maquette numérique fonctionne sur le principe d'un document central qui sert de référence à tous les experts et qui contient toutes les modifications qui ont été apportées sur le produit. Selon [Carratt et al, 2000], la maquette numérique supporte de multiples activités. Pour le bureau d'étude, elle est utilisée pour définir les pièces, leur géométrie, leurs propriétés non géométriques, leur assemblage ainsi que pour la validation et la gestion de l'ensemble de ces informations. Pour la production, Dassault Aviation utilise la maquette numérique dans les bureaux des méthodes. Elle leur permet de définir l'industrialisation du produit, la construction de la nomenclature de production ou encore les fiches d'instruction pour l'assemblage en atelier. D'autres activités utilisent également la maquette numérique qui, pour résumer, permet de manipuler toutes les informations relatives au produit.

Les bénéfices liés à leur utilisation dans le cadre de l'Ingénierie Simultanée :

- affranchissement vis-à-vis des maquettes physiques, qui sont coûteuses et qui ne sont jamais mises à jour,
- validation de manière numérique du produit grâce à des simulations réalisées avec tous les métiers et au plus tôt dans le cycle de vie,
- modification plus aisée d'une conception,
- garantie d'un assemblage bon du premier coup grâce à une définition CAO précise des éléments,
- détection au plus tôt des retards. Ce point implique le respect des délais visés grâce à la formalisation et à la transparence des informations via les maquettes numériques 3D partagées par tous les métiers.

Les maquettes numériques permettent donc de gérer de gros volumes de données et améliorent les communications entre les différents experts qui collaborent. D'autres outils nouveaux ont été conçus dans le même esprit, notamment les systèmes PLM.

b)- Les Systèmes PLM (Product Lifecycle Management)

L'un des outils de l'ingénierie simultanée repose sur les systèmes PLM :

1- Le concept PLM

Le PLM est avant tout une stratégie d'entreprise. Il s'agit de gérer toutes les informations relatives à un produit, sur l'ensemble de son cycle de vie, et ce pour la totalité des acteurs internes et externes impliqués dans sa création (**Figure II-5**). CimData [CIM, 03] définit le PLM comme: « une approche stratégique d'entreprise, qui applique un ensemble de solutions pour soutenir dans un mode collaboratif la création, la gestion, le partage et l'utilisation de l'information de définition des produits, en entreprise étendue, du concept à la fin de vie, en intégrant les personnes, les processus, les systèmes et l'information. ».

Le PLM englobe ainsi la définition du produit mais également la définition des moyens de production, des services liés au produit, (services durant son utilisation mais également services de maintenance, de traitement en fin de vie...), des technologies mises en œuvre, des organisations le concernant... [Le Duigou, 10].

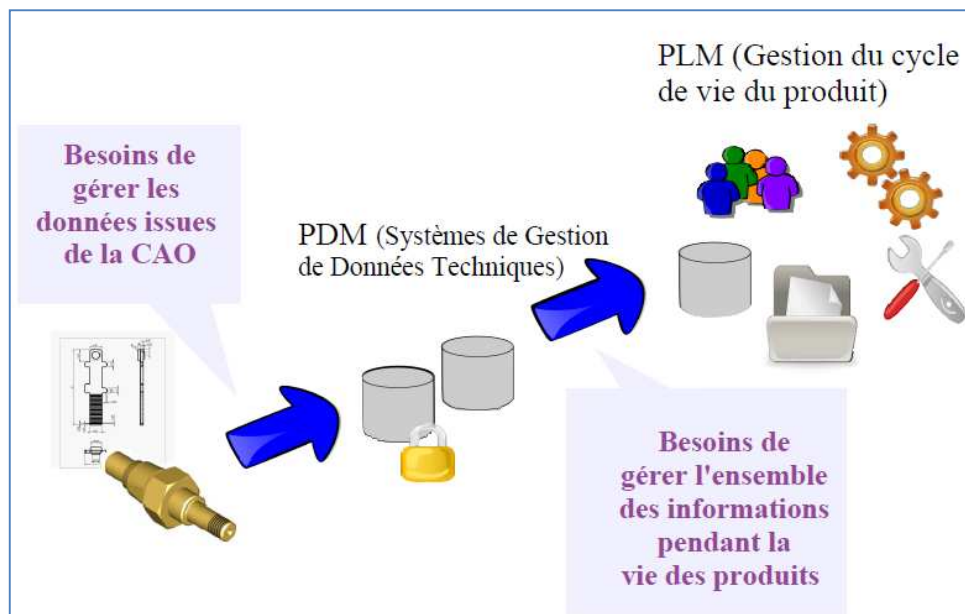


Figure II.5. Les origines du PLM.

Nous nous focaliserons pour la suite de cette partie d'étude sur la gestion du cycle de vie du produit. Le cycle de vie du produit traduit la vie physique de l'objet (**Figure II-6**). Il démarre avec l'extraction (ou la réutilisation) de la matière, puis la fabrication du produit, son utilisation et sa fin de vie. Un cycle s'achève lorsque le produit est détruit. Le bouclage vient de la réutilisation de matières recyclées. Ce cycle de vie est très utilisé comme base aux analyses de cycle de vie produit cherchant à identifier les impacts (entre autre environnementaux) de chacune des phases.

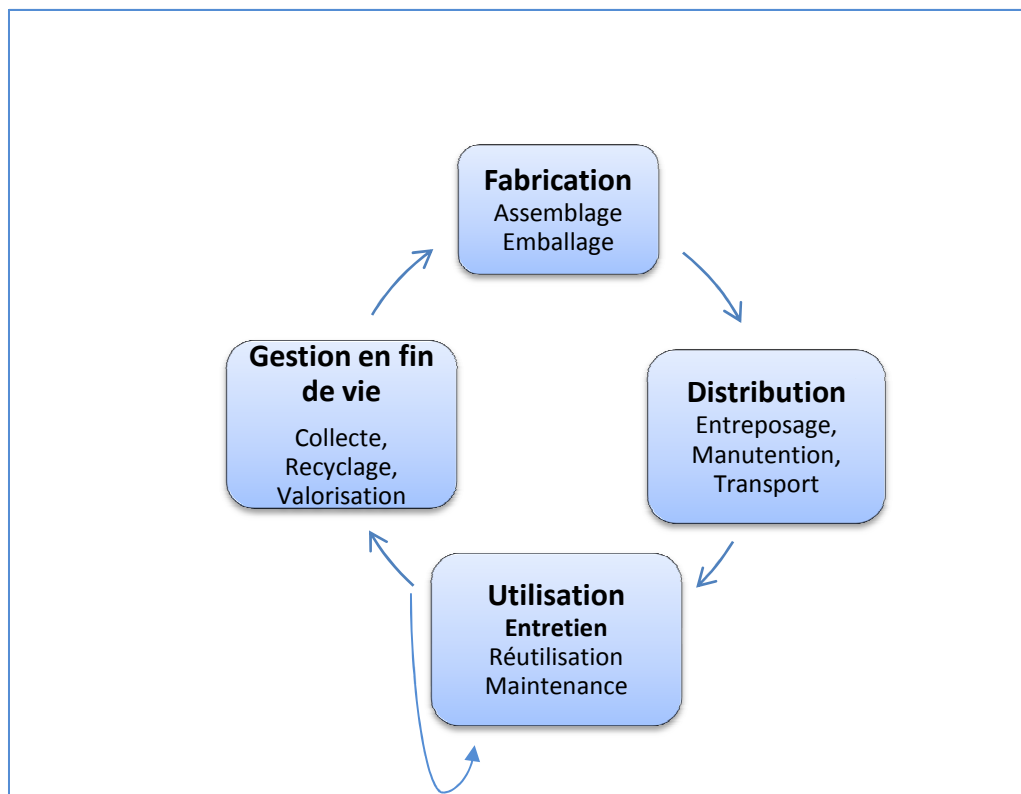


Figure II.6. Cycle de vie du produit réel

Le PLM est soutenu par des systèmes d'informations et des logiciels. Il doit permettre la circulation et le partage des informations entre les différentes applications métiers (**Figure II-7**). L'interopérabilité et la modularité deviennent alors prédominantes pour qu'un maximum d'applications de l'entreprise puissent interagir avec le système PLM.

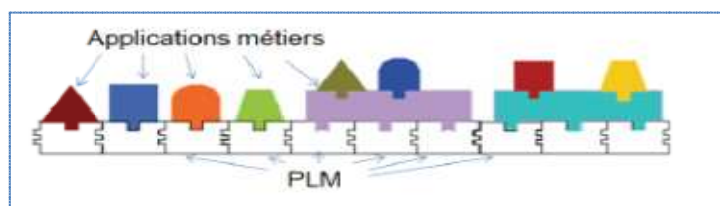


Figure II.7. Principes du système PLM [DUT 05]

Les systèmes PLM permettent d'encapsuler puis de diffuser les informations nécessaires à la définition du produit. Cela se fait par le biais de ponts entre le système PLM et les autres systèmes d'informations et applications de l'entreprise, tels la CAO, la FAO, les logiciels de simulation, l'ERP, le SCM ⁷ (**Figure II-8**)... Il assure ainsi la traçabilité de l'information, son archivage et sa réutilisation.

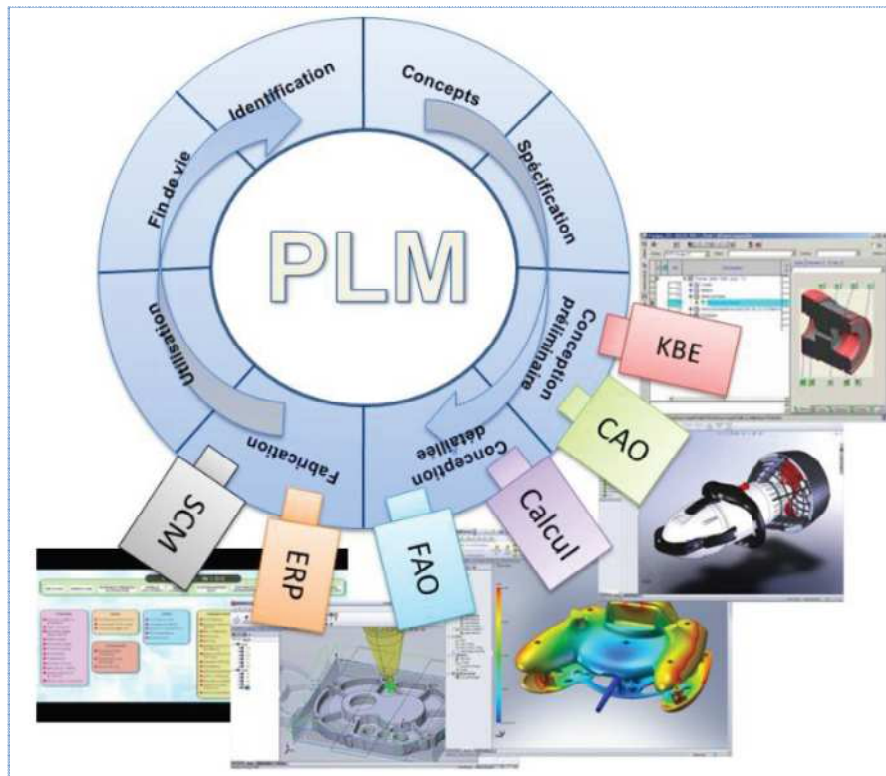


Figure II.8. Système PLM et applications métiers

2- Les outils PLM

De nombreux logiciels proposent des fonctionnalités facilitant une démarche de PLM. Les principaux éditeurs de logiciels sont issus du monde de la CAO : Dassault Systèmes ⁸ offre une gamme diversifiée de produits avec CATIA V6 PLM, PDMWorks Enterprise, PDMWorks Workgroup, PTC ⁹ offre Windchill et PDMLink. D'autres éditeurs sont eux issus du monde de l'ERP, comme SAP ¹⁰ qui propose SAP PLM et Oracle ¹¹ avec Agile.

⁷ Supply Chain Management

⁸ Site de Dassault Systemes, <http://www.3ds.com/fr/>

⁹ Site de PTC, <http://www.ptc.com/>

¹⁰ Site de SAP, <http://www.sap.com/france/solutions/business-suite/plm/index.epx>

Les systèmes PLM actuels offrent de nombreuses fonctionnalités ; en voici une liste des principales, communes aux différentes solutions :

- ✓ **Le coffre fort:** l'ensemble des données et des documents associés sont stockés sur un serveur nommé coffre-fort. Les données sont stockées dans une base de données (objet ou relationnelle). Les informations sont ainsi structurées selon le modèle de données implémenté dans la base de données. Les documents sont quant à eux enregistrés sur le serveur. Lors de l'ouverture d'un document, celui-ci est recopié sur le poste de l'utilisateur de manière plus ou moins temporaire selon les logiciels.
- ✓ **La gestion des droits d'accès :** pour accéder aux informations contenues dans le PLM, l'utilisateur doit avoir les droits nécessaires. Selon ses droits il pourra ou non accéder à certaines informations et ses actions pourront être limitées.
- ✓ **La réservation / libération de document :** cette fonction permet la réservation d'un document. L'utilisateur faisant un check out sur un document et s'assure que personne d'autre ne pourra le modifier, ce qui évite des conflits de synchronisation. Une fois la modification terminée, l'utilisateur doit faire un check in pour remettre le document à disposition des autres utilisateurs.
- ✓ **Les notifications :** une notification est un envoi de message contenant un lien hypertexte vers un document ou une donnée. Les messages peuvent être envoyés automatiquement à un utilisateur s'il en fait la demande, lors des modifications, des validations..., on parle alors d'abonnement.
- ✓ **Les workflows :** ces systèmes permettent de simuler des processus en automatisant certaines actions. Ces systèmes sont surtout utilisés pour la gestion de la documentation avec des workflows de processus de validation.
- ✓ **Les états :** les états sont associés aux documents. Ils permettent de définir leur niveau de maturité. On retrouve par exemple les états validé, en cours de création, en cours de validation, obsolète...
- ✓ **Les web conférences :** les web conférences permettent principalement le partage d'écran, la prise de contrôle à distance du poste de l'interlocuteur et la messagerie instantanée. Elles incorporent également des fonctions de webcam pour voir son interlocuteur ou de VOIP ¹² pour pouvoir discuter avec lui.
- ✓ **Les réseaux sociaux :** Le réseau social est une catégorie d'application Internet qui aide à relier des amis, des associés, ou d'autres individus ayant un lien quelconque. Les réseaux sociaux sont peut être l'avenir de la **gestion d'équipe projet**. Ils permettraient de former les équipes selon différents critères tels les compétences, l'habitude de travailler ensemble, l'emplacement géographique des utilisateurs... Les outils actuels sont principalement des outils de gestion documentaire et de communication. La possibilité d'automatiser ou de gérer les informations des processus plus spécifiques au métier de l'entreprise ne fait pas partie des fonctionnalités des logiciels d'aujourd'hui.

¹¹ Site d'Oracle Agile, <http://www.oracle.com/agile/index.html>

¹² Voice Over IP

De nombreux travaux de recherche aujourd'hui se focalisent sur le développement d'outils PLM (Product Lifecycle Management) [Keraron *et al.*, 07] permettant de stocker, partager et faire circuler l'information relative à l'ensemble du cycle de vie du produit. Ils couvrent des fonctionnalités de Gestion Electronique des Données (GED), de définition et gestion des processus (ou workflows) et de gestion de la configuration.

Une attention particulière est portée sur les problèmes d'interopérabilité entre différents logiciels et d'intégration de modèles d'origine différente, en modélisation d'entreprise [Panetto, 06] ou en conception collaborative [Lombard, 06]. Actuellement, la communauté de l'Ingénierie Système s'intéresse aux potentialités du langage SysML pour le développement de supports informatiques permettant l'intégration d'activités collaboratives multidisciplinaires.

3- Les bénéfices d'un système PLM :

- ✓ Améliorer la communication dans l'entreprise ou entre partenaires ;
- ✓ Centraliser, partager et sécuriser l'information ;
- ✓ Capitaliser l'information et les savoir-faire ;
- ✓ Automatiser les processus, le traitement par lot de tâches quotidiennes, récurrentes ; et à moindre valeur ajoutée ;
- ✓ Être proactif dans sa relation commerciale ;
- ✓ Réduire les temps de développement des produits ;

Remarque : Il faut tenir compte du fait que tous les experts qui collaborent au sein d'un même projet ne travaillent pas forcément avec les mêmes applications ou les mêmes systèmes, et qu'ils ne sont par conséquent pas capables de manipuler n'importe quel format de données. C'est ainsi que le besoin d'une norme ou d'un standard s'est fait de plus en plus sentir.

- **Importance des standards**

Il existe plusieurs standards pour l'échange et le partage de données, mais le plus répandu est probablement STEP [Le standard **STEP** (Standard for Exchange of Product data) semble s'imposer par son approche et sa technologie objet. Son objectif est de définir un modèle de données capable de répercuter la totalité des informations qui définissent les produits d'une entreprise tout au long de leur cycle de vie. A cette fin, STEP traite non

seulement de la création de données mais aussi de leur manipulation et de leur organisation]. Cette norme est de plus en plus utilisée, par exemple par [Papazoglou, 2000], [Rouchon, 2000], Ils permettent à des personnes manipulant leurs propres modèles de travailler sur le même ensemble de données, sans pour autant devoir changer de logiciels ou de modèles de produit.

II-3-5- Exemples industriels d'applications de l'ingénierie simultanée

Afin d'illustrer notre propos, voyons quelques applications de l'ingénierie simultanée dans l'industrie et ses répercussions. Prenons par exemple le domaine de l'automobile.

✓ Exemple 1- Renault standardise sa fabrication

Quant au groupe Renault, il a déjà démontré la viabilité de la mise en place d'une organisation par équipe de projet lors de la fabrication de la **Twingo** en trois ans (**figure II.5**). Mais ses objectifs sont également plus ambitieux en voulant passer les délais de conception de 58 à 36 mois en l'an 2000. Le constructeur, pour relever le challenge, choisit d'investir massivement dans le prototypage virtuel afin de détecter au plus tôt et au moindre coût d'éventuels problèmes de collision de pièces sur les montages, de zones inaccessibles à l'opérateur... Par ailleurs, Renault a complètement repensé l'architecture des futurs véhicules dans l'optique de flexibiliser la fabrication. Concrètement, le découpage des différents éléments de caisse (planchers, pavillons...) va devenir invariant d'un modèle à l'autre. Les machines et leurs implantations seront les mêmes, seuls changeront d'un modèle à l'autre le dimensionnement des palettes, la programmation des robots et les outils utilisés. À terme, deux usines différentes seront capables, compte tenu de cette standardisation, de produire des Safrane ou des Laguna.

L'enjeu est non négligeable puisqu'il s'agit de réduire le temps de montage des véhicules de 20 à 15 heures, ce qui permettra, sur un projet de 1.6 milliards d'euros (Laguna) d'économiser 0.27 milliard d'euros.

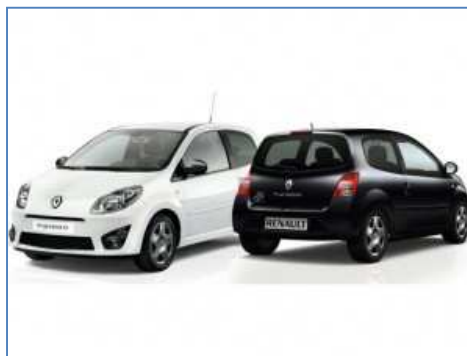


Figure II.5. Renault Twingo, fruit de l'ingénierie simultanée

✓ Exemple 2- Facom mise sur ses partenaires industriels

Dans un tout autre domaine, Facom, leader européen de l'outillage à main, a adopté lui aussi le concept d'ingénierie simultanée. Certes Facom a dû bouleverser ses procédures internes de travail, mais le gain de temps pour développer un nouveau produit et les gains de production compensent largement ce réajustement. Il existe maintenant une trentaine de groupes de projets qui travaillent chacun sur le site industriel qui produira l'outil (unité de lieu). Les contraintes sont résolues simultanément dans un esprit pluridisciplinaire, il apparaît même une certaine concurrence créatrice entre les acteurs métiers. L'exemple d'une nouvelle monture de scie est frappant ; son prix initial a été abaissé de plus de 30 % et l'outil est lancé en fabrication seulement 8 semaines après l'expression du besoin, grâce à l'interaction entre autres de designers et moulistes extérieurs.

II-4 Conclusion

Au cours des dernières décennies, les processus d'ingénierie ont radicalement évolué. Les industries sont passées d'une organisation très séquentielle et centralisée des processus d'ingénierie, à une organisation simultanée et distribuée au niveau mondial de ces mêmes processus. Tous ces bouleversements ont amené les entreprises à revoir leurs méthodes de travail et leur culture d'entreprise pour passer d'une culture conservatrice à une culture de partage. Dans ce chapitre, nous avons présenté et confronté les approches d'ingénierie séquentielle et d'ingénierie simultanée.

Par définition, l'Ingénierie Simultanée est : « une approche systématique pour la définition d'un produit consistant à prendre en compte, dès la phase initiale de conception, tous les éléments du cycle de vie du produit, de l'analyse des besoins à la fabrication et au soutien en utilisation, simultanément par tous les secteurs de l'entreprise. »

Les objectifs de l'Ingénierie Simultanée concernent la réduction des délais de développement ainsi que des coûts tout au long du cycle de vie, l'augmentation de la qualité des produits et services délivrés et enfin, une meilleure prise en compte des attentes des clients. Cette approche repose sur trois axes principaux :

- Nouvelle structuration des activités de développement,
- Prise en compte des aspects culturels, comportementaux et sociaux des futurs utilisateurs,

- Élargissement du cycle de vie des produits.

L'I.S est certes le challenge des années à venir, mais sa mise en œuvre reste difficile du fait des bouleversements internes qu'elle provoque. Pour pallier cela, il est préférable d'associer pleinement le personnel ainsi que de lui faire percevoir la nécessité du changement. Parmi les outils de l'IS, nous nous permettons de présenter les systèmes PLM, en tant qu'outils fonctionnels, les systèmes PLM ont pour but de rendre plus facile la collaboration entre logiciels experts (XAO) des différents métiers impliqués dans la conception d'un produit.

Chapitre III : Application industrielle

Chapitre III : Application industrielle

III-1- Introduction

Le milieu industriel d'aujourd'hui subit des contraintes économiques et technologiques de plus en plus sévères. La mondialisation des marchés a rendu très forte la compétition sur le coût, le délai et la qualité. Pour faire face à cette situation, les entreprises manufacturières doivent être en évolution constante afin de reconsidérer leurs méthodes d'organisation du travail, notamment les méthodes de développement et de conception de leurs produits. Les grandes entreprises dont l'activité porte sur la conception et la réalisation d'ensembles complexes ont été les premières à modifier leur structure en intégrant de nouveaux outils et l'ensemble des informations relatives au cycle de vie des produits afin d'optimiser **le triptyque " coûts - délais - qualité "**. La conception de produit mécanique assistée par ordinateur (CAO) est en pleine évolution. Conduire un projet de CAO consiste à : intégrer la CAO dans le processus global d'élaboration d'un produit (spécifier, concevoir, industrialiser, fabriquer, distribuer, recycler).

Le but poursuivi est l'intégration complète, interactive et en temps réel de tous les paramètres du projet dans le cadre de ce que l'on désigne sous le terme générique d'Ingénierie simultanée.

Dans ce chapitre notre objectif est d'appliquer la démarche d'ingénierie intégrée (dénommée également ingénierie simultanée ou ingénierie concourante) qui s'inscrit dans le cadre de la recherche d'amélioration de l'efficacité et de la productivité dans le déroulement d'un projet de conception et cela par la mise en place d'un nouveau environnement de travail nommé par le système PLM.

III-2- Présentation de l'entreprise

fiche technique du Complexe Pelles et Grues

- **Date de création** : janvier 1983
- **Capital social** : 222 Millions \$ US
- **Siège social** : BP 67, Aïn-Smara Constantine - Algérie
- **E-MAIL** : info@enmtp.com
- **Effectif** : 2300 agents
- **Chiffre d'affaires** : 96 millions \$ US (2010)
- **Production** : Pelles, Grues hydrauliques, Chargeurs, Bulldozers, Compacteurs, Compresseurs, Matériels à Béton
- **Infrastructures** : 5 filiales de production et 4 unités Commerciales couvrant tout le territoire national.



L'ENMTP gère un important potentiel industriel d'un effectif de 2300 employés qui a généré un chiffre d'affaires de près de 96 millions \$ US en 2010 et qui envisage, pour l'an 2011, un chiffre d'affaires de 103 millions de \$ US pour un effectif de 2300 employés. Ce potentiel est organisé autour des principaux métiers de la mécanique et des familles de produit:

- Matériels de Travaux Publics (Pelles, Grues, Chargeurs, Bulldozers ...)
- Compacteurs et Compresseurs
- Matériels à Béton

Le complexe, dans sa stratégie de réorganisation, accorde une place prépondérante au partenariat avec des opérateurs internes et externes, quel que soit leur statut juridique, l'essentiel étant que la formule retenue serve au mieux les objectifs recherchés:

- Développement de produits compétitifs
- Circuit de distribution, notamment en international
- Apport d'un savoir-faire technologique

Partenariat

Favoriser et encourager le partenariat à travers notamment la filialisation, afin de :

- Mettre à niveau la qualité des produits et les procédés de fabrication
- Développer de nouveaux produits dans les secteurs compétitifs
- Réhabiliter et moderniser l'outil de production

Sous-traitance

Favoriser le développement de la sous-traitance par des mesures incitatives, en l'intégrant comme priorité. Cette sous-traitance concerne:

- L'usinage
- La mécano-soudure
- Le traitement thermique

Domaine d'activité

L'ENMTP est spécialisée dans le développement de tout processus de fabrication et distribution entrant dans la filière travaux publics de l'industrie mécanique L'activité actuelle porte sur la conception, la production et la commercialisation de matériels de terrassement, de levage, de manutention et de compactage, ainsi que sur les matériels pour air comprimé et enrobés; et ceux pour la préparation de béton et autres matériaux.

L'ENMTP travaille sous les licences de marques internationales reconnues:

- **LIEBHERR** (Europe) pour les pelles et grues
- **CNH** (Europe) pour les chargeurs sur pneus
- **LIEBHERR** (Europe) pour les bulldozers et chargeurs
- **INGERSOLL RAND CIE** (USA) dans le domaine du compresseur et compacteur
- **POTAIN** (France) pour la fabrication de grues de bâtiment

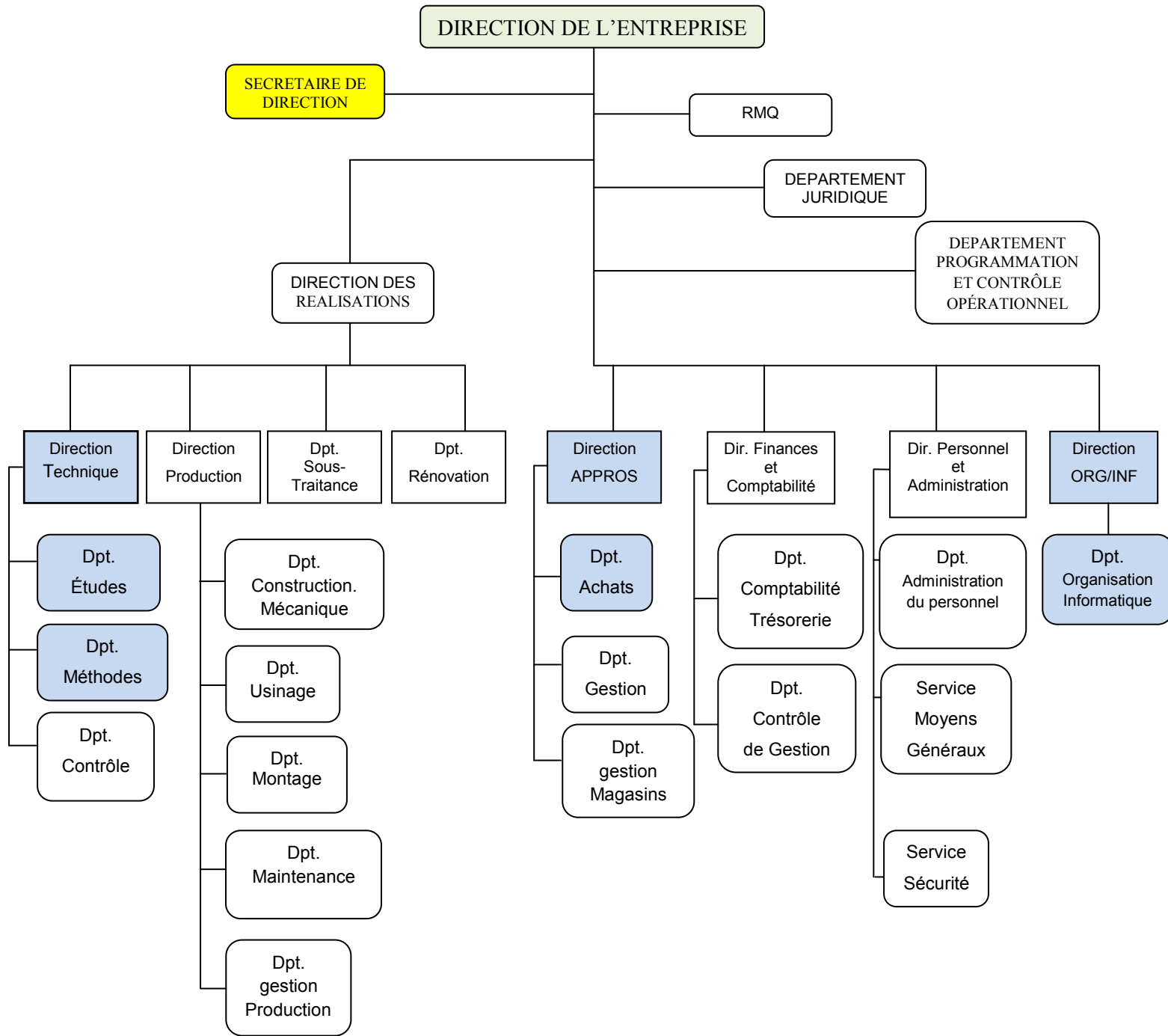
Potentiel productif :

Le potentiel industriel de L'ENMTP est considéré comme l'un des plus importants d'Afrique. Il est structuré selon une spécialisation par lignes de produits, chaque unité disposant de la plus grande autonomie industrielle. Le taux d'intégration moyen des engins produits est estimé à l'heure actuelle à 70%.

Les unités de production de L'ENMTP sont les suivantes :

- La filiale Pelles et Grues- SOMATEL- (CONSTANTINE)
- La filiale Fabrication mécanique (SOFAME)
- La filiale Rétro chargeur (SOFAR) (CONSTANTINE)
- La filiale Compresseurs (SOFACO)
- La filiale grues bâtiment et compacteurs FAGECO (BEJAIA)
- La filiale SOMABE pour le matériel à Béton (ALGER)

✚ Organigramme de l'entreprise :



III-3- Présentation de la procédure de conception et développement utilisée au CPG

Cette procédure a pour objet de décrire l'ensemble des étapes à suivre pour assurer une conception et/ou un développement qui satisfont aux exigences du produit. Elle s'applique à l'ensemble des travaux de conception et /ou développement réalisés par les structures du complexe. Voir l'Annexe 2b.

Les principales phases de cette procédure de conception utilisées au CPG, sont représentées dans la figure suivante (**figure III-1**) :

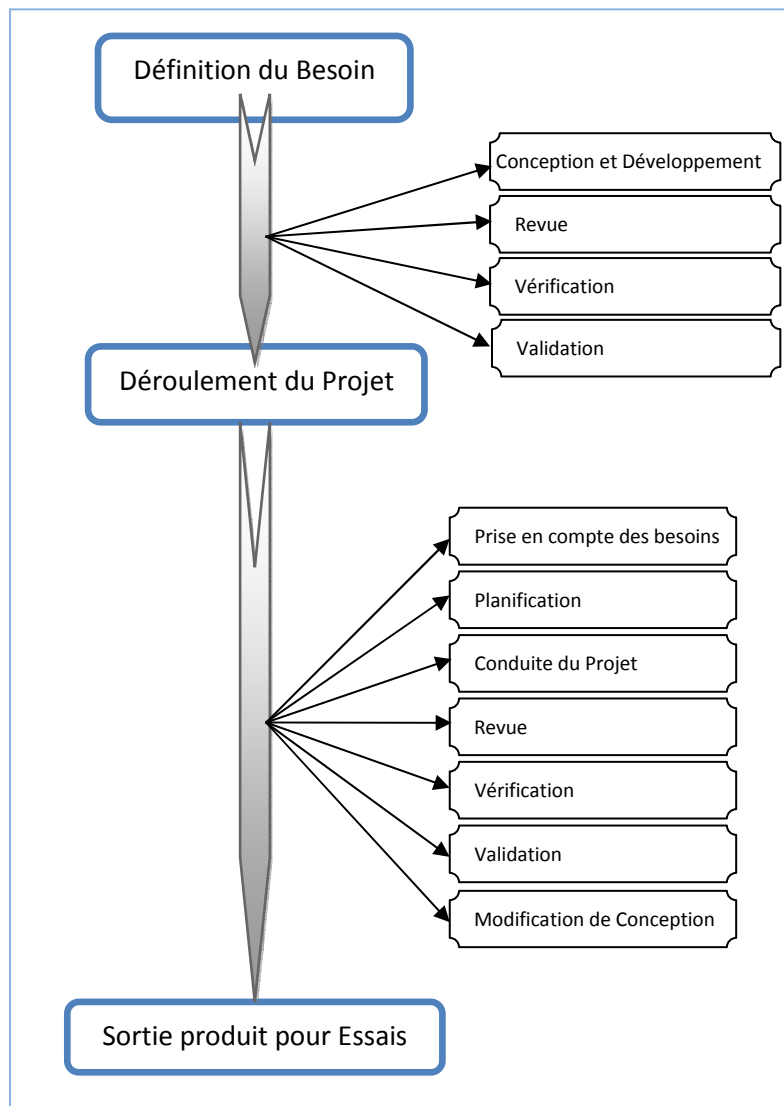


Figure III-1 procédure de conception et développement d'un produit du CPG

La procédure de conception de nouveau produit ou de nouveau projet établi par le complexe (CPG) consiste à préparer une fiche avant projet pour l'étude et l'approbation de ce nouveau produit à concevoir voir Annexe 2a. Pour notre cas d'étude, on a choisie un projet qui se voit intéressant par le CPG. Il consiste en l'adaptation du nouveau moteur refroidi à eau du fournisseur DEUTZ sur le chargeur 2320.

III-4- Présentation de notre Démarche de conception simultanée du produit

- **Nécessité d'une démarche de conception à adapter au contexte du projet**

Aujourd'hui, la démarche de conception n'est plus une démarche isolée. Elle doit s'intégrer dans un concept d'ingénierie simultanée qui nous oblige à mener tout projet avec une équipe pluridisciplinaire (marketer, designer, ergonomes, qualificateur, technologue, ...). Ce concept est indispensable au développement de produits de plus en plus complexes car répondant à une image de marque d'entreprise, à un marché de plus en plus concurrentiel et à un besoin client que l'on ne peut plus ignorer dans la démarche de conception.

III-4-1- La démarche proposée

On a focalisé notre recherche dans le domaine manufacturier et non pas des entreprises de service. L'objectif principal est de concevoir des produits de qualité dans des délais limités. Notre démarche s'appuie sur le développement d'applications logicielles pour la gestion du cycle de vie du produit (PLM) avec l'intégration de connaissance et du savoir-faire de l'entreprise.

Satisfaire le client revient à lui proposer au meilleur coût et dans un court délai des produits de qualité. Cette dernière, doit être visée dès les premières phases de conception du produit en partant d'une idée provenant d'une exigence du client (EC) pour aboutir à un produit ou service répondant à ses attentes. L'entreprise doit donc s'orienter client.

Cette disposition d'esprit est illustrée comme méthodologie de conception QFD évoqué dans le premier chapitre (§ 1). Le QFD (Figure III.2) est un processus systématique qui aide à identifier les besoins du client, les déployer dans toutes fonctions et activités de l'organisation.

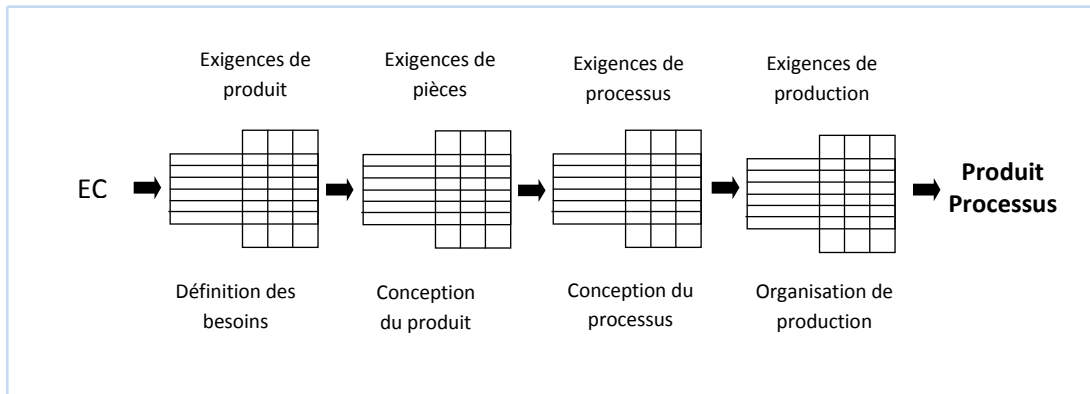


Figure III.2 : Déploiement de la fonction qualité

Les avantages du QFD dans un programme de conception de produit sont :

1. Assurer la qualité du produit et la qualité du processus;
2. Réduction des délais par la réduction de la reprise et l'engagement de l'équipe;
3. La satisfaction du client par : la bonne écoute du client (EC), la conception robuste, le **Benchmarking concurrentiel** (technique de marketing), l'assurance qualité, et l'amélioration de la fiabilité ;
4. La réduction des coûts par le Benchmarking et les approches de la conception robuste ;
5. La variété et la flexibilité contre les états changeants du marché par la stratégie du produit, la technologie robuste, l'écoute client, et la communication efficace.

En se basant sur cette orientation client, nous proposons notre approche de conception simultanée ou d'ingénierie simultanée présentée dans le (chapitre II) comme modèle pour concevoir le produit. Les phases désignées par la (**figure II.2**) [Illustration simplifiée du processus de développement et de conception de produits] sont présentées sous forme de phases simultanées qui répondent à notre contribution (**figure III.3**).

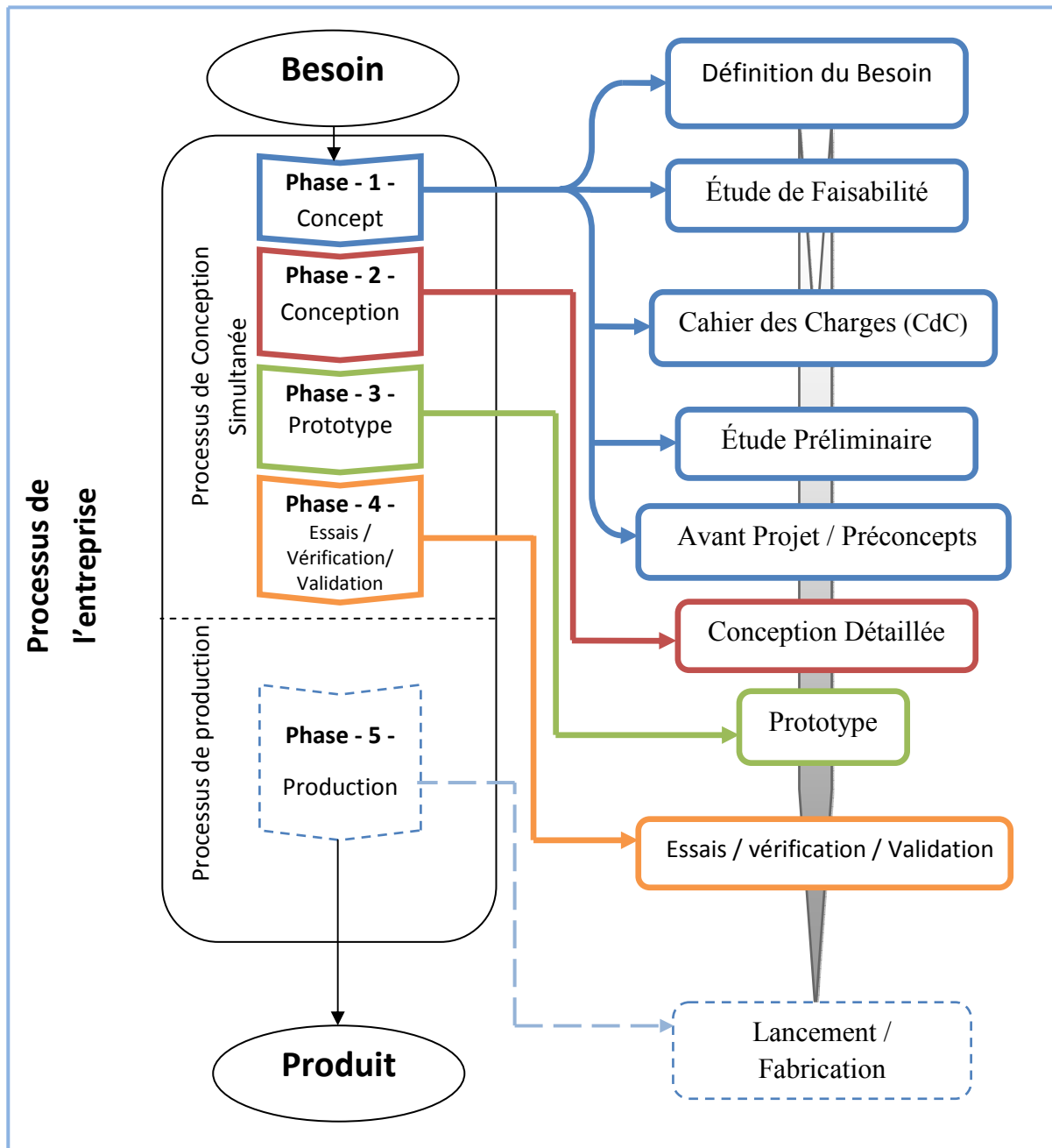


Figure III.3- Illustration du processus de conception simultanée du produit à étudier

Les différentes phases de ce PCP seront détaillées comme suit :

III-4-1-1- Phase 1 : Élaboration du concept :

a)- Définition des caractéristiques du produit : Définition du Besoin

Les caractéristiques du produit représentent les descriptions techniques qui définissent le produit et qui sont prévues à être réalisées dans le nouveau produit. Ces

caractéristiques ou exigences techniques seront développées (par segment, fonction, coût, etc.), organisées (par priorité, fonction, etc.) et corrélées avec les attentes de la clientèle dans cette phase de concept.

b)- Étude de faisabilité & sélection du concept

L'étude de faisabilité est une étape conditionnelle donnant le feu vert à la continuité du projet de conception tout en respectant les orientations stratégiques, les aspects de faisabilité technique et managériale. Elle permet d'envisager la problématique du projet et de juger de ses chances de réussite ou d'échec. Il s'agit d'une étape d'analyse qui porte sur les techniques et les missions du projet, le coût approximatif avec une marge éventuelle, la capacité du processus de fabrication et du personnel et les délais probables.

c)- Élaboration du cahier de charges

Le cahier de charges est un document contractuel qui doit apporter l'ensemble des informations pertinentes permettant au concepteur de spécifier et proposer une ou plusieurs architectures correspondant aux besoins clients. L'étape d'élaboration du cahier de charges représente l'étape initiale du processus de développement d'un produit. Au cours de cette étape, dite aussi phase fonctionnelle, la tâche du concepteur consiste d'une part, à récolter et analyser les besoins des clients ou du marché et d'autre part, à identifier les capacités de l'entreprise pour y répondre à travers une proposition produit. Le résultat final de cette étape est une spécification initiale du produit exprimée sous forme d'une liste de fonctions et de caractéristiques que doit remplir le produit, un ensemble de contraintes et éventuellement des objectifs coût et délai de mise sur le marché. Cette étape correspond aux deux phases « *identification du besoin* » et « *génération des spécifications* ».

d)- l'étude préliminaire

Il s'agit d'une phase d'analyse de la situation et de synthèse puisqu'elle permet d'aboutir à la définition d'un concept qui est le besoin du client.

e)- Avant Projet / Préconception

L'objectif de la phase de pré-conception ou d'avant projet est de proposer et d'optimiser les choix en termes de performances, de coûts et de planning avec comme objectif de satisfaire les exigences. Ceci doit être réalisé à un niveau assez détaillé pour limiter les

risques et pour permettre un engagement des différents acteurs sur les performances, les coûts et le planning. Cette phase se termine par l'édition des documents suivants :

- Un document de Spécification Technique qui est un engagement sur les performances, mais sans solutions techniques,
- Un document qui positionne les solutions techniques vis-à-vis des exigences,
- Un document préliminaire sur les limitations fonctionnelles de l'appareil,
- Un document sur le planning du projet avec la liste des activités, l'organisation, les jalons, les coûts et les risques.

III-4-1-2- Phase 2 : Conception du produit :

Dans cette phase, le concept élaboré pendant la phase de concept est décrit comme faisable et sera développé.

En réalité, cette phase se traduit souvent par la réalisation d'un prototype physique [Gero, 2001] qui sera utilisé pour une réalisation des essais et pour la validation avec le client. En fait, des tâches de vérification et validation des résultats sont nécessaires tout au long du processus de conception. Elles permettent en effet de confirmer si le produit répond bien aux exigences et spécifications du cahier de charges.

Toutefois, suite aux délais et aux coûts engendrés par la réalisation de prototypes et d'essais physiques, le maquettage physique est, le plus possible, remplacés par du maquettage et des simulations numériques ou des calculs. Ceci est rendu possible par l'amélioration des outils de CAO (3D, images de synthèse, applicatifs métier ...), de simulation et de calculs.

III-4-1-3- Phase 3 : Construction du prototype :

Cette phase concerne la construction des premiers prototypes à partir des schémas de conception, l'assemblage de prototypes, la vérification de la conception d'outillage de production, et la résolution des problèmes de production. La correction des prototypes par des approches efficace parmi lesquelles : l'audit du composant, de fonctionnalité, et le contrôle de robustesse.

Objectifs :

- Matérialiser le produit
- Tester, analyser et valider la solution retenue
- Vérifier que le produit respecte les spécifications dont l'environnement

III-4-1-4- Phase 4 : Essais, vérification & validation :

- **Essais** : Dans cette phase, le produit doit faire face tous les essais nécessaire pour démontrer sa capabilité tout en alternant entre cette phase et la phase de construction du prototype et de conception. Dans cette phase l'équipe doit utiliser une méthodologie stricte pour réaliser les essais, les vérifications et la validation.

- Vérification & Validation :

La vérification comprend les Tests de Vérification de la robustesse du Système et la comparaison entre robustesse concurrentielle et robustesse réalisée pendant la phase de conception. La **Validation** consiste à s'assurer que l'implantation de chacune des spécifications du système est testée et qu'il est prêt à être livrée, cette phase inclut aussi le marketing, la production, le financement, la maintenance.

III-4-1-5- Phase 5 : Processus de production :

Après avoir compléter la phase de conception, le travail ce focalise sur la mis en production de la nouvelle conception, cette phase comprend le passage au mode opérationnel par le lancement et la fabrication du produit.

III-4-2- Exemple pour un processus de conception simultanée d'un produit (cas d'étude : Radiateur pour moteur DEUTZ (TD/TCD 2012/L04/ 2V/m), monté sur le chargeur 2320)**III-4-2-1- Étude de l'existant**

L'élément déclencheur de ce projet est le fournisseur des moteurs DEUTZ (Allemagne) qui a développé dans son usine une nouvelle conception de ses moteurs, donc une nouvelle adaptation de ces moteurs sur les engins fabriqués au CPG. Le fournisseur DEUTZ demande au CPG d'aide à la conception d'un Radiateur adapté au nouveau moteur avec ses nouvelles dimensions.

L'entreprise s'engage à abandonner les moteurs conventionnels et les remplacer par des moteurs à gestion électronique respectant les nouvelles règles de l'environnement, sachant que les concurrents utilisent les moteurs refroidis à eau, à gestion électronique.

Les moteurs diesel DEUTZ sont le produit de longues années de recherche et d'un développement continu. Le solide savoir-faire ainsi acquis est la garantie de fabrication de moteurs à longue durée de vie, haute fiabilité et faible consommation de carburant.

Il va de soi que ces moteurs doivent également satisfaire aux sévères exigences existant en matière de protection de l'environnement.

La référence du moteur est : TCD 2012 L04/2V/m, BF4M2012C

Sigle	Désignation
T	Turbocompresseur à gaz d'échappement
C	Refroidisseur d'air d'admission
D	Diesel
2012	Série
L04	L : en ligne + 04 : Nombre de cylindres
2V	Nombre de soupapes
m	Système d'injection mécanique Pompe-Conduite-Injecteur

➤ Système de refroidissement moteur

Les moteurs diesel DEUTZ des séries BFM2012C sont des moteurs à refroidissement par fluide réfrigérant. Ce liquide de refroidissement est de l'eau traitée renfermant des additifs de protection contre la corrosion, la cavitation et le gel. La chaleur engendrée par la combustion du moteur diesel est absorbée par le fluide réfrigérant et évacuée dans l'ambiance par un radiateur.

➤ Disposition du système de refroidissement

Sur les séries de moteurs BFM2012/2013C, il n'existe que des radiateurs à disposition Séparée (également appelé radiateur à fluide moteur MFK).

Le schéma du circuit de refroidissement d'un moteur TCD 2012 L06/2V/m est présentée sur la (figure III-4).

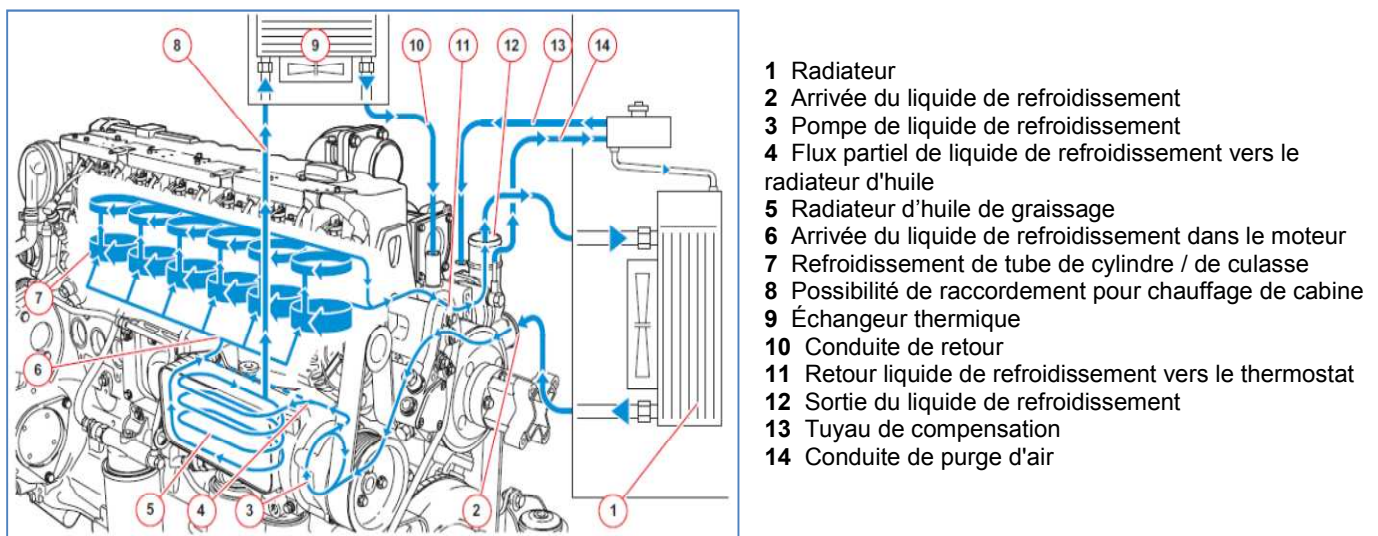


Figure III.4 : schéma du circuit de refroidissement

➤ **Principe de Fonctionnement du radiateur de refroidissement**

Le radiateur refroidit le liquide de refroidissement qui a été chauffé dans les passages d'eau du bloc moteur. Le radiateur se compose d'une boîte à eau supérieure, d'une boîte à eau inférieure, et entre ces deux boîtes à eau, d'un faisceau de tubes. Le liquide de refroidissement arrive dans la boîte à eau supérieure par la durite supérieure, cette boîte à eau supérieure comporte également un bouchon qui permet de faire l'appoint du liquide de refroidissement. Cette boîte à eau est également reliée, par une tuyauterie souple, à un vase d'expansion où le liquide de refroidissement en excédent est récupéré. La boîte à eau inférieure comporte une sortie et un bouchon de vidange. Voir (**figure III-5**).

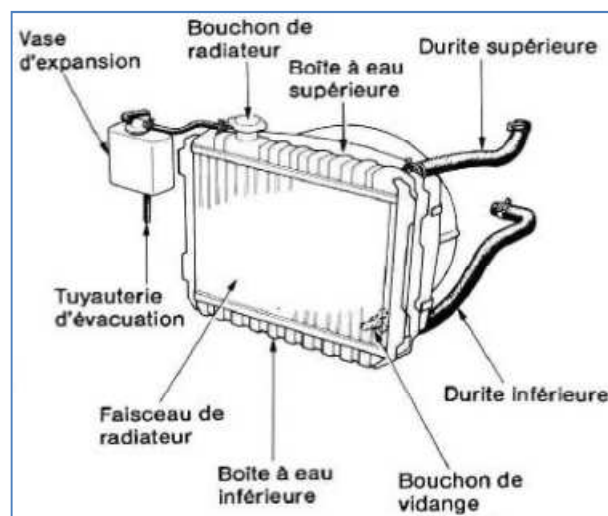


Figure III.5 : Vue générale d'un Radiateur

Le faisceau de radiateur se compose d'un grand nombre de tubes à l'intérieur desquels s'écoule le liquide de refroidissement entre la boîte à eau supérieure et la boîte à eau inférieure. Entre ces tubes est disposé un ailetage, les calories sont transmises par le liquide de refroidissement à cet ailetage, lui-même refroidi par le passage de l'air que provoque l'action du ventilateur et le déplacement du véhicule. Voir (**figure III-6**).



Figure III.6 : faisceau d'un Radiateur

Début du Projet :

Des écrits entre le fournisseur et le complexe CPG commence par l'envoi des dimensions du nouveau moteur par des schémas, des illustrations et des modèle CAO.

La figure représentée en **Annexe 1 (Figure.1)**, indique ce que le fournisseur avait proposé à l'entreprise comme aide pour la conception du Radiateur.

Sur l'illustration (**Figure.2**), nous présentant le Radiateur conçu par le bureau de méthode de l'entreprise selon les dimensions réelles du châssis ou il va être placé.

(Dimensions du radiateur: hauteur:728mm, largeur:805mm, profondeur:389-400mm, Débit de la boite : Q=85L/min).

Le projet a commencé au mois de Janvier 2010, consiste à remplacer le système de refroidissement du moteur DEUTZ par un nouveau système « Radiateur ».

La durée de réalisation du projet est de **73.89 semaines** (554 jours environ 18 mois avec la soustraction des 2 mois du congé annuel). Les ingénieurs utilisent Excel comme outil de planification du projet, le travail de conception est mal organisé avec du matérielles inadaptés, la communication avec le fournisseur est faite par courrier et par téléphone et prend beaucoup de temps.

On a remarqué au début de ce projet que les ingénieurs qui s'occupent du planning ne maitrisent pas les outils de planifications des différentes tâches du projet, par exemple l'utilisation de l'outil Excel, qui est plus ou moins destiné aux calculs. Nous avons remarqué aussi l'absence des membres du projet lors des réunions et surtout pour l'affectation des tâches à réalisées ; manque de responsabilité. Concernant les dates et l'affectation des ressources pour le projet, on a trouvé, une incohérence entre les tâches à exécuter.

III-4-2-2- Un nouveau environnement de travail « Mise en place d'un système PLM »

L'hors de l'étude du projet, on a constaté la nécessité d'utiliser ou d'exploiter une nouvelle méthode de travail. Elle consiste à regrouper les acteurs travaillant sur le projet simultanément d'une manière à le rendre plus rapide et plus cohérent. Pour cela nous avons proposé d'utiliser un système de travail collaboratif nommé par le système PLM (Product Life Cycle Management-Cycle de vie d'un produit) issue de l'ingénierie simultanée.

Le système PLM (Product Life Cycle Management) permet de gérer d'une manière optimale le cycle de vie d'un produit en assurant la traçabilité de tous les documents :

- la première étape consiste à homogénéiser le travail, en installant un outil CAO « Solidworks » commun à tous les bureaux d'études en se basant sur les données numériques qui permettent de ranger dans un espace commun les différents outils nécessaires aux concepteurs, mais également de faire des simulations (calculs d'efforts, de structure,...).
- La deuxième étape consiste à intégrer un logiciel de conduite de projet plus adéquat, représenté par Ms Project de Microsoft Office.

En premier lieu, nous allons parler de l'outil Ms Project ; c'est un outil adéquat pour la conduite du projet, et plus développé que le tableur Excel. Sachant qu'un nombre de l'équipe ont profités d'y participé à une formation au niveau de l'université de Constantine pour l'utilisation de cet outil. Cet outil, nous a aidé à bien organiser le projet et nous a fourni une représentation schématique des différentes phases avec des dates bien précises donnant une vision plus claire sur l'ensemble des opérations de ce projet.

a)- Utilisation de Ms Project comme outil de gestion de projet

Pour donner une présentation générale du logiciel Ms Project, il faut avant tout, donner quelques notions sur la gestion des projets :

Notions fondamentales de la gestion de projet

1- Définir un projet :

Un projet est une démarche spécifique qui permet de structurer méthodiquement et progressivement une réalité à venir. Un projet est défini et mis en œuvre pour répondre aux besoins d'un client. Il implique un objectif, répond à des besoins et des contraintes avec des ressources données.

Le projet est composé de plusieurs tâches reliées entre elles. Ces tâches sont définies en durée, en ressources nécessaires, en coût et en contraintes (ex : suit la tâche N° ou précède la tâche N°).

2- la gestion de projet

La gestion de projet ou conduite de projet est une démarche visant à structurer, assurer et optimiser le bon déroulement d'un projet. Gérer et animer un projet, être **chef de projet**

c'est d'abord savoir en négocier l'objectif mais aussi mettre en œuvre les compétences et outils de l'analyse fonctionnelle, de planification (**WBS, OBS, matrice RACI, PERT, Gantt**), gérer un budget, maîtriser des risques, animer et motiver une équipe-projet.

2-1- Diagramme de Gantt :

Le diagramme de Gantt est un outil de planification de tâches nécessaires à la réalisation d'un projet. Développé et popularisé autour de 1910 par Henry L. Gantt, cet outil est utilisé pour modéliser et visualiser facilement la planification des tâches d'un projet donné. Le diagramme de Gantt est très utilisé par les chefs de projet quelque soit leur secteur d'activité.

Le diagramme de Gantt permet :

- De visualiser l'avancement des tâches d'un projet de manière simple et concise
- De planifier ses besoins en ressources humaines, matérielles
- D'aider dans la construction du budget projet
- Suivre les coûts de projet : consommation de ressources humaines J/h, équipement...
- De communiquer simplement sur l'avancement du projet.

3- Introduire un planning sur MS Project :

Microsoft Project (ou **MS Project** ou **MSP**) est un logiciel de gestion de projets édité par Microsoft. Il permet aux chefs de projet et aux planificateurs de planifier et piloter les projets, de gérer les ressources et le budget, ainsi que d'analyser et communiquer les données des projets.

Utilisé aujourd'hui (2011) par plus de 20 millions de chefs de projet, Microsoft Project est le logiciel de gestion de projet le plus utilisé au monde. Plus de 10 000 entreprises ont aussi déployé la version serveur de Microsoft Project, nommée Microsoft Project Server.

3-1- Mise en place d'un projet sur MS Project :

Considérer qu'il existe deux phases dans la gestion d'un planning : une phase prévisionnelle durant laquelle on ordonnance et on hiérarchise les tâches qui concourent à la réalisation du projet, on prévoit et on évalue toutes les informations les concernant (délais, ressources...prévisions d'autant meilleures qu'elles sont le plus juste possible), puis une seconde phase dite de " suivi " des activités, pendant laquelle on observe les décalages éventuels qui peuvent survenir entre ce qui a été prévu et ce qui est effectivement réalisé.

- **Paramétrage du projet**

Avant toute opération, il convient de paramétrer les options du logiciel : menu Outils/options. Dans ce cas présent, 3 onglets sont importants :

- * *l'onglet " prévisions "*

Il permet de choisir l'option qui configure le type des tâches. Les tâches exigent soit un temps déterminé (durée fixe), soit une quantité de ressources spécifiques (capacité fixe), soit un volume de travail défini (Travail fixe).

Dans le premier cas, la charge des ressources n'a pas d'incidence sur la durée de la tâche, alors que dans le second cas, la charge affectée à la ressource (plein temps, mi-temps...) détermine la durée ; la tâche est alors pilotée par l'effort.

- * *l'onglet " calendrier "*

Il permet de déterminer le nombre d'heures, de jours et de mois travaillés dans l'année. Il prend donc en compte les vacances.(Figure.III-8).

1. Dans le menu Projet, cliquez sur **Informations sur le projet**.

- Date de début

C'est la date au plus tôt à laquelle peut commencer le projet

- Date de fin

C'est la date au plus tard à laquelle peut finir le projet

- Date actuelle

C'est la date du jour présent

- Date d'état

C'est la date à laquelle correspondent les données d'avancement que vous avez entrées (pour l'instant on laisse la date du jour, on verra ça plus tard...)

- Calendrier

On choisira le calendrier juste après dans un autre affichage

- Prévisions à partir de : C'est un choix important dans votre projet. Si vous avez une date de livraison à respecter, pensez bien sûr à la *Date de fin du projet*. Si par contre ce projet doit tourner en tâche de fond avec peu de pression sur la date de fin, choisissez la *Date de début du projet*.

Informations sur le projet pour 'adaptation du moteur Deutz sur le chargeur 2320'

Date de début : Dim 03/01/10 | Date actuelle : Mar 06/12/11
 Date de fin : Mer 17/06/11 | Date d'état : NC
 Prévisions à partir de : Date de début du projet | Calendrier : Standard
 Toutes les tâches commencent le plus tôt possible. | Priorité : 500

Champs personnalisés d'entreprise

Service : []

Nom de champ personnalisé	Valeur

Aide | Statistiques... | OK | Annuler

Figure III-7. Information sur le projet

Calendrier de base

Chaque entreprise décrète ses horaires et jours d'ouverture. Ce sont eux qui vont définir le calendrier de base. Nous allons commencer par créer ce calendrier. *Outils -> modifier le temps de travail.* (Figure III-9).

Modifier le temps de travail

Pour le calendrier : Standard (Calendrier du projet) | Créer un nouveau calendrier ...

Le calendrier « Standard » est un calendrier de base.

Légende : Cliquez sur un jour pour afficher son temps de travail :

Ouvré
 Chômé

31 Heures ouvrées modifiées
 Dans ce calendrier :
 31 Jour exception
 31 Semaine travail non par défaut

Décembre 2011

D	L	Ma	Me	J	V	S
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

Heures de travail du 06 Décembre
 • 07:30 à 11:30
 • 12:00 à 15:30

Basé sur :
 Semaine de travail par défaut dans le calendrier « Standard ».

Exceptions | Semaines de travail

Nom	Début	Fin
1 [Sans nom]	25/02/2010	25/02/2010
2 [Sans nom]	05/07/2010	05/07/2010
3 [Sans nom]	01/08/2010	31/08/2010
4 [Sans nom]	09/09/2010	09/09/2010
5 [Sans nom]	01/11/2010	01/11/2010
6 [Sans nom]	17/11/2010	18/11/2010

Détails... | Supprimer

Aide | Options... | OK | Annuler

Figure.III.8. Calendrier de travail

On demande donc la création d'un nouveau calendrier que l'on nomme par exemple « entreprise ». On y définit les horaires d'ouverture.

On renseigne alors en sélectionnant un ou plusieurs jours les horaires correspondant.

3-2- Définir les propriétés de fichier d'un projet

On introduit les informations telles que le type de tâche, sa valeur, ...

Saisir les tâches

Sur la table de Gantt, on introduit les noms des différentes tâches. (Figure.III.10).

	Nom de la tâche	Durée	30 Sep 96							07 Oct 96							14 Oct 96							
			S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
1	Première Saisie																							
2																								

Figure.III.9.Saisir une tâche.

Affecter une durée à une tâche

C'est la période de temps que vous estimez nécessaire à l'achèvement de cette tâche. Cette valeur représente par défaut un nombre de jours.

Des informations beaucoup plus générales en cohérence avec le calendrier de l'entreprise précédemment défini, s'ajoutent comme option du projet. (Figure. III-11).

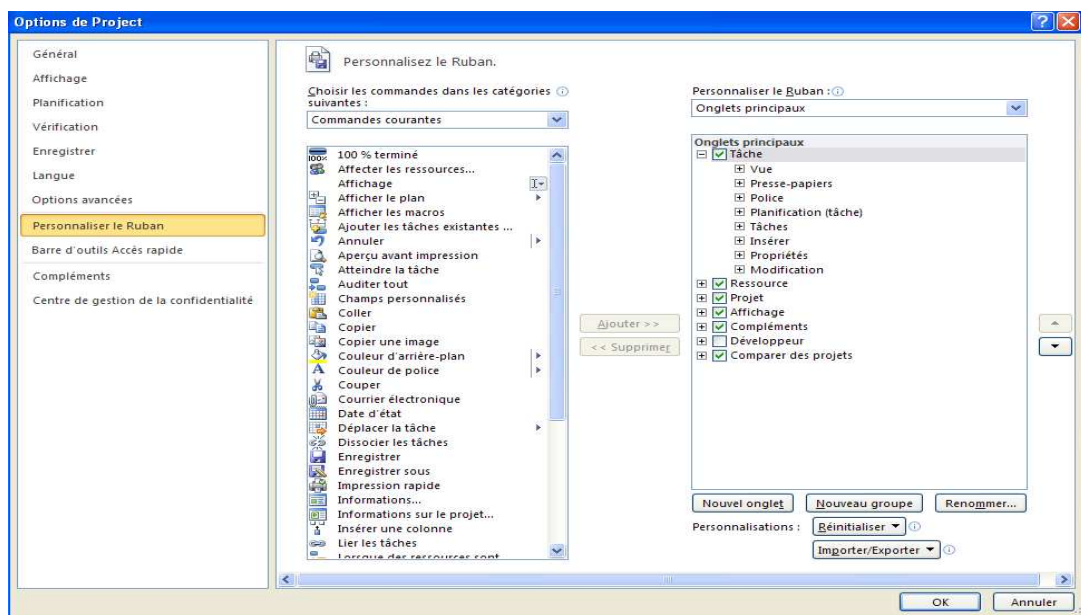


Figure.III.10. Option de Project.

Si l'on compare **Project** à **Excel** comme outil de suivi de projet, l'avantage va certainement à Ms Project. Avec ce dernier, nous avons la possibilité de lier les différentes tâches entre elles et si l'une d'entre elles prend du retard, ce délai est reporté sur toutes les autres et la date de fin du projet sera automatiquement mise à jour. (Figure III.12)

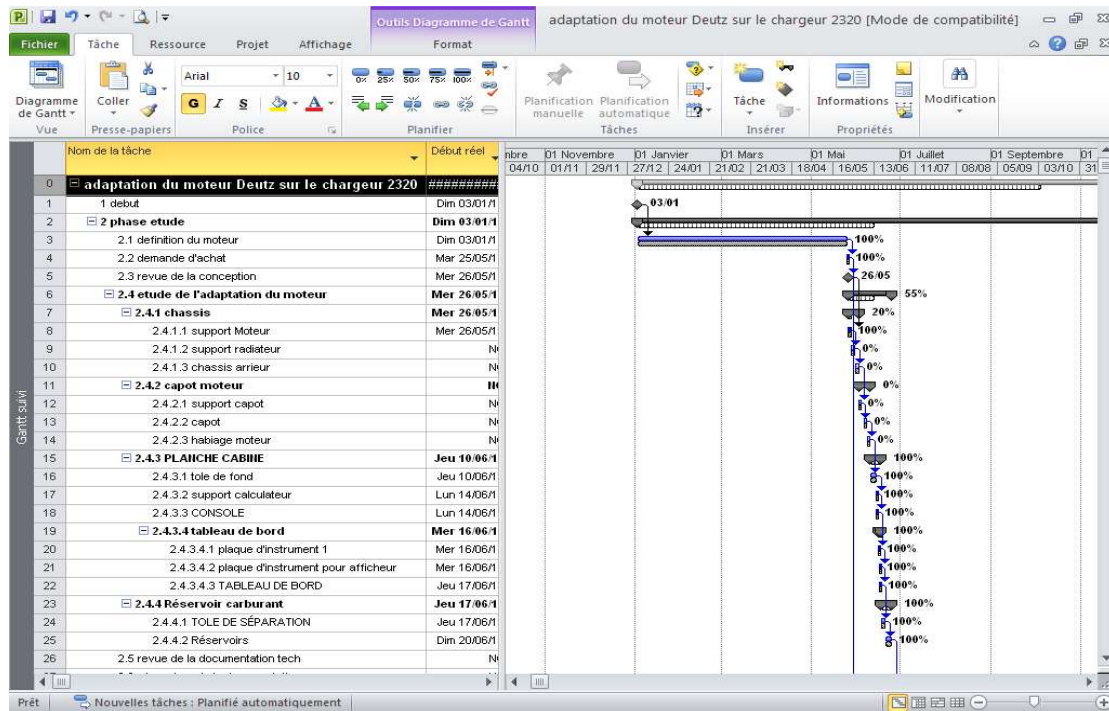


Figure III.11 : Planning Prévisionnel du processus de conception du projet sur MS-PROJECT

Le critère évoqué pour l'étude de notre projet est le **temps**. On s'appuie donc sur l'analyse de la phase 2 (Étude) qui représente le plus grand pourcentage du temps global du projet et aussi la phase d'achat où le fournisseur n'arrive pas à fournir le moteur prototype dans les délais.

b)- Utilisation d'un logiciel CAO « Solidworks » pour la conception du Radiateur

Dans cette phase, le document « Avant Projet » élaboré pendant la phase de concept et décrit comme faisable et sera développé. Le concepteur a la charge de définir complètement et de manière détaillée chaque composant sélectionné, de valider en spécifiant les dimensions, les caractéristiques physiques (matériaux), les schémas et les plans détaillés.

Sur le marché, il existe plusieurs solutions logicielles de conception assistée par ordinateur (CAO) ; exemple: Catia V6 PLM, SolidWorks, TopSolid, Power-Shape, etc. Notre choix s'est porté sur SolidWorks car ce logiciel concentre différents avantages, liés notamment à sa relative simplicité d'utilisation. Voici l'environnement de travail de solidworks (**figure III-13**) :

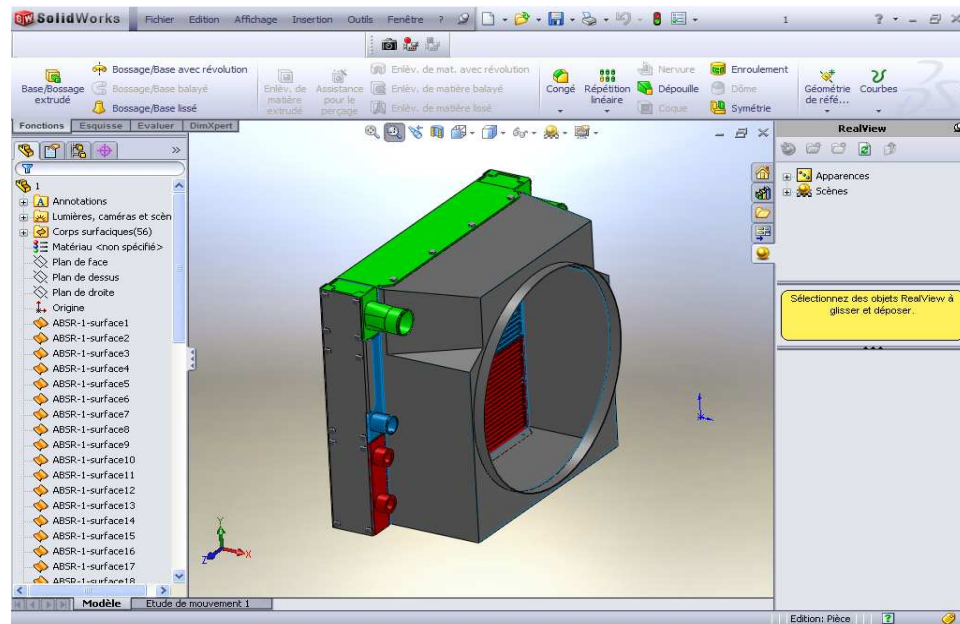


Figure III.12 : Environnement de travail du logiciel SolidWorks.

L'assemblage des pièces du radiateur est réalisé sur SolidWorks.

Il faut prendre en compte les limites techniques d'utilisation des PLM. Vu la taille du complexe (CPG), la mise en place d'un tel système PLM, nécessite une plateforme matérielle sophistiquée en matière de PC, cela pour un bon fonctionnement du système d'information partagé.

III-5- Conclusion

La richesse et l'efficacité des recherches en productique ont permis de mettre au point un grand nombre d'outils utiles au concepteur pour appréhender les différentes phases de son projet. La question n'est donc plus maintenant de savoir si les outils existent mais concerne plutôt la bonne utilisation de ceux-ci.

L'intérêt de cette partie est de prouver qu'une interconnexion entre ces outils peut être trouvée dès les premières phases de la création du produit permettant ainsi de réduire les temps de conception par une exploitation plus judicieuse des données provenant des outils à la disposition des concepteurs.

Les techniques utilisées et les objectifs à remplir, comme par exemple la mise en place d'un système PLM issue de l'ingénierie simultanée qui nous permet d'étudier le processus de conception selon une division en trois champs : la conception, l'intégration et la communication.

Conclusion Générale

Travailler en équipe a toujours été la clé de toute réussite. L'apparition des outils informatiques, surtout les outils XAO, ont permis l'application de ce principe dans l'entreprise en général.

Face aux difficultés de coopération souvent rencontrées entre les différents acteurs métier impliqués dans un projet de conception, nous avons proposé une démarche qui s'appuie sur la mise en œuvre d'une conception simultanée. Cette démarche est basée sur un modèle de données de conception pluridisciplinaire, regroupant des domaines de conception, pouvant elles-mêmes être enrichies à l'aide de documents numériques (documents bureautiques, CAO, etc.). L'intérêt de notre approche est de favoriser une démarche de conception simultanée dans le contexte de l'IS par :

- Une réelle circulation des informations conduisant à une meilleure implication des différents acteurs métier, même lorsqu'ils travaillent à partir de sites distants, et permettant ainsi une réduction des délais et des coûts de conception ;
- Une meilleure traçabilité des activités de conception effectuées dans le projet, et en particulier des opérations effectuées sur les documents numériques ;

Cependant une telle approche ne s'effectue pas sans quelques difficultés, dans la mesure où elle s'accompagne de nombreux changements au sein de l'entreprise tant du point de vue technique qu'organisationnel. En ce qui concerne les aspects organisationnels, il s'agit par exemple des problèmes classiques liés à la mise en œuvre d'une organisation d'ingénierie simultanée, impliquant plusieurs métiers : large partage de l'information au sein du projet, responsabilisation de chacun des acteurs, suivi d'indicateurs de type qualité, coûts, délais, etc. Concernant les aspects plus techniques on peut évoquer, à titre d'exemple, les problèmes de version de documents liés au manque de compatibilité entre les différentes mises à jour du même logiciel et aussi les problèmes de communication des différents acteurs travaillant au même projet. Ces différentes difficultés ouvrent des perspectives de recherche intéressantes. Il s'agit par exemple : – de l'intérêt de rendre les outils développés plus réactifs en les dotant d'agents assistants réactifs et communicants permettant, par exemple, de prévenir les acteurs du projet en cas de retard sur certaines données, ou de les conseiller sur la base d'une comparaison effectuée entre plusieurs données, ou encore de se concerter entre agents assistants en vue de réaliser des actions communes, pour cela nous prétendant de proposer une mise en place un système PLM qui

est un support aidant à l'innovation collaborative. Il centralise les outils permettant de capter les idées, de gérer les données, de diffuser les bonnes informations au bon moment dans des environnements hétérogènes. Le PLM est un accélérateur de développement des produits, notamment avec les méthodes de concurrent engineering. Malgré une implémentation d'outils et de méthodes efficaces, L'homme est au cœur du PLM, il est le facteur déterminant dans la réussite de développements collaboratifs. Le collaborateur doit s'ouvrir et offrir ces connaissances au collectif, tout en profitant du savoir commun pour monter en compétence.

Finalement, notre modeste contribution, à travers cette étude, permet à l'entreprise de se doter d'outils efficaces, qui l'aideront à surmonter les difficultés, à satisfaire totalement la clientèle et contribueront à son progrès par :

- Révision de la procédure actuelle et aller vers une procédure plus performante.
- Introduction des incitations pour motiver les travailleurs à atteindre les objectifs quantitatifs et qualitatifs.
- Formation des agents pour appliquer les nouvelles procédures pour mieux s'adapter au changement du marché.
- Non acceptation des retards comme inévitables, quelles qu'en soient les causes.
- Accord de la plus haute priorité à la réduction du temps consacré à la réalisation des tâches.

L'ENMTP a déjà commencé l'application de cette démarche. Un groupe de jeunes ingénieurs du Bureau d'Etude, très motivés par l'application de cette démarche. Ils ont commencé avec SolidWorks, le Design des pièces, le calcul statique et dynamique (calcul EF de SolidWorks). Le bureau possède déjà une table traçante. Le tour maintenant est au Bureau des méthodes. Son équipe a un savoir faire de très grande valeur, mais travaille toujours avec des méthodes classique. Cet handicap, ne permet pas une communication avec le BE. L'entreprise travaille sur ce point, en envoyant ces employés pour des formations sur les logiciels XAO.

Bibliographie

Bibliographie

- [AFN 92] AFNOR. “ *NF L00-007: Industrie aéronautique et spatial – Vocabulaire – Termes généraux* ”, Association Française de Normalisation, Paris, mai 1992.
- [Aidi, 07] M. Aidi. “ *Vers la planification des buts de simulation en conception dans une démarche d'ingénierie système* ”, Thèse de doctorat présentée à l'École Nationale d'ingénieur de Sfax, Spécialité “Génie Mécanique”, Tunisie, 2007.
- [Altshuller, 06] Altshuller, G. “ *Et Soudain Apparut l'Inventeur: Les Idées de TRIZ* ”, Paris, Seredinski. (2006).
- [Anumba et al, 99] C. J. Anumba and J. M. Kamara, “ *Concurrent Engineering in Construction - State of the Art* ”, in Proceedings of Proceedings of the Concurrent Engineering Conference (CE'99), University of Bath, UK, September, pp. 461-470. 1999.
- [Aoussat et al, 2000] Aoussat, A, Christofo L, H. & Le Coq, M. “ *The New Product Design: A Transverse Approach. Journal of Engineering Design*”, 11 (4), 399-417. (2000).
- [Benchimol, 03] Benchimol. G, “ *L'entreprise étendue* “. Hermes, 2003.
- [Birkhofer et al, 01] Birkhofer, H., Lindemann, U., Albers, A. & Meier, M. “ *Product Development as a Structured and Interactive Network of Knowledge* ”: A Revolutionary Approach. ICED'01, 13th International Conference on Engineering Design. 21-23 August, Glasgow, UK. (2001).
- [Blaise, 06] E. Blaise “ *Contribution à une Méthodologie de Conception Modulaire : Modélisation de la Diversité dans les Familles de Produits* ”. Thèse de doctorat en Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques, présentée à L'UFR des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté, 2006.
- [Blanco, 98], Blanco E “ *L'émergence du produit dans la conception distribuée : vers de nouveaux modes de rationalisation dans la conception de systèmes mécaniques* ”, Doctorat de Génie Industriel de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 15 décembre, 1998.
- [Blessing, 94] L. Blessing “ *A process-based approach to computersupported engineering design* ”. Dissertation University of Twente, Cambridge, 1994.
- [Blessing, 04] L. Blessing “ *A Design Research Methodology* ”. International Conference of the Sciences of Design, Lyon (France), Mars 15-16, 2004.
- [Bonnevault, Couffin F., Faure J., M, 01], Bonnevault. C et al “ *Méthodes et modèles pour la description des processus de conception dans un contexte de travail coopératif* ” Journée Recherche Concurrent Engineering, JRCE, Paris, 24-25 janvier 2001.
- [Boudouh, 2000] Boudouh. T, “ *Modélisation et évaluation d'organisations industrielles en ingénierie simultanée. Approche méthodologique pour la mise en œuvre de solutions de conception intégrée* “. Thèse de doctorat de l'Université de Bordeaux I, France, 2000.
- [Bourdichon, 94] Bourdichon. P “ *L'ingénierie simultanée et la gestion d'informations* “. Hermes, 1994.
- [Carratt et al, 2000] B. Carratt, T. Alaux, and B. Eynard, “ *Application d'un système de gestion de données techniques chez un motoriste avion* ”, in Proceedings of Conférence Internationale sur la CFAO, la Simulation et les Nouvelles Technologies de Conception et de Fabrication (MICAD'00), Paris, France, pp. 279-286. 2000.

-
- [Cavallucci, 99] Cavallucci, D. “ *TRIZ: L'Approche Altshullerienne de la Créativité* ”. *Techniques de l'Ingénieur*, Fascicule A5211. (1999).
- [Chandrasekaran, 90] B. Chandrasekaran “ *Design Problem Solving: A Task Analysis* ”. *AI Magazine*, vol. 11(4), pp. 59-71, 1990.
- [CIM, 03] CIMdata Inc. “ *Product Lifecycle Management, Empowering the future of business* ”
- [Clermont, 98] Clermont. P, “ *Apport de réactivité dans le cycle de développement du produit: formalisation d'une démarche* ”. Thèse de doctorat de l'Université de Bordeaux, France, 1998.
- [Deneux, 02] Deneux D. “ *Méthodes et modèles pour la conception concurrente* ”. Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France, 2002.
- [Gero, 2001] Gero J., S. “ *Mass customization of creative designs* ”. International Conference on Engineering Design ICED'01, Glasgow, 2001.
- [Giard, 1991] Giard V, " *Gestion de projet* ", Economica, Paris, 1991.
- [Gobin, 01] Gobin C. “ *L'ingénierie concurrente. Un nouveau professionnalisme* ” (Rapport No. C0350). *Techniques de l'Ingénieur*. 2001.
- [Gousty, 98] Y. Gousty “ *Le Génie Industriel* ”. Presses Universitaires de France, Paris, 1998.
- [Grebici, 07] K. Grebici, “ *La Maturité de l'Information et le Processus de Conception Collaborative* ”. T H E S E pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'INP Grenoble Spécialité : « Génie Industriel », Janvier 2007.
- [Hales & Gooch, 04] C. Hales & S. Gooch “ *Managing Engineering Design* ”. Springer, London, 2004.
- [Hamelin, 99] H. Hamelin “ *L'innovation Assistée par Ordinateur : une nouvelle catégorie d'outils logiciels* ”. Micad'1999, Edition Hermès, Paris, 1999, p. 37-42.
- [Hubka and Eder, 96] V. Hubka & W. Eder “ *Design Science* ”. Springer, London, 1996.
- [Jagou, 93] Jagou. P. “ *Concurrent Engineering, la maîtrise des coûts, des délais et de la qualité* ”. Hermes, 1993.
- [Keraron et al., 07] Keraron Y., Bernard A., Bachimont B., " *An UML model of the technical information system to enable information handling and recording during the product life cycle* ", Product Lifecycle Management – SP3, Proc. Of the Int. Conf. On PLM, 2007.
- [Kota & Ward, 91] S. Kota & A. Ward “ *Functions, structures and constraints* ”. In *Conceptual Design*, ed. A.C. Ward, University of Michigan, 1991.
- [Kwak and Anbari, 06] Kwak Y. H, Anbari F.T “ *Benefits, Obstacles, and Future of Six Sigma Approach. Technovation* ”, 26 (5), page 708-715.
- [Lahonde, 10] N. Lahonde “ *Optimisation du processus de conception : Proposition d'un modèle de sélection des méthodes pour l'aide à la décision* ”. Thèse de doctorat présentée à l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Spécialité “ Génie Industriel ”, Paris, 2010.
- [Levan, 04] Levan. S.K. “ *Travail collaboratif sur Internet. Concepts, méthodes et pratiques des plateaux projet* ”. Paris : Vuibert. 2004.

- [Le Duigou, 10] J. Le Duigou. “ Cadre de modélisation pour les systèmes PLM en entreprise étendue application aux pme mécaniciennes “, thèse de doctorat spécialité : génie mécanique, à l’école centrale de Nantes, 2010.
- [Lonchamp, 04] Lonchamp. P. "*Co-évolution et processus de conception intégrée de produits : Modèle et support de l'activité de conception*", Thèse de l'INPG de Grenoble, juin 2004.
- [López-Mesa and Thompson, 06] López-Mesa, B. & Thompson, G. “*On the Significance of Cognitive Style and the Selection of Appropriate Design Methods*” . *Journal of Engineering Design*, 17 (4), 371–386. (2006).
- [Medhat, 93] Medhat. S, “ *Concurrent engineering, the ingredients for successful implementation* “. The Wembley Conference and Exhibition Centre, Londres, 4-6 mai 1993.
- [Micaëlli et Forest, 03] Micaëlli J.P., Forest J., “*Artificialisme, Introduction à une théorie de la conception*”, PPUR, Lausanne, 2003.
- [Pahl & Beitz, 96] G. Pahl & W. Beitz “*Engineering Design: a Systematic Approach*”. Springer-Verlag, London, 2nd edition, 1996.
- [Pahl, & Beitz, 07] Pahl, G. & Beitz, W. “*Engineering Design: A Systematic Approach*”, London, Springer. (2007).
- [Panetto, 06] Panetto H., "*Meta-modèles et modèles pour l'intégration et l'interopérabilité des applications d'entreprises de production*", HDR, spécialité génie informatique, Université. Henry Poincaré, Nancy I, 2006.
- [Papazoglou, 2000] J.-Y. Papazoglou, “ *La démarche du Concurrent Engineering appliquée au développement des nouveaux AIRBUS* “, in Proceedings of Conférence Internationale sur la CFAO, la Simulation et les Nouvelles Technologies de Conception et de Fabrication (MICAD'00), Paris, France, pp. 247-255. 2000.
- [Perrin, 99] Perrin J., “ *Pilotage et évaluation des processus de conception*”, L'harmattan, 1999.
- [Petitdemange, 90] Petitdemange C. “ *La maîtrise de la valeur, la gestion de projet et l'ingénierie simultanée* ”. AFNOR Gestion, 1990.
- [Prasad, 97] Prasad . B, “ *Concurrent Engineering Fundamentals* “. vol. 1 et vol. 2, Prentice Halls, 1997.
- [PSA, 95] Peugeot Citroën. “ *Charte de développement produit. Plaquette de présentation, PSA communication interne* “, IDE 1995.
- [Restrepo, 06] T. Restrepo. " *Intégration d'outils cscw en développement de produits : les mécanismes d'explicitation participative des besoins et d'accrochage comme vecteurs d'apprentissage* " ; Thèse de doctorat présentée à l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Spécialité “ Génie Industriel ”, Paris, 2006.
- [Rouchon, 2000] C. Rouchon, (2000), “ *Démarche d'Ingénierie Concourante pour les avions Rafale et Falcon 2000* “, in Proceedings of Conférence Internationale sur la CFAO, la Simulation et les Nouvelles Technologies de Conception et de Fabrication (MICAD'00), Paris, France.
- [Serrafero, 2000] P. Serrafero “ *Cycle de vie, maturité et dynamique de la connaissance : des informations au cognitions de l'Entreprise Apprenante*”. Revue Annuelle U.E. des Arts et Métiers sur le Knowledge Management, Edition Dunod, 2000, p. 158.

-
- [Shen *et al.*, 06] Shen, W., Chao, K.M., Lin, Z., Barthès, J-P., James, A., "*Computer Supported Cooperative Work in Design II*", Lecture Notes in Computer Science 3865, Springer (ISBN: 978-3-540-32969-5), 2006.
- [Simon, 97] Simon H.A., "*Sciences des systèmes, Sciences de l'artificiel*", version traduite en français par J.L. Le Moigne, Dunod, 1997.
- [Sohlenius, 92] G. Sohlenius "*Concurrent Engineering*", Annals of the CIRP, n° 02, page 645-655, 1992.
- [Suh, 90] Suh, N, "*Principles of Design*", Oxford University Press, Cambridge, UK, 1990.
- [Tiger, 01] H. Tiger "*Capitaliser les savoirs et innover dans les projets : deux démarches antinomiques ?*". Journée AIP-PRIMECA Dynamique des connaissances en conception : acquisition, capitalisation et réutilisation, Grenoble, 22 mai 2001, p. 73-78.
- [Tichkiewitch, 94] Tichkiewitch S "*De la C.F.A.O. à la Conception Intégrée*", Revue Internationale de C.F.A.O. et d'Infographie, vol. 9, pp. 609-621, 1994.
- [Tollenaere, 98] M. Tollenaere "*Conception de produits mécaniques : méthodes, modèles et outils*". Edition HERMES, Paris, 1998.
- [Tomiyama, T., GU, P., JIN, Y., Lutters, D., Kind, C. & Kimura, F. 09] "*Design Methodologies: Industrial and Educational Applications*". *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58 (2), 543-565. 2009
- [Vinck , 99] Vinck, D. "*Ingénieurs au quotidien. Ethnographie de l'activité de conception et d'innovation*". Presses Universitaires de Grenoble, Grenoble, France, 1999.

Annexes

Annexes

Annexe 1

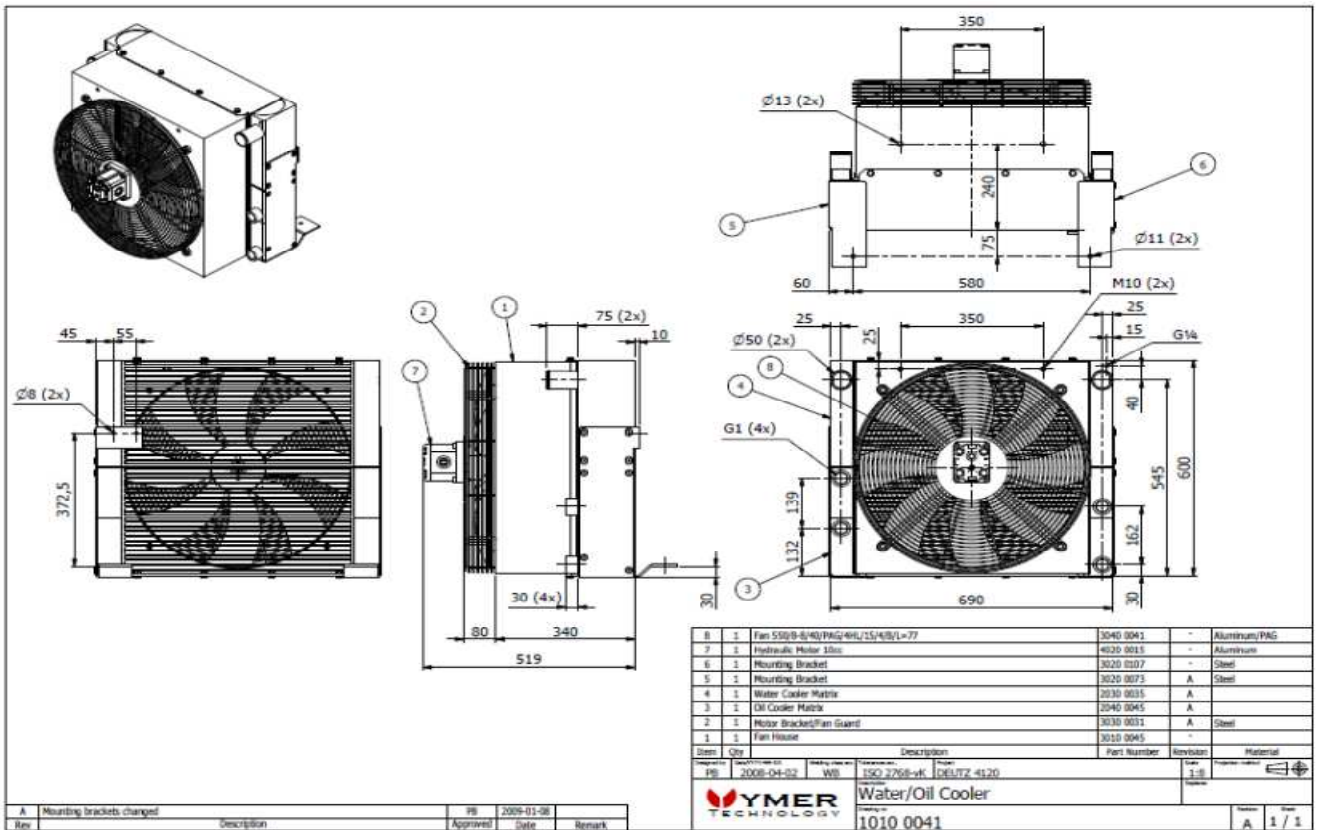


Figure.1- Radiateur proposé par DEUTZ

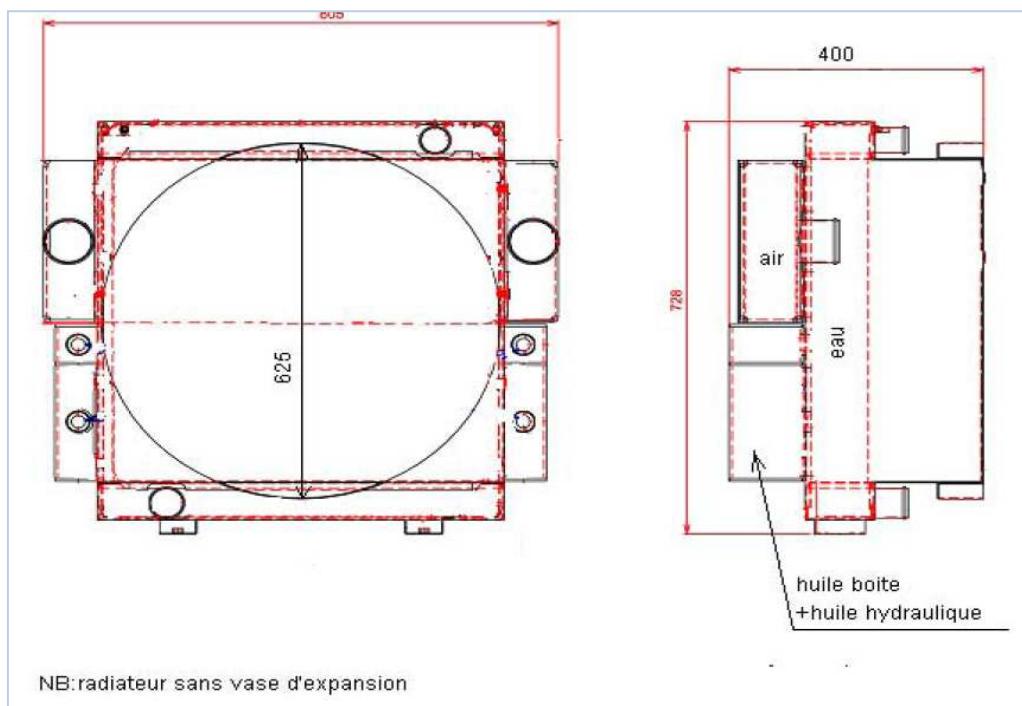




Figure.2- Radiateur conçue par le CPG

	FICHE AVANT PROJET		N° : 1/2																
			Date : 01/01/2010																
			Charge d'études :																
			Structure : BE / ESSAIS																
IDENTIFICATION DE L'AVANT PROJET	<ul style="list-style-type: none"> - Nature : <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">x</td> <td style="width: 40%;">Étude nouveaux produits</td> <td style="width: 40%;">Amélioration Moyens productions</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Étude sur Commande Client</td> <td>Investissements</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">x</td> <td>Adaptation du Produit</td> <td>Restructuration du complexe</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Abandon de produits</td> <td>Développement Système Information</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2">Autre : Contrainte d'approvisionnement.</td> </tr> </table> - Objet : Nouvelle motorisation pour les produits CPG. - Description : Adaptation d'un nouveau système de refroidissement pour les nouveaux moteurs du fournisseur DEUTZ sur chargeur 2320. - Origine : Division industrielle. - Client : / - Périmètre : Matériels de travaux publics. - Objectifs : Diversification des sources d'approvisionnement. 				x	Étude nouveaux produits	Amélioration Moyens productions		Étude sur Commande Client	Investissements	x	Adaptation du Produit	Restructuration du complexe		Abandon de produits	Développement Système Information		Autre : Contrainte d'approvisionnement.	
x	Étude nouveaux produits	Amélioration Moyens productions																	
	Étude sur Commande Client	Investissements																	
x	Adaptation du Produit	Restructuration du complexe																	
	Abandon de produits	Développement Système Information																	
	Autre : Contrainte d'approvisionnement.																		
APPROBATION	<ul style="list-style-type: none"> - Date et Visa du charge d'études <p style="text-align: center;">Le 01/01/2010.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Avis et visa du directeur (structure compétente) <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>																	
VALIDATION	<ul style="list-style-type: none"> - Décision du CDI : <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;">ACCEPTER</td> <td style="width: 25%;">A REVOIR</td> <td style="width: 25%;">REJETER</td> </tr> </table> - Observations : - Date et Visa du Président du CDI : 					ACCEPTER	A REVOIR	REJETER											
	ACCEPTER	A REVOIR	REJETER																
ENREGISTREMENT	<p>Après validation par le Comité de Développement et d'Investissement (CDI), ce Dossier (Avant Projet) est enregistré PROJET au niveau du COMPLEXE PELLEES & GRUE</p> <p>PROJET NUM :</p> <p>CHEF DE PROJET :</p> <p>Date d'Enregistrement :</p>																		

	FICHE AVANT PROJET		N° : 2/2																																																																																																															
			Date : 01/01/2010																																																																																																															
			Charge d'études :																																																																																																															
			Structure : BE / ESSAIS																																																																																																															
ANALYSE	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse de pertinence (Objectifs et priorités du complexe, environnement, potentiel complexe) <ul style="list-style-type: none"> ✓ Passage à une nouvelle génération refroidi à eau. ✓ Passage à l'étape 3 A (environnementale). - Analyse du Produit : (Valeur ajoutée, Viabilité, positionnement) : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Maitrise du diagnostic ✓ Abandon des moteurs conventionnels et leur remplacement par les moteurs à gestion électronique respectant les nouvelles règles de l'environnement. ✓ Tous les concurrents utilisent les moteurs refroidis à eau, à gestion électronique. - Analyse Financière : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Les moteurs de la nouvelle génération sont plus chers que les moteurs F6L913 existants - Exigences qualité : 																																																																																																																	
	<ul style="list-style-type: none"> - Ressources Humaines <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Compétences Requises</th> <th colspan="2">Origine</th> <th rowspan="2">Formation</th> <th rowspan="2">Structure</th> <th rowspan="2">Durée</th> <th rowspan="2">Nbre</th> <th rowspan="2">Obs.</th> </tr> <tr> <th>Int</th> <th>Ext.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cadre</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td>Ingénieur en Mec</td> <td>BE/ESSAIS</td> <td rowspan="2">Une (1) année</td> <td>01</td> <td></td> </tr> <tr> <td>TSE</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td>Tech sup.</td> <td>BE/ESSAIS</td> <td>01</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Chef de service Achats D/P</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td>Cadre tech comm</td> <td>ACHATS</td> <td></td> <td>01</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Méthodiste</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td>Tech sup.</td> <td>METHODE</td> <td></td> <td>02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Personnel du CFI 521</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td>Maitrise.</td> <td>METHODE</td> <td></td> <td>02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Personnels du Service essais</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td>Maitrise.</td> <td>BE/ESSAIS</td> <td></td> <td>04</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Techniciens de DEUTZ</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td>/</td> <td></td> <td></td> <td>01</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> - Ressources Matérielles <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Désignation</th> <th rowspan="2">Qté</th> <th rowspan="2">Durée</th> <th colspan="2">Origine</th> <th rowspan="2">Observation</th> </tr> <tr> <th>Interne (Structure)</th> <th>Acquisition (Prix Estimatif)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Un engin chargeur 2320 de la série. PC, logiciel CAO</td> <td style="text-align: center;">01</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Instruments de mesures.</td> <td style="text-align: center;">01</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Machines outils.</td> <td style="text-align: center;">01</td> <td style="text-align: center;">2 mois</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Instruments de calibration et de diagnostic.</td> <td style="text-align: center;">01</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">01</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> - Ressources Financières <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Ressource Financière requises</th> <th>Phase du projet</th> <th>Délai</th> <th>Observations</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Moteur et périphériques devant être livrés gracieusement.</td> <td>Acquisition du prototype.</td> <td>2 mois.</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Compétences Requises	Origine		Formation	Structure	Durée	Nbre	Obs.	Int	Ext.	Cadre	X		Ingénieur en Mec	BE/ESSAIS	Une (1) année	01		TSE	X		Tech sup.	BE/ESSAIS	01		Chef de service Achats D/P	X		Cadre tech comm	ACHATS		01		Méthodiste	X		Tech sup.	METHODE		02		Personnel du CFI 521	X		Maitrise.	METHODE		02		Personnels du Service essais	X		Maitrise.	BE/ESSAIS		04		Techniciens de DEUTZ		X	/			01		Désignation	Qté	Durée	Origine		Observation	Interne (Structure)	Acquisition (Prix Estimatif)	Un engin chargeur 2320 de la série. PC, logiciel CAO	01		X			Instruments de mesures.	01		X			Machines outils.	01	2 mois	X			Instruments de calibration et de diagnostic.	01		X				01			X		Ressource Financière requises	Phase du projet	Délai	Observations	Moteur et périphériques devant être livrés gracieusement.	Acquisition du prototype.	2 mois.
Compétences Requises	Origine		Formation	Structure		Durée	Nbre						Obs.																																																																																																					
	Int	Ext.																																																																																																																
Cadre	X		Ingénieur en Mec	BE/ESSAIS	Une (1) année	01																																																																																																												
TSE	X		Tech sup.	BE/ESSAIS		01																																																																																																												
Chef de service Achats D/P	X		Cadre tech comm	ACHATS		01																																																																																																												
Méthodiste	X		Tech sup.	METHODE		02																																																																																																												
Personnel du CFI 521	X		Maitrise.	METHODE		02																																																																																																												
Personnels du Service essais	X		Maitrise.	BE/ESSAIS		04																																																																																																												
Techniciens de DEUTZ		X	/			01																																																																																																												
Désignation	Qté	Durée	Origine		Observation																																																																																																													
			Interne (Structure)	Acquisition (Prix Estimatif)																																																																																																														
Un engin chargeur 2320 de la série. PC, logiciel CAO	01		X																																																																																																															
Instruments de mesures.	01		X																																																																																																															
Machines outils.	01	2 mois	X																																																																																																															
Instruments de calibration et de diagnostic.	01		X																																																																																																															
	01			X																																																																																																														
Ressource Financière requises	Phase du projet	Délai	Observations																																																																																																															
Moteur et périphériques devant être livrés gracieusement.	Acquisition du prototype.	2 mois.																																																																																																																
RESSOURCES																																																																																																																		

Annexe 2b

Présentation de la procédure de conception et développement utilisée au CPG

1- Définitions

❖ Conception et Développement

Ensemble de processus qui transforment des exigences en caractéristiques spécifiées ou spécifications d'un produit, d'un processus ou d'un système.

❖ Revue

Examen entrepris pour déterminer la pertinence, l'adéquation et l'efficacité de ce qui est examiné pour atteindre les objectifs définis.

❖ Vérification

Confirmation et apport de preuves tangibles que les exigences spécifiées ont été satisfaites.

❖ Validation

Confirmation et apport de preuves tangibles que les exigences pour une utilisation spécifique ou une application prévue sont satisfaites.

2- Déroulement

❖ Prise en Compte des Besoins

La prise en compte d'un besoin nécessitant une conception ou un développement peut être déclenché suite à :

- Un nouveau besoin client exprimé par un cahier des charges ou un bon de commande
- Des modifications des exigences légales et/ou réglementaires **applicables au secteur d'activité** :
- L'apparition de nouvelles matières
- Évolution technique et/ou technologique (veille technique et technologique)
- Des modifications constructives
- Des modifications des conditions de travail des engins

Si l'étude est jugée recevable, après analyse de faisabilité et mise en conformité des exigences clients avec les exigences légales et réglementaires, le directeur technique selon l'importance et l'impact du projet désigne un chargé d'étude qui doit:

* préparer et présenter le dossier « avant projet » devant le Comité de Développement et Investissement (CDI) conformément à la procédure GESTION DES PROJETS **5.4.14.01**,

* prendre en charge directement le projet par la structure compétente.

❖ Planification

Le chef de projet retenu procède à la collecte des éléments d'entrée concernant les exigences relatives au produit notamment :

- Les exigences fonctionnelles et de performance du produit
- Les exigences légales et réglementaires applicables
- Informations issues des études similaires précédentes
- Toute donnée jugée utile pour le projet

Toutes les structures du complexe peuvent être sollicitées pour la fourniture des informations demandées, il établit ensuite le planning prévisionnel ; formulaire N° 060057780 par la détermination :

- Des tâches à réaliser
- Des responsables de chaque tâche
- Des délais prévisionnels de réalisation de chaque tâche avec la collaboration du responsable concerné
- Des délais de revue, vérification et validation appropriés à chaque étape
- Des ressources nécessaires à la réalisation du projet.

En fonction des données de planification fournies par le chef du projet, le responsable hiérarchique chargé du suivi des études (Directeur Ou chef de département) met à jour le planning prévisionnel général formulaire N°060057880.

❖ Conduite du Projet

Le chef de projet doit coordonner entre les activités afin d'assurer une meilleure communication entre les différents intervenants dans la réalisation du projet et opérer sur la base des feed-back, en cas de nécessité des revues avec les responsables des tâches concernées pour réviser les objectifs, les moyens et définir les actions à entreprendre.

❖ Revue

Le chef de projet doit tenir les revues planifiées, ou exceptionnelles permettant de :

- Évaluer l'aptitude des résultats obtenus à satisfaire les exigences
- Identifier et maîtriser les risques
- Élaborer un plan d'actions afin de palier aux contraintes, et optimiser la solution retenue.

Les revues de conceptions et/ou développement doivent être sanctionnées par l'établissement du formulaire PV de Revue de conception N° 060057980 ou un PV de réunion, dont une copie est remise au responsable hiérarchique pour exploitation et mise à jour du planning général Pour les revues planifiées, tous les responsables des tâches concernées doivent être présents.

❖ Vérification

Les étapes de vérification visent la confirmation par des preuves tangibles que les exigences spécifiées ont été satisfaites et se traduisent par :

- Le visa du chef de projet sur les documents techniques établis par ses collaborateurs.
- Le visa de conformité du contrôleur sur l'avis de finition (procédure contrôle qualité et maîtrise du PNC 5.4.30.4.13).
- Le visa du rapport d'essai formulaire N° 060045480 établi par le chef de service essais suite à la demande du chef de projet introduite par le formulaire N° 060027980 ordre d'essai (cas des prototypes)
- Visa du contrôle sur le formulaire Demande de dispositif N° 060042080

Le chef de projet doit veiller à l'exécution des différentes étapes de vérification conformément au planning prévisionnel établi et conserver tous les résultats dans le dossier du projet.

❖ Validation

Si les résultats de la vérification sont concluants, le responsable hiérarchique chargé du suivi du projet valide la conception par son visa sur les documents exigés pour la mise à jour du système d'information. Cette documentation constitue les éléments de sortie fournissant les informations appropriées pour les approvisionnements, la production et spécifiant les caractéristiques essentielles du produit pour son utilisation correcte et en toute sécurité.

❖ Modification de Conception

Une modification de conception peut intervenir sur demande des structures de production par le biais du formulaire N° 060006480, pour l'homologation d'une nouvelle pièce d'achat Formulaire N° 060028380 ou suite au traitement d'un rapport de rebut imputé aux structures techniques pour erreur de conception.

Si l'étude est recevable, le chargé du dossier, examinera si la modification est non interchangeable, un ordre d'essai formulaire N° 060027980 accompagné de la documentation technique sont établis et remis au service essai, sinon une revue est faite sitôt la modification traitée Le service essai exécutera l'ordre d'essai contenant les données d'entrée et remettra au donneur d'ordre un rapport d'essai formulaire N° 060045480 pour analyse des résultats, si les essais sont positifs, une revue de modification est immédiatement déclenchée pour voir l'évaluation et l'incidence de cette modification sur les composants du produit en cours de réalisation et sur le produit déjà livré, la validation de la modification est matérialisée par le PV de revue de modification N° 060061080 et une demande de modification Formulaire N° 060006480 validée par le chef de département études et essais.

S'il s'agit de la modification d'un moyen de production la demande est introduite par le formulaire N° 060024580 « Demande de Modification de Dispositif » si le service organisation du travail juge la demande recevable il l'introduit auprès du service études outils et gabarits pour prise en charge, une fois la modification opérée et la vérification des résultats confirmée, la validation est sanctionnée par l'établissement du PV de revue de modification N° 060061080.

3- Sortie d'engins pour essais

Certains essais nécessitent une sortie de l'engin, contenant le prototype, dans ce cas précis, le chef de service essais établit et renseigne le document N° 060035880 et le remet avec le rapport d'essai à l'agent conducteur chargé de son essai. À la sortie, les deux formulaires sont présentés au portier qui, après vérification de l'exactitude des données, y inscrit les dates et l'heure de sortie, son nom et appose sa signature. L'exemplaire 1 est remis au conducteur et l'exemplaire 2 est classé au niveau du poste de sécurité.

Après l'exécution de l'ordre d'essai, à son retour, le conducteur de l'engin remet l'exemplaire 1 au poste de sécurité par où s'est effectuée la sortie.

Le portier procède à la vérification, inscrit la date et heure de rentrée, son nom et appose sa signature sur les deux exemplaires.

L'exemplaire 1 est remis à l'agent conducteur de l'engin qui le remet à son tour au responsable hiérarchique pour contrôle. L'exemplaire 2 pour classement au service sécurité.

4- Documentation du produit fabriqué

Le département études et essais est responsable de la mise à jour de la documentation technique du produit fabriqué et de sa diffusion interne aux structures concernées en indiquant le numéro de série de l'engin à partir duquel la modification est opérée et en tenant compte de la documentation en stock.

Cette documentation est constituée de :

- Manuel d'atelier (sur demande client)
- Tableau de charge (grue)
- catalogue P.R
- Livret de garantie.
- Manuel d'instruction

Le département gestion des stocks exprime le besoin d'impression des documents à la structure achat, en nombre d'exemplaires suffisant afin de pouvoir répondre dans les délais à toute commande planifiée ou non planifiée.

❖ Diffusion des documents

- **Diffusion interne** : Le département étude transmet les mises à jour au département des méthodes pour diffusion.
- **Diffusion externe** : Lors de la cession des engins, Le département contrôle procède à la mise à disposition du client de la documentation du produit (voir procédure contrôle qualité et maîtrise du (PNC 5.4.30.4.13)).

Toute modification de P.R est transmise par le biais du formulaire diffusion de modification Formulaire N° 060005980 en 5 exemplaires par le département études et essais à la division commerciale par le biais de la structure qualité.

5- Atelier de tirage

En plus de la fonction duplication, l'atelier de tirage est chargé de la mise en archive et le classement des plans originaux dans l'ordre de leurs numéros d'identification.

Le numéro d'identification respectif sera obligatoirement sur toute demande de tirage établi par un service et remis à l'atelier de tirage.

L'atelier de tirage effectuera le tirage des bleus désirés à partir des originaux qui, après, seront classés de nouveau dans leur ordre original.