2014-ENAM-0003

École doctorale n° 432 : Science des Métiers de l'ingénieur

Doctorat ParisTech

T H È S E

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité " Génie Industriel "

présentée et soutenue publiquement par

Yacine BENABID

13 Mars 2014

Contribution à l'amélioration du processus de conception des produits innovants : Développement d'outils d'aides au choix d'un processus

Directeur de thèse : **Améziane AOUSSAT**
Co-encadrement de la thèse : **Taha CHETTIBI & Khaled BENFRIHA**

Jury

M. Kamel NECIB, Professeur, Unité d'Enseignement et de Recherche en Mécanique Appliquée, EMP	Président
M. Kamel CHAOUI, Professeur, Université Badji Mokhtar, Annaba	Rapporteur
M. Idir BLAIDI, Maître de conférences HDR, Université M'hamed BOUGUERRA, Boumerdès	Rapporteur
M. Philippe VERON, Professeur, LSIS, Arts et Métiers Aix en Provence	Examinateur
M. Farid BAKIR, Professeur, LMF, Arts et Métiers ParisTech	Examinateur
M. Améziane AOUSSAT, Professeur, LCPI, Arts et Métiers ParisTech	Examinateur
M. Taha CHETTIBI, Professeur, LMS, Ecole Militaire Polytechnique	Examinateur
M. Khaled BENFRIHA, Maître de conférences, Unité de recherche, LCPI, Arts et Métiers ParisTech	Invité

T H È S E

Arts et Métiers ParisTech - Centre de Paris
Laboratoire de Conception de Produits & Innovation

A la mémoire de mon père

A ma très chère mère

Pour ma femme et mes enfants

Remerciements

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers Kamel CHAOUI et Idir BELAIDI qui m'ont fait l'honneur d'être mes rapporteurs. Je les remercie pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail.

Je tiens aussi à exprimer ma reconnaissance envers Kamel NECIB qui m'a fait l'honneur d'être le président. J'avais déjà eu la chance d'être son élève dans le cycle de l'ingénieur.

Je remercie également Philippe VERON et Farid BAKIR d'avoir accepté d'être les examinateurs de cette thèse.

Je remercie Améziane AOUSSAT pour son rôle et ses conseils en tant que directeur de thèse et de m'avoir accueilli au sein du Laboratoire de Conception de Produits et Innovation en tant que directeur du laboratoire.

Mes remerciements s'adressent à Taha CHETTIBI pour ces remarques, conseils et la patience durant la durée de cette thèse.

Je remercie tout spécialement Khaled BENFRIHA, pour son esprit critique et ouvert, ses conseils, son aide et contribution pendant et après les séjours que j'ai passés au sein du LCPI.

Je tiens ensuite à remercier les personnes qui ont contribué à cette thèse : le chef et tout le personnel de l'UER-CFM pour leurs contributions dans la réussite des travaux de thèse. Les membres du laboratoire procédés de fabrication pour leurs patiences. Mes remerciements pour les anciens collègues de travail.

Merci également à tous mes collègues et amis du laboratoire Système Mécanique, Amar et Seddik pour les contributions dans la réalisation des expérimentations et les études de cas, c'est l'équipe de conception qui a porté un plus pour mes travaux. L'ensemble des étudiants qui ont travaillé sous ma direction pendant la préparation de cette thèse.

Je remercie toute l'équipe du laboratoire LCPI, les permanents et les doctorants pour le soutien et l'aide durant mes séjours. L'équipe RV pour la disponibilité et la mise en œuvre du savoir faire ainsi que la salle RV, sans oublié la contribution des personnels de secrétariat du laboratoire.

Je remercie ma petite famille : ma femme Faten et mes enfant Abederraouf, Nour el Imane et Abderahmane pour leur compréhension et leur soutien moral pendant mes déplacement à l'étranger. Je remercie aussi ma grande famille, ma mère, mes frères et ma sœur pour la compréhension et la disponibilité dans les situations critiques.

SOMMAIRE

Introduction générale **1**

Objectif et problématique de recherche 2

Méthodologie de recherche 5

Originalité et apports 7

Structure du document 8

Chapitre I : Contexte & problématique de la recherche **10**

I.1 Introduction 11

I.2 Positionnement scientifique 12

Génie mécanique, Génie industriel et sciences de la conception 12

I.2.1 Axes de recherche du LCPI 14

I.2.2 Axes de recherche LSM 14

I. 3 Problématique : aider au choix d'un processus de conception 15

I. 5 Enjeux de cette recherche 17

I. 5. 1 Enjeux scientifiques 17

I. 5. 2 Enjeux pédagogiques 18

Chapitre II:De la CONCEPTION au PROCESSUS de CONCEPTION, Convergence vers une approche basée sur une carte sémantique de classement **20**

II. 1 Introduction 21

II. 2 Modèles et modélisation de processus de conception 22

II. 2. 1 Conception des produits 23

II. 2. 2 Modélisation de la démarche de conception 26

II. 2. 3 Echecs de la conception 26

II. 2. 5 Les environnements (Les systèmes) d'aide à la conception 31

II. 3 Processus de conception 37

II. 3. 1 Une autre approche des processus 37

II. 3. 2 Explorer les Modèles de Processus de Conception-Première contribution 39

II. 4 Métiers, méthodes et outils pour le Processus de Conception 49

II. 4. 1. Introduction 49

II. 4. 2 Coordonner les activités de conception 52

II. 4. 3 Importance de La phase amont du processus de conception 53

II. 5 Outils d'aide au choix d'un Processus de Conception 56

II. 5. 1 Cycle de vie d'un processus de conception 56

II. 5. 2 Caractéristiques du processus de conception 57

II. 5. 3 Quelques outils pour réaliser un processus de conception 58

II. 5. 4 Synthèse 67
II. 6 Synthèse & constats 68
II. 7 Hypothèses de modélisation 70
II. 8 Synthèse sur la problématique et les hypothèses de résolution 72
II. 9 Proposition d'un pré-modèle d'aide au choix d'un processus de conception 73
Chapitre III : Pré-modèle de l'outil de sélection et de génération d'un processus de conception 74
III. 1 Introduction 75
III. 2 Proposition d'une carte sémantique tridimensionnelle des processus de conception 77
III. 2. 1 Données et connaissances pour les vecteurs « entrées » et « Sorties » pour la carte sémantique tridimensionnelle 78
III. 2. 2 Première dimension de la carte: La nature des produits – préparation des connaissances - 83
III. 2. 3 La deuxième dimension : les caractéristiques des processus de conception 89
III. 2. 4 La troisième dimension : les métiers essentiels 95
III. 2. 5 Aide à la décision dans le choix d'un processus de conception 99
III. 2. 6 Conclusion 101
III. 3 Une carte préliminaire des processus de conception 102
III. 3. 1 Pré-proposition d'un modèle de processus de conception 103
III. 3. 2 Problème d'optimisation et d'itération 104
III. 3. 3 Une carte de classement des processus de conception 106
III. 4 Validation et la feuille de route pour la carte 106
III. 4. 1 Pré-modèle et feuille de route pour DIMENSION PRODUIT 107
III. 4. 2 Prémodèle et feuille de route pour DIMENSION PROCESSUS DE CONCEPTION 115
III. 4. 3 Pré-modèle et feuille de route pour DIMENSION METIERS ESSENTIELS 118
III. 5. Exploitation de l'outil par des utilisateurs : version papier 124
III. 5. 1. Périmètre du guide 124
III. 5. 2. Périmètre des équipes de conception 124
III. 6. Outil de génération : numérisation et assistance 125
III. 6. 1. Architecture de l'outil de génération 126
III. 6. 2. Méthodes déterministes 127
III. 6. 3. Méthodes stochastiques 128
III. 6. 4. Définition de l'architecture de l'outil de génération du processus de conception 128
III. 6. 5. Conception détaillée 129
III. 7 Conclusion 142
Chapitre IV : Expérimentations 143
IV.1 Introduction 144

IV.2 Cadre de la première expérimentation : Analyse des équipes de conception avant et après l'utilisation de la carte sémantique 147
IV. 2. 1 Introduction 147
IV 2. 2 Méthode 147
IV. 2. 3 Nature de la conception et les équipes de conception 148
IV. 2. 4 Conception d'un produit par une équipe de conception sans l'utilisation de la carte 150
IV. 2. 5 Conception d'un produit par une équipe de conception avec l'utilisation de la carte 160
IV. 3 Cadre de la deuxième expérimentation : développement des produits avec la carte et une autre équipe de conception - Validation des processus réalisés dans la 1ereexpérimentation - 189
IV. 3. 1 Les produits à développer et l'utilisation de l'outil développé 189
IV. 3. 2. Développement des produits transmission de puissance sur la base du processus II 199
IV. 3. 4 Résultats & Synthèse 204
IV. 3. 5 Conclusion 205
IV. 4 Cadre de la 3ème expérimentation : Identification des METIERS ESSENTIELS & EVALUATION & GENERATION PAR SIMULATION d'un processus de conception 206
IV. 4. 1 Introduction 206
IV. 4. 2 Identification des métiers sur la base des deux expérimentations 207
IV. 4. 3 Evaluation de l'outil : 215
IV. 4. 4. Génération par simulation 221
IV. 5 Cadre de la quatrième expérimentation : exploration d'un processus numérique pour le développement des produits 230
IV. 5. 1 Introduction 230
IV. 5. 2 Identification d'un processus de conception 230
IV. 5. 3 Protocole expérimental 231
IV. 6 Synthèses des apports expérimentaux & conclusion 238
IV. 6. 1 Synthèse de la démarche expérimentale 238
IV. 6. 2 Première expérimentation 239
IV. 6. 3 Deuxième expérimentation 240
IV. 6. 4 Troisième expérimentation 241
IV. 6. 5 Quatrième expérimentation 242
IV. 6. 6 Validation des hypothèses 243
IV. 6. 7 Conclusion 244

Conclusion générale & Perspectives 245
Identification & solution 246
Apport de la recherche 248

Apports personnels 249
Perspectives 251

Références bibliographiques 253

Index des figures 265

Index des tableaux 269
ANNEXES 271
ANNEXE 1 : Description de quelques processus de conception 272
ANNEXE 2 : La carte de classement des processus de conception 276
ANNEXE 3 : les méthodes & outils liés aux phases du processus de conception 277

Introduction générale

Objectif et problématique de recherche

« Si j'avais demandé à mes clients ce qu'ils voulaient, il auraient dit un cheval rapide » Henry FORD

« Intégrer le meilleur état des connaissances dans un produit (ou service) créatif permettant d'aller plus loin dans la satisfaction des individus, tout en soulignant qu'il n'y a réellement innovation qu'avec son insertion dans la réalité et donc son acceptation par la société » Marc GIGET

Comme un concepteur ou un innovateur, vous pensez donner aux usagers (clients) ce qu'ils veulent ou ne leur donnez ce que vous pensez qu'ils ont besoin ?

C'est une question abordée par les équipes de recherche en science de conception, et cette thèse est une contribution dans ce sens. Elle présente les résultats d'un travail, mené en collaboration entre deux laboratoires qui visent à optimiser le processus de conception en proposant des méthodes, des modèles et des outils pour améliorer la conception et répondre aux exigences des clients tout en proposant des produits innovants.

Effectivement, tous les objets qui nous entourent et que nous utilisons quotidiennement sont pour la plupart issus de l'activité créative de l'être humain d'où leurs appellation « ***Produits*** ». Tout produit connaît plusieurs états à partir du moment où il est souhaité, imaginé, jusqu'au moment où il est détruit voire recyclé **(Thibault, 2008)**. Pour arriver à ce produit et l'intégrer dans la chaîne bien-être, certains processus sont mis en œuvre parmi:

- Les processus de conception,
- Les processus de fabrication,
- Les processus de cycle de vie ...

Le développement de produits nouveaux est une activité centrale pour la performance à long terme d'une entreprise. En effet, la conception de produits est devenue au fil des années une source majeure d'avantages compétitifs pour les sociétés industrielles devant la pression toujours plus forte exercée par le marché (réduction des cycles de développement, apparition de nouvelles technologies, etc.) **(Lahonde, 2010)**. Dans ce contexte, académiciens et praticiens se sont attachés à développer des modèles, méthodes, outils et techniques de manière à optimiser les performances et supporter les processus de conception et d'innovation baignés dans un univers complexe et changeant.

Notre finalité est de minimiser le taux d'échec d'une conception d'un produit innovant. Cette finalité est issue d'un besoin identifié auprès d'une structure ou entité de développement des produits. L'analyse du besoin

nous a permis d'identifier les premiers éléments de la solution qui sont autour de la question: comment réaliser un processus de conception pour un produit innovant?

La conception de produits est aujourd'hui une activité à la fois individuelle et collaborative **(Mayer, 2007)**. Elle repose sur un échange permanent d'informations entre les différents processus pour définir les meilleures solutions qui répondent au cahier des charges ou pour réaliser le besoin exprimé par une entreprise ou un client.

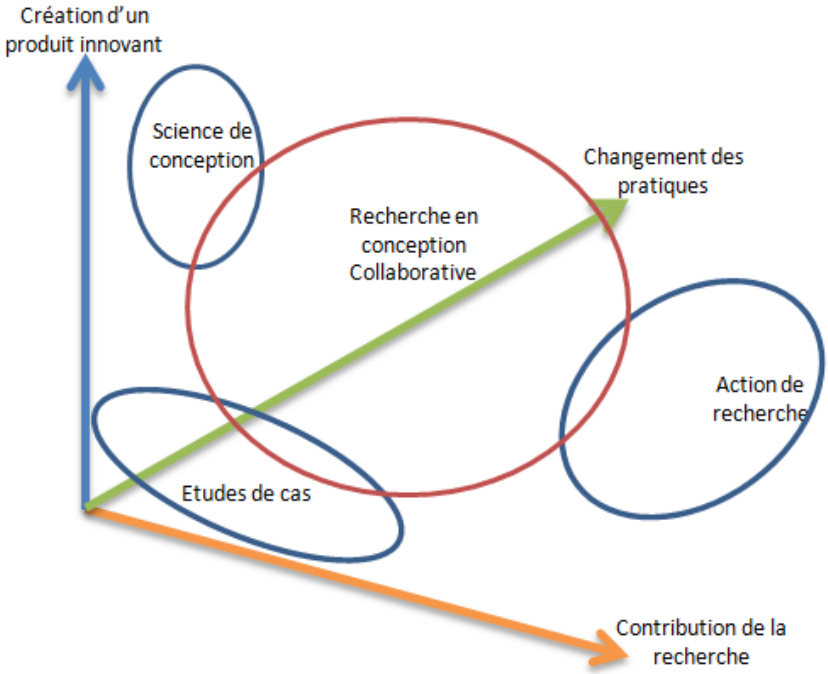


Figure 1: carte 3D pour la recherche des concepts méthodologiques (Alles & al, 2013)

Comme est indiqué sur la figure 1, Cet échange entre disciplines et spécialistes nous pousse vers l'exploration de la notion « collaboration ». Les modèles de conception sont aujourd'hui multimétiers. De ce fait, il s'agit, dans un processus de conception, de mettre en relation ces différents acteurs afin qu'ils puissent le mener à bien. En effet, l'industrie étant aujourd'hui multi-sites du point de vue de la production mais aussi du point de vue de la conception, l'objectif est d'observer comment ces différents acteurs collaborent entre eux. La recherche en conception collaborative est une synthèse de plusieurs approches méthodologiques élaborées et appliquées dans le domaine des systèmes de l'information au cours du dernier quart de siècle, qui comprend des études de cas, la recherche-action et science de la conception **(Alles & al, 2013)**. Il s'agit d'une méthodologie appropriée à utiliser lors d'un champ pour le développement d'une approche **(O'Leary, 2009)**.

En termes de ce qui distingue la recherche en conception collaborative et d'autres méthodes de recherche, nous différencions les études de cas (les analyses des scénarios), qui en général ne cherchent pas à changer de façon proactive la pratique actuelle, de la recherche-action.

Ces distinctions peuvent être illustrées sur une carte de recherche des méthodologies conceptuelles en positionnant par rapport à la recherche en conception collaborative, des études en sciences de la conception, la recherche-action, et le cas selon les trois dimensions de la création de nouveaux produits, changer la pratique actuelle des concepteurs, et la contribution de la recherche de praticiens, comme indiqué sur la figure 1. On peut

voir à partir de l'illustration que la recherche en conception collaborative, non seulement diffère, mais aussi a des chevauchements importants avec chaque partie des méthodologies de la recherche, que l'on pourrait attendre d'une méthodologie hybride où l'innovation consiste à réunir les éléments pertinents des méthodes existantes pour développer la plus adaptée à la tâche à accomplir **(Alles & al, 2013)**.

Le processus de développement des produits innovants débouche sur des idées qui, en prenant forme, se transforment en créations (découverte, invention,…). Lorsque la création a pris une forme communicable (équation, schéma, dessin, …), s'amorce la phase dite d'innovation **(Vidal, 1998)**. Une entité, (une entreprise, un laboratoire de recherche, une association, une administration, etc.), est un système à la fois complexe et simple. Complexe, parce qu'il s'inscrit dans un environnement en perpétuelle évolution et s'y adapte en permanence ; de ce fait, il change continuellement. Complexe aussi, parce qu'il met en œuvre une multitude de paramètres à maîtriser pour pouvoir piloter l'ensemble. Simple, car un système est constitué des trois composants basiques que sont les ressources humaines, les ressources matérielles et le travail **(Mougin, 2004)**.

Dans une entité, un processus de conception est considéré comme un outil d'innovation qui confirme un réel avantage concurrentiel. Le choix d'un processus de conception adapté à des contraintes inhérentes aux produits et à son environnement représente un enjeu stratégique dans la réussite de la démarche d'innovation **(Segonds, 2011) (Lahonde, 2010) (Thomas, 2010) (Brissaud, 2004) (Benfriha, 2005)**. En effet, dans la littérature les concepteurs trouvent de nombreux modèles de processus de conception, qui se différencient dans leurs approches, dans leurs organisations et dans leurs objectifs **(Howards, 2008) (VanAken, 2005) (Hunter, 2005)**. Mais devant cette pléthore de modèles, les acteurs de conception d'une entité de recherche où une entreprise peuvent se retrouvée en difficulté dans le choix d'un processus de conception approprié où dans l'adaptation d'un processus de conception existant à leurs propres contraintes.

Donner à une entité les outils et les méthodes nécessaires sous forme d'un processus adapté ou généré par un outil est un parcours de recherche en plein évolution. Nous sommes dans le champ de sélection où de génération d'un processus de conception à travers l'identification des métiers essentiels, des méthodes et des outils pour le développement d'un produit innovant.

Le thème traité dans cette thèse se positionne dans le domaine de Génie Mécanique pour l'analyse des scénarios (étude de cas de développement pour différents produits) et de renforcement des notions par des lois empiriques (la phase préliminaire d'exploration). Par contre, pour le Génie Industriel, la recherche propose des outils et des méthodes pour favoriser l'innovation tout au long du cycle de vie du produit. Les phases amont de développement sont cruciales en termes de succès d'un produit. Ainsi, le Génie industriel est l'enceinte des approches développées qui détermine la relation entre l'usage et les usagers sous les notions d'analyse des scénarios dans les phases amont et tout au long du processus pour créer un produit innovant.

L'intérêt de la recherche pour la sélection et l'identification d'un processus de conception se focalise sur la « phase d'exploration », pendant laquelle les concepteurs explorent l'espace besoin-problème. Cette exploration permet le choix ainsi que l'identification des outils et méthodes de conception et contribue ainsi à la génération d'un processus de conception.

Maîtriser le processus de conception consiste à préparer la phase amont avec plus de participants et d'intervenants sur le développement du produit et qui devrait générer des paramètres et des données exploitables à la préparation de la phase amont du processus de conception pour assurer une optimisation globale du produit et les processus de mise en œuvre **(Bouchard, 2005) (Segonds, 2011)**. Les étapes ultérieures du processus de conception considèrent la conception comme une approche systémique où les tâches et les activités dans les phases amont, leurs structures et fonctionnelle ou modulaire **(Snider, 2013)**.

Ainsi, la recherche menée dans le cadre de cette thèse a pour objectif d'aider les concepteurs, en fonction de la nature du produit à concevoir, à identifier le modèle du processus de conception le plus approprié ou d'ajuster un modèle d'un processus de conception existant à leur problématique de conception. Concrètement cette recherche devrait aboutir à un outil d'aide au choix d'un processus de conception. Les domaines d'application de cette thématique de recherche sont multiples (nouveau produit, amélioration, …).

Bien que le modèle de prise de décision semble jouer un rôle important dans l'efficacité de l'équipe de conception pour prendre une décision sur le produit ou les outils à employer, il y a peu de recherches sur sa valeur et son application spécifiquement par les équipes de conception. La recherche sur la prise de décision dans la conception a mis l'accent sur les stratégies de modélisation des choix de concepts eux-mêmes, mais moins d'attention a été accordée aux aspects sociaux de façon dont les décisions sont prises lors de la conception ou le choix d'un processus de conception **(Yang, 2010).**

En effet, les décisions prises lors de la conception influencent très fortement le coût de fabrication de celui-ci. Il est donc important de considérer les contraintes de fabrication dès les premières étapes du processus de conception, d'identifier les paramètres pertinents influençant les performances du produit et son coût, puis de les évaluer de façon à assurer l'optimisation globale du produit. Afin de réaliser cette intégration de nombreuses approches seront développées et améliorées ainsi de porter certaines contributions **(Yann Guirec & Benfriha, 2013)**. L'ensemble des contraintes est un support d'aide pour le choix d'un processus de conception.

Le dilemme suivant se pose durant les premières phases du processus de conception : les concepteurs doivent être peu contraints afin d'être créatifs **(Matthews, 2002)** et doivent être contraints de sorte que les décisions prises vérifient les exigences du problème de conception. Une partie des travaux de recherche de cette thèse est consacrée à l'exploration de la phase amont du processus de conception.

Méthodologie de recherche

Comme nous sommes en face à une problématique d'aide au choix d'un processus de conception, La figure 2 illustre les principales étapes de la DRM Design (Research Methodology), méthodologie proposée par **(Blessing et Chakrabarti, 2009)** pour conduire une recherche en conception. Cette méthodologie s'articule autour de quatre étapes clés et insiste sur la nécessité de problématiser les questions de recherche soulevées par l'analyse bibliographique et de positionner les travaux dans la communauté scientifique. Elle souligne également l'importance des études descriptives, alimentées par des observations et des analyses sur le terrain, pour aboutir à une compréhension plus fine du problème. Le modèle théorique se construit alors sur la base de ces analyses et permet le développement d'un outil support à la conception. Enfin, cette méthodologie nous rappelle l'importance de l'évaluation qui assure la validité des contributions proposées **(Lahonde, 2010)**.

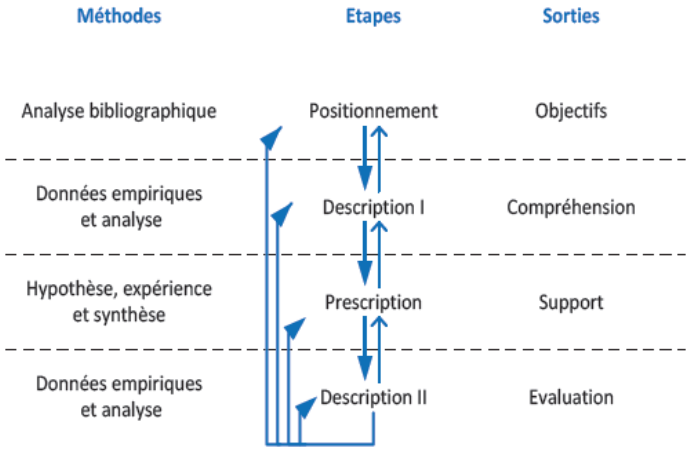


Figure 2: Méthodologie de recherche en conception **(Blessing & Chakrabarti, 2009)(Lahonde, 2010)**

Dans la plupart des processus de conception se retrouvent souvent les phases successives suivantes : expression du besoin, recherche de concepts, recherche d'architecture, conception détaillée. Dans le cadre de notre étude, nous adoptons une méthodologie de recherche reposant sur des modèles de littérature et sur des modèles du LCPI **(Aoussat, 1990) (Perrin, 2005) (Benfriha, 2005) (Lahonde, 2010)**.

Le risque de conception correspond au fait que le produit conçu ne réponde pas à l'ensemble des exigences. Selon Sarbacker **(Sarbacker, 1997)** , le risque durant le développement de produit, résulte de l'exposition à une chance d'insuccès dû aux effets de l'ambiguïté et/ou de l'incertitude:

- L'ambiguïté est un manque de compréhension ou de clarté sur les paramètres critiques d'un problème décisionnel ou sur la nature des relations entre les paramètres. Cela se traduit par l'incapacité pour le concepteur à construire un modèle adéquat du problème, ou inapproprié pour aider à la prise de décision.
- L'incertitude provient d'un manque d'information sur certains variables pertinentes pour le problème de conception et elle concerne les résultats attendus de la conception.

Or il n'existe pas aujourd'hui de modèle dédier à la phase d'exploration, en partie parce que l'activité des concepteurs dans cette phase n'est pas explicite, elle repose en grande partie sur l'activité cognitive des concepteurs et peu de représentations externes (croquis et schémas) sont disponibles, cela augmente les risques de conception **(Benfriha, 2005).** Mais, nous pensons que certaines caractéristiques de la phase d'exploration (identification des outils, des méthodes et des métiers de conception) sont identifiables et que nous pouvons contribuer à la formaliser comme un flux d'informations, depuis la collecte d'informations jusqu'à l'externalisation des premières représentations de solutions afin de minimiser les risques de conception. Notre but est donc de proposer un outil d'aide au choix d'un processus de conception par la modélisation de la phase d'exploration (différents types de processus) à travers un outil d'aide au choix (carte sémantique de classement des processus de conception) et d'identifier le lien entre les informations qui sont manipulées par les concepteurs durant la période de développement et les solutions qui en sont issues.

La première étape de ce travail a été marquée par l'analyse et la lecture d'articles de références bibliographiques issues du domaine du génie industriel et des sciences de la conception. En particulier, l'analyse de la littérature sur les modèles de processus de conception nous a conduit à considérer le rôle majeur des

métiers, des méthodes et outils et à problématiser la question de leur sélection sur les projets de développement de produits nouveaux. Par ailleurs, plusieurs références complémentaires, attestant de l'enjeu de cette question de recherche, nous ont confortés dans le choix de cette direction **(Tomiyama, 2009)**. Enfin, un état de l'art sur les processus existants et une analyse de leurs limites nous a amené à formuler nos hypothèses de modélisation pour l'aide au choix des processus de conception.

La deuxième phase, nous a amené à explorer des phases des processus de conception à travers une série d'études sur les différents métiers et les méthodes de conception utilisées dans ces phases. Ce travail de recherche nous a permis d'affiner notre compréhension sur les processus de conception, en particulier de comprendre quels sont les métiers essentiels dans chaque phase du processus, quelles sont les méthodes effectivement choisies, sur quels critères, à quel moment et en quoi cette activité est rendue délicate et propice à une optimisation. Les conclusions de ces travaux d'exploration, ajoutées aux résultats d'une analyse de rapports de développement des produits et d'une revue bibliographique complémentaire **(Lahonde, 2010)**, nous a permis de construire un modèle sous forme d'une carte sémantique tridimensionnelle d'aide à la sélection d'un processus de conception.

Ce modèle a servi de base au développement d'un outil sous forme d'une interface graphique élaborée à travers l'utilisation des algorithmes d'optimisation pour proposer un modèle de processus de conception en s'appuyant sur les dimensions de la carte sémantique. Cet outil offre la possibilité aux concepteurs de choisir un processus adapté au contexte du projet de développement d'un produit considéré.

Enfin, les dimensions de cette carte ont été testées et validées via des évaluations par des experts en méthodologies de conception et via des tests utilisateurs par des concepteurs novices. Les résultats de ces tests nous ont alors permis de valider notre approche, modèle et l'outil d'aide à la sélection d'un processus de conception et nos hypothèses de modélisation.

Originalité et apports

Cette recherche est originale sur plusieurs plans : le positionnement thématique, la démarche de recherche action sur l'entité (une entreprise où un laboratoire de recherche) et sur le processus de conception. Tout d'abord, notre recherche se focalise sur une étape de création d'une carte sémantique des processus de conception qui est une phase d'exploration très peu modélisée, ce développement est en soi une originalité.

À l'issue de cette thèse, nous sommes en mesure de proposer un nouvel outil d'aide à la sélection et à la génération d'un processus de conception. La création d'une carte sémantique des processus de conception et l'identification des métiers essentiels lors la sélection d'un processus de conception constitue un des apports de cette thèse.

Enfin, cette recherche est une contribution pour la réussite des entités dans la conception. D'une part, les expérimentations de cette thèse ont été réalisées grâce à l'identification des processus de conception, des outils et des méthodes pour créer un produit innovant et d'autre part la validation d'un outil d'aide au choix d'un processus de conception.

Les travaux de cette thèse explorent et utilisent les techniques des représentations numériques et virtuelles en conception de produits ainsi d'intégré les utilisateurs et les spécialistes des produits dans des environnements virtuelles et de CAO, afin de créer un champ d'investigation plus amplifié dans la phase amont du processus de conception. Un autre outil d'appui est abordé pour créer une base solide via l'interaction entre la phase amont du processus de conception et la préparation de la phase amont du processus de fabrication.

Beaucoup de progrès ont été faits pour améliorer les capacités d'innovation des entreprises et de réduire les temps de développement de nouveaux produits de manière significative grâce à des outils améliorés par l'introduction des moyens informatiques (CAO, CFAO, RV …) des méthodes (TRIZ, QFD, AMDEC, …) des modèles de processus (systèmes Stage-Gate, l'ingénierie simultanée, …) ainsi que d'autres organisations et innovations technologiques **(Hüsig, 2009)**, **(Leon-Rovira, 2005)**. Donc, nous mettons en évidence le rôle des technologies dans la démarche de conception de produits innovants.

Structure du document

Ce document est organisé en quatre parties, a cela s'ajoute quelques annexes.

Chapitre I : Contexte et problématique de la recherche

Ce chapitre vise à positionner notre travail de recherche au sein de la communauté scientifique du génie industriel et des sciences de la conception tout en faisant appel aux méthodes et outils de génie mécanique classé dans notre thématique comme source technologique pour l'analyse de scénarios de conception pour différents produits.

Chapitre II : Etat de l'art et hypothèse de modélisation

L'état de l'art se trouve à la phase amont de la recherche, cette phase qui est nécessaire pour l'exploration du processus d'innovation et le processus de conception d'un produit. Notre état de l'art est basé sur l'analyse de plus de 180 articles et ouvrages, il est organisé autour de trois grands pôles. Nous investiguons dans cette partie le rôle et les structures des processus de conception dans le circuit de développement de produits innovants.

Une fois notre problématique formulée, nous posons notre hypothèse globale de modélisation de la sélection et de choix des processus de conception qui se scindent en deux sous-hypothèses. Ce chapitre est entièrement supporté par l'analyse bibliographique exposée dans la partie état de l'art qui le précède.

Chapitre III : Prémodèle de la carte sémantique et l'outil de génération

Le chapitre III énonce et détaille le **modèle de la carte sémantique tridimensionnelle**. Il montre le développement de chaque dimension de la carte. Il résume ainsi un **modèle** d'aide à la sélection des méthodes et des outils selon la nature du produit à développer. Cette carte sera testée par des experts via des évaluations et par des concepteurs novices, cibles de l'outil. Les résultats de ces évaluations permettent de stabiliser et de valider le modèle construit de la carte et les hypothèses de modélisation proposées.

Chapitre IV : Expérimentations

Les hypothèses formulées et la carte sémantique développée sont testées dans des entités qui pratiquent la conception sous différents aspects selon des cahiers de charges différents pour chaque cas. Les **apports** du modèle de la carte au développement d'un système d'aide au choix et à l'optimisation du processus de conception ainsi que ses **limites** y sont alors examinés à travers les résultats obtenus.

Conclusion et perspectives

Nous terminerons, pour les travaux de cette thèse, par une conclusion et des perspectives qui dirigeront nos futurs travaux de recherche.

Annexes

La lecture des précédents chapitres est agrémentée par des renvois aux annexes. En effet, plusieurs documents sont joints en fin de document pour permettre de préciser au lecteur certains diagrammes et organigrammes issus des références bibliographiques et de présenter des résultats de recherche complémentaires.

Chapitre I : Contexte & problématique de la recherche

I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons le contexte et la problématique de notre travail de recherche, ainsi que leurs positionnement par rapport aux axes de recherche du laboratoire Systèmes Mécaniques et celles du Laboratoire Conception de Produits et Innovation, Arts et Métiers ParisTech.

Notre positionnement scientifique est caractérisé d'abord par l'exploitation des ressources de génie industriel, dont nous proposons de rappeler quelques définitions et l'exploration des pratiques des sciences de conception.

Cette thèse a pour objet dans un premier niveau de recherche la vérification des hypothèses issues de l'étape recherche bibliographique et les perspectives des travaux de recherches dans les deux établissements. Pour cela, nous nous appuyons sur une approche d'intégration et d'exploration des méthodes, des outils et le gradient de leurs contributions dans les processus d'innovation et de conception.

Dans une deuxième partie, nous revenons sur les enjeux d'une recherche en conception de produits aussi bien sur le plan organisationnel méthodologique que sur le plan scientifique. Tout d'abord, la sélection d'un processus de conception est une action importante et constitue un levier important d'innovation (objectif des expérimentations). A ce titre, cette recherche peut donc intéresser les responsables des différents entreprises et entités de recherche. D'autre part, notre recherche explore des thématiques scientifiques émergentes (Conception Centrée Utilisateur) et pluridisciplinaires (Conception Assistée par Ordinateur et Conception Assistée par Réalité Virtuelle) comme des générateurs des métiers essentiels identifiés à travers le développement d'un outil d'aide au choix.

Le résultat des travaux de recherche en LCPI ont montré que, les entreprises ne disposent pas aujourd'hui d'outils supports pour s'engager dans un processus de conception. Cela est d'autant plus flagrant lorsque les objectifs industriels visent vers une conception innovante.

la classification des processus de conception et l'importance d'adapter un tel processus pour aider les concepteurs dans l'étape de développement des produits à travers la sélection des méthodes et outils appropriées à leurs projets en appuyant sur des métiers essentiels. Supporter cette activité permettra, dans une perspective scientifique et de recherche, d'améliorer la pratique de la conception dans un organisme scientifique où industriel. Concrètement, par le biais de cette recherche nous nous intéressons à la phase d'aide au choix des processus de conception et l' identification des outils et méthodes liées à chaque phase, permettra de contribuer à l'optimisation du processus de conception.

Notre objet de recherche est de développer un outil de génération d'un processus de conception pour l'entreprise par l'implication des acteurs concernés. Nous faisons cette remarque car, on trouve souvent des approches visant l'étude de l'activité de conception en soi et non pas l'ensemble du processus de conception (intégration des utilisateurs pour le développement du produit, exploitation des ressources disponibles, …).

La phase amont du processus de conception est présentée comme une phase clé de l'ensemble du processus, c'est une pratique supportée par l'équipe de conception LCPI.

Enfin, nous concluons le contexte de notre recherche par une synthèse qui reprend les enjeux scientifiques et techniques liés à notre recherche.

I.2 Positionnement scientifique

Comme nous l'avons signalé à l'introduction, notre travail de recherche se situe dans un carrefour du champ disciplinaire du génie industriel et le champ disciplinaire du génie mécanique en s'appuyant sur les sciences de la conception pour relier les deux champs.

Génie mécanique, Génie industriel et sciences de la conception

Dans le langage courant, la mécanique est le domaine des machines, moteurs, véhicules, organes (engrenages, poulies, courroies, vilebrequins, arbres de transmission, pistons, …), bref, de tout ce qui produit ou transmet un mouvement, une force, une déformation.

La science mécanique est la fusion, réalisée par Newton, de la physique et de l'astronomie, du point de vue historique, la physique est une partie de la mécanique, de nos jours, il est convenu d'ignorer cette évolution et de présenter les lois de mécanique comme relevant de la physique **(Techno-Science.net, 2011)**.

La Fédération des Sciences des Systèmes et des Produits Industriels définit le Génie industriel comme suit **(Guidat, 1996)** :

« Une science de l'action à l'interface des sciences de l'ingénieur et des sciences de l'homme permettant de piloter l'ensemble des interactions qui gouvernent les systèmes industriels au niveau de leur conception, leur mise en place et leur conduite ».

La définition communément admise de « génie industriel » (industrial engineering ou engineering management) est empruntée à l'Institute of Industrial Engineers (IIE) selon lequel :

Le génie industriel concerne la conception, l'amélioration et l'installation de systèmes intégrés mettant en jeu des hommes, des matériaux, des équipements et de l'énergie. Il s'appuie tant sur les connaissances spécialisées et les aptitudes dans le domaine des mathématiques, de la physique et des sciences sociales que sur les principes et méthodes des sciences de l'ingénieur, ceci pour spécifier, prédire et évaluer les résultats de ce type de système **(Lahonde, 2010).**

L'ingénierie désigne 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). 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, médecine, construction mécanique…).

Le Génie Industriel rassemble un grand nombre de disciplines toutes liées au fonctionnement de l'entreprise. Il associe vers un même objectif des sciences pour l'ingénieur, les sciences économiques et les sciences sociales.

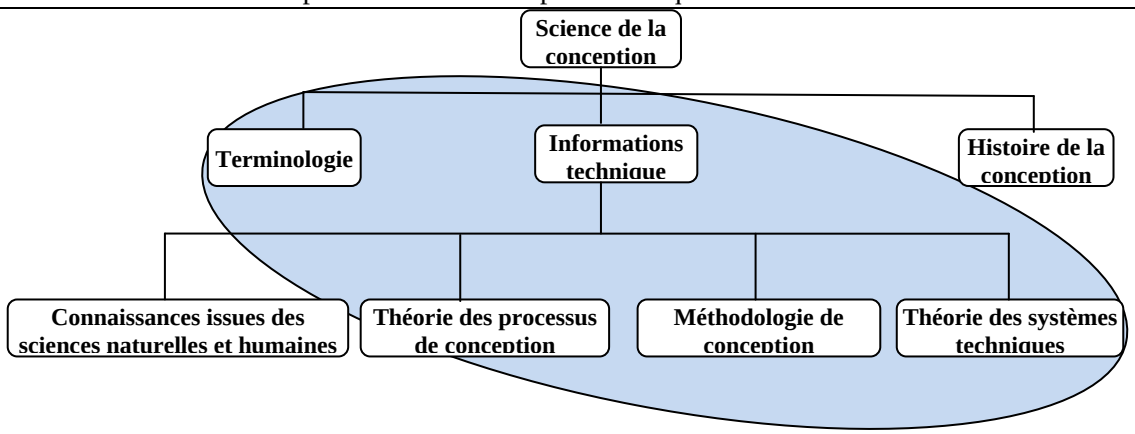


Figure I. 1 : Positionnement de notre recherche par rapport à d'autre discipline, adapté de (Hubka et al, 1987)

Notre positionnement scientifique est synthétisé sur la Figure I. 1 : le domaine de compétences visé suite à nos travaux est représenté en bleu.

Les nouveaux produits sont gérés par *des processus de développement* quasi autonomes. Une autonomie basée sur l'exploitation des ressources internes, autour desquels le processus de conception doit s'articuler. A un niveau générique, le processus de conception consiste à préparer, contextualiser, développer puis déployer des produits innovants sur une gamme de produits. Peut-on alors proposer un modèle théorique de ce processus, en définir les principales phases, les problématiques, les métiers essentiels, les outils et les méthodes associés à chaque phase ?

Dans le contexte d'une filière de conception d'un produit innovant comme la filière des produits orthopédiques, la filière des produits de transmission de puissance, ce processus ne peut être conduit par un acteur unique. Comment adapter le modèle de processus à ce contexte spécifique, et ainsi de proposer un modèle descriptif et organisationnel du processus de conception ?

La littérature sur la gestion des activités de recherche (Figure I. 2), a posé les principes opérationnels permettant d'aboutir à une certaine rationalisation de la conception : pilotage par portefeuille d'explorations, modèle de recherche concourante, organisation ambidextre…

Au-delà du management des activités de recherche ou des activités de développement, comment caractériser le management d'un tel processus de conception ?

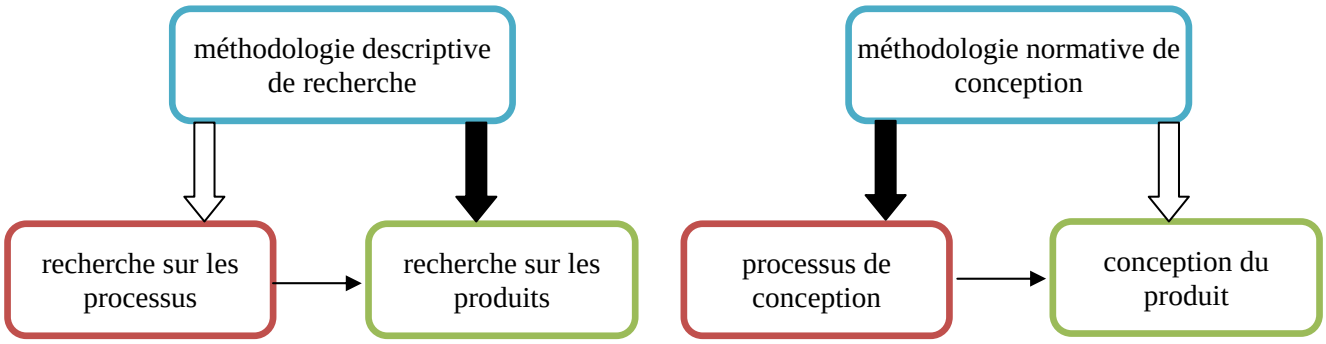


Figure I. 2 : La différence entre la recherche méthodologique et la conception méthodologique **(Kroes, 2002)**

I.2.1 Axes de recherche du LCPI

Les thèmes de recherche du LCPI/ Arts et Métiers Paris Tech sont la caractérisation de l'objet industriel et l'étude de son processus de conception. Les recherches au LCPI se sont progressivement structurées autour du thème d'optimisation du processus de conception et d'innovation, en visant à la production et à la formalisation de connaissances qui contribuent à améliorer les processus de conception et d'innovation **(LCPI, 2009).** De part sa stratégie scientifique, la démarche privilégiée reste la recherche-action, jugée comme un moyen très efficace pour la construction de modèles (sous forme de méthodes, outils, démarches,…) applicables et opérationnels en milieu industriel.

Comme est illustrée sur la figure I.3, le LCPI s'intéresse à la conception de produits en tant que passage d'un état immatériel (idée, concept…) à un état matériel du produit (plan, maquette…), disponible sur le marché. Ce processus doit être maîtrisé pour respecter des contraintes de budget, de délai et de qualité du produit (fonctionnalités, critères esthétiques, coûts…) et cette maîtrise passe nécessairement par une compréhension et une formalisation du processus de conception et d'innovation.

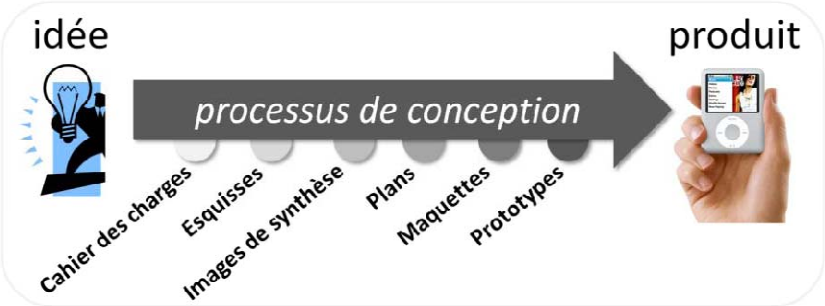


Figure I. 3 : Le processus de conception : une concrétisation croissante, de l'idée au produit (Mougenot, 2008)

I.2.2 Axes de recherche LSM

Les thèmes de recherches du LSM/EMP sont orientés vers l'étude et l'exploration détaillée des phases de génération de concept et conception détaillée, ainsi que les métiers liés à ces phases particulièrement la préparation de la phase de fabrication d'un produit ou un système complexe en appuyant sur :

- La conception ainsi que l'engineering assistée par ordinateur (CAD/CAE) ;
- L'étude de la chaîne reverse engineering d'un produit pour des fins d'innovation et de modélisation;
- La préparation des maquettes physique et virtuelle d'un produit à travers les techniques de prototypage rapide ;
- L'optimisation de la conception.

Ces axes de recherche permettent de contribuer dans les domaines suivants :

- Conception des systèmes mécaniques et des systèmes robotisés
- CAO et calcul numérique en génie mécanique
- Conception intégrée
- Optimisation de la conception des produits innovants

Ces thèmes de recherche imposent des compétences en termes de formalisation du problème de conception et conduisent à la proposition de démarches de conception. par ailleurs, afin de renforcer les résultats de

recherche dans le LSM des applications dans les domaines sollicités par le génie industrielle sont indispensables.

Dans l'innovation produit, l'ancienne structuration qui se tenait à l'activité de R&D (dans une logique en général technology-push) a donné la place à un processus d'innovation passant plutôt par l'activité de conception (le processus de conception innovante). Donc l'enjeu devient la rationalisation de ce processus **(Lattuf, 2006)**.

Comme notre recherche est une contribution dans les processus d'innovation et de conception, une démarche originale est définie et structurée.

La démarche proposée aide les concepteurs ainsi que les industriels à l'amélioration d'un produit existant ou à la réalisation d'un produit innovant. Elle explore d'avantage la phase amont d'un processus de conception et prépare la phase amont du processus de fabrication toute en s'appuyant sur un outil développé en collaboration entre les deux laboratoires (Figure I. 4).

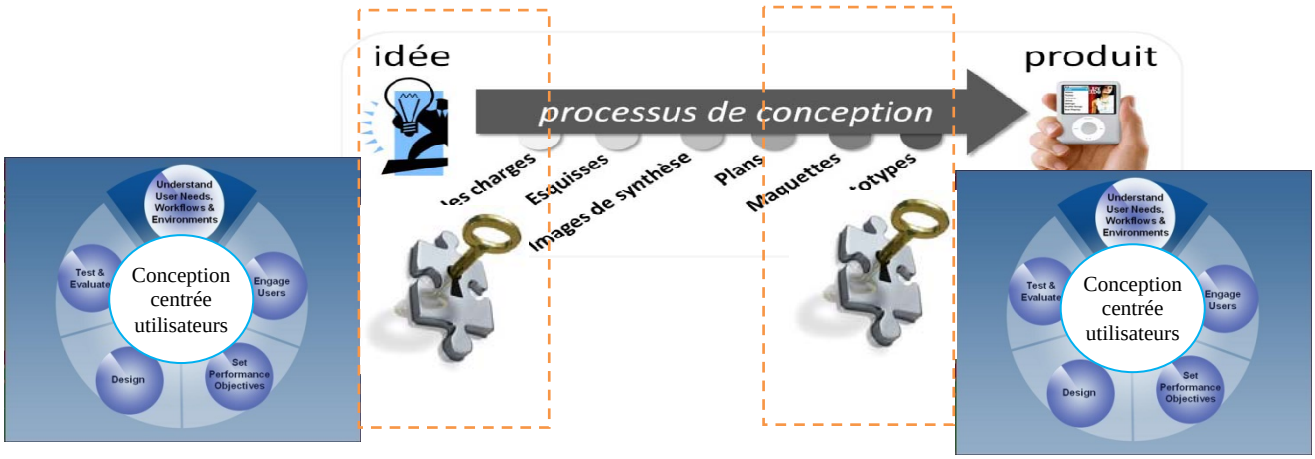


Figure I. 4 : Intégrer la conception centrée utilisateur dans la phase amont des processus de conception des produits.

I. 3 Problématique : aider au choix d'un processus de conception

Le développement d'un outil d'aide au choix de modèles de processus de conception nous semble aujourd'hui primordial. En effet, la conception de produits devient de plus en plus complexe en raison de la quantité accrue d'outils, tel que la réalité augmenté, où les métiers tel que le design émotionnel, qui interagissent avec le processus de conception, et qui conditionnent la réussite d'une démarche d'innovation. Les notions de pluri-métiers ou équipes multidisciplinaires est un aspect d'évolution de la conception, ce type d'approche permet d'alimenter le processus de conception en connaissances issues de différents domaines, ce qui contribue à l'efficience de l'innovation.

Compte tenu de la diversité des produits donc des projets de conception, il y a nécessité de choisir un processus de conception qui pilote ces projets et de déterminer les métiers les plus adaptées aux spécificités de chacun d'eux. Deuxièmement, la sélection d'un processus de conception est une activité à forts enjeux pour l'organisme, génératrice d'innovation et d'intégration des multiutilisateurs. Troisièmement, l'état de l'art a montré qu'il n'existe pas aujourd'hui un outil adapté pour supporter cette activité.

Cet outil, dans sa version finale, devrait aider les concepteurs à déterminer les principales phases d'un processus de conception. En fonction des caractéristiques du produit à concevoir et des ressources disponibles, certains processus classiques peuvent être adaptés directement, d'autres demandent une analyse approfondie sur

le plan structurel. Cette aide est destinée à être utilisée par un public d'industriels, et plus particulièrement par des concepteurs (concepteurs et/ou chefs de projets). En effet, nous visons, à travers le développement d'un système d'aide, un support opérationnel et un support tactique dans l'aide au choix d'un processus de conception.

La problématique de recherche retenue à partir de ces considérations peut alors être résumée autour d'une question centrale que nous formulons de la manière suivante :

Comment optimiser le choix d'un processus de conception soumis à un environnement contraint ?

Une première analyse de la problématique nous pousse à clarifier l'expression « environnement contraint ». En effet, nous considérons qu'un processus de conception ne peut évoluer dans un environnement idéal où, d'une part, l'équipe de conception représente l'ensemble des métiers nécessaires et qui dispose d'outils matériels ou immatériels suffisants, et que d'autre part, l'équipe de conception dispose d'un temps limité pour l'avancement du processus. Ainsi, l'expression « environnement contraint » traduit, pour nous, les limites en ressources humaines, matérielles, immatérielles et temporelles. Autre élément qui caractérise nos travaux de recherche est le manque d'expérience dans le management de la conception innovante, d'où le rapprochement entre le laboratoire CPI et le laboratoire SM.

L'expression « soumis à un environnement contraint » indique que chaque processus de conception a ses propres entrées et sorties pour créer où réaliser le produit. En effet, un environnement de développement géré par un cahier des charges détaillé est différent de celui qui manque de certains détailles jugée nécessaires.
Ainsi nous pensons que le choix d'un processus de conception, ou la reconfiguration d'un processus de conception existant en précisant les phases principales et les métiers concernés, ne peut se faire qu'à travers une approche sémantique.

I. 4 Aide à la sélection des processus de conception

Nous allons ici nous intéresser particulièrement à la problématique de la sélection où le choix d'un processus de conception à travers le développement d'un outil global pour la génération et la réalisation et d'une carte d'aide au choix d'un processus de conception afin d'optimiser ce dernier.

Les recherches au LCPI se sont progressivement structurées autour du thème d'optimisation du processus de conception et d'innovation, avec pour objectif de construire des modèles théoriques de processus liés à l'activité de conception de produit. Ces modèles sont évalués dans un contexte applicatif, la plupart du temps en lien très étroit avec différents acteurs du monde socioéconomique, en particulier industriel. De l'évaluation de ces modèles, nous validons des connaissances, méthodes et outils. L'intégration de ces connaissances par la construction d'un modèle générique en vue de leur optimisation contribue à une dynamique d'avancée scientifique et de progrès industriel. La création industrielle est caractérisée par l'implication de plusieurs métiers (ingénierie, ergonomie, design…) qui doivent en permanence apprendre à travailler ensemble harmonieusement pour concourir à la conception d'un produit industriel réussi. Le LCPI travaille dans une démarche de recherche pluridisciplinaire centrée à la fois sur le processus de conception et sur le produit, et orientée vers l'innovation. La recherche ainsi caractérisée s'appuie sur l'intégration de nouveaux métiers et de

nouvelles technologies, dans le but d'optimiser le processus de conception et de développer des méthodes et outils transférables.

Dans notre cas, la recherche porte particulièrement sur la génération d'un processus de conception, avec pour hypothèse forte que sur certaines caractéristiques du processus de conception dépendent les caractéristiques du produit conçu et les métiers sollicités.

Les derniers travaux en date relatifs à la thématique de l'aide au choix des méthodes et des outils de conception, sont ceux de **(Vadcard, 1996), (Thouvenin, 2002), (Benfriha, 2005), (Perrin, 2005)** et de **(Lahonde, 2010)**. L'idée-force défendue dans ces travaux était d'identifier les méthodes et les outils liées au processus de conception et le besoin de numérisation du processus de conception de produits (à noter que cette idée découle directement du projet à long terme du laboratoire, partagé par l'ensemble de l'équipe de recherche et présenté dans le dossier de reconnaissance **(LCPI, 2008)**) et de proposer un outil d'aide au choix des méthodes liées à l'activité de conception. Les travaux de cette thèse sont dans la continuité de ces travaux, dans une perspective de développer une carte sémantique tridimensionnelle d'aide au choix d'un processus de conception, avec un ensemble d'outils et de méthodes. La finalité est de proposer un outil de génération d'un processus de conception.

I. 5 Enjeux de cette recherche

I. 5. 1 Enjeux scientifiques

L'enjeu scientifique de la présente étude concerne l'augmentation du champ disciplinaire des sciences de la conception.

Ainsi, se proposant de développer un outil d'aide à la sélection d'un processus de conception, nos résultats vont dans le sens d'un enrichissement de la conception. En effet, pour pouvoir sélectionner un processus approprié à l'organisme, il faut identifier la nature des produits et les métiers intervenant pour la réalisation de ce produit.

L'objectif de la recherche en ingénierie de la conception est de supporter l'industrie en développant de la connaissance, des méthodes et des outils susceptibles d'améliorer les chances de succès d'un produit. Or, on constate un manque d'utilisation des résultats de recherche du domaine dans la pratique industrielle. Ce phénomène n'est pas nouveau et a déjà été rapporté par de multiples chercheurs, notamment **(Reich, 1994)** cité par **(Blessing and Chakrabarti, 2009)**. En effet, la plupart des résultats de recherche restent au stade de la publication scientifique et ne se diffusent que très rarement dans l'industrie. **(Braun and Lindemann, 2003)** désignent par la notion de transfert cette transmission de savoir méthodologique du monde académique où les méthodes sont imaginées et développées, au monde industriel où elles sont adaptées, appliquées à des cas divers et variés. Comme il a été défini précédemment, de nombreuses études constatent que ces méthodes ne sont que faiblement utilisées comparativement à l'offre méthodologique proposée par le monde académique.

Finalement, concevoir un outil d'aide à la sélection d'un processus de conception revient à encourager les industriels à utiliser cet outil. Ce système concourt ainsi à promouvoir les résultats de recherche des laboratoires et à améliorer leur visibilité auprès des praticiens. En définitive, en aidant les industriels à sélectionner et adapter un processus qui conviennent le mieux à leur projet, on contribue à faire reconnaître les travaux de recherche du domaine.

Un dernier enjeu en lien avec la perspective scientifique de la présente recherche, concerne l'obtention de données objectives sur l'adaptation et la génération des processus de conception.

En effet, il est actuellement difficile d'obtenir des renseignements neutres et objectifs sur les méthodes de conception **(Tomiyama et al., 2009)**. Les publications relatent très souvent l'application à succès des méthodes et ne mentionnent que très rarement les difficultés et problèmes inhérents à leur mise en œuvre.

Ainsi, par le biais du système d'aide au choix d'un processus de conception, nous souhaitons collecter des informations fiables sur les produits et les ressources disponibles pour le développement, sans aucun parti pris. Nous pourrons ainsi conseiller au mieux les organismes dans leurs interrogations et faire avancer d'un point de vue scientifique la recherche en conception.

I. 5. 2 Enjeux pédagogiques

L'enjeu pédagogique majeur en lien avec la problématique de l'aide au choix d'un processus de conception concerne la formation des étudiants et des concepteurs. D'après **(Tomiyama et al., 2009)**, les industries estiment que ces derniers sont mal préparés au travail de conception dans l'industrie. Dans leur article, les auteurs précisent que les étudiants sont formés à des théories et méthodologies qui n'ont pas d'échos dans le monde de l'entreprise. Aussi, aider les étudiants à sélectionner les méthodes les plus adaptées à leur projet leur permettrait d'être une force de proposition en matière de méthodologies de conception et d'innovation dans leur entreprise d'accueil.

I. 6 Conclusion

Ce premier chapitre nous a permis de se positionner par rapport au domaine du génie mécanique et de génie industriel, nos résultats préliminaires de recherche sont procurés à travailler sur une approche originale (la carte sémantique tridimensionnelle) rarement évoquée dans la littérature. Avec cette approche la préparation, la sélection et la réalisation d'un processus de conception à travers une collaboration avec les utilisateurs est une contribution de notre approche. C'est une première réponse pour notre problématique. Cette démarche nous permettra de créer une dimension de visibilité plus large pour deux communautés (utilisateurs académiques, industriels) ainsi l'enrichissement du domaine de la recherche et ouvrir un autre volet pour le renforcement des méthodes et les outils des processus. Les travaux sur la sélection des méthodes et outils de conception augmente la validité des résultats de recherches du Laboratoire CPI (proposition et validation de la carte sémantique) ainsi les travaux de **(Benfriha, 2005), (Perrin, 2005), (Lahonde, 2010)** sur la conception et processus de conception et ouvre un volet sur la phase amont de la fabrication.

La difficulté en conception préliminaire est soulignée par un manque d'outils et de procédures permettant de supporter cette phase de conception. De l'invention à l'adoption par le marché d'un produit nouveau, l'entreprise devra mettre en œuvre des compétences complémentaires avec des processus souvent très complexes. Mais de la réussite de cette chaîne dépendra non seulement sur son développement mais même sa survie **(Boyer, 2007)**. On ne saurait enfin terminer cette réflexion sans rappeler que la veille stratégique, une vision prospective des métiers de l'entreprise (et des compétences correspondantes nécessaires) sont des puissants leviers de mobilisation pour le processus de conception de produits nouveaux. Cette veille sera intégrée dans l'outil et elle sera considérée comme méthode de mise à jour des informations liées à l'entreprise.

Chapitre II:

De la CONCEPTION au

PROCESSUS de CONCEPTION

Convergence vers une approche basée sur une carte sémantique de classement

II. 1 Introduction

Nos travaux de recherche renforcent la thématique « optimisation du processus de conception », notre positionnement concerne les modèles des processus de conception. Face aux pressions exercées sur les projets et la convergence pour la réalisation des produits innovants dans des délais bien déterminés, académiciens et praticiens ont développés des modèles de processus de conception pour permettre de pallier à la complexité intrinsèque des projets. L'objectif de notre état de l'art est d'avoir une vision des travaux réalisés sur les modèles du processus de conception, les outils, les méthodes et les métiers essentiels qui caractérisent ces modèles. Dans le but de trouver un positionnement original de notre problématique et de collecter les connaissances utiles à la réalisation de nos expérimentations ainsi que le développement d'une approche originale, à travers la proposition d'un outil d'aide au choix où de génération d'un processus de conception. Nous décrivons dans ce chapitre les travaux existants relatifs à notre problématique qui est la proposition, la sélection où l'adaptation d'un modèle de processus de conception pour piloter l'innovation où la réalisation de la conception d'un produit innovant au sein d'une entité.

Dans notre recherche bibliographique, nous approchons « les phases amont du processus de conception » sous l'aspect relation avec la suite de phases ultérieures du processus de conception et leurs importances par rapport au produit final. Cet état de l'art permet par la suite de faire des propositions et des sélections des modèles de processus de conception afin de compléter les limites identifiées et de réaliser un enrichissement à travers les expérimentations. Comme indiqué sur la Figure II. 1, notre approche pour l'état de l'art est réalisée à travers trois pôles P1, P2 et P3.

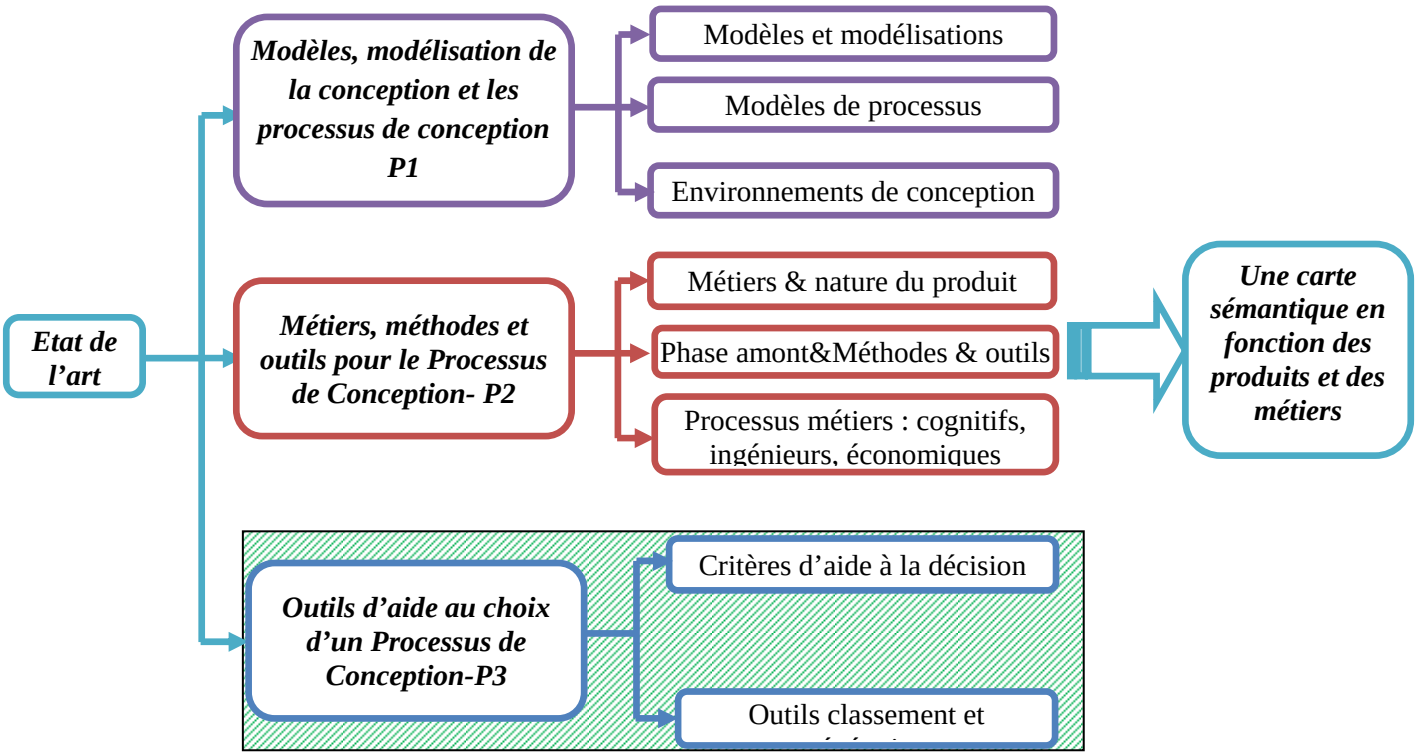


Figure II. 1 : Architecture de l'état de l'art.

Dans cette partie les deux premiers pôles sont développés (modèles & métiers des processus de conception) le troisième pôle sera détaillé dans le chapitre suivant (outils).

II. 2 Modèles et modélisation de processus de conception

Les "systèmes de modélisation" s'apparentent à des langages de représentation, généralement de plus en plus formalisés à mesure que l'on passe du domaine du problème à celui de la solution. la figure II. 2, monte une classification des modèles en ingénierie et en distingue:

a) Les modèles cognitifs sont utilisés pour l'analyse et l'exploration du problème ainsi que la validation des concepts opérationnels de la solution. La recherche et la validation des concepts opérationnels nécessitent des modélisations globales de haut niveau, par exemple dans le cas des systèmes militaires. La définition des scénarios opérationnels suppose la modélisation du comportement des systèmes de l'environnement, ceci pouvant aller jusqu'à leur identification (par exemple définir leurs équations d'évolution).

b) Les modèles normatifs participent à la définition de la solution à différents niveaux d'abstraction. A chaque niveau, des modèles prescriptifs représentent ce à quoi elle doit satisfaire et supportent ainsi la définition des exigences, des modèles constructifs en représentant les architectures et leur fonctionnement.

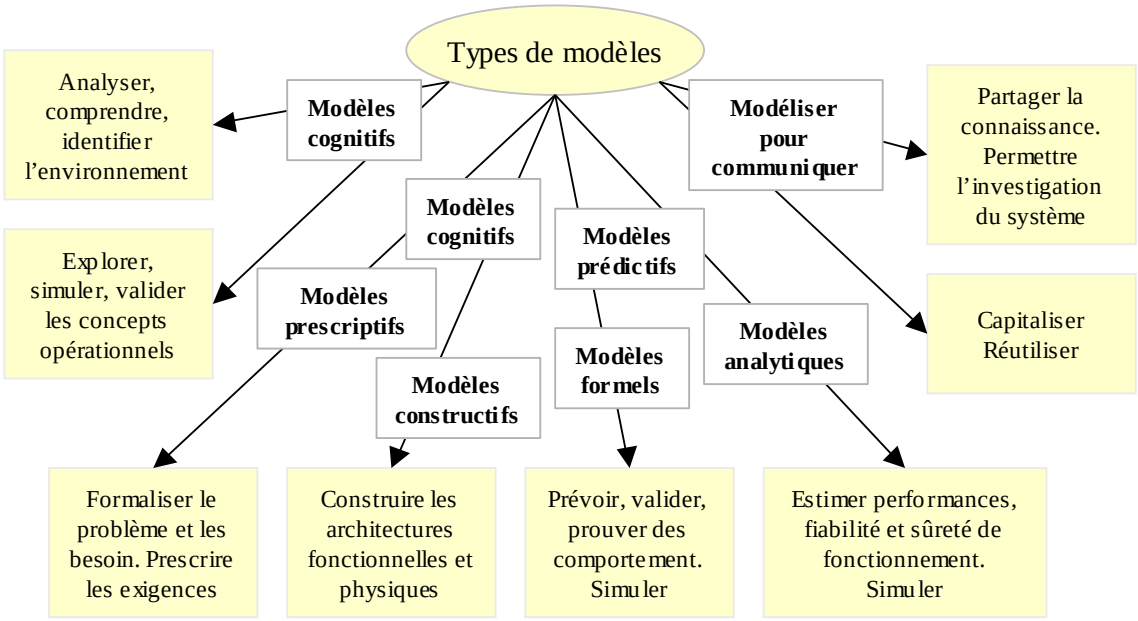


Figure II. 2 : Typologie des modèles en Ingénierie Système (Benfriha, 2005)

c) Les modèles prédictifs sont utilisés pour prévoir et valider le comportement des systèmes. Les parties critiques des systèmes doivent présenter des comportements déterministes malgré l'indéterminisme du comportement de l'environnement. Les techniques de spécification et de modélisation formelle permettant d'établir des preuves théoriques de conformité de comportement répondent à ce besoin dans le domaine du logiciel et de l'électronique numérique. Plus généralement, les exigences de performances et de sûreté de fonctionnement sont estimées grâce à des modèles prévisionnels analytiques, éventuellement statistiques ou stochastiques et à des techniques de simulation associées, sous réserve d'utiliser les modèles dans leurs limites de validité.

Outre le support à l'analyse et à la conception du système, les modèles de représentation du système ont deux rôles. Le premier, est un rôle de partage de la connaissance sur le système : c'est à travers les modèles qu'un nouvel arrivant dans le projet ou un spécialiste tel qu'un fiabilise ou un ergonome doit pouvoir appréhender le système sous toutes ses dimensions afin d'en construire le modèle selon son propre point de vue. Le second est un rôle de capitalisation : les modèles sont plus stables que les produits qui dépendent de

l'évolution technologique. Ils le sont d'autant plus qu'ils se placent à un niveau d'abstraction plus élevé. Ils sont donc de bons candidats à la réutilisation.

Rappelons, ici, que tout effort de modélisation répond à un besoin (modélisation pour une approche globale du système, modélisation d'interfaces pour partager le travail entre sous-traitants, modélisation pour la simulation ou la validation formelle d'un comportement critique…) et que le choix tant de l'élément à modéliser que de l'outil de modélisation doit être pertinent par rapport à ce besoin. Le choix du système de modélisation, qui repose sur un langage de représentation, prend en compte les trois niveaux linguistiques habituels :

i) Syntaxique : en fonction de recherche plutôt de facilité de représentation et compréhension ou, à l'inverse, plutôt de rigueur du formalisme,

ii) sémantique : en fonction de l'aptitude à représenter la complexité du monde réel à modéliser,

iii) pragmatique : en fonction de l'utilité et l'efficacité pour un contexte d'utilisation donné.

Notre approche pour la modélisation du processus de conception est initiée par une modélisation sémantique, basée sur une perception de classification des processus. Cette classification doit alimenter un modèle perspectif, basé sur la notion de phases. En dernier, et sur la base de classification nous convergeons vers un modèle formel de génération. Ce dernier, sera expérimenté et validé pour la génération du processus de conception.

II. 2. 1 Conception des produits

Par conception, nous entendons conception de produit ou de service. Celle-ci, dans ses premières phases a pour mission de concrétiser de manière progressive une idée en produit industrialisé. L'objectif de cette partie est de situer la phase conception par rapport au processus de conception tout en analysant les métiers et les pratiques de la conception.

(Perrin, 2005) précise que le processus central de l'innovation n'est pas la science, mais la conception et qu'il n'y a pas d'innovation sans conception. Selon **(Edwin Layton, 1974)**, du point de vue des sciences modernes, la conception n'a aucune importance, mais du point de vue de la technologie, la conception est fondamentale. En permettant l'adaptation des moyens pour atteindre un objectif, la conception constitue l'essence même de la technologie. La conception de produits a pour objet d'expliciter et de fournir des méthodes et des outils au développement, depuis les phases d'invention jusqu'à celles de production et de maintenance, d'objets ou de services. Ainsi, comme l'indique son étymologie, la conception concerne la manipulation de concepts, c'est-à-dire la manipulation d'une représentation générale et abstraite d'un objet ou d'un ensemble d'objets.

La conception est devenue une activité complexe. Cela fait longtemps qu'elle n'est plus considérée comme une activité individuelle. Maintenant, il est accepté que la conception soit une activité sociale complexe **(Bucciarelli, 1988), (Minneman, 1991), (Larsson, 2005), (Wynn, 2007)**. Bien que la complexité des produits et des processus puisse conduire à des itérations ce risque peut être atténué par l'utilisation du personnel expérimenté aux endroits critiques. En milieu industriel, la conception est bien une activité collective. Plusieurs acteurs de divers services travaillent ensemble pour mener à bien le projet de conception. Ainsi, la confrontation des points de vue de plusieurs acteurs, souvent complémentaires, permet d'arriver à des compromis pour

concevoir le produit. Toutefois, si la conception est collective, il ne faut pas oublier la complémentarité que les activités individuelles apportent aux activités collectives et vice versa.

Il existe plusieurs définitions de conception **(Gero, 1990), (Pugh, 1990), (Pahl & Beitz, 1996), (Ulrich & Eppinger, 2000)**. En reprenant toutes les définitions et avec l'esprit de proposer une définition simple, nous proposons la définition suivante:

" La conception est un processus qui permet de transformer des besoins en la description d'un produit en s'appuyant sur des métiers essentiels". Les besoins peuvent être exprimés par le client ou par la propre entreprise. Il s'agit de définir des fonctions qui vont satisfaire le besoin, de déterminer des composants qui répondent aux fonctions et de « construire » le système proposé avec les composantes déterminées et les métiers identifiés.

Il existe plusieurs typologies de conception. **(Pahl & Beitz, 1996)** proposent une typologie par rapport à la nouveauté des concepts utilisés dans le processus de conception :

- Conception variante : dans ce type de conception la fonction et le principe de solution restent les mêmes, seule la taille et la disposition des pièces varient.
- Conception adaptative : un principe de solution est adapté pour un problème nouveau ou modifié. Le principe de solution reste pratiquement le même mais la conception originale des composants ou des ensembles est nécessaire.
- Conception originale : de nouveaux principes de solution sont utilisés pour répondre à un problème déjà posé ou à un nouveau problème. La particularité est qu'un nouveau principe de solution est produit.

(Deneux, 2002) propose de diviser la conception originale en conception innovante et conception créative. La première serait celle où la décomposition du problème est connue mais il n'existe pas d'alternative connue pour tous les sous-problèmes, tandis que la deuxième serait celle où la décomposition du problème est abstraite et dont il n'existe pas de solution a priori.

Traditionnellement, la conception a été considérée comme une activité individuelle où le concepteur était totalement maître du processus et que lui seul concevait le produit pour ses clients. Cette acceptation a changé radicalement. D'une part, grâce à des études des chercheurs qui se sont intéressés à l'activité collective, notamment avec des études ethnographiques. D'autre part, à la thèse avancée par **(Simon, 1981)** dans laquelle toute personne qui crée une nouvelle chose ou objet est un concepteur. La création de cette nouvelle chose ou objet est pour Simon un objet artificiel par rapport aux objets naturels. Ainsi Simon postule qu'il doit exister une science pour l'artificiel. De plus, **(Simon, 1973)** à travers l'approche de traitement d'information symbolique, affirme que la résolution d'un problème part du postulat que le problème est mal défini (ou il a une définition incomplète). Il faut structurer préalablement le problème pour ensuite le résoudre une fois défini.

A partir de cette notion, des chercheurs en psychologie et en ergonomie adaptent l'idée du problème mal défini pour conduire ses recherches. Ainsi dans le domaine de l'ergonomie cognitive **(Darses, 2004)** et **(Visser, 2006)** identifient quelques caractéristiques des tâches de conception comme une activité de résolution de problèmes :

- Le problème est complexe.
- Les spécifications du cahier des charges sont incomplètes, les contraintes ne sont pas stabilisées.
- La résolution du problème nécessite plusieurs domaines d'expertise.

• La solution à un problème de conception n'est pas unique, elle fait partie d'un ensemble de solutions acceptables.

• La génération de toutes les solutions est impraticable.

• L'évaluation de la solution ne peut se faire que de façon partielle, sur la base de simulations

• La solution définitive est difficile à évaluer en fonction de la difficulté à déterminer si la solution satisfait les spécifications et à quel moment cet objectif est atteint.

• La définition du problème ainsi que l'élaboration s'effectuent en interaction.

• Il n'y a pas un chemin prédéterminé vers la solution.

II. 2. 1. 1 La conception en tant qu'activité

La conception peut être considérée comme une transformation engendrant un changement d'état du produit. Cette vision considère alors la conception en tant qu'activité.

Le principal modèle appliquant cette vision est l'Axiomatic Design de **(Suh, 1990)**. Il définit la conception comme la création d'une solution sous la forme de produits, procédés ou systèmes qui satisfont des besoins identifiés, à travers des mappings entre les spécifications fonctionnelles dans le domaine fonctionnel et les paramètres de conception dans le domaine physique, au moyen de la correcte sélection des paramètres de conception qui satisferont les spécifications fonctionnelles. Nous revenons plus en détail sur ce modèle dans la troisième section de ce chapitre.

Nous pouvons par ailleurs citer **(Ullman, 2002-2003)** qui considère, comme beaucoup d'auteurs dans la littérature, que la conception est l'évolution technique et sociale de l'information, ponctuée par des prises de décisions. Ainsi, c'est le passage d'un espace abstrait (fonctionnel) à un espace concret en termes de solutions physiques.

Une activité de conception est une unité du processus de conception dans le cadre de laquelle est réalisée une série de transformations et de processus (**Figure II. 3**). Les données initiales sont transformées pour obtenir un résultat conforme aux objectifs fixés et respectant les contraintes imposées. La complexité de l'activité dépend du processus de transformations des entrées et du niveau de décomposition (granularité de l'activité ou de la tâche).

Les contraintes représentent les limites d'acceptation d'une solution. Généralement, elles sont exprimées par des relations entre les variables du processus de conception. Pour chaque activité du processus de conception, les contraintes doivent être impérativement respectées. Leur violation peut conduire à l'échec de l'activité où rend inacceptable la solution développée. Les objectifs représentent le résultat que vise l'activité exécutée par le concepteur ou pilotée par le décideur. Ils constituent une représentation anticipatrice de la performance à atteindre.

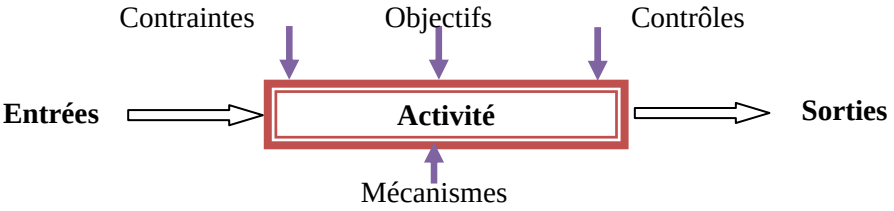


Figure II. 3 : Module d'une activité de conception

II. 2. 1. 2 La conception en tant que processus

La seconde vision considère la conception en tant que processus. Un processus de conception est considéré comme une séquence d'activités de conception qui est nécessaire afin de créer une ou plusieurs représentations du produit **(Reymen, 2001)**.

Les modèles de conception issus de cette vision peuvent être divisés en deux types. Le premier type considère un modèle descriptif, modèle qui décrit le déroulement des travaux à réaliser. La seconde vision, les modèles prescriptifs, propose une procédure de type algorithmique à suivre systématiquement. Nous pouvons citer le principal modèle prescriptif qui est le modèle "Systematic Design" de **(Pahl et Beitz, 1996)** qui s'appuie sur les directives VDI de la Société des Ingénieurs Allemands.

II. 2. 2 Modélisation de la démarche de conception

Fondés sur les modèles de conception précédemment cités, de nombreux travaux représentant la modélisation de la démarche de conception ont été ainsi réalisés. Afin de la modéliser, ces travaux se fondent, selon **(Marsot, 2002)**, sur la notion abstraite de cycle de vie du produit. La première modélisation apparait en 1970 avec le cycle de vie en cascade qui identifie les principales étapes du développement. Le cycle de vie en cascade avec retour fait son apparition en 1976 afin d'intégrer les vérifications de conformité à chaque étape et ainsi agir sur l'étape précédente permettant ainsi d'éviter les non conformités **(Laprie, 1996)**.

Mais à l'heure actuelle, le modèle le plus connu en Europe reste le cycle en V selon l'AFCIQ [1990]. Dans ce modèle, les activités de vérification et d'évaluation du projet sont récursives et permettent de relier une à une, sur un axe horizontal, les étapes descendantes de spécification-conception à celles, ascendantes, de la réalisation **(Marsot, 2002)**.

Mais cette vision linéaire de la conception ne permet pas d'intégrer des disciplines transversales, ou selon **(Aoussat, 1996)** des disciplines carrefours, telles que l'ergonomie **(Sagot et al., 2003)**, le design ou encore le marketing. De ce fait, il s'agit de choisir un modèle permettant d'intégrer tous les acteurs de la conception à toutes les étapes du processus de conception.

II. 2. 3 Echecs de la conception

Selon les travaux de **(Pärttö, 2013)**, Les trois facteurs d'échecs principaux sont :

1) la connaissance,
2) la gestion,
3) l'interaction.

Le facteur de la connaissance se compose de deux sous-types: une connaissance insuffisante et une fausse connaissance. Le facteur de gestion se compose de mauvais timing, des ressources insuffisantes, structure organisationnelle raide, personne en charge et orientée vers un but et les opérations systématiques. Le facteur d'interaction est composé d'une interaction insuffisante avec les clients, conflits entre les acteurs et les réseaux insuffisants.

Les processus de conception se composent de plusieurs phases interdépendantes, où une phase précédente définit la phase suivante. La phase la plus critique est la phase préliminaire, qui est basé sur la collecte des données et la définition d'un plan-projet. La phase préliminaire crée un certain cadre à l'ensemble du

processus, et les insuffisances dans cette phase de l'ensemble du processus met en danger l'ensemble du processus. Le manque et les fausses informations dans la phase préliminaire étaient considérés comme la cause la plus fréquente des échecs de la conception. Le manque d'information renvoie à des situations où les plans-projet sont élaborés et les activités du projet sont menées sans données complètes. La Planification et la construction ont été simultanées, et les constructeurs sont souvent obligés de commencer la construction avant même que les plans ne soient prêts. Il n'y avait pas de temps pour assurer et vérifier les résultats. Les délais serrés ont également été donnés comme raisons pour de fausses informations, et le manque de données est souvent dû pour ceux-ci. Il est devenu évident que le manque de vision à long terme conduit à la précipitation.

Le timing est essentiel dans les processus d'innovation. Mauvais timing se réfère aux situations dans lesquelles les concepteurs sont trop tard ou trop tôt sur le marché avec leurs idées. Dans cette catégorie, deux sur trois pensent que trop précoce sur le marché pose des problèmes. Soit le matériel et les programmes ne sont pas suffisamment avancés pour obtenir un produit ou service sur le marché ou des clients ne sont pas prêts pour le nouveau produit ou service. Être trop précoce sur le marché implique que l'accent a été mis principalement sur le plan de la conception: une vue d'ensemble est élément technologiques manquants, sociales et financières sont ignorés.

Les projets de conception sont constitués de très complexes et multiples phases impliquant de nombreuses personnes qui peuvent regarder les choses du point de vue très différent en fonction de leurs professions. Cette complexité exige beaucoup de gestion: tous les différents aspects doivent être combinés tout en veillant à ce que l'interaction entre les différentes professions et métiers. Les Échecs des Innovations dus à une idée floue sur le leadership étaient mentionnés par certaines personnes interrogées.

II. 2. 4 La nature de la conception

Selon **(Smith et al., 1993)**, l'un des apports de l'Intelligence Artificielle (IA) dans la résolution de problèmes de conception est d'avoir proposé une typologie. Pour chaque auteur, il existe une typologie différente **(Mayer, 1989 ; Sriram et al., 1989 ; Gero, 1990 ; Chandrasekaran, 1990)**. De manière globale, les auteurs proposent une distinction en deux types:

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

Le type « nouvelle » est nuancé par **(Brown et al., 1989)** en :

- conception innovante,
- conception créative.

Cette typologie, mettant en avant le degré de complétude de la connaissance relative au produit et au processus de conception se trouve être adoptée par plusieurs auteurs. La figure II. 4 synthétise une structuration de ces types de conception et des produits associés **(MtopiFosto, 2006) (Seraffero, 2008) (Segonds, 2011)**.

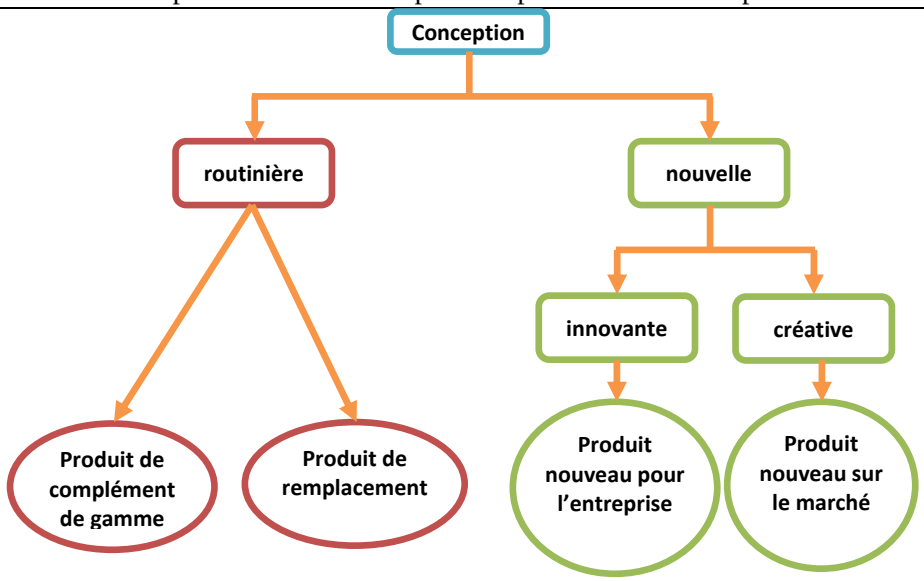


Figure II. 4 : Types de conception et nature des produits

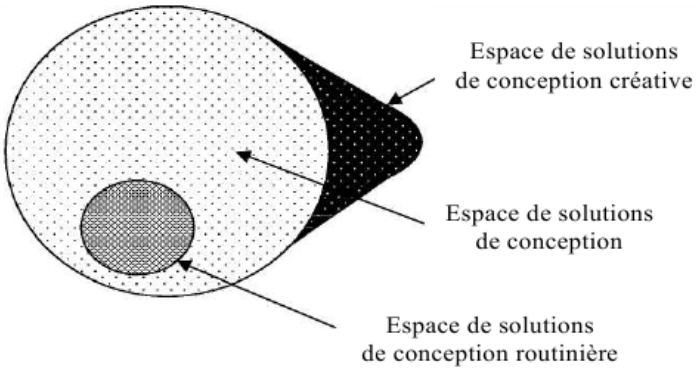


Figure II. 5 : Espace des solutions de conception routinière, innovante et créative

La représentation de la figure II. 5 proposée par **(Gero, 2001)** montre graphiquement l'espace des conceptions routinières et l'espace des conceptions créatives (ou innovantes) par rapport à l'espace de toutes les solutions possibles.

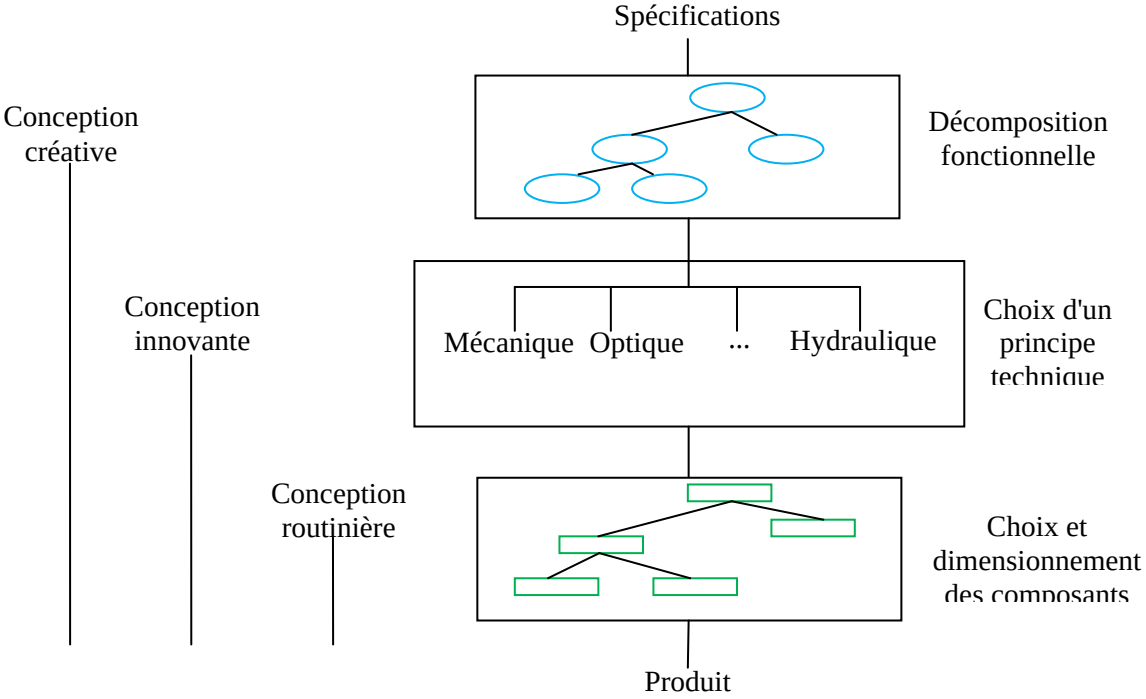


Figure II. 6 : Schéma global de conception (Kota et Ward, 1991)

(Kota et Ward, 1991) proposent un schéma synthétique (figure II. 6) qui illustre les différentes classes de problèmes de conception selon la disponibilité du niveau de connaissance.

La figure II. 6 montre le caractère créatif d'un processus de conception, qui devient routinier lorsque les choix des principes technologiques ont été effectués**.**

Toutefois dans l'approche systématique développée par **(Pahl et Beitz, 1996)**, 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. **(Brown, 1998 ; Dixon, 1988)** proposent des typologies plus détaillées des problèmes de conception. En effet, ils considèrent certaines phases du processus comme des classes de problèmes de conception. Les différentes classes sont identifiées sur plusieurs axes : le niveau de connaissances disponibles ou le niveau d'abstraction du produit et de spécification. Ils parlent alors de conception préliminaire, conceptuelle, fonctionnelle, innovante, créative, routinière, d'ensemble, paramétrique, détaillée, non-routinière, de configuration et de reconception.

II. 2. 4. 1 Conception routinière ou prédéfinie (routine design)

Selon **(Brown et al., 1985)**, 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. Le choix entre les solutions techniquement acceptables et la solution retenue du meilleur compromis agencement / dimensionnement sera toujours de mise. 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 instanciation ou modification des valeurs des paramètres qui caractérisent le produit. La conception routinière, appelée également reconception, représente environ 80 % des activités de conception mécanique **(Vargas, 1995)**. 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. La conception routinière utilise les concepts et les architectures connues pour concevoir l'objet **(Monticolo, 2008)**.

II. 2. 4. 2 Conception innovante (innovative design)

Selon **(Brown et al., 1985)**, 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.

Innovation suppose des idées, de la conception, de la commercialisation des produits et la vente. Elle suppose aussi l'acceptation par les utilisateurs au cours des processus de diffusion liés. Tous ces processus impliquent de nombreuses façons complexes pour organisée le processus **(Saariluoma, 2011) (Rogers, 2003)** . Si certains d'entre eux échouent, la nouveauté ne verra jamais la lumière du jour. Par conséquent, il est essentiel que la gestion de l'innovation voie aussi la pensée humaine comme un facteur important à prendre en considération. Pour obtenir une image globale des innovations, nous devons étudier les processus dans toutes les étapes de l'innovation, un d'eux est la conception **(Pärttö, 2012).**

II. 2. 4. 3 La conception créative (creative design)

La **créativité** décrit — de façon générale — la capacité d'un individu ou d'un groupe à imaginer ou construire et mettre en œuvre un concept neuf, un objet nouveau ou à découvrir une solution originale à un problème. La conception créative est essentielle pour les entreprises afin d'acquérir des avantages de compétences, car elle offre des produits innovants sur le marché. Il y a deux stratégie pour réaliser une conception créative, la première consiste à encourager les concepteurs à réfléchir à découvrir des nouvelles fonctions et de les intégrés dans un produit, la deuxième est de les inciter à adopter des nouvelles solutions et pour les deux stratégies, les concepteurs devraient explorer des activités multidisciplinaires **(Chen, 2012)**.

Que ce soit une créativité ou non, une distinction peut être faite à l'intérieur de chacun des activités. Dans un le cas, des activités ou des tâches concernent les connaissances ou les variables nécessaire pour produire la conception (non-créatif lorsque les connaissances ou les variables à utiliser sont déjà présents dès le début, créatif quand il n'est pas). En un autre cas, des activités ou des tâches concernent la façon dont les connaissances ou les variables sont utilisée ou appliquée à la conception (non-créatif lorsqu'il est appliqué à une habitude ou connus Ainsi, la non créativité). Cette distinction offre deux catégories possibles pour les «types de tâche » dans le processus de conception, en fonction de leurs caractéristiques qui peut être interprété comme créatif **(Snider, 2013)**.

II. 2. 4. 4 La conception robuste

La conception robuste signifie que la conception est faite de manière à limiter les variations, c'est-à-dire à maximiser la probabilité que le système se comporte comme cela est attendu. La conception robuste a été proposée pour la première fois par Genichi Taguchi.

Une conception réussie doit donc être vue comme une instance d'un modèle générique de conception robuste particulier qui capitalise un ensemble de règles métier (les contraintes métier, les conseils métier, les choix métier, …) à respecter, règles synthétisées à partir **des conceptions passées réussies**.

Donc la conception robuste respecte l'ensemble des règles métier garantissant la robustesse du produit.
La Conception robuste est un outil très puissant à utiliser pendant le développement du produit afin de minimiser la sensibilité de la performance du produit à des variations des conditions de fabrication et les

variations de l'environnement, où le produit est utilisé. La Conception robuste a été prouvée d'être un très bon outil pour atténuer les sources de variation dans le développement de produits. Certaines entreprises, comme Toyota ou Fuji Xerox, ont des histoires de réussite très bonnes sur la façon dont la conception robuste a amélioré la qualité de leur marché. Ces histoires sont très bons motifs pour d'autres entreprises pour commencer à employer la Conception robuste dans les processus de développement de produit **(Yaghootkar, 2006)**.

Les Méthodes de conception robustes ont été utilisés avec succès dans de nombreux problèmes de conception dans de nombreuses branches de l'ingénierie. Les contributions du Dr.Taguchi à cet égard ont été très importantes. L'utilisation de la Conception robuste en développement de produits peut être très bénéfique pour les entreprises. En effet, **(Antony, 2002)** note les avantages suivants pour l'application de Conception robuste en développement de produits:

- Réduction du temps de développement et par conséquent une meilleure position sur le marché
- Réalisation de meilleures caractéristiques de définition de produit
- Obtenir une meilleure conception des produits et assurant ainsi une meilleure qualité du produit
- Réduire le nombre de modifications de conception au cours du développement produit
- Maximiser le rapport bénéfice-coût de l'effort expérimental
- Réduire le nombre de prototypes et d'essais expérimentaux
- Augmenter les performances du produit
- une moindre sensibilité aux variations produit dans les composants ou procédés de fabrication
- Réduire les coûts de garantie et de maintenance par une meilleure fiabilité du produit
- Éviter les cycles «conception-essai-débugge-Modifier" de développement de produits.

II. 2. 5 Les environnements (Les systèmes) d'aide à la conception

De part l'intégration de nos travaux de recherche au niveau "concepteur", nous définissons dans cette section les systèmes d'aide à la conception que "les acteurs métiers" (concepteurs, ergonomes, …) rencontrent au quotidien. En l'occurrence, il s'agit des systèmes de conception assistés par ordinateur, assistés par réalité virtuelle, qui résultent du développement fulgurant des technologies numériques dans les années 90. La conception assistée par la réalité virtuelle a connu une exploitation pour le développement des produits innovants pendant ces dernières années. Les systèmes traditionnels tels que les ESQUISSES restent toujours un moyen efficace pour la conception. Nous présentons tout d'abord dans cette section ce type de systèmes, puis les méthodologies spécifiques qui y sont liées et enfin nous détaillons les nouvelles évolutions qu'ils intègrent.

II. 2. 5. 1 La conception assistée par ordinateur : De la planche à dessin à la représentation tridimensionnelle interactive

Avec l'avènement des systèmes d'information dans les années 1950, l'introduction des représentations graphiques a débuté par l'introduction de composants en deux dimensions. L'informatique graphique débute ainsi sous une forme appelée modeleur 2D. Ainsi, les premiers travaux de ce domaine concernent les représentations des segments de droite **(Bresenham, 1965)** ainsi que leurs comportements (par exemple les lignes cachées) **(Jones, 1971)**, les déterminations des intersections **(Bentley, 1979)** ou encore, plus tardivement, les principes de la triangulation **(Hertel et Mehlhorn, 1983)**.

De l'intérêt des bureaux d'études automobiles et aéronautiques pour ce type de techniques dites d'infographie, la conception assistée par ordinateur (CAO) apparut en introduisant très rapidement des courbes et des surfaces paramétriques afin de répondre à ces nouveaux besoins **(Bézier, 1977)**. Ces différents travaux ont ainsi intégré une nouvelle dimension afin d'évoluer vers des modeleurs filaires tridimensionnels, puis rapidement vers des modeleurs surfaciques. De nombreuses évolutions ont été développées pour répondre au besoin d'intégration de contraintes géométriques et physiques fortes, telle que l'intégration de surfaces implicites **(Blinn, 1982)**.

Ces nouveaux modeleurs répondent ainsi à un nouveau processus de conception divisé en trois étapes selon **(Lucas et Desmontils, 1995)** et sont repris par différents auteurs **(Colin et al., 1997)**:

a) Description de la scène : description de haut niveau proche des besoins de l'utilisateur. Plusieurs modes de représentation peuvent être utilisés tels que des textes sous formes de langage naturel, d'images ou encore en utilisant des représentations en réalité virtuelle ou augmentée **(La Greca, 2005)**.

b) Recherche des solutions : réalisée par un moteur de génération, cette phase permet de mettre à disposition du concepteur toutes les formes répondant aux besoins précédemment identifiés. Soit le système attend d'avoir toutes les contraintes spécifiées pour pouvoir lui proposer une géométrie (Implémentation séquentielle), soit le système lui met a disposition des formes candidates dès qu'il y a suffisamment de données (approches concurrentes) **(Champciaux, 1997)**.

c) Prise de connaissance de ces solutions : Le système met à disposition du concepteur toutes les formes générées dans la précédente étape avec un système d'aide à la compréhension afin qu'il puisse choisir à bon escient ou alors réintégrer d'autres besoins en amont.

De nombreux travaux de recherche dans le monde de la CAO se tournent aujourd'hui vers ce type de modélisation **(Bluntzer, 2009)**.

Les modèles CAO sont généralement générés pour créer une forme d'un produit satisfaisant les exigences fonctionnelles sans connaissance préalable de leurs effets sur des applications d'ingénierie aval assistée par ordinateur comme la génération de maillage d'éléments finis. Cette configuration est origine par le fait que le plus souvent, un logiciel de simulation n'est pas intégré à l'environnement de logiciel de CAO. Par conséquent, une échange de modèle est nécessaire et les ingénieurs dans ce processus doivent avoir différentes compétences **(Hamri, 2010)**.

Les systèmes de CAO ne se limitent plus à spécifier géométriquement un produit, ils vont jusqu'à intégrer simultanément le traitement de quelques étapes de son cycle de vie (industrialisation, fabrication, distribution, le recyclage, etc). Le but poursuivi est l'intégration complète de tous les métiers qui interagissent avec le processus de conception. Ce qui conduit certains praticiens à utiliser le terme émergent de l'IAO (Ingénierie Assistée par Ordinateur) au lieu de CAO.

Dans notre démarche de développement des outils d'aide au choix d'un processus de conception, nous nous sommes intéressés particulièrement à la CAO, car nous considérons que c'est un mode de représentation fidèle au produit, ce qui lui a permis de s'imposer comme un outil fédérateur. En effet, sa puissance de modélisation géométrique d'un produit industriel autorise certains concepteurs à pratiquer leurs métiers sur la base des modèles CAO. Mais pour pouvoir choisir et exploiter ces différents modeleurs au sein d'une entreprise, il faut identifier en amont le type de produit à modélisé.

II. 2. 5. 2 La Réalité Virtuelle (RV) en conception de produits

Selon Kan **(Kan, 2002)**, pour palier aux problèmes de coûts et de délais de conception en partie dus aux limitations des RI physiques, l'utilisation des technologies de la RV est une solution d'avenir et pourrait devenir pour les entreprises un bon outil d'aide à la conception de produits. La RV permet au concepteur de percevoir l'écran de l'ordinateur comme une fenêtre sur un monde virtuel, et non comme une table à dessin évoluée. Elle se présente comme une évolution de la conception assistée par ordinateur et Bullinger et al. **(Bullinger, 1999)** affirment qu'elle permet de stimuler l'innovation des entreprises (Figure II. 7). Dans une certaine mesure, la RV a été utilisée avec succès pour la visualisation scientifique, la simulation de vol, la téléprésence, la formation, l'éducation, la médecine, le divertissement, l'architecture et plus récemment pour la conception de produits qui nous intéresse plus particulièrement **(Beier, 1995) (Beth, 2002) (Yerrapathruni, 2003)**.

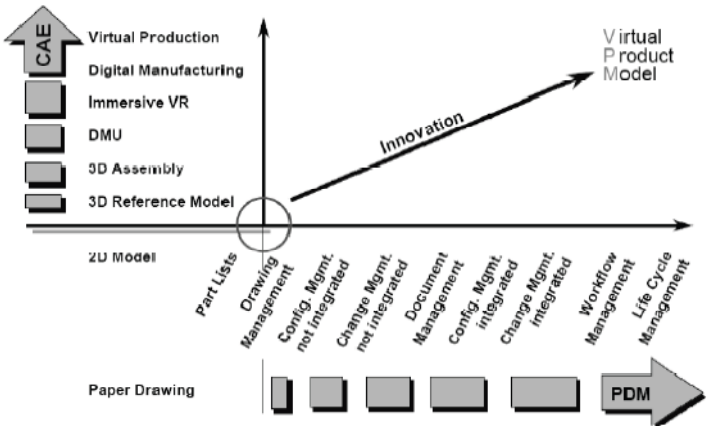


Figure II. 7 : Tendances principales pour l'industrie de fabrication (Bullinger, 1999)

Selon **(Chedmail, 2001)**, l'utilisation de la RV permet une meilleure connaissance du produit, plus rapidement.

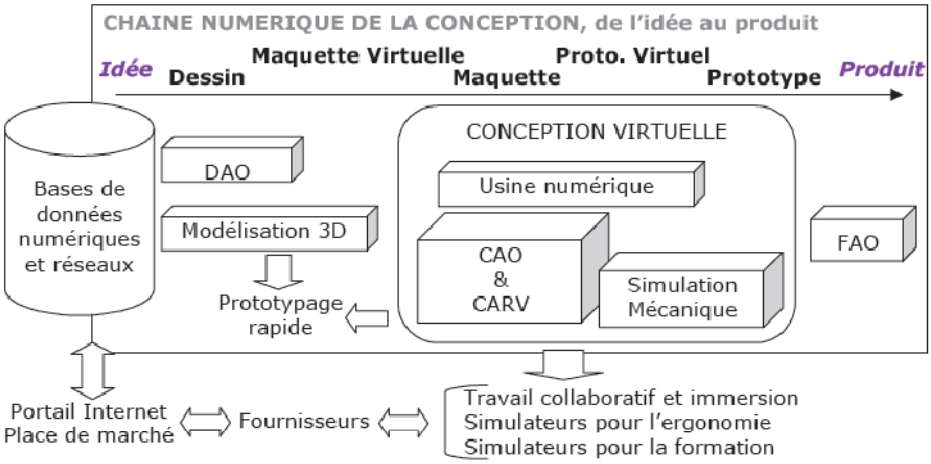


Figure II. 8 : Chaîne Numérique de la Conception (Richir, 2003)

L'utilisation de la RV en conception de produits est la tendance actuellement poussée par le développement de la Chaîne Numérique de la Conception (Figure II. 8). Cette chaîne numérique de la conception permet de passer de l'abstrait au concret, d'une idée du produit au produit prêt à être commercialisé, en utilisant différentes représentations intermédiaires. Des représentations intermédiaires physiques (ou traditionnelles), que nous avons présenté précédemment, mais aussi des représentations intermédiaires virtuelles, telles que la maquette virtuelle et le prototype virtuel. Cependant, l'idée de base de l'utilisation de la

RV en conception de produits est de remplacer les représentations intermédiaires physiques par des représentations intermédiaires virtuelles plus rapides à réaliser et moins coûteuses.

Les représentations intermédiaires virtuelles sont une application majeure de la RV en conception de produits **(Beth, 2002) (Shyamsunder, 2002) (Xiaoqiang, 2011)**. Selon **(Dai, 1998)**, l'utilisation des représentations virtuelles permet une analyse plus détaillée. De plus, la rapidité de réalisation des représentations virtuelles, permet d'évaluer un nombre important de déclinaison du produit, en minimisant le coût et le temps de réalisation.

Les entreprises du monde entier utilisent la RV pour les études ergonomiques, montage virtuel, et la planification des tâches au sein de l'usine. Conception assistée par réalité virtuelle a également intégrée dans des processus de conception de l'automobile et de l'aérospatiale. Certaines de ces applications ont été décrit comme étant très utiles par rapport à l'environnement CAO classique et dans de nombreux cas, il y a des avantages à intégrer CARV dans le processus de conception **(Noon, 2012)**.

II. 2. 5. 3 Les esquisses à main levée en conception de produits

Les esquisses constituent l'un des premiers médias qui permettent de représenter et d'évaluer les futurs concepts. Lors du processus de conception, on a vu que les concepteurs utilisaient des représentations intermédiaires qui permettent une concrétisation progressive de solutions de conception.

L'esquisse est une partie établie de la culture de l'ingénierie. Les esquisses aident les concepteurs de produits au cours des étapes créatives de conception et les aident à développer des inventions. Croquis sur papier par crayon est très utile mais il y a un manque de fonctionnalités, principalement parce qu'il est déconnecté du reste du processus de conception (généralement assistée par ordinateur). Cependant, les outils de conception assistée pour esquisser ne sont pas encore aussi utilisables comme papier-crayon, mais ils offrent une plein intégration avec les phases ultérieures du processus de conception (CAO, CAI, FAO, etc) et d'autres fonctionnalités intéressantes. Nous voulons esquisser par des outils assistés par ordinateur (EAO) qui fournissent aux utilisateurs un environnement dont ils ont besoin pour tirer pleinement parti de leur conception et de leurs talents en matière d'innovation, tout en offrant une intégration complète avec les phases ultérieures du processus de conception (CAO, CAI, FAO, etc) **(Company, 2009)**.

Les premières traces tangibles de concrétisation prennent forme la plupart du temps par des esquisses ou des croquis réalisés à la main par les designers. La transition entre la phase d'exploration et la phase de génération se fait donc avec la production des premières esquisses **(Mougenot, 2008)**.

Figure II. 9 : les esquisses sont la première formalisation par les designers (Mougenot, 2008)

La génération d'esquisses s'opère selon une démarche individuelle réflexive et itérative qui oscille entre la visualisation et le dessin **(Schön, 1983)**. Celui-ci permet la simulation par l'externalisation de l'information **(Bouchard, 2005)**.

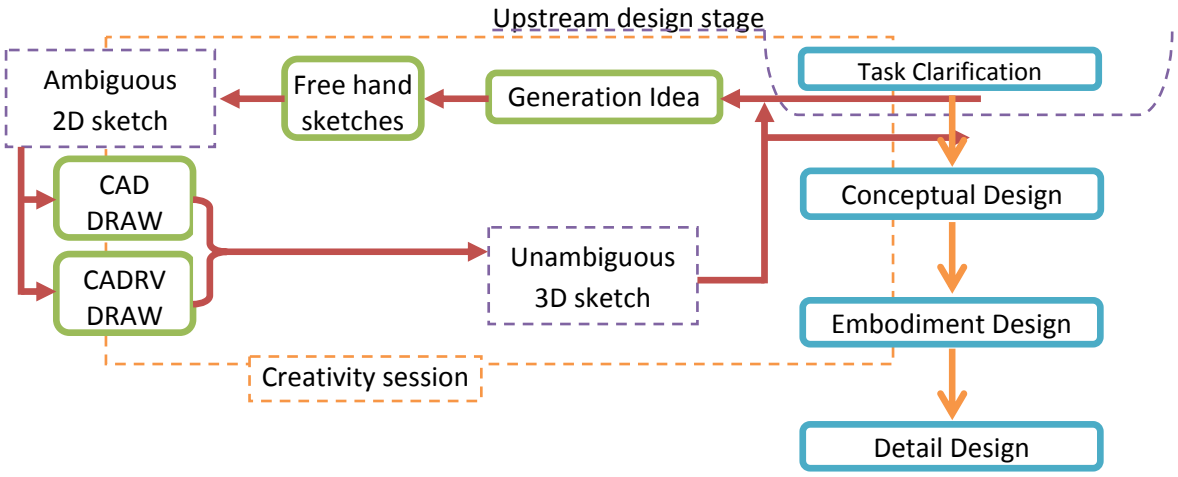


Figure II. 10 : Esquisse dans la phase amont de la conception et l'intégration des outils innovantes (Benabid, 2013 a & b)

La figure II. 10, montre l'insertion des environnements dans la phase amont de développement des produits par l'exploitation des Esquisses générées pendant les séances de créativités.

II. 2. 5. 4 Approche bibliométrique d'identification

Dans la partie suivante, nous voulons explorer les différentes disciplines scientifiques qui traitent les notions :

- Produits (Product)
- Processus de conception (Design Process)
- Conception (Design)
- Besoin (Need)

L'identification des mots clés est basée sur l'utilisation, la citation et le domaine de développement. Comme notre discipline est le Génie industriel, les mots clés tels que processus de conception où produit nécessitent d'avantage une exploration des domaines et des filières qui exploitent les mots clés.

Ce travail nous guide pour la construction de notre sélection des processus de conception autour des filières telle que la médecine, mécanique, aéronautique ainsi que et les caractéristiques de chaque processus. Ce travail d'exploration est réalisé par le moyen d'une recherche bibliométrique.

II. 2. 5. 4. 1. Description de la démarche

Des champs disciplinaires très variés s'intéressent aux notions de produit, processus conception et besoin. Parmi les secteurs scientifiques qui traitent ou s'intéressent à la notion du besoin, nous pouvons citer : les sciences de l'ingénieur, la médecine, les sciences de gestion, les sciences sociales, l'informatique,… Nous avons voulu explorer plus en détail ces champs disciplinaires. Pour cela nous avons effectué une étude bibliométrique, en utilisant la base de données Scopus. Nous avons effectué une recherche pour relever les articles publiés dans tous les domaines référencés par cette base. Notre recherche date du mois de Mars 2013.

II. 2. 5. 4. 2. Les résultats

Notre interrogation de la base de données Scopus a révélé les résultats suivantes :

Produit : 1, 884, 973

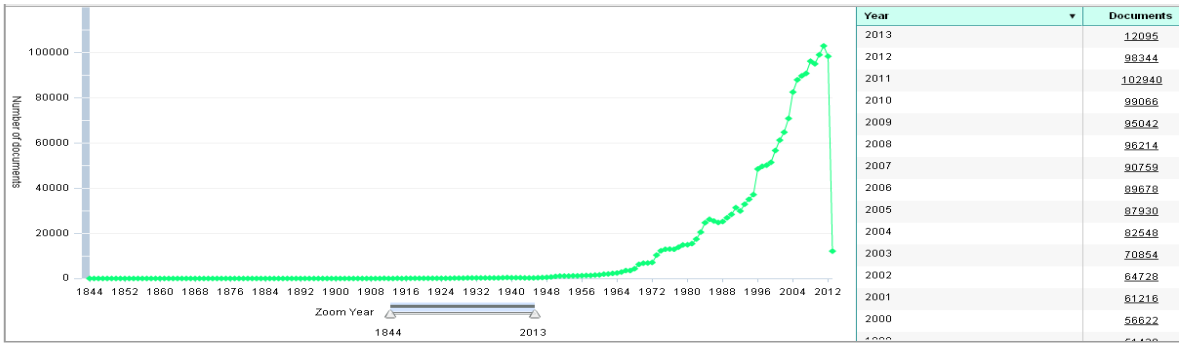
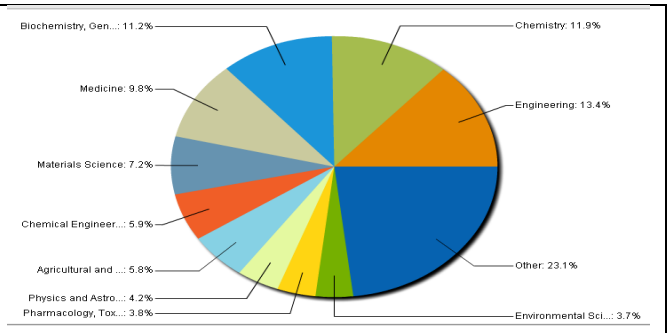
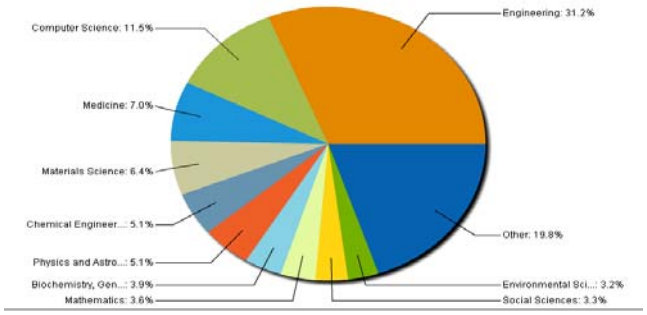
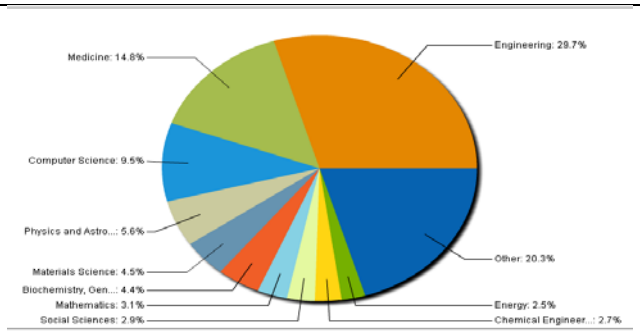


Figure II. 11 : l'évolution du terme produit

Nous remarquons que la notion de « Produit » est très présente dans les disciplines de l'ingénierie, chimie, biochimie et médecine. Ces champs regroupent plus de 47% des articles. Cela est dû à la structure du produit, les matériaux ainsi que le besoin d'utiliser les produits. Tous ces critères il faut les gérer par un processus de conception.	 Produit
Nous remarquons que la notion de « Processus de conception » est très présente dans les disciplines de l'ingénierie, Informatique et médecine. Ces champs regroupent plus de 50% des articles. Cela est dû au besoin d'un processus pour développer le produit.	 Processus de conception
Nous remarquons que la notion de « Conception » est très présente dans les disciplines de l'ingénierie, informatique et médecine. Ces champs regroupent plus de 55% des articles.	 Conception

La majorité des travaux considère que la conception comme activité complexe et elle n'est plus simple et individuelle, d'où les notions de collaboration, multidiscipline et environnements de développement et de coopération.

Nous avons identifié trois grandes familles de la conception:

- Conception routinière

- Conception innovante
- Conception créative

Dans la suite de nos travaux, les méthodes et les outils de la conception robuste, seront exploités par chaque famille (routinière, innovante et créative).

D'autre part, Nous avons identifié trois environnements pour le développement du produit :

- Environnement papier pour réaliser des esquisses 2D à main levée
- Environnement CAO pour réaliser des esquisses 2D et 3D
- Environnement RV pour réaliser des esquisses 2D et 3D

A travers l'étude bibliométrique nous avons identifiées trois secteurs en commun pour les mots clés processus de conception, produit, besoin et conception :

- L'ingénierie,
- La santé
- L'informatique.

Les échecs de la conception des produits sont liés à trois facteurs :

- Connaissances,
- La gestion,
- L'interaction.

II. 3 Processus de conception

De nombreuses entreprises s'engagent dans des chantiers pour représenter leurs processus et les réformer. Il y a, en effet, beaucoup à attendre de ces efforts en vue de rendre les organismes plus performants. Cependant, faute d'une réflexion fondamentale, une grande partie de ces efforts ne produit pas tous les effets escomptés. Six erreurs entachent souvent les pratiques de conception ou de réalisation des processus.

1. Les processus découpés ne sont pas, dans leurs frontières, les plus significatifs.
2. Les nouveaux processus reconduisent l'essentiel des pratiques actuelles de l'entreprise.
3. L'analyse de l'activité reste locale, confinée au point de vue ou aux intérêts d'un métier ou d'un type d'acteur.
4. La conception des processus reste fondée sur une approche par fonctions. Cette approche fonctionnaliste ne suffit pas pour dégager des pistes d'innovation.
5. Les méfaits de cette approche fonctionnaliste sont renforcés par des contraintes formelles que les concepteurs s'imposent.
6. Résultante des travers précédents, la conception prend insuffisamment en compte les perturbations, la "vraie vie", et produit des processus relativement linéaires et rigides.

II. 3. 1 Une autre approche des processus

Y a-t-il une alternative ? Peut-on imaginer une autre façon de concevoir ou réaliser les processus, en échappant à ces six impasses ? Une nouvelle approche consiste à renoncer au primat accordé à l'action. Elle s'inspire de l'approche orientée objet, qu'elle applique aux organisations. Si le premier acte n'est pas de décomposer l'activité, sur quoi travaille-t-on ? Simplement : l'objet. C'est en cela que réside le changement. La démarche de conception des processus procède alors en quatre temps:

1. Repérer l'objet principal au cœur du processus.
2. Établir le cycle de vie de cet objet : poser les états de l'objet et les relier par des transitions licites.
3. Déduire les activités : elles émergent comme le moyen de réaliser les transitions trouvées précédemment.
4. Distribuer les activités sur les acteurs.

Cette méthode repose sur un renversement de l'approche des processus. Commençant par l'objet, au cœur stable du métier, elle repousse à la fin la considération de l'acteur. Elle laisse ainsi davantage de liberté pour les choix d'organisation.

Elle incite à s'affranchir de l'existant ou, au moins, à se concentrer sur l'essentiel.

- la lisibilité du processus qui est compris et exprimé formellement comme ce qui produit ou transforme un objet (c'est-à-dire le mène jusqu'à un état précis) ;
- la prise en compte des perturbations qui sont anticipées grâce à la représentation du cycle de vie de l'objet
- les activités n'apparaissant qu'à la troisième étape, il n'y a plus de problème de frontières (elles sont bornées et définies par l'état avant et l'état après, on trouve là un moyen pour préciser les responsabilités);
- l'étude des acteurs intervient à la fin seulement (ceci laisse une liberté maximale pour redéfinir les rôles et, éventuellement, reconcevoir l'organisation).

Avant de décrire le processus de conception, nous évoquerons brièvement la notion de « politique d'innovation » dans une entreprise, car le processus de conception représente un des constituants d'une politique d'innovation.

Une politique d'innovation dépend généralement des orientations stratégiques d'une entreprise, elle se base sur l'évolution du marché, de la société, des technologies, etc. Elle affiche aussi les ambitions d'une entreprise en matière ; de chiffre d'affaire, de leadership, de part de marché, etc.

Dans une politique d'innovation on trouve, par exemple le nombre de produits innovants nécessaires par une période donnée (ex : 1 produit tous les 6 mois), ainsi que les ressources affectées. Vient après la démarche d'innovation, qui est chargée de l'organisation et de la gestion des ressources, en vue d'atteindre les objectifs. Entre autre, la mise en place du processus de conception, l'acquisition d'un outil, le recrutement d'une compétence, etc. (Figure II. 12).

D'une manière générale, Les processus définissent les activités à réaliser et les résultats attendus, les méthodes définissent les techniques de réalisation des activités, et les outils pour améliorer l'efficacité dans la mise en œuvre des méthodes, qui sont aujourd'hui très généralement informatisés.

C'est en 1970 que Rodenacker considère pour la première fois le processus de conception comme une transformation d'informations permettant de passer de l'abstrait au concret **(Rodenacker, 1970)**. Vadcard considère le processus de conception comme une transformation depuis l'idée jusqu'à un produit **(Vadcard, 1996)**. D'autres chercheurs publient sur le fait que le processus de développement de produits consiste à engager les activités (et les tâches) et les services (les métiers) juste nécessaire à la création et l'élaboration du produit **(Tollenaere, 1998) (Thouvenin, 2002)**.

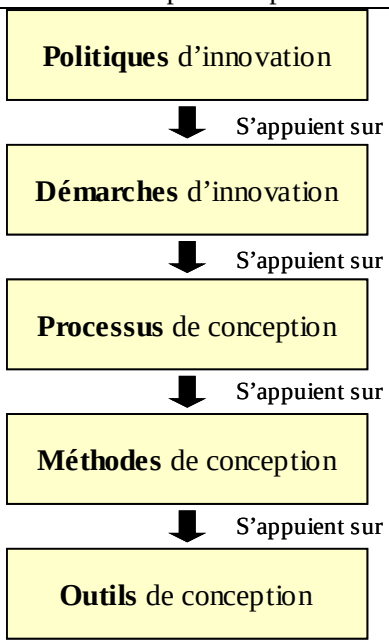


Figure II. 12 : Positionnement relatif du processus de conception (Benfriha, 2005)

II. 3. 2 Explorer les Modèles de Processus de Conception-Première contribution

Les entreprises engagées dans des activités de conception qui veulent crédibiliser leurs activités cherchent à donner de la visibilité à leurs méthodologies de travail, en l'occurrence aux méthodologies de conception. Ainsi, on trouve aujourd'hui des représentations du processus de conception qui montrent un processus de conception structuré qui réunissent de nombreux métiers **(Mougenot, 2008)**.

Outre un argument de vente pour les entreprises qui conçoivent des produits manufacturés, la modélisation du processus de conception est une question scientifique explorée depuis les années 60. Cette modélisation est faite à l'origine dans l'optique d'une meilleure structuration des taches, d'organisation du travail de conception et d'informatisation du processus. Ces enjeux se font toujours plus cruciaux dans un contexte mondialisé de concurrence économique accrue et la question reste plus que jamais d'actualité.

Dans une publication récente, **(Howard *et al.*, 2008)** dressent une synthèse des modèles de conception proposé par des théoriciens de la conception de 1967 à 2006.

Tous les modèles listés se décomposent en ces grandes étapes :

(1) Analyse du besoin

Cette phase consiste en l'identification des besoins de consommateurs, de groupes d'usagers, de clients, de marché. Ces besoins s'expriment traditionnellement en terme de produits, et aujourd'hui de plus en plus en terme de services. Concrètement, cette phase aboutit à des spécifications de conception, à un cahier des charges qui fixent les objectifs du projet de conception.

(2) Planification des taches

Lors de la phase de planification des taches, les acteurs du projet évalue la faisabilité du projet, clarifie et formalise les étapes à venir du projet. Il s'agit d'une phase où le problème de conception commence à être explorer, on ne parle pas encore de solutions.

(3) Conception générale

La conception générale (*Conceptual Design Phase*) consiste à explorer le problème de conception posé au départ (cahier des charges) et à proposer des pistes de solutions. Le consensus des différents auteurs est assez fort autour de la notion de « développement de concepts ». C'est dans cette phase qu'apparaissent des idées, des concepts qui seront affinés dans les étapes suivantes. C'est dans cette phase que le besoin de créativité est le plus fort.

(4) Définition de l'architecture du produit

Les idées et concepts proposés à l'étape précédente sont formalisés de manière à aboutir à des représentations d'une architecture de produit ; la conception est réalisée à un niveau « système ».

(5) Conception détaillée

Partant de l'architecture générale du produit, l'étape de conception détaillée permet d'affiner les représentations du produit, de manière à expliciter toutes les caractéristiques techniques du produit.

(6) Développement et production

Enfin, une fois l'intégralité du produit détaillée, le produit est mis en production. Avant la production définitive, cette phase peut comporter des étapes de réalisation de prototypes et de tests.

Dans notre état de l'art l'exploration de:

- 23 modèles proposés par **(Howard et al., 2008)**
- 11 modèles proposés par **(Scaravetti, 2004)**
- 12 modèles proposés par **(Perrin, 2005)**

Est réalisé, toutes en ajoutant 16 autres modèles de processus de conception. Les seize modèles sont sélectionnés selon leurs citations dans la littérature d'un part et d'autre part selon l'architecture des phases. Nous considérons également les métiers, les méthodes ainsi que les outils associés à chaque phase de ces processus.

En revanche, comme nos approches et nos expérimentions sont déroulées dans des environnements de CAO et de CARV, le modèle numérique du processus de conception de **(Richir, 2003)** est exploré et insérer à la carte sémantique développer.

L'ensemble des modèles de processus de conception explorés à travers cet état de l'art sont rassemblés dans un seul tableau. L'architecture du tableau est en fonction des six phases en ci-dessus et en parallèle une représentation sémantique des modèles graphiques des processus de conception. C'est le premier outil développer dans cette thèse qui porte le premier élément de réponse à la problématique de choix d'un processus de conception. L'axe des abscisses représente une projection des phases pour chaque modèle (de 3 a 6 phases). L'axe des ordonnés est caractérisé par des notions liées à la nature des produits et l'objectif de réalisation, cet axe pourra donner plusieurs éléments sémantiques pour un processus de conception.

Cette outil est nommé "carte sémantique de classement des processus de conception", elle englobe 60 modèles et sont objectif dans un premier temps la sélection d'un processus à partir de cette carte et l'adapter à l'entreprise. La carte sémantique est détaillée en annexe sous format A3. La population ciblée par cet outil est l'ensemble des concepteurs et chefs de projets ainsi que les responsables des entreprises.

L'analyse des processus de conception ci-dessus nous a permis de réaliser la sélection suivante :

II. 3. 2. 1 Les modèles basés sur la notion de phases

Ulrich **(Ulrich, 2000)**, décrit le processus de conception comme la succession de six phases, les membres de l'équipe de conception menant certaines activités durant chacune de celles-ci. Ce modèle est illustré par la figure II.13. Le processus commence avec une phase de planning, laquelle est un lien direct avec les activités de R&D et les activités de développement technologiques. Le résultat de cette phase est la mission du projet, laquelle devient l'entrée pour initier la phase de développement du concept qui va guider l'équipe de conception. Dans cette approche chaque phase correspond à un état de définition du produit. Dans chaque phase il existe une série d'activités que les concepteurs doivent faire pour compléter le processus de conception. Les auteurs notent que ce processus est générique et celui-ci doit être adapté au contexte particulier de chaque entreprise.

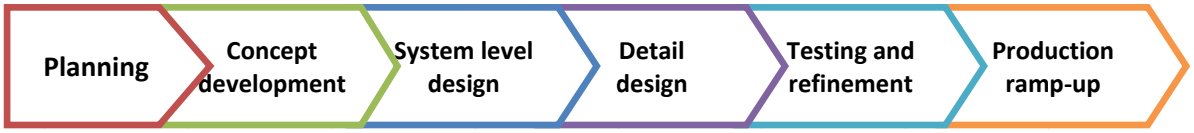


Figure II.13 : Les six phases du processus de conception, (Ulrich, 2000)

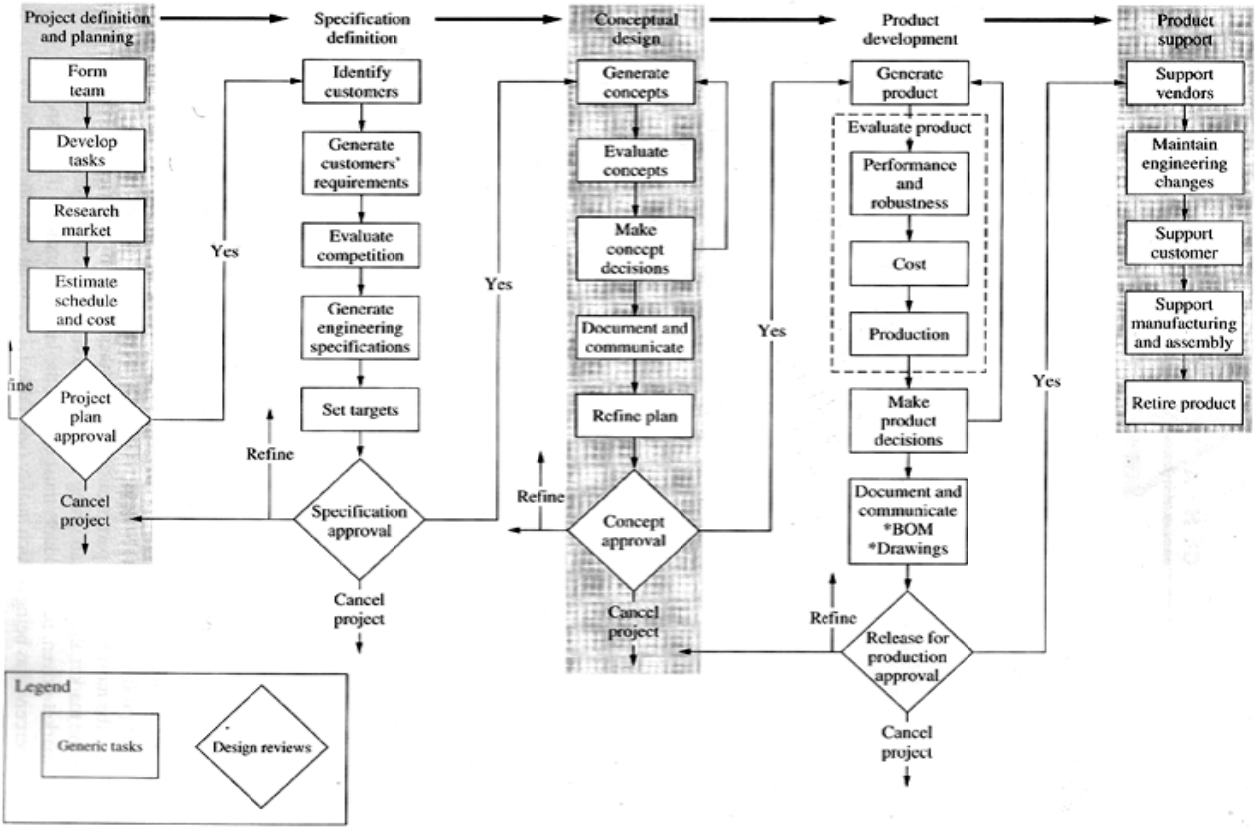


Figure II. 14 : Le modèle du processus de conception, (Ullman, 2002)

Le modèle du processus de conception mécanique proposé par Ullman **(Ullman, 2002)** considère le déroulement successif de cinq phases (Figure II. 14). Chacune de ces phases implique la mise en œuvre de tâches génériques, et la réussite du déroulement d'une phase est approuvée par une revue de conception, qui marque son achèvement.

Dans **(Pugh, 1990)**, l'auteur considère le processus de conception comme organisé autour d'un noyau central 9de phases, qui s'enchaînent de façon itérative (Figure II. 15).

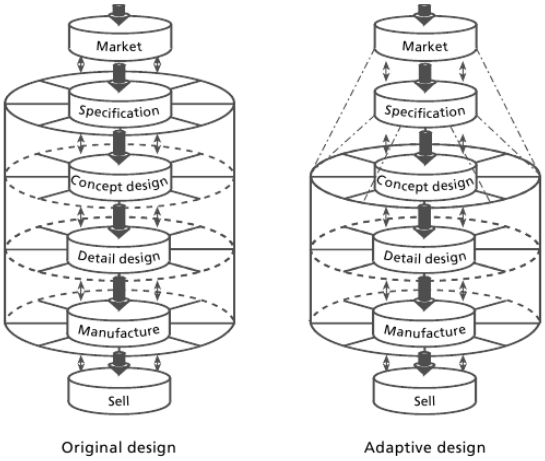


Figure II. 15 : Le noyau du processus de conception, (Pugh, 1990)

Bien que centrée autour de la notion de phase, l'approche proposée par **(Pugh, 1990)** prend partiellement en compte, comme l'analyse fonctionnelle, la notion de domaines coexistants. En effet, l'auteur considère que ce noyau de conception est enveloppé par les ***spécifications de conception du produit***, qui en ce sens contrôlent le déroulement des activités.

Toutes ces approches se basent sur un découpage en phases très proche de celui proposé dans **(Pahl, 1984, 1996)**, qui décrit le processus de conception selon la dimension temporelle. En ce sens ces différents modèles sont représentatifs d'un même point de vue sur le processus de conception, et se distinguent plus par leur terminologie que par leur logique.

Nous retiendrons par ces modèles, qui est de corréler totalement :

- La décomposition du problème de conception.
- La planification du produit, i.e. le découpage de sa définition en différents niveaux de détails et/ou d'abstraction (du plus conceptuel au plus physique).
- La planification du processus de conception qui aboutit à sa définition totale.

En ce sens ces modèles sont intrinsèquement unidimensionnels, et ainsi échouent à décrire pertinemment, à notre sens, à la fois la structure même des processus de conception réels (d'autant plus si ceux ci sont basés sur une organisation concourante), et les caractéristiques des problèmes de conception.

Nous avons constaté la non pertinence des modèles séquentiels pour modéliser la dynamique réelle qui sous-tend la non linéarité des processus de conception. Parmi ceux-ci, certains évoquent l'existence d'entités plus « fines » que les phases, comme les activités ou les tâches. Il est possible de décrire le processus de conception en considérant le déroulement de ces entités, que nous qualifierons d'activités.

II. 3. 2. 2 Les approches basées sur la notion d'activité

Plus « fine » que la notion de phase, la notion d'activité, qui semble proche a priori, s'attache à décrire autrement le processus de conception. Alors que la notion de phase décrit une étape du processus de conception, clairement jalonnée temporellement, et définie par une planification hiérarchique et a priori, la notion d'activité rend compte de l'accomplissement des tâches que les acteurs du processus se fixent. Bien que corrélant avec cette approche la finesse, en termes de découpage temporel, de la notion d'activité devant celle de phase, nous la

réfuterons en ce que la notion d'activité, telle que nous l'adoptons, ne fait pas état d'une planification établie a priori.

Un parallèle est possible avec la notion d'activité proposée par les gestionnaires et économistes **(Lorino, 1997)**. Les activités c'est tout ce que les hommes de l'entreprise font, heure après heure et jours après jours : en définitive, tout ce qui fait la substance de l'entreprise, tous ces travaux accomplis par les salariés parce qu'ils savent les accomplir et parce qu'ils pensent devoir les accomplir, tous ces "faire" qui font appel à des "savoir-faire" spécifiques, aussi simples soient-ils **(Lorino, 1997)**.

Les études que nous avons qualifiées de descriptives du processus de conception ont identifié de multiples classifications possibles des activités menées par ses acteurs de la conception.

Elles conduisent donc à modéliser le processus de conception comme le déroulement successif d'un ensemble d'activités. Ces modèles sont en ce sens aptes à décrire la dynamique d'un processus de conception, au moins selon le point de vue des activités qui y sont menées.

La notion d'activité telle qu'elle est proposée dans ces différentes approches, c'est-à-dire catégorisée en un ensemble d'activités génériques, offre donc un schéma de découpage de l'axe temporel différent de celui associé à la notion de phase. Nous sommes en effet face à un concept qui décrit les actions génériques nécessairement menées par les acteurs de la conception. Celles-ci ne sont pas issues d'une planification hiérarchique adoptée a priori pour la réalisation du processus de conception15, mais de la volonté des concepteurs et de l'interprétation que ceux-ci font de leurs tâches. Les différents travaux présentés nous donnent donc, selon des approches et des niveaux de granularités différents (selon le nombre de catégories du modèle) un modèle des constituants élémentaires (selon un découpage de l'axe temporel) du processus de conception.

Alors que la notion de phase présentée offre une représentation du processus de conception basée sur une planification hiérarchique et a priori, le concept d'activité permet de représenter, toujours selon l'axe du temps, les tâches traitées naturellement, i.e. indépendamment de toute planification établie précédemment, par les acteurs de la conception. Cet autre mode de représentation ne traite donc lui aussi que de la dimension temporelle du processus de conception. Certains travaux font néanmoins mention d'une ou plusieurs autre dimensions parcourues lors de la mise en œuvre des activités, en évoquant le niveau d'abstraction **(Purcell, 1994)** ou le sujet **(Micaelli, 2002)** auxquels s'appliquent les activités. Il est ainsi possible de compléter la représentation de l'axe temporel par une représentation d'une autre dimension non parallèle (les découpages en niveaux d'abstraction **(Purcell, 1994)** et en sujet/sous-sujet **(Micaelli, 2002)** sont indépendants), à travers un découpage que nous qualifierons de basé sur les domaines.

II. 3. 2. 3 Les modèles basés sur les domaines

Par opposition aux modèles dits algorithmiques, i.e. basés sur une planification hiérarchique, et complémentairement aux modèles basés sur les activités, certains modèles du processus de conception sont basés sur une description du processus de conception en un ensemble de domaines. Ces domaines décrivent un découpage d'un ou de plusieurs axes non parallèles à l'axe temporel, qui en ce sens participent à la description d'un processus de conception multidimensionnel. Cet aspect était déjà apparu avec les modèles de l'analyse fonctionnelle et de Pugh **(Pugh, 1990)**.

D'autres travaux, basés sur la notion de domaine ou de dimension, traitent explicitement de la modélisation du produit. Notre volonté de faire figurer ces travaux dans cet état de l'art est due à notre objectif

d'identification des dimensions qui composent le processus. Nous estimons notre démarche pertinente au sens ou ces modèles du produit, destinés à être implémentés dans des méthodes ou des outils de conception, peuvent être vus dans ce contexte comme le modèle d'un (ou plusieurs) axes des points de vue adoptés sur le produit lors de la réalisation du processus de conception.

L'approche axiomatique de la conception est issue des travaux de Suh. Cette approche considère le processus de conception comme la transformation du besoin, exprimé en termes d'éléments appartenant à l'espace fonctionnel (*Functional Requirements*), en la définition d'un produit décrit par des éléments appartenant à l'espace physique (*Design Parameters*).

Les évolutions de cette approche ont conduit à modifier le modèle précédent **(SUH, 2001)**. Les deux espaces initiaux sont devenus des domaines, et ont été adjoints des domaines du client et des procédés. La conception consiste alors à traduire les besoins du client (*Customer Needs*) en spécifications fonctionnelles (*Functional Requirements*), à transformer celles-ci en paramètres de conception (*Design Parameters*) et ceux-ci en variables du procédés (*Process variables*). Dans le nouveau modèle, ce processus de transformation (*mapping*) n'est plus unidirectionnel, car son déroulement correspond à une succession de zigzags entre les quatre domaines. En ce sens, les différents domaines sont susceptibles de se construire parallèlement et les éléments qui les constituent s'organisent alors hiérarchiquement au sein de leur domaine (Figure II. 16).

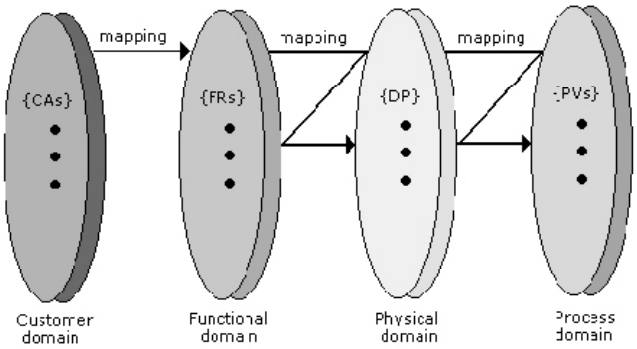


Figure II. 16 : Les quatre domaines de la conception, (SUH, 2001).

Cette approche nous propose donc de distinguer :

- Le besoin auquel la conception doit répondre.
- La représentation de ce besoin en termes de spécifications fonctionnelles.
- L'objet physique qui permet de répondre à ce besoin, le produit.
- Le moyen d'obtenir ce produit, le procédé de fabrication.

Andreasen, considère que la synthèse d'une machine consiste à établir successivement quatre systèmes, correspondants à quatre domaines de travail du concepteur.

Ces systèmes représentent différents aspects de la machine : le ***système procédés*** décrit la transformation de matière, d'énergie et d'information réalisée par la machine ; le ***système fonctions*** décrit la structure de fonctions adoptée par la machine pour réaliser ces transformations. Le ***système organes*** décrit la structure d'organes choisie pour remplir ces fonctions ; et le ***système composants*** (ou système assemblage, ou construction), qui décrit les composants ou groupes de composants qui constituent les organes. Il relate en outre que chacun des domaines qu'il considère est (au moins) bidimensionnel, et décrit par un axe d'abstraction et un axe de niveau de détail. (Figure II. 17).

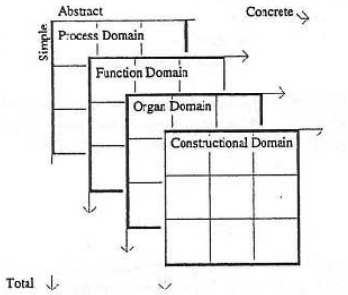


Figure II. 17 Les domaines de la conception

Le modèle FBS (Function Behavior Structure), **(Umeda, 1990),(Gero, 1990)** décrit le processus de conception, dans sa transformation d'un besoin en définition d'un produit, comme une navigation entre des domaines fonctionnel, structurel et comportemental. Les domaines comportement E et S sont distingués, en ce que le comportement E désigne ce qui est attendu de la structure, et le comportement S ce qui en est constaté. Ces domaines sont constitués de variables, et sont reliés par des activités16 de transformation (flèches simples) ou de comparaison (flèche double). La figure II. 18 illustre cette approche.

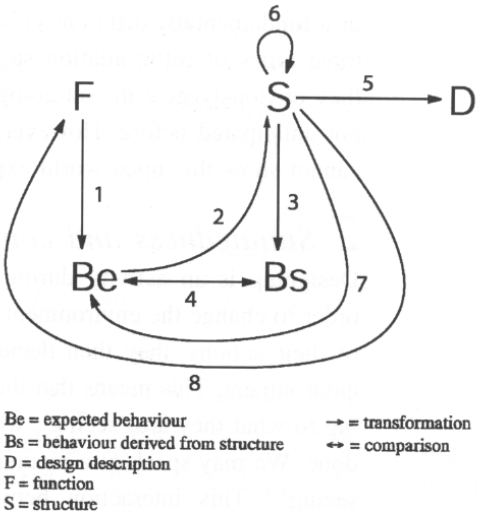


Figure II. 18 : Le modèle FBS, (Gero, 1990).

Les auteurs identifient, grâce à ce modèle de quatre domaines, 8 activités. Ainsi sont identifiées :

(1) La formulation du problème, c'est à dire exprimer les fonctions attendues en terme de comportement E du produit.

(2) La synthèse d'une structure pour répondre à ce problème

(3) L'analyse du comportement S de cette structure

(4) L'évaluation, par comparaison des deux comportements

(5) La documentation du produit conçu

(6) La reformulation de certaines variables de la structure, ou du comportement attendu

(7) ou des fonctions visées (8)

II. 3. 2. 4 Les travaux et les approches du LCPI

Le Laboratoire Conception de Produits et Innovation (LCPI) mène une recherche en génie industriel sur les processus de conception et d'innovation. Cette recherche vise l'amélioration du processus de conception considéré au niveau de ses étapes amont et considère les aspects : formalisation d'outils pour la conception innovante, modélisation de l'intégration des métiers sous-jacents, modélisation pour l'optimisation de cette

conception. Il lui correspond un positionnement original dans la communauté de la conception de produit, cette thématique restant peu revendiquée au niveau académique.

Les activités menées impliquent une compétence pluridisciplinaire à l'intersection des sciences humaines et des sciences pour l'ingénieur (ergonomie, design,..., couplés au savoir-faire en mécanique et informatique). Cette compétence est bien présente dans l'unité via celle des enseignants chercheurs qui la composent.

La démarche scientifique générale du laboratoire est l'optimisation du processus de conception et d'innovation est vue comme l'intégration progressive de nouveaux métiers et de méthodologies.

Les travaux sont menés dans deux directions :

- le développement de méthodes et outils d'aide à la décision pour le pilotage et la gestion de projets de conception de produits (axe1) et celui d'outils d'aide à la conception intégrant les connaissances de différents métiers (axe 2),
- la formalisation et la numérisation des "représentations intermédiaires", concrétisation progressive des attributs du produit et modèles de connaissances (axe 3).

Dans le thème métier l'objectif est d'extraire, formaliser et modéliser les spécificités des différents métiers (règles, connaissances, pratiques et outils) contribuant à l'évolution du processus de conception. L'objectif du thème processus est de formaliser les divers processus individuels et collectifs qui interagissent au sein des projets de conception. La modélisation de ces processus contribue à la maîtrise des phases de divergence et de convergence du processus transverse, en intégrant les différents points de vue métiers dans une approche collaborative.

Le processus de conception est vu comme une évolution parallèle et/ou itérative de ses différents domaines, correspondant à l'évolution des représentations du produit associées. Nous noterons l'opposition entre l'approche qui considère la simultanéité des points de vue **(Darses, 1997)** et celle qui les considère comme itératifs. Nous remarquerons, dans presque tous les travaux qui adoptent un tel découpage, l'existence d'un domaine fonctionnel.

Ce découpage en niveaux d'abstraction peut être décomposé **(Yannou, 2002)**, en tenant compte du niveau de modélisation et du niveau d'objectivité. D'autre part, les points de vue peuvent être associés aux mondes (au sens socio-technique) dont ils sont issus. Ces deux derniers points révèlent la non trivialité de ce découpage.

Les modèles présentés offrent des découpages selon les axes :

- Du niveau de détail (implicitement **(SUH, 2001)** par la décomposition hiérarchique au sein d'un domaine).
- De la justification, de la logique, de la relation de causalité qui existe entre les constituants des domaines (Design Rationale).

Ainsi les éléments du monde physique par exemple **(SUH, 2001)** doivent répondre aux éléments du monde fonctionnel, ou l'idée dans le produit doit permettre de réaliser l'idée avec le produit **(Hansen, 2003)**. Cette directionnalité est à comparer au niveau macroscopique avec le déroulement temporel du processus de conception. En effet son achèvement correspond à la définition du produit et éventuellement de son processus de fabrication, associé par l'atteinte, pour le domaine le plus abouti de chaque modèle, de son état final (il faut

définir une solution pour remplir un besoin ; une contrainte peut être la cause d'un élément de la solution). Néanmoins, d'un point de vue plus fin, ces axes ne sont pas confondus. En effet, un élément d'une solution peut être la cause d'un nouvel élément du problème **(Lindholm, 1999)**.

Pour beaucoup de processus, après une étape d'analyse et de **traduction du besoin**, les spécifications fonctionnelles sont le point de départ de la conception. La formalisation fonctionnelle du besoin, souvent sous forme de cahier des charges, ne présage pas des solutions possibles.

La **conception préliminaire** permet un passage du fonctionnel au structurel. La première étape de la conception préliminaire conduit à proposer des concepts. Viennent ensuite les choix d'architectures, de formes, de composants, de matériaux et un prédimensionnement du mécanisme. Des décisions importantes sont prises. Toutefois, pour beaucoup de processus, la plupart des dimensionnements apparaissent après le dossier de concept, durant la phase de conception détaillée. En effet, les outils de dimensionnement en conception préliminaire manquent **(Chakrabarti, 1992)(Yannou, 2001)**. Les démarches actuelles fonctionnent plutôt sur un mode d'analyse ; la simulation et les calculs de validation interviennent après le choix de solution. Si la solution n'est pas valide, on peut revenir en arrière à différents niveaux (voir Figure II. 19), modifier et revérifier; d'où la présence de jalons tout au long du processus de conception.

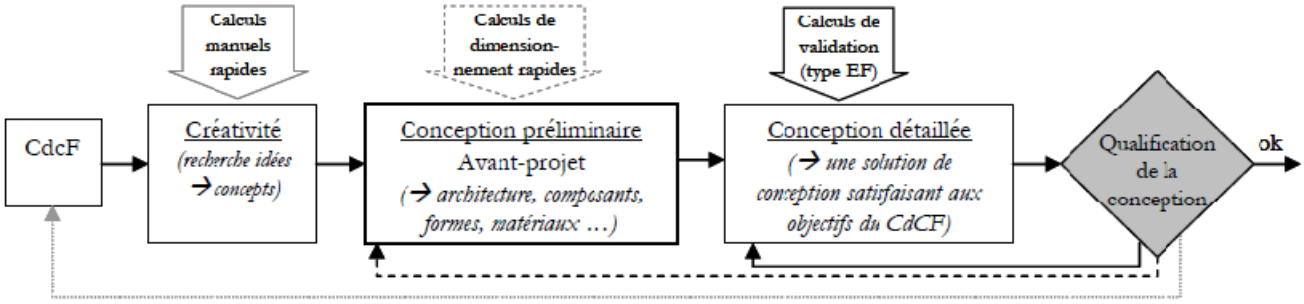


Figure II. 19: Boucles de retour dans le processus de conception (Scaravetti, 2004).

Toutefois, nous pouvons identifier pour la plupart des processus, deux jalons communs : cahier des charges fonctionnel (CdCF) et définition complète du produit (Dossier de Définition). Entre ces deux étapes, un stade intermédiaire apparaît souvent : les spécifications techniques; elles marquent le passage à la phase de conception détaillée.

II. 3. 2. 6 Coopération dans les modèles de processus de conception

Les modèles basés sur la notion de phases proposent une série d'activités au niveau macroscopique pour le processus de conception. De telle sorte que l'organisation de la conception est au niveau global. La coopération entre les acteurs n'est pas écartée dans ce type de modèles mais elle n'est pas formalisée. En conséquence, ils laissent le libre choix aux concepteurs de coopérer entre eux. La coopération se passe entre les acteurs à partir de volontés individuelles **(Dominguez, 2005)**.

(Chiu, 2002) propose un modèle de conception collaborative basé sur la prise de décision (Figure II. 20). L'information de conception est fournie de la phase initiale vers la phase finale jusqu'au moment où le processus de prise de décision est achevée. Ainsi le cycle de circulation de l'information implique la consultation, la négociation, la prise de décisions et finalement la réflexion. La négociation est considérée en tant qu'une tâche importante de la prise de décisions en la conception collaborative. La consultation est une

activité de vérification des décisions à prendre. La réflexion vise à confirmer le résultat de la prise de décision et à initier un autre cycle dans le traitement de l'information. Au sein du processus les stimulus et l'attitude des participants sont également critiques à la prise de décision. L'auteur propose que ce modèle aide à comprendre comment la collaboration en conception peut accélérer le processus par l'organisation efficace ainsi que la communication à travers des possibles systèmes assistés par ordinateur.

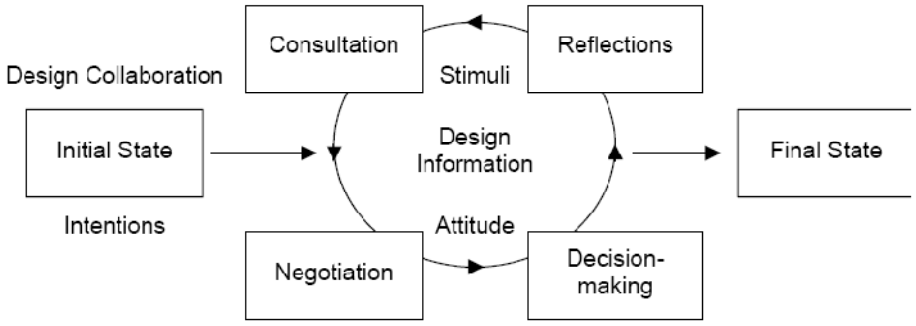


Figure II. 20 : le modèle de collaboration en conception

II. 3. 3 Synthèse sur la conception de produit et le processus de conception de produit

Dans le cadre de développement d'un outil d'aide au choix d'un processus de conception, ce chapitre nous amène, en synthèse, émettre plusieurs constats :

- Les phases amont de conception d'un produit sont primordiales dans le processus. Il convient donc de favoriser l'exploration de la phase amont en développant les méthodes, les outils et les pratiques liés à cette phase.
- Ensuite, l'évolution du contexte industriel actuel pousse à la réduction des cycles de développement alors que, dans le même temps, les responsabilités des entreprises s'accroissent. Ces nouvelles responsabilités induisent de nouveaux métiers (cycle de vie du produit, recyclage …), et donc des contraintes associées, qu'il faut prendre en compte dans l'environnement de travail ;
- La coopération dans les processus de conception est facteur de réussite, et facilite l'aide à la décision dans la suite des phases.

Nous avons passé en revue de nombreux modèles du processus de conception proposés dans la littérature. Ceux ci sont basés d'après notre étude sur les notions de phase, d'activité ou de domaine. Nous avons vu que selon la notion sur laquelle s'appuie principalement un modèle, celui-ci ne se prêtera pas à décrire le même aspect du processus de conception. Ce processus parcourt en effet un espace multidimensionnel, et chaque modèle n'est apte à décrire que certaines des dimensions qui le composent.

La première présentation issue de l'état de l'art est un modèle de choix et de génération d'un processus de conception spécifiques aux besoins, nature de conception, à la nature de produits et aux métiers essentiels. Nous proposons un support de choix d'un processus de conception à partir d'une carte sémantique de classement. Cet outil qui à un aspect d'adaptation d'un modèle intègre les caractéristiques suivantes :

- Une équipe de conception pluridisciplinaire
- Une autonomie de développement par rapport au moyen de l'entreprise (exploiter l'existant)

- Une conception d'une représentation intermédiaire dont l'objectif est l'exploitation des environnements et l'organisation des phases amont de conception
- Augmenter les ressources des équipes de conception par des formations à des nouvelles méthodes et outils de conception et d'innovation
- Analyse de décision sur l'état de conception à chaque phase pour entamer la phase suivante (notion de coopération) afin d'éviter les retours de conception et de correction.

Afin de réaliser un processus de conception :

- Il faut une stratégie de Coopération dans les phases de processus de conception ;
- Il faut appuyer sur une approche collaborative entre les acteurs de conception ;
- Il faut les classer (Les modèles basés sur les domaines, Les approches basées sur la notion d'activité, Les modèles basés sur la notion de phase) pour avoir une vision sur l'architecture d'un processus;
- Il faut installer une stratégie de décomposition du processus de conception en grandes étapes ;
- l'exploration de la phase amont est une finalité d'identification et de réussite il faut l'adaptée par l'entreprise où l'entité de recherche qui sera comme base pour le futur produit (innovant).

II. 4 Métiers, méthodes et outils pour le Processus de Conception

II. 4. 1. Introduction

Nous avons détaillé dans les paragraphes précédents les différents modèles et processus de conception. De plus, nous avons présenté les approches de conception pour un produit. Mais ces différents principes ne peuvent être appliqués qu'au niveau organisationnel. En effet, si le processus de conception de l'entreprise n'est pas fondé sur ce type d'approche, en aucun cas l'acteur métier ne pourra l'appliquer. L'application de ces modèles nécessite donc de modifier les principes organisationnels de l'organisation.

De ce fait, il semble important de définir le contexte au niveau de l'acteur métier, indépendamment de l'organisation du processus de conception dans son intégralité.

L'intégration d'une nouvelle discipline ou de nouveaux modes de fonctionnement telle que l'ingénierie concourante ou un nouveau système de management est particulièrement intéressante, car elle vise également une évolution des pratiques collectives. En effet, intégrer l'environnement, la qualité, l'ergonomie ou une démarche d'ingénierie simultanée nécessite d'introduire de nouvelles valeurs directrices et de les étendre à l'ensemble de l'entreprise **(Perrin, 2005)**. Les entreprises qui ont identifié les besoins latents des clients et les ont associé à leurs compétences métiers seront amenées à produire des innovations.

Les processus métier sont les processus représentatifs des activités de l'entreprise, de sa chaîne de valeur. Différentes définitions ont été énoncées au sujet des processus métiers. Les processus métiers ont pour fonction d'orchestrer les activités participant à l'accomplissement d'un but ou objectif de l'entreprise. Les activités d'un processus métier sont exécutées par des acteurs jouant des rôles particuliers, consommant et produisant des ressources. Les activités peuvent être déclenchées par des événements et peuvent à leur tour produire des événements. Les activités d'un processus peuvent être liées par des dépendances de ressources (dépendances de producteur-consommateur) ou des dépendances de commande (une activité

déclenchant une autre). Les acteurs opèrent à l'intérieur des frontières des organisations qui exécutent des fonctions métiers spécifiques. Les rôles peuvent soutenir des fonctions.

Un processus métier est une orchestration d'activités, incluant une interaction entre différents acteurs sous la forme d'échange d'informations, réalisant des objectifs métiers **(Ulmer, 2011)**.

Par nature, un processus d'entreprise possède une dimension horizontale. Cette dimension est multi-domaine. Par exemple, la Figure II. 21 peut être perçue comme la représentation du processus « Gestion du produit p ». Ce processus est multi-domaine, il dépend des départements « Ventes», « Stocks » et « Production » d'une entreprise. Un processus possède également une dimension verticale, variant selon le degré de spécification recherché par le modélisateur. Ainsi, la Figure II. 21, peut représenter la « gestion du produit p » (niveau stratégique), contenant le sous-processus « Vente du produit p », lui-même contenant l'activité « Réserver p » (niveau opérationnel).

A travers cet exemple, nous constatons que le processus d'entreprise intègre la chaîne de valeurs de manière transversale.

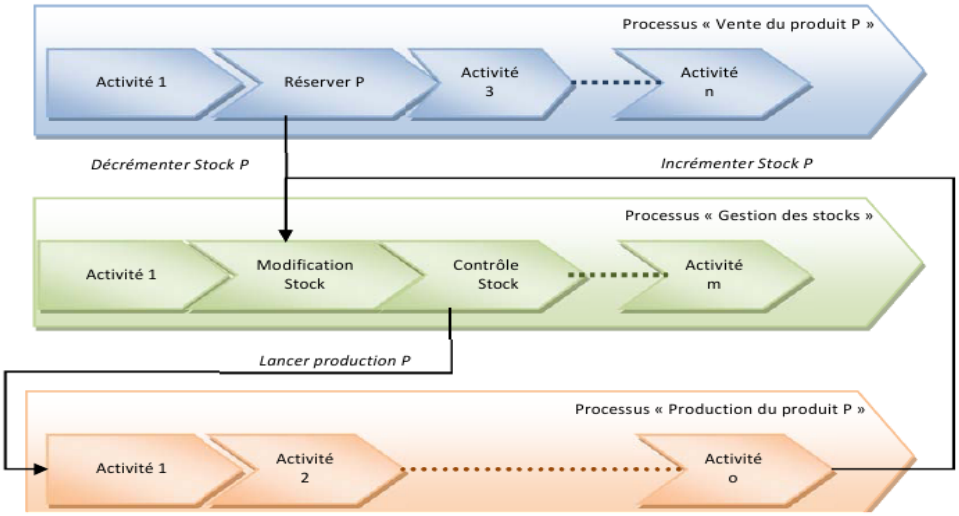


Figure II. 21 : Exemple processus métier.

Selon **(Debauche & Megard, 2004)**, il faut resituer le processus métier selon les trois niveaux d'une entreprise :

- Le niveau métier : où se trouve les processus stratégiques de pilotage ainsi que les processus opérationnels ;
- Le niveau fonctionnel : où se situe les processus opérationnels et de support. Nous y trouvons, dans une moindre mesure, les processus informatiques d'intégration interentreprises et inter application ;
- Le niveau informatique : dans lequel se trouvent les procédures, des activités limitées dans l'espace et le temps.

a) Mémoire métier

Qu'entend-t-on par mémoire métier ?

Une mémoire métier inclut les connaissances sur les produits et les procédés de production. Une mémoire métier devra fournir « la bonne connaissance ou information à la bonne personne au bon moment et au bon niveau ». **(Dieng, 2000)** proposent la définition suivante : « une mémoire d'entreprise est la représentation persistante, explicite, désincarnée des connaissances et des informations dans une organisation, afin de faciliter

leur accès, leur partage et leur réutilisation par les membres adéquats de l'organisation, dans le cadre de leurs tâches ».

(Mougenot, 2008) souligne que Les métiers de la conception sont aujourd'hui largement informatisés et les outils informatiques tendent à être utilisés tout au long du cycle de conception.

b) Métiers et nature du produit

Les connaissances de métier/technique sont liées à l'artefact en cours de conception (par exemple, mécanique des structures, transmission de puissance, climatisation, etc.). Les connaissances de métier sont normalement dépendantes du domaine d'application du projet et changent d'un projet à l'autre.

La modélisation multi vue des produits est utilisée pour des raisons à la fois de complexité des produits et de diversité des connaissances issues de divers métiers. Dans tous les cas, le concepteur est confronté au problème de cohérence des connaissances relatives au produit. Il est donc indispensable de renforcer ces modèles par des formalismes assurant la cohérence des connaissances.

Les acteurs des petites entreprises sont polyvalents et les tâches menées sont de natures très différentes. Il est donc impossible de transférer directement des modèles conçus pour les grandes entreprises **(AOUSSAT, 1996)**. La valeur des connaissances-métiers des acteurs de l'entreprise est très importante, car les petites entreprises sont souvent reconnaissables à un métier particulier. Innover, c'est redéfinir les savoir-faire de l'entreprise et donc, une démarche d'innovation est très bouleversante pour une entreprise mono-métier **(Thouvenin, 2002)**.

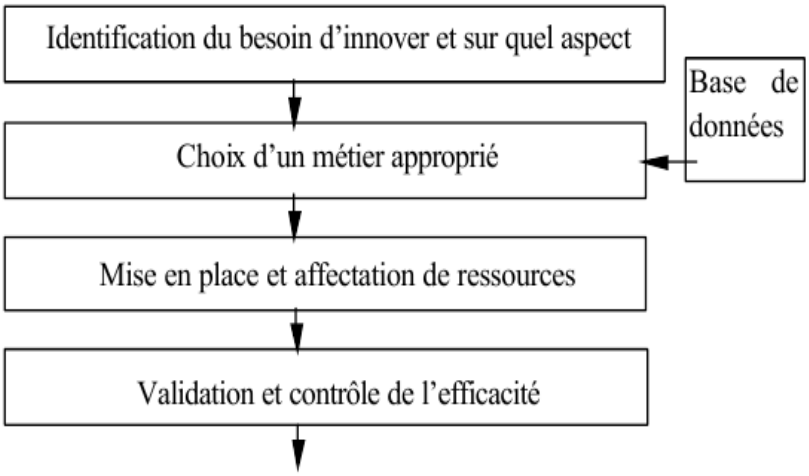


Figure II. 22 : Une démarche globale et d'une base de données associée (Thouvenin, 2002)

c) Les modèles produits orientés intégration métiers

(Tichkiewitch, 1996) propose un modèle produit multi vues permettant la coopération entre les acteurs de la conception. Ce modèle est construit de façon à stocker, dans une même base, tous les éléments utilisés par chaque métier et leurs interactions. Chaque acteur rajoute une contrainte liée à son métier. Ce modèle permet de structurer et d'associer des composants dans un système par la spécification des différents liens. Un lien correspond à une caractéristique externe du composant et les relations expriment les liaisons entre les liens. Trois règles sont associées à ce concept : une règle de composition/décomposition pour représenter les détails des composants, une règle de substitution pour remplacer une relation entre liens par un ensemble composant/lien/relation et enfin une règle de représentation multi vues. Pour définir le produit, chaque acteur se

connecte à la base commune et dispose ainsi de bibliothèques d'entités (composant, lien, relation) et d'un jeu de règles spécifiques à son métier **(Zouari, 2007)**.

Le modèle produit permet de décrire les informations sur les fonctions et leur allocation aux différents organes, les informations sur la structure générique et les différentes alternatives possibles de configuration du produit ainsi que la représentation géométrique et générique du produit. Le modèle du produit assure ***le partage des informations entre les différents acteurs*** et supporte leurs interactions pendant la phase amont. Dans le modèle produit, sont représentés le fait qu'une même fonction soit souvent réalisée par plusieurs paramètres du système et celui qu'un même paramètre peut intervenir dans plusieurs fonctions. Ces fonctions (fonctions de services, fonctions techniques et les fonctions contraintes) et leurs paramètres associés sont, pour les systèmes complexes. Donc, la valeur d'un paramètre fixée par un acteur chargé de réaliser une fonction peut être contrainte par un second acteur qui doit également fixer ce paramètre pour réaliser une autre fonction. La modification de ce paramètre par l'un des deux acteurs nécessite donc l'accord du second. C'est le principe du Q.F.D. (Quality functional deployment). Le processus de conception, lors **des phases amont** à **la phase conception détaillée**, est éminemment multi acteurs. Le modèle du processus de conception offre une sémantique qui permet de capturer les informations relatives au processus de conception ***et les flux d'information entre acteurs***. Des éléments de ce modèle sont partagés avec les éléments du modèle produit car il y a une interdépendance entre les deux modèles. Les tâches du processus sont utiles à la réalisation d'une fonction selon les performances requises, les tâches peuvent alors être associées aux fonctions du produit. Les technologies informatiques actuelles permettent de piloter des échanges d'informations entre acteurs mais leur utilisation est opportuniste dans le domaine de la conception.

II. 4. 2 Coordonner les activités de conception

La collaboration inter-métiers dans les activités de conception est désormais essentielle pour la performance et la compétitivité des firmes innovantes.

Les concepteurs doivent être capables de traduire le besoin en fonctions auxquelles ils apporteront des solutions, mais aussi d'intégrer les contraintes des métiers impliqués en amont et en aval du processus de conception. Ainsi, le concepteur, mettant en avant ses connaissances et son expérience, est un acteur autonome, apprenant, décideur et créateur, modelant les activités de conception. À l'aide d'une coordination adéquate des différents acteurs métier, on cherchera à favoriser le travail collaboratif pour générer plus rapidement les solutions acceptables pour tous les métiers et répondant aux objectifs attendus en termes de qualité, de coûts et de délais **(Monticolo, 2008)**. La coordination des activités de conception nécessite donc une structuration du processus de conception afin de s'intéresser à la façon dont se déroulent les activités, dont s'établissent les relations entre les acteurs et ceci en lien avec les objectifs qu'ils doivent atteindre.

Comme nous l'avons détaillé dans le paragraphe modélisation des processus de conception, les phases du modèle sont successives et correspondent chacune à un métier. Une phase ne commence qu'une fois la phase précédente terminée ; le produit d'une phase constitue alors la donnée d'entrée de la phase précédente.

(Monticolo, 2008) souligne que la réalisation des activités de conception nécessite de pouvoir évaluer à la fois l'état de la connaissance relative à l'objet de la conception et comment cet état a été atteint. Pour cette

raison, il est important de conserver la trace des connaissances relatives au produit et de leurs évolutions tout au long du projet de conception. Pour ce faire, il faut également conserver les informations relatives aux activités des acteurs qui structurent peu à peu cette connaissance, et donc capitaliser à chaque pas le contexte de cette structuration.

D'autre part, la mise en place d'une approche de gestion des connaissances en conception doit prendre en compte les facteurs d'origine hétérogène tels que les facteurs techniques (méthodes et outils différents selon les corps de métiers), les facteurs humains (savoir-faire et méthodes différentes), etc.

II. 4. 3 Importance de La phase amont du processus de conception

Comme est indiquée au paragraphe II. 3.3 de synthèse, Les phases amont de conception d'un produit sont primordiales dans le processus de conception des produits. Nous avons vu que l'activité de conception est généralement présentée comme processus, avec un enchaînement de quatre à six phases **(Pahl et al. 2007; Howard et al. 2008)**. La "frontière" entre conception amont et conception détaillée est à définir en premier lieu. Cette frontière fait l'objet de diverses interprétations.

Les étapes amont du processus, phases pendant lesquelles les produits à développer sont encore définis de manière imprécise et floue. **(Segonds, 2011)** clarifie cette notion de « conception amont » et la définissent comme étant le regroupement des « phases de définition et planification du projet, de recherche et de validation du concept » ainsi que « des premières étapes de la conception architecturale, jusqu'à la génération d'un tracé préliminaire » (Figure II. 23). **(Mougenot, 2008)**, illustre bien ce que nous entendons par conception amont, c'est-à-dire le passage d'un état immatériel (idée, besoin) à un état matériel (maquette, prototype).

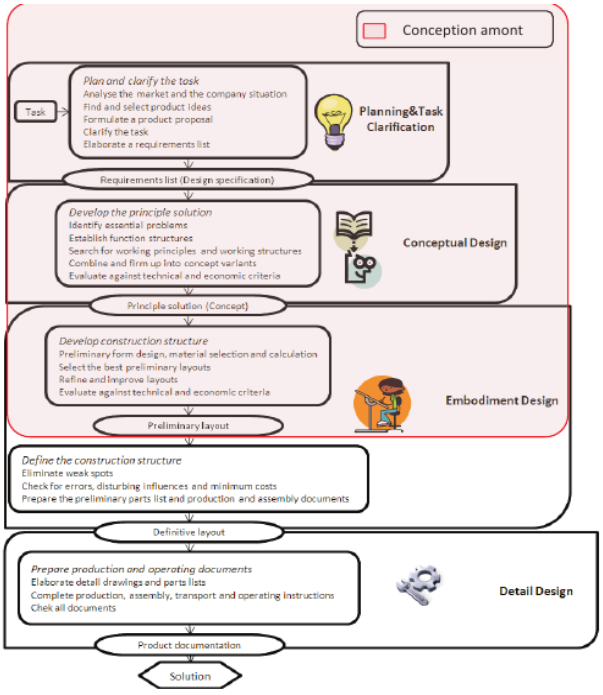


Figure II. 23: position de la conception amont (Segonds, 2011).

Deux approches pour décrire la phase amont du processus de conception, pour nous, la conclusion est que la phase amont est en fonction du produit, des ressources disponibles, l'état du besoin et les frontières tracées pour les équipes de conception. Cette phase c'est l'exploitation des sous phases de processus de

conception. Une fois le concept, le modèle, l'esquisse et le cahier des charges fonctionnels sont réalisés la phase amont est intégrée dans le processus de conception.

II. 4. 4 Importance des méthodes et de leur sélection

Un premier type de classification permet de répartir les méthodes en fonction de leur finalité **(Mougenot, 2008) (Segonds, 2011)** (méthodes de créativité, de représentation, d'analyse de solution, …). Une deuxième forme de regroupement conduit à séparer les méthodes en fonction de leur positionnement sur le processus de conception, cette classification a pour objectif de structurer les méthodes afin de mieux cerner d'une part leurs zones d'applicabilité et d'autre part leur niveau de pertinence.

II. 4. 4. 1 Méthodes de conception

Il existe de nombreuses méthodes de développement de produits nouveaux utilisées par les différents acteurs de la conception . Elles permettent de prendre en compte, dès les étapes amont, l'ensemble des contraintes liées aux phases du cycle de vie du produit (Figure II. 24).

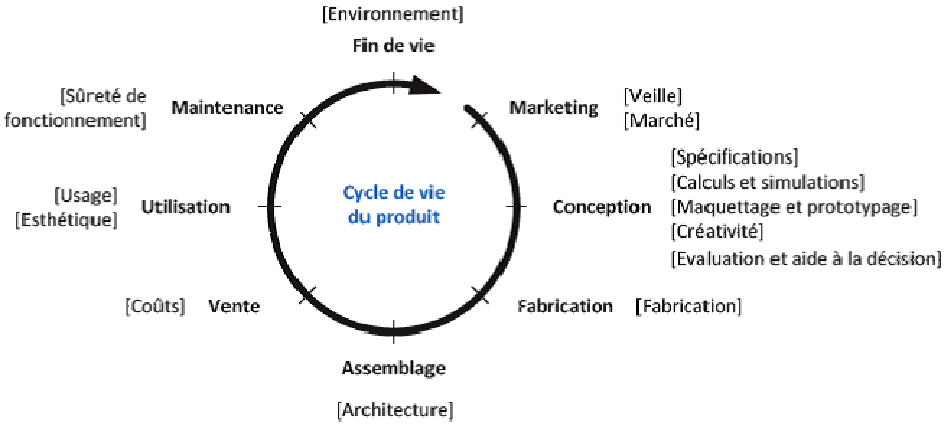


Figure II. 24: phase de cycle de vie d'un produit

Plusieurs tendances peuvent être extraites à la lecture de ces différents paragraphes. La première concerne l'informatisation de l'offre méthodologique, c'est-à-dire le passage des méthodologies de conception d'un format classique papier, physique à un format numérique, virtuel. Certains chercheurs, entre autres **(Killander, 2001)**, affirment par ailleurs que l'informatisation est gage d'intégration des méthodes dans l'industrie. Ce constat explique alors que des recherches soient menées sur le sujet et aboutissent à de nouvelles méthodes sous forme logicielle. C'est le cas par exemple des méthodes telles que l'Analyse Fonctionnelle ou l'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC).

(Perrin, 2005) distingue trois types de références bibliographiques concernant les méthodes d'aide à la conception :

(1) Les références qui ne traitent que le déroulement de la méthode elle-même et n'abordent pas le sujet de l'intégration de la méthode.

(2) Celles qui traitent essentiellement des conditions d'application des méthodes et non de l'intégration de la méthode.

(3) Et celles qui évoquent les conditions d'intégration d'une méthode en conception. Le sujet de l'intégration y est alors traité généralement de façon superficielle. Certains ne se contentent que d'alerter sur les résistances possibles à l'intégration d'une nouvelle méthode

Une étude approfondie réalisée toujours par **(Perrin, 2005)** sur les documents traitant des conditions d'application d'une méthode et de ceux évoquant l'intégration (de types (2) et (3)) a permis de relever trois caractéristiques principales communes à ces références :

- aucune structure organisationnelle explicite du changement n'est développée pour intégrer une nouvelle méthode en conception,
- la promotion, l'information et la formation doivent accompagner l'introduction de la nouvelle méthode,
- la première application de la méthode doit démontrer les enjeux de son utilisation sur les projets de l'entreprise et par là même convaincre ses futurs utilisateurs.

II. 4. 4. 2 le classement par rapport à la finalité

L'ensemble des méthodes de conception de produits appartient à l'une des classes suivantes :

- Classe des méthodes de créativité : aide à la recherche d'idées. Ces méthodes ont un impact plus marqué sur les premières phases d'un projet de conception.
- Classe des méthodes d'analyse du marché : mise en évidence d'une part de la demande du consommateur potentiel du futur produit et d'autre part de l'offre proposée.
- Classe des méthodes de recherche de solutions : identification d'alternatives de solutions et choix de celle satisfaisant au mieux l'ensemble des contraintes internes au produit ou propres à son environnement tout au long de son cycle de vie.
- Classe des méthodes de représentation : formalisation immatérielle (esquisse, un plan, un fichier CAO, …) et matérialisation (maquette et prototype).
- Classe des méthodes de gestion de projet : organisation et administration des tâches mise en jeu en conception.

II. 4. 4. 3 Classement par rapport au positionnement sur le processus de conception

- Les méthodes d'application globale : elles concernent l'ensemble des phases du processus de conception.
- Les méthodes d'application locale : elles sont plus spécifiques à une phase. Elles peuvent toutefois apparaître sur plusieurs d'entre elles mais toujours de façon indépendante.

II. 4. 4. 4 Classement par rapport à l'objet d'application :

- Méthodes appliquées au produit : ces méthodes sont directement liées à la définition du produit auquel elles apportent une valeur ajouté. Ce sont des méthodes attachées à la résolution d'un problème de fond. Ces méthodes manipulent des données spécifiques à un produit puisqu'elles concourent à sa définition.
- Méthodes appliquées au processus de conception pour l'améliorer : ces méthodes sont directement liées à la définition du processus de conception qu'elles contribuent à améliorer en termes de qualité et de réactivité. Ces méthodes ne sont pas spécifiques à un produit. Elles utilisent des données génériques issues de l'observation du processus.

- Méthodes appliquées au processus de conception pour améliorer le produit : ces méthodes concernent le processus de conception qu'elles sont susceptibles de modifier en vue de caractériser au mieux le produit.

II. 5 Outils d'aide au choix d'un Processus de Conception

L'intégration d'une nouvelle méthode en conception est un sujet peu traité dans la littérature. Nous avons vu que quelques chercheurs s'étaient attachés à répertorier et classer les outils et méthodes de conception afin de faciliter leur choix en fonction des besoins d'une entreprise **(VADCARD, 1996) (CHAUVET, 1995) (Benfriha, 2005) (Lahonde, 2010).**

En outre, la majorité des ouvrages d'enseignement d'une méthode ou d'un outil particulier traitent essentiellement de l'outil et la méthode eux-mêmes et considère l'intégration d'une méthode non comme un processus de changement mais plutôt comme l'implantation d'un nouvel outil.

Durant la conception préliminaire, plusieurs choix sont à valider, afin de passer aux phases suivantes : sélection de concept, choix de concept de solution, … chaque décision de conception change l'état de la conception **(Ullman, 2003**) et la description du produit s'enrichie.

II. 5. 1 Cycle de vie d'un processus de conception

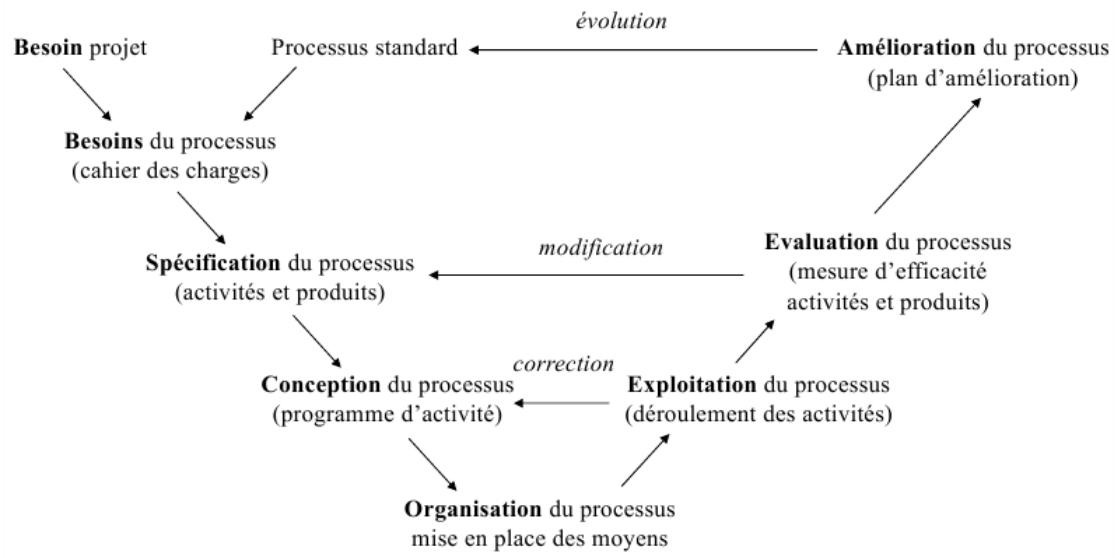


Figure II. 25 : Cycle de vie d'un processus de conception

Le cycle de vie du projet définit le début et l'arrêt d'un projet et divise le projet en phases qui permettent de mieux contrôler et associer de façon appropriée les opérations de l'organisation.

Les chefs de projet ou l'organisation peuvent diviser les projets en phases pour mieux contrôler la gestion en utilisant des liens appropriés aux opérations continues de l'exécution de l'organisation. Collectivement, ces phases sont connues comme cycle de vie du projet.

Le cycle de vie du projet définit les phases qui relient le commencement d'un projet à sa finalisation. Par exemple, quand une organisation identifie une opportunité à laquelle elle veut répondre, elle autorisera souvent une étude de faisabilité pour décider si elle doit entreprendre le projet ou pas. La définition du cycle de vie du

projet peut aider le chef de projet à clarifier s'il va traiter l'étude de faisabilité en tant que la première phase du projet ou comme un projet séparé et autonome **(SANDOVAL-CORREA, 2006)**.

Les cycles de vie du projet généralement définissent:

- Quel travail technique à faire dans chaque phase (par exemple, en quelle phase le travail de l'architecte doit être effectué ?)
- A quel moment des livrables doivent être produits dans chaque phase et comment chaque livrable est passé en revue, vérifié, et validé
- Qui est impliqué dans chaque phase (par exemple, la technologie concourante exige aux applicateurs d'être familiarises avec les exigences et de la conception)
- Comment contrôler et approuver chaque phase.

II. 5. 2 Caractéristiques du processus de conception

Le processus de conception est l'ensemble des activités par lesquelles les concepteurs développent et / ou sélectionnent les moyens de parvenir à l'ensemble des objectifs, dans un environnement contraints. Le processus de conception peut entraîner la création d'une nouvelle solution, la sélection d'une solution existante, ou une combinaison des deux. Plusieurs activités sont réalisées par lesquelles la perception d'un problème du client est transformée en un signal de sortie de la conception d'objet, qui est une solution satisfaisante à ce problème.

Toutes les caractéristiques clés du processus de conception doivent être incluses dans un modèle pour permettre aux praticiens de faire des plans de projets qui utilisent efficacement toutes les ressources disponibles, méthodes et outils. Ces caractéristiques doivent être incluses dans le modèle, dans le sens que le modèle doit expliquer, prévoir ou permettre des explications ou la prédiction sur la base de ces caractéristiques. Les caractéristiques sont :

1. La prise de décision : Le but du processus de conception consiste à prendre des décisions, en particulier pour trouver une solution (en termes de conception d'un objet) à un problème de conception. Ainsi, les points de décision, clairement définis et la prise de critères (et / ou règles) doivent être visibles dans le processus.
2. Mesures de Performance : la Performance de processus de conception est évaluée sur la quantité de ressources (temps, coûts) utilisées pour satisfaire à l'objectif (par exemple, résoudre le problème de conception). Une activité au sein d'une phase de processus de conception est évaluée par rapport aux ressources dépensées pendant la réalisation de cette phase pour produire complètement sa sorties vers d'autres phases.
3. Itération : Le processus de conception comprend des itérations. L'objectif est de minimiser les itérations entre les activités, les phases, les entrées et les sorties du processus de conception.
4. La séquence des activités : Bien que les activités individuelles réalisées soient similaires dans tout le processus de conception, ils peuvent être séquencés par différents façons.
5. Niveaux de portée et niveaux d'abstraction : Les bons plans du processus de conception avec des problèmes à plusieurs niveaux: les niveaux de portée d'application (une mesure de la quantité d'impact

sur le problème et sur la conception globale) et niveaux d'abstraction (une mesure de la conception ou le niveau de détail du problème).

6. Gestion de l'information. Les données relatives à l'objet de la conception sont collectées, générées, utilisées pour prendre des décisions, et stockées. L'information recueillie varie en certitude, la quantité et la pertinence encours et usage futur (l'utilisation de l'information comme aide à la décision dans une itération de correction où d'intervention par l'équipe de conception).

Le modèle du processus de conception se compose d'une collection d'activités distinctes avec un départ clair et un point final. Chaque activité est la transformation des entrées vers les sorties. Ces activités peuvent être séquencées selon de nombreuses façons. Les activités doivent être assemblées dans un processus de conception spécifique au projet. Chaque projet aura sa séquence unique, en fonction de son statut, la portée et les objectifs. La figure II. 26, montre toutes les activités et les liens possibles entre eux dans une feuille de route de processus de conception. Ce modèle devrait permettre l'explication des décisions concernant la séquence des activités de tout processus de conception. Les modèles de processus de conception se composent d'un ensemble d'activités: le contrôle et la décomposition, l'analyse d'une solution existante, la formulation du problème, le découplage, le concept de génération et d'analyse, compromis, et la mise en œuvre. Le début d'un processus de conception (c.-à-projet) est à gauche de la figure II. 26.

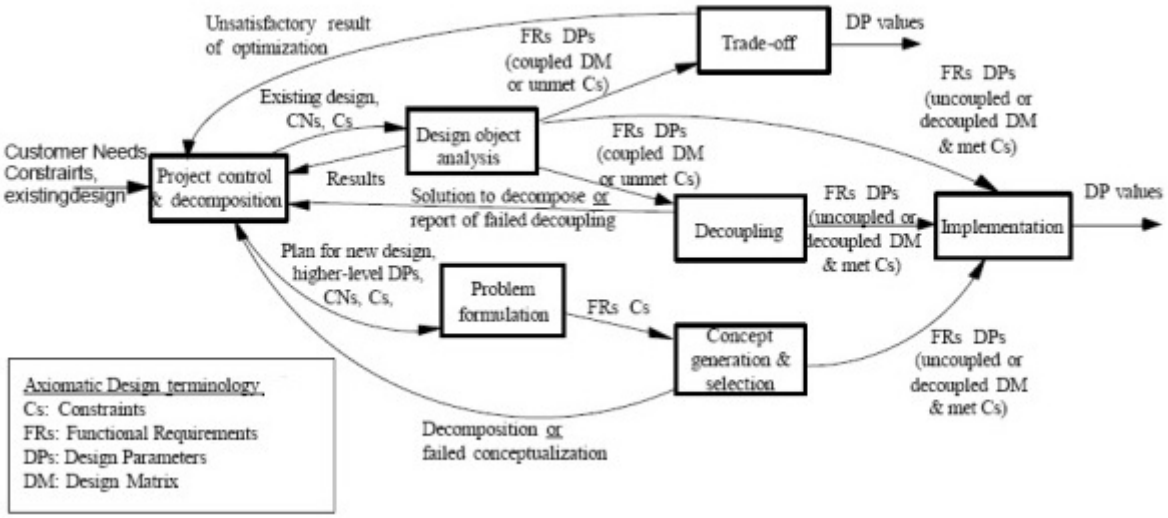


Figure II. 26 : Feuille de route d'un processus de conception (Derrick, 1996)

II. 5. 3 Quelques outils pour réaliser un processus de conception

Quelques travaux s'intéressent à la question de sélection d'un processus de conception. L'ensemble des outils disponibles ont comme point en commun l'identification des ressources et la nature du produit ainsi que l'architecture de chaque processus de conception. Dans la suite, un aperçu sur quelques travaux proposant des outils d'aide à la réalisation de la conception sous forme d'un processus. L'identification des outils de réalisation d'un processus de conception nous donne une vision sur les avantages et les inconvénients de ces outils afin de proposer une solution qui regroupe les limites identifiées.

II. 5. 3. 1 Les travaux de littérature sur les outils de réalisation de processus de conception

a) L'approche proposée par (Klocke, 2000)

Dans l'approche proposer par (Klocke, 2000), l'analyse des procédures de planification des processus, considère que les chaînes de processus de fabrication d'un produit sont conçues sur la base des niveaux d'information différents et en fonction de différentes phases de planification. Se concentre sur le réglage optimisé de la technologie avec la forme de produit. Par conséquent, un spectre large de la technologie peut être pris en considération, qui sert à la génération des différentes alternatives technologiques de fabrication dans premières phases de conception du produit. Projeter les alternatives du produit dans un environnement de production spécifique, les limites de la prise en compte changent et une nouvelle planification niveau est abordée. Ce niveau permet déjà une évaluation et une plus spécifique sélection des alternatives de fabrication.

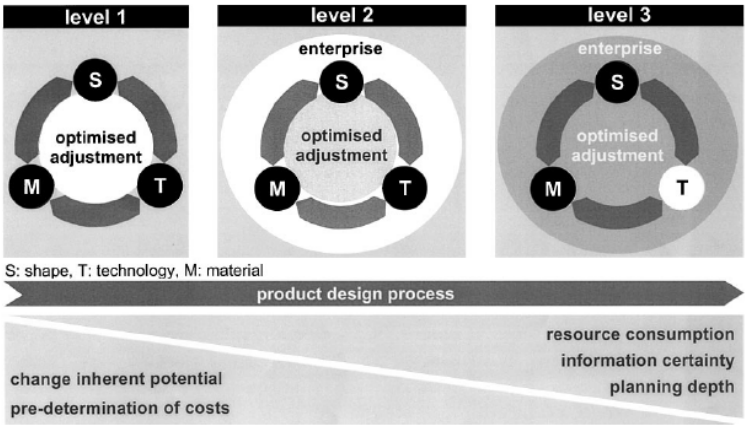


Figure II. 27 : Planification des phases et intégration du produit dans le processus de conception (Klocke, 2000)

Basé sur l'approche générale de l'ingénierie simultanée, différents niveaux du procédé de la conception ont été identifiés et introduits. Ces niveaux, étant des modules d'un système intégré de conception des produits, sont définis comme des processus de conception pour les chaînes technologiques, des séquences de fabrication et les processus individuels.

Le Processus de Conception pour les chaînes technologiques vise une optimisation et adaptation de la technologie aux produits comme la forme et la matière utilisée, ce qui permet la prise en compte des exigences technologiques dans la phase amont de la conception des produits. Préparation de la fabrication sur la base des résultats du processus de conception.

b) L'approche proposée par (Uduma, 2007)

L'outil proposé par **(Uduma, 2007)** de la figure II. 28, est un outil de conception automatisé. Les concepteurs experts ont utilisé l'outil, comme un traitement de texte avec une base de données riche de stratégies existent dans le parcours d'enseignement des concepteurs et ingénieurs. Les concepteurs débutants comptaient sur l'outil comme sources de conseils, d'orientation et d'aide pour accomplir tous les tâches de conception. Les novices en conception ont utilisé l'outil pour l'apprentissage des notions de la conception. Le concepteur est susceptible de gagner plus d'avantages à l'utilisation de l'outil. Concepteurs novices peuvent utiliser l'outil pour renforcer leurs connaissances antérieures ainsi que le remplissage des lacunes sur les connaissances liées au processus de conception.

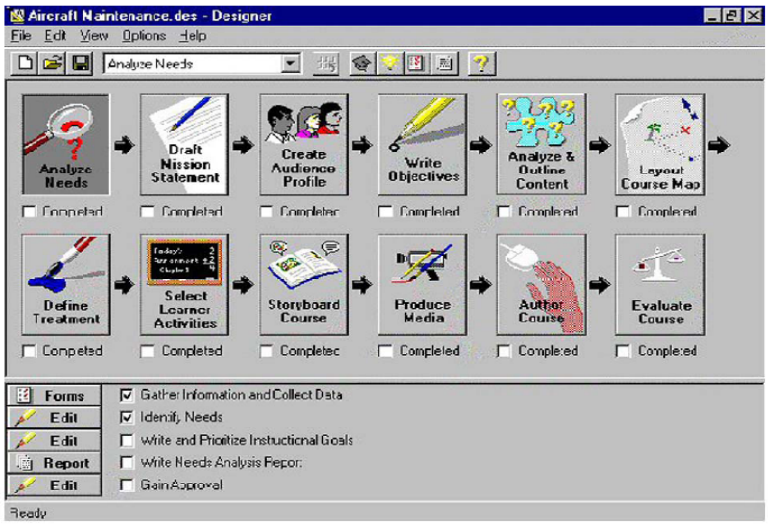


Figure II. 28 : Une interface sous forme de phase (Uduma, 2007)

c) L'approche proposée par (Hug, 2009)

(Hug, 2009) propose une présentation des méta-modèles de processus de conception et leurs principaux concepts, il distingue cinq catégories appelés points de vue :

L'activité ; Le produit ; La décision ; Le contexte ; La stratégie

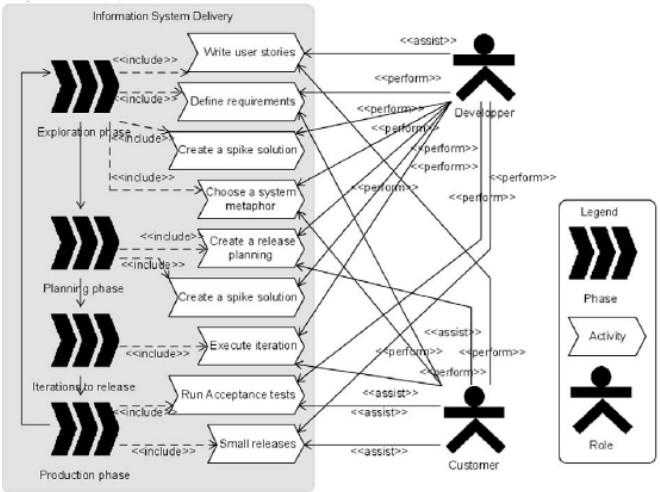


Figure II. 29 : Partie opérationnelle pour réaliser un processus (Hug, 2009)

Pour réaliser un processus de conception, il utilise un méta-modèle en deux phases. La première phase permet à l'ingénieur de sélectionner les principaux concepts à l'aide d'un questionnaire. La deuxième phase est le raffinement, permet à l'ingénieur d'affiner et enrichir le projet ou le concept de la première phase.

Toutefois, le projet de méta-modèle de processus ne répond pas encore à toutes les exigences puisque les exigences suivantes ne peuvent pas être représentées:

- La séquence des stratégies et des intentions.
- Distinguer un cycle de vie d'une phase,
- La composition de la phase et activités.
- La séquence ou unités de travail
- Distinguer un document à partir d'un programme

d) L'approche proposée par (Li, 2012)

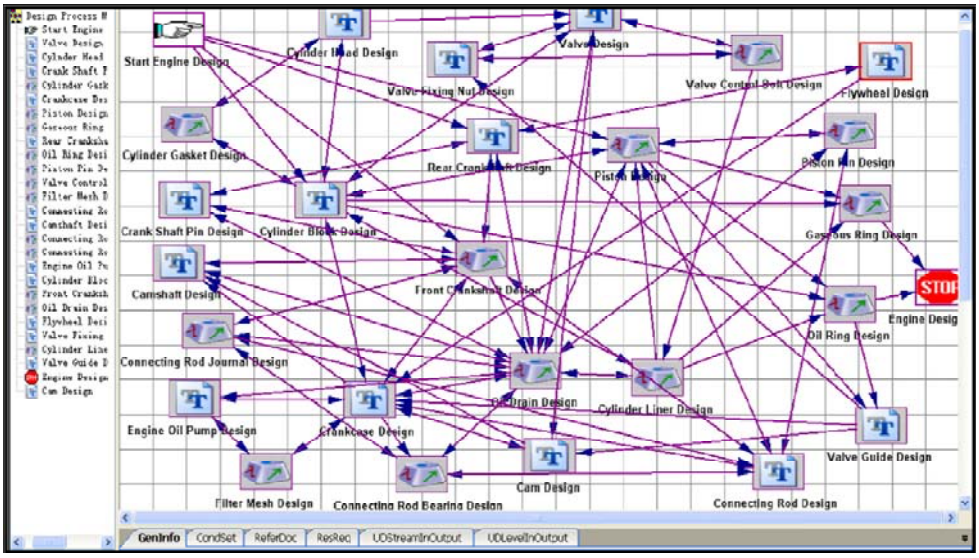


Figure II. 30 : processus de conception pour réaliser un moteur de moto réaliser par (Li, 2012)

Afin de réduire le cycle de conception du produit en ingénierie concourante, les méthodes basées sur la décomposition des tâches et activités sont souvent utilisés pour réduire la complexité d'un projet de conception à grande échelle. Li, considère la simulation comme un élément nécessaire pour réaliser une évolution rapide de la conception du produit afin d'éviter des changements nécessaires identifiés auprès des clients.

Les travaux de (Li, 2012) s'appuient sur la notion de graphe pour réaliser un processus de conception. Il utilise « ET/OU » basé sur la simulation de changement de propagations. Cette approche permet :

- La réalisation d'un modèle processus de conception sous forme de changement de propagation en appuyant sur les entrées et les sorties,
- La Simulation est basée sur des algorithmes pour trouver des voies de sorties possibles et déterminer l'impact sur le changement des entrées,
- D'Aider les concepteurs à sélectionner les meilleurs trajets de propagation pour réaliser un changement sur la conception afin de raccourcir le cycle de conception.

e) L'approche proposée par (Germanni, 2012)

Le travail collaboratif est de plus en plus largement employé dans plusieurs processus de conception de produits pour améliorer la qualité et réduire le temps et les coûts en partageant les données entre tous les partenaires du projet.

L'approche vise à organiser une plate-forme de co-conception efficace par le choix des outils les plus appropriés et de fournir des lignes directrices pour la suite à l'évaluation de la performance sur l'utilisation réelle. Les principaux défis de l'approche sont les suivants:

(a) L'identification des activités de collaboration qui caractérisent la conception collaborative du produit et la définition des principales exigences d'équipe.

(b) La corrélation entre les activités de collaboration et les exigences industriels de collaboration avec un logiciel de co-conception matériel /fonctionnalités de l'outil.

(c) La corrélation entre la collaboration selon le contexte spécifique avec le soutien efficace apporté par l'outil.

(d) La variabilité du contexte des phases de design industriel en fonction des objectifs du projet, les compétences impliquées et les phases de la conception collaborative.

(e) L'évaluation de la performance réalisée et la quantification des avantages réels sur le travail d'équipe.

L'approche exploite la technique QFD et adopte un ensemble de Maisons de Qualité (HOQ) pour corréler progressivement les aspects importants pris en considération: la nature du travail des activités de l'équipe (dans le protocole cité comme dimensions collaboratives), les fonctions des outils de soutien du travail collaboratif (fonctionnalités de co-conception), les estimations de la qualité de la collaboration et des résultats (tâches de collaboration et de mesures), l'évaluation des différents outils de conception dans des applications réelles de leur adoption sur plusieurs essais (projets industriels).

C'est une approche qui utilise une méthode pour développer l'outil.

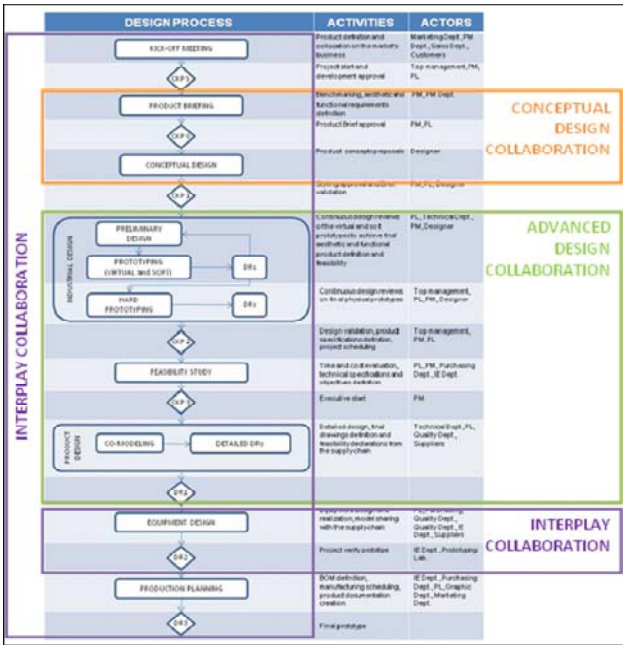


Figure II. 31 : les dimensions collaboratives dans un processus de conception (Germani, 2012)

f) L'approche proposée par (Sun, 2013)

Les Processus de conception d'ingénierie sont souvent centrés sur la technologie et ont du mal à s'intégrer adéquatement le comportement des utilisateurs dans les phases de la conception du produit. Bien que, de l'industrie et le milieu universitaire s'accordent à dire que l'aspect humain est important pour le succès d'un produit, il existe peu de méthodes et d'outils qui aident les concepteurs pendant l'exploration et la réalisation de la phase de conception. L'approche proposée par (Sun, 2013) couvre la conception d'ingénierie multi-métiers et traite de l'élaboration d'une approche de conception comportementale pour aider les concepteurs du produit à optimiser la performance dans la phase de conception en tenant compte des conditions d'utilisation et les exigences. Cette méthode intègre les données de comportement utilisateur et le produit ainsi que le travail de conception. Ces comportements sont définis comme des tâches à faire par l'utilisateur et le produit.

(Sun, 2013) propose une approche de conception comportementale d'intégration de l'utilisateur dans la phase amont de conception. Conception comportementale est une méthode de conception d'ingénierie basé sur des connaissances pluridisciplinaires qui tiennent compte des phases préliminaires, l'analyse et la spécification de la tâches d'utilisation sont nécessaires à l'accomplissement de ces fonctions.

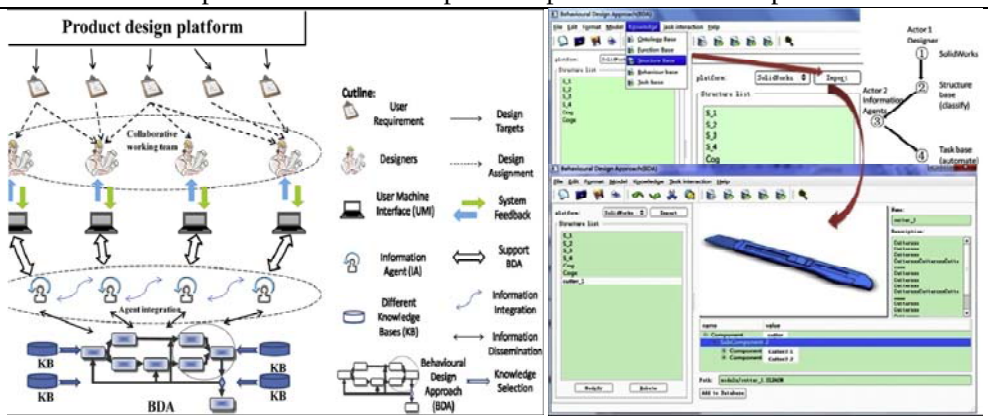


Figure II.32 : approche de conception comportementale et une interface graphique (Sun, 2013)

La vision globale de l'approche de conception comportementale représente un ensemble d'étapes de liaisons ensemble des trois concepts (fonction, la structure et le comportement). Sept étapes sont listés ici pour décrire la procédure de modélisation:

Etape ①: Selon l'analyse fonctionnelle et les spécifications des besoins, nous pouvons diviser la fonction en deux parties. La première consiste que les fonctions automatiques sont réalisés par des solutions techniques, la seconde est la fonction manuel accompli par l'utilisateur, en raison du coût ou difficultés liées à l'automatisation.

Etape ②: Selon certaines méthodes, comme l'analyse fonctionnelle, Axiomatic Design, nous avons pu trouver la structure nécessaire pour mener à bien la fonction.

Etape ③: Selon la décomposition de la structure, nous pouvons obtenir le comportement des tâches des structures (opération, le mouvement, etc) ainsi que la fonction que la structure doit accomplir pour réaliser une fonction.

Etape ④: Fonctions manuelles seront réalisées par l'utilisateur. Ainsi, dans cette étape nous proposons d'identifier et d'étudier les tâches accomplies à remplir les fonctions manuelles

Étape ⑤: Afin d'améliorer les performances du système, l'interaction entre la structure et le comportement des utilisateurs doivent être analysés.

Étape ⑥: Si le comportement de la structure répond à des critères de performance (fonctionnalités, productivité, la sécurité, le coût, la qualité, etc), les concepteurs peuvent continuer à développer le système.

Étape ⑦: Lorsque l'interaction entre l'utilisateur et le comportement de la structure ne peut pas garantir les performances nécessaires, les concepteurs doivent revenir au niveau de la structure de modifier la structure ou revenir au niveau de la fonction pour modifier ou changer la fonction de décomposition.

Les concepteurs peuvent également modifier la tâche effectuée par l'utilisateur, qui implique de changer le comportement des usagers.

II. 5. 3. 2 les outils développés Au Laboratoire Conception de Produits & Innovation

a) L'approche proposée par Vadcard

Les travaux de recherche de Philippe **(Vadcard, 1996)**, dont l'objectif est « d'aider le chef de projet à construire une démarche de conception adaptée à son besoin de création industrielle ». L'auteur a dans un premier temps, différencié les méthodes de management, méthodes de conception et outils de conception, afin de se limiter aux outils opérants pluridisciplinaires. L'auteur, identifie sept familles où peuvent être classées l'ensemble des outils recensés. Il propose également un modèle descriptif sous forme d'une carte d'identité

regroupant onze champs opérationnels nécessaires pour la programmation des outils. Cette recherche est validée par des expérimentations dans des différents domaines.

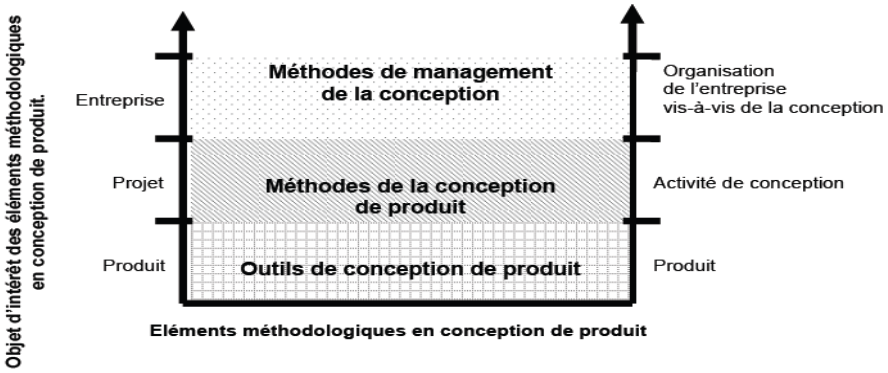


Figure 33 : Taxinomie des éléments méthodologiques en conception de produit (Vadcard, 1996)

D'autre part, Philippe Vadcard ajoute une notion importante à la définition du produit : il le définit par rapport à des aspects techniques, un aspect économique et un aspect social. Ces trois valeurs sont indissociables les unes des autres : la valeur d'usage, la valeur d'estime et la valeur d'échange, ci-dessous. Cette définition s'applique particulièrement et presque uniquement aux produits destinés au grand public, comme l'emballage.

b) L'approche proposée par Perrin

La conception globale de l'outil technique consiste ici à définir l'architecture de l'outil, selon un mode de changement négocié. Le groupe de coordination ne travaille plus seul, il conçoit l'outil avec le groupe de définition. Dans ce cadre, ces deux groupes ont détaillé les contraintes et critères du dossier de définition. Ils ont ensuite construit une grille d'étude d'impacts leur permettant, par la suite, d'évaluer plusieurs architectures de l'outil technique.

Architecture 1 : Spécification d'un cahier des charges fonctionnel générique adapté au produit.

Dans cette architecture, une base de données contient les fonctions génériques de tous les produits Bourjois. En fonction des propriétés du produit (axe, catégorie, segment…), un système de filtres permet à l'outil de fournir un cahier des charges fonctionnel générique ne comportant que les fonctions adaptées au produit à concevoir.

La spécification de ces fonctions génériques se fait au cours de la deuxième réunion en groupe de projet (la première étant la présentation du brief).

- Architecture 2 : Spécification d'un cahier des charges fonctionnel générique au cours d'une étude de la concurrence. On utilise la même trame que celle de l'architecture 1. Seulement, lors de la deuxième réunion en groupe de projet, une étude des produits concurrents est effectuée par le biais du cahier des charges fonctionnel générique. Le cahier des charges générique du produit à concevoir est alors spécifié au cours de cette étude.
- Architecture 3 : Spécification d'un dossier de définition du produit.

Dans ce cas, nous redéfinissons la phase de démarrage d'un projet. Un dossier de définition est rempli en amont de la conception sur la base d'une structure générique. Le Brief (contenant le contexte marché, les objectifs de performance etc., mais aussi le résultat maquillage) et le cahier des charges fonctionnel du produit ne se distinguent plus. Le document comporte deux parties :

1. Définition du projet. Cette partie correspond à la partie I. Le projet des nouveaux modèles de Brief Offre. Elle est toujours rédigée par le marketing

2. Fiche d'identité du produit. La partie de ce document portant sur le concept du produit (résultat maquillage, revendications…) est rédigée par le marketing. Puis le reste du document portant sur les aspects fonctionnels est complété lors de la deuxième réunion du groupe de projet.

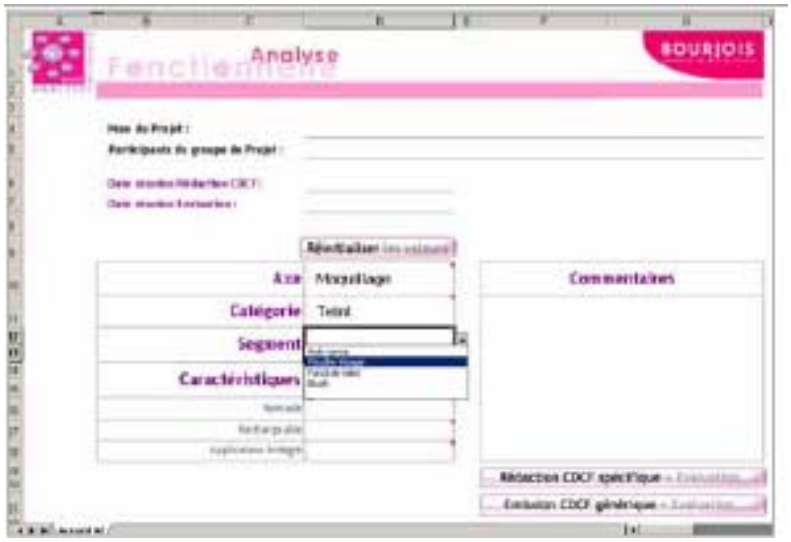


Figure II. 34 : un modèle spécifique pour une entreprise basé sur une méthode de conception (Perrin, 2005)

c) L'approche proposée par Benfriha

(Benfriha, 2005) propose une approche basée sur la modélisation à partir des réseaux de nouerons. pour cela, il utilise une représentation géométrique à base de volume cylindrique dans lequel évolue le produit. Le choix du volume cylindrique, permet d'introduire une pondération (R_i) à chaque métier (M_i), représentée par le rayon. L'axe du cylindre est confondu avec l'axe des temps (t) où on trouve les différents jalons du processus de conception.

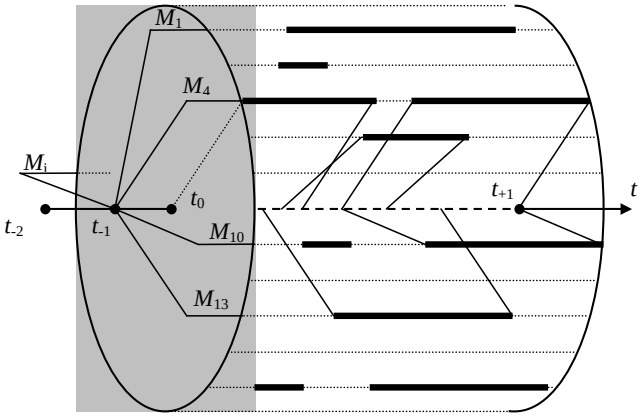


Figure II. 35 : Modèle simplifié d'un processus de conception (Benfriha, 2005)

Ce travail de recherche a visé les phases amont du processus de conception, plus précisément, la phase de choix des outils de conception. Le modèle proposé a permis, le développement d'un outil numérique qui capitalise les connaissances et les expériences en ingénierie de conception, afin d'assister le concepteur dans la sélection des outils de conception.

d) L'approche proposée par (Lahonde, 2010)

Le logiciel DesignManager développé par (Lahonde, 2010) est un outil d'aide à la décision permettant de guider les concepteurs et chefs de projet dans leur sélection de méthodes de conception adaptées à leur contexte projet. Ce guide a été conçu sur la base des données de sortie des expérimentations, à savoir les

fonctions attendues du futur système, mais également le modèle d'aide à la sélection des méthodes construit jusqu'alors.

Ainsi, DesignManager permet de répondre à la fonction principale n°1 de sélection des méthodes selon deux modes de recherche à utiliser de manière combinée ou indépendante : la recherche guidée par le contexte et la recherche autonome via les critères directs. L'outil permet également de construire un processus de développement de produits nouveaux cohérent compte tenu des méthodes présélectionnées et répond ainsi aux exigences de la fonction principale n°2 de construction du processus de conception.

L'un des impératifs suivi lors du développement de l'outil a été d'anticiper les évolutions du logiciel, telles que la mise à jour des données des méthodes ; l'implémentation de nouvelles connaissances par l'ajout de règles d'aide à la sélection ; l'accroissement de la base de données méthodes ; etc. Cette exigence, contenue dans la fonction contrainte de maintenabilité du système, a guidé la définition de l'architecture du logiciel.

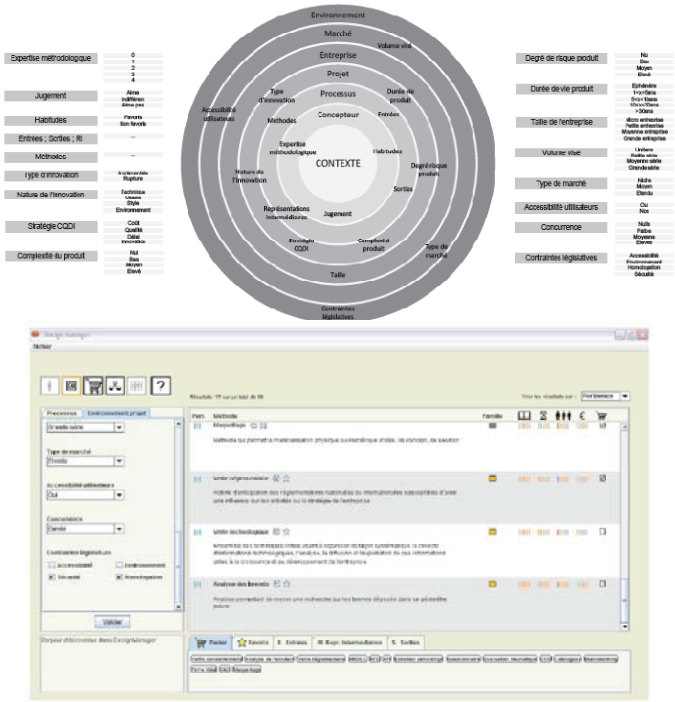


Figure II. 36 : la sélection des méthodes pour un processus de conception, DesignManager (Lahonde, 2010)

e) L'approche proposée par Segonds

Dans le cadre de la recherche, **(Segonds, 2011)** propose d'outiller les chefs de projet en charge de projets de conception routinière (idéalement de construction, l'adaptation aux projets d'amélioration étant cependant possible), d'un modèle générique leur permettant de définir un environnement collaboratif amont adapté à leurs besoins.

Son modèle peut également servir dans le cas du montage d'une nouvelle structure non pourvue d'environnement collaboratif, et envisageant un déploiement multisites dans un avenir proche. L'un des principaux apports de cette approche est la définition d'une méthode agile de développement prescriptif d'un environnement de travail collaboratif amont centré sur les représentations intermédiaires du produit, prenant en compte les contraintes métiers.

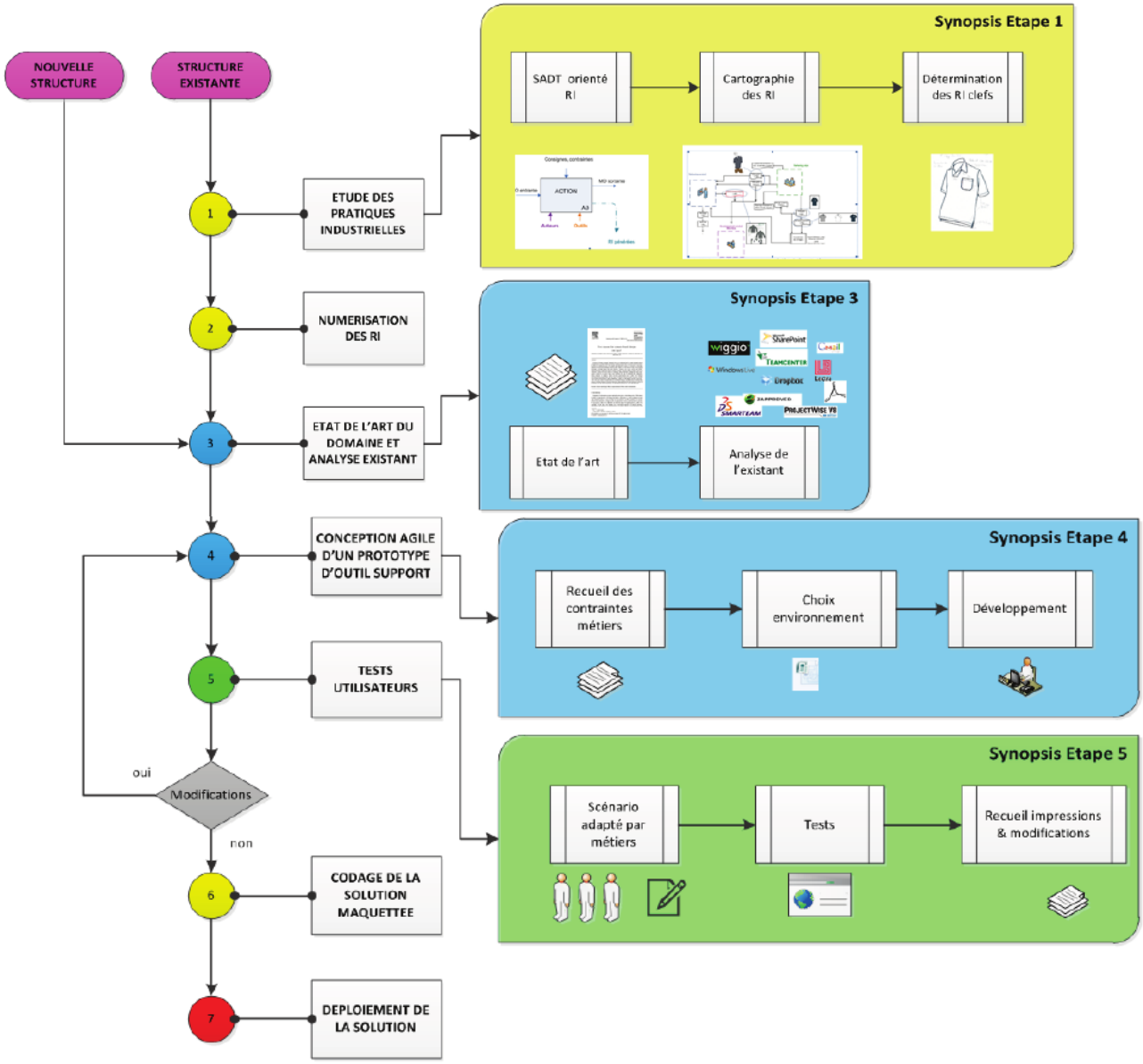


Figure II. 37 : proposition d'un modèle de spécification d'une méthode agile de développement prescriptif d'un environnement de travail collaboratif amont centré sur les représentations intermédiaires prenant en compte les contraintes métiers (Segonds, 2011).

II. 5. 4 Synthèse

Sur la base des approches présentées dans ce chapitre la majorité des travaux sont issus et s'appuient sur des outils tels que : **Analyse de la valeur, Analyse fonctionnelle, QFD, TRIZ**

L'analyse de la valeur, apparue au début des années 60 pour améliorer la compétitivité des entreprises, permet de concevoir ou de reconcevoir un produit ou un procédé. Elle est basée sur l'optimisation de la satisfaction des besoins client tout en minimisant les coûts. Le tableau suivant indique ces différentes étapes.

TRIZ ou théorie de résolution des problèmes inventifs, est un corpus de connaissances traitant des mécanismes d'invention, des lois d'évolution des systèmes et de la résolution de problèmes technologiques de toute nature. A partir de ses premiers travaux, G. Altshuller a su développer avec ses collaborateurs une véritable science expérimentale de l'innovation. Ses principaux champs d'application sont :

- La résolution des problèmes inventifs (liès à un produit ou un système)
- L'analyse de défaillances

- La prospective technologique (propositions de pistes pour la veille).

La complémentarité et non la compétitivité des deux approches peut être source de progrès. En effet, il est relativement aisé d'établir de nombreuses similitudes entre les deux approches et de mettre en évidence des apports réciproques. On peut citer par exemple :

- La phase 5 de l'analyse de la valeur est tout à fait en accord avec les cinq degrés d'inventivité de TRIZ mais les niveaux 2 et 4 peuvent être plus rapidement atteints avec ce dernier.
- Le principe d'idéalité décrit par TRIZ revêt la notion de valeur développée par l'analyse de la valeur qui offre une recherche plus pragmatique dans ce domaine.

L'analyse de la valeur présente deux points forts : celui de bien positionner les enjeux et les contraintes du problème dans sa première étape et celui d'analyser en phase 6 la mise en œuvre des solutions.

Si dans les phases 2 et 4 de l'analyse de la valeur, TRIZ peut apporter des réponses aux questions en matières de concepts à suivre ou de résolution des problèmes autrement que par des méthodes aléatoires où seul l'homme reste détenteur du moment et de la pertinence de l'idée émise, c'est dans la phase 5 de recherche d'idées que TRIZ montrera tout son intérêt.

La méthode QFD : La méthode du Quality Function Deployment (QFD) est utilisée en début de conception d'un produit. Elle aide le concepteur à prendre en compte les besoins clients dès les premières étapes de développement. Pour cela, on utilise des matrices QFD de différents niveaux qui croisent la "voix du client" (besoin) avec la "voix du technicien" (solution) et donnent la possibilité de comparer les solutions (partielles), deux à deux afin d'évaluer leur compatibilité via le toit de corrélation de la matrice, pour une intégration dans une solution globale.

La réalisation d'un processus de conception nécessitera le développement d'un outil d'aide qui inclut :

- Une exploration de la phase amont à travers des questionnaires ;
- Une collaboration entre les activités de conception ;
- Des représentations intermédiaires du produit dans des environnements différents ;
- La collaboration et les présentations graphiques afin de gérer les itérations.

II. 6 Synthèse & constats

L'état de l'art développé dans ce chapitre nous a permis d'investiguer deux pôles de la figure II. 1. Le premier concerne les modèles et la modélisation de conception et les processus de conception, le deuxième est une identification d'une stratégie de classement, d'intégration et de sollicitation des métiers essentiels pour les différentes phases du processus de conception.

Le contexte actuel d'intensification de la compétition sur les marchés et de complexification croissante des produits et des processus associés ont conduit académiciens et praticiens à développer des modèles. Ces représentations abstraites permettent aux concepteurs de représenter leurs activités de manière intelligible, de comprendre le processus, prédire son comportement et ainsi mieux agir dans le sens des objectifs fixés. Malgré leur importance, de nombreuses critiques à l'encontre de ces modèles font état de leur manque de support dans l'activité de conception **(Lahonde, 2010)**. C'est l'objectif du premier pôle de porter des réponses ainsi une modélisation des processus de conception.

Ainsi, c'est en s'interrogeant sur la façon d'implémenter les modèles de processus de conception en pratique, de les rendre plus spécifiques et plus enclin à supporter les activités des concepteurs, que nous nous sommes focalisés sur l'association des méthodes de conception à travers une approche de métiers essentiels aux modèles de processus de développement de produits. C'est l'objectif du deuxième pôle de l'état de l'art.

En synthèse, L'état de l'art sur les modèles de processus de conception nous a permis de structurer une vision sur le classement et sur la décomposition des phases liées aux différents processus. Le résultat est une carte sémantique de classement des processus de conception. Cette carte permet au lecteur de se référer à plus de 60 processus de conception. Les notions de phases sont liées pour la plupart des modèles à deux notions :

- ***Le besoin***
- ***La nature de la conception***

Un grand nombre de travaux ont considéré le processus comme le lieu d'intégration d'un ensemble d'éléments (méthodes, outils, connaissances, activités internes, …), des approches ont abordé la représentation du processus de conception mécanique en établissant une analogie avec le processus de production mécanique, d'autres ont abordé la notion numérique du processus de conception. Des modèles basés sur la notion multidisciplinaire sont les plus adaptés pour créer une innovation et explorer l'activité de conception d'un produit. Cette approche est validée et supportée par l'ensemble des travaux de recherche réalisés aux LCPI.

Cette notion « multidisciplinaire» offre une solution de développement pour notre thèse. Elle est basée sur l'exploration de la phase amont du processus de conception. C'est un élément de solution identifié a partir de l'état de l'art et des activité de conception au sein du LCPI.

Les constats issus de l'état de l'art sont :

Constat 1: **la phase amont** du processus de conception comme clé de réussite **(Exploration),** trouver un moyen d'explorer cette phase disponible auprès des concepteurs ainsi que facile a utiliser afin de minimiser les itérations.

Constat 2: la structure des processus de conception et **les itérations** dans le processus de conception **– Gérer –** déterminer à quel stade les itérations interviennent pour gérer la décision dans l'étape finale de l'activité où phase de conception.

Constat 3: verrouillages des **métiers** et des modèles et la distribution (produit, processus) **– Veille technologique –** à travers l'installation d'une stratégie d'acquisition des ressources pour éviter les échecs de conception.

Constat 4: Amélioration du **produit** par les usagers **– Intégration –** appuyer sur la conception centrée utilisateurs afin d'améliorer le produit et proposer des innovations

Constat 5: la nature de la conception **–Identification-** la sélection de la nature de conception facilitera l'identification des phases du processus de conception, c'est une étape importante dans la suite de nos travaux.

Constat 6: il faut un outil d'aide au choix **–Développement-** à travers l'exploration de l'existant nous sommes arrivés à la nécessité de développer un outil qui répond aux lacunes constatées à travers l'état de l'art et qui sera exploité par une population de concepteurs.

II. 7 Hypothèses de modélisation

Nous somme en face d'une étape de développement d'un outil d'aide aux choix d'un processus sous forme de classification en fonction de données d'entrée, telles que ; le nature du produit à concevoir, cahier des charges, compétences et outils disponibles, …

Cette démarche de classification, basée sur les critères cités précédemment, permet de cibler un processus de conception adéquat ainsi que ses étapes et les outils associés. Nous utiliserons pour cela les plateformes d'outils et de méthodes développées par N. Lahonde en 2010 dans le cadre de sa thèse, ainsi que la thèse de K. Benfriha soutenue en 2005 et la thèse de Perrin soutenue en 2005.

Pour la pérennité de notre contribution scientifique, nous considérons que l'outil que nous proposerons doit être évolutif et améliorable. En effet, nous serons attentifs aux aspects d'évolution dans la phase de développement et de mise en œuvre. Exemple, l'outil devrait s'adapté en cas d'évolution des processus de conception afin d'apporter une aide précise et pertinente aux différents acteurs de la conception.

Une hypothèse globale est retenue pour traiter la problématique énoncée :

HG : Aider le choix d'un modèle de processus de conception par l'adaptation (l'exploration des processus existants et de leur principales étapes, tout en considérant leur configuration), où par la génération (réaliser un processus de conception)

Cette hypothèse générale considère, particulièrement, que le niveau de connaissance des différents processus de conception, en termes d'étapes et de configuration, guide le choix des concepteurs dans la phase de sélection du processus de conception en adéquation avec leur problématique industrielle. Ainsi, l'exploration des processus existants permet d'établir une carte sémantique de classement représentative des modèles les plus connus. Les axes de positionnement feront l'objet d'une recherche objective car ils doivent permettre à tous les modèles de conception d'être projetés sur la carte sémantique proposée. Plusieurs axes sont à l'étude, notamment, un axe sur le degré de complexités du produit, un axe sur la nature du produit ou bien un axe sur les métiers qui interviennent dans le processus.

Le deuxième volet de l'exploration des modèles de conception concerne l'identification des étapes ou des phases de conception. En effet, nous partons du principe que les processus de conception ne peuvent êtres appliqués d'une manière intégrale à une problématique de conception donnée, car les produits industriels sont souvent différents, complexes et répondent à des niveaux d'exigences évolutifs. Ainsi, la nécessité de travailler sur la définition des étapes de conception, en fonction des caractéristiques du cahier des charges de conception, semble cruciale et contribue à la réussite de la conception.

Le dernier élément qui clôture cette analyse de la problématique est la configuration du processus de conception en termes de boucles, d'itérations ou de tâches simultanées. Après l'identification du modèle approprié et la définition des principales phases inhérentes à ce processus, la dernière étape d'exploration touche la structure du processus de conception. À l'issu de cette étape, l'outil devrait proposer, en fonction de critères liés au produit et de critères liés à l'environnement, un processus de conception dédié et structuré. La recherche dans le domaine des sciences de conception soulève de nouvelles problématiques, notamment le statut de la connaissance. Dans le cadre de nos travaux nous avons mis en œuvre une démarche de recherche basée sur l'exploration-génération-action. Le principal objectif est de proposer des modèles optimales de processus de conception issus de l'étape exploration et de rechercher une efficacité dans l'action (produits innovants).

La validation de l'hypothèse globale nécessite un travail expérimental long, dans l'objectif de facilité les étapes des expérimentations et répondre à la problématique de choix où de réalisation d'un processus de conception, cette hypothèse est fragmentée en deux sous hypothèse.

Sous hypothèse 1 : ***Guider le choix des concepteurs à travers une approche d'adaptation***

La majorité des modèles proposés par **(Howard, 2008) (Perrin, 2001) (Scaravetti, 2004) (Benabid, 2013)** sont issus à partir des cas d'étude et d'analyse. Il y a une grande possibilité que le processus qui est recherché par l'entreprise aura une configuration proche de ces modèles.

C'est une approche qui est basée sur la sélection sur la base des modèles issus de l'ingénierie de conception et de recherche. Ainsi le modèle d'une carte de classement des processus de conception est réalisé via une approche d'exploration et de classification.

L'adaptation est basée sur un travail d'exploration à travers des questionnaires, des enquêtes et des travaux d'identification. Toutes ces étapes sont effectuées par des chefs d'équipes ou des concepteurs, c'est une phase d'exploration nécessaire. Cette phase sera nommée dans la suite « dimension produit » et son objectif est la préparation de la phase amont. Dans une deuxième dimension « dimension processus de conception » et en fonction des résultats de la phase amont et des critères de décision une proposition pour l'adaptation d'un processus de conception sera faite.

Sous hypothèse 2 : ***Guider le choix des concepteurs à travers une approche de génération***

L'approche génération est entamée lorsque l'approche adaptation ne permet pas de sélectionner un processus de conception sur la carte de classement. En effet, cette situation peut être vécue par une entreprise qui souhaite réaliser des produits innovants (exemple sur mesure) mais ne disposant pas des ressources nécessaires (métiers, outils, méthodes, …). Cet environnement contraint pousse vers une réalisation d'un nouveau processus de conception.

Ce nouveau processus de conception pourra être généré sur la base d'un modèle existant où bien être généré de zéro. Un pré-modèle général est nécessaire pour cette situation et comme pour le premier cas la dimension produit est nécessaire pour la réalisation d'un processus de conception.

II. 8 Synthèse sur la problématique et les hypothèses de résolution

Notre recherche vise à augmenter le champ des sciences de conception en agissant sur le processus de conception, et en particulier sur le développement d'un outil d'aide au choix où de réalisation d'un processus de conception. Sur la base d'identification de la nature de conception (innovante, créative où routinière) un processus est nécessaire pour accompagner cette conception. Le processus vise à développer d'avantage la phase amont et préparer la phase aval dans un but de réduire les itérations donc les échecs des produits dans les phases plus lointaines du processus. En effet, plusieurs auteurs ont montré que la conception pouvait être comme une succession et progressive des phases, où la marge de manouvre des concepteurs diminue au fur et à mesure que le temps s'écoule. Ainsi, plus la détection du problème de conception est tardive, moins grand est le degré de liberté disponible pour résoudre le problème efficacement et à moindre coût **(Segonds, 2011) (Midler, 1993)**.

Nous proposons, comme réponse anticipé à la problématique une hypothèse globale :

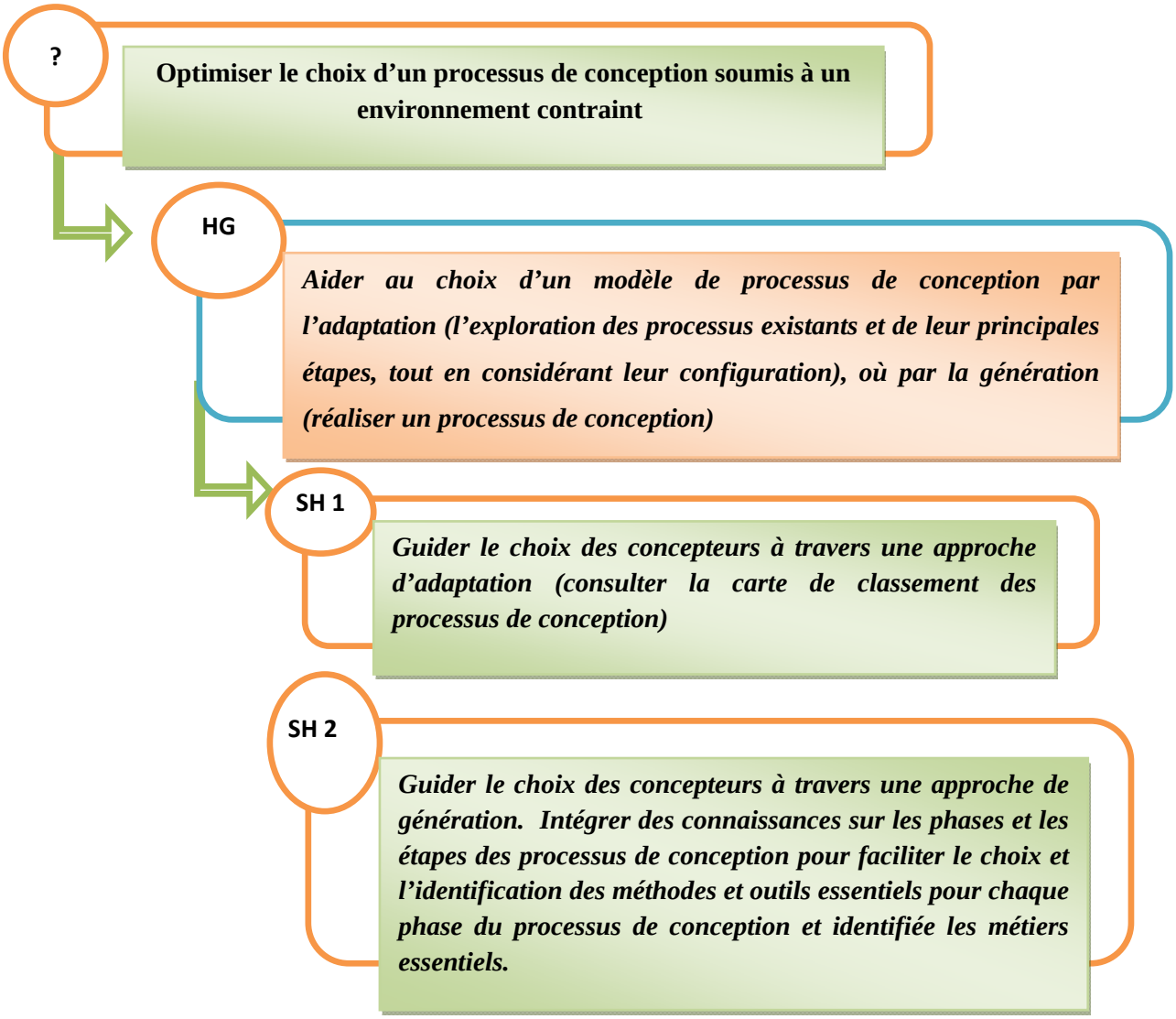


Figure II. 38 : Synthèse sur la problématique et les hypothèses

Afin de réaliser un processus de conception pour une entité où le processus est absent (mal structurer), nous faisons d'une part l'hypothèse que l'adaptation d'un processus existant pourra résoudre cette situation. Dans le cas contraire une génération (réalisation) est nécessaire.

Afin de répondre à cette problématique, nous structurons notre étude à deux niveaux complémentaires, un niveau « adaptation » et un niveau « génération »

- Tout d'abord une réflexion sur la méthode à suivre pour adapter un processus de conception (la carte de classement issue des travaux de littérature). C'est un modèle initiale de solution,
- Ensuite un outil général pour la réalisation du processus de conception et la proposition d'un panel d'outils, méthodes et métiers liés au processus de conception.

II. 9 Proposition d'un pré-modèle d'aide au choix d'un processus de conception

L'énoncé de la problématique et des hypothèses de modélisation nous permettent de proposer un pré-modèle d'aide au choix d'un processus de conception. Ce pré-modèle est constitué de trois dimensions : une dimension produit qui a pour objectif la préparation de la phase amont, une dimension processus qui a pour objectif la sélection (adaptation) et la génération et une dimension métiers essentiels comme support pour les deux premières dimensions.

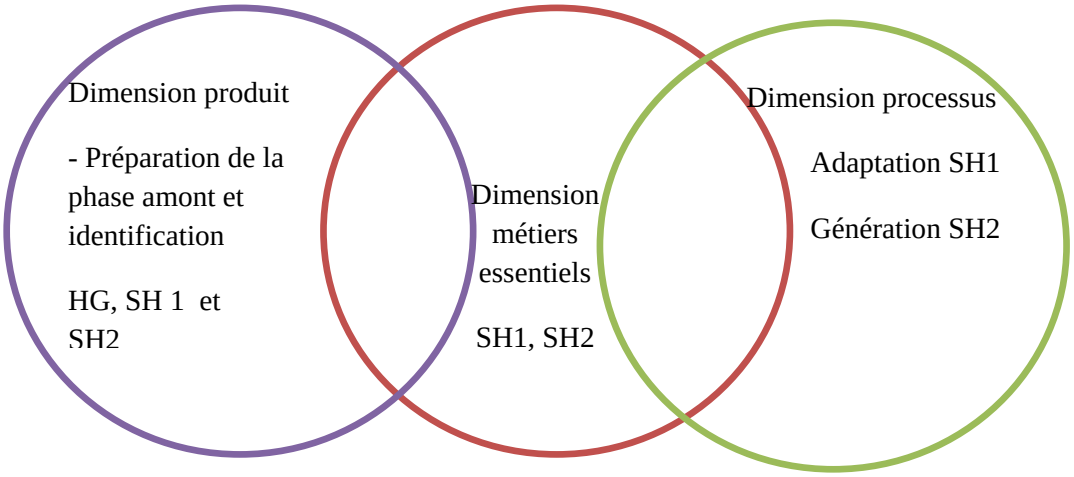


Figure II. 39 : Pré-modèle d'aide au choix d'un processus de conception et la validation de l'hypothèse de modélisation.

En conclusion, notre état de l'art nous a conduit à répertorier et analyser les contributions existantes sur le thème de l'aide au choix d'un processus de conception. En effet, il existe de nombreuses publications sur le thème, allant d'une description simple **(Aoussat, 1990) (Suh, 1991) (Pahl & Beitz, 1996) (Ullman, 2003)** aux outils logiciels **(Klocke, 2000) (Benfriha, 2005) (Segonds, 2011) (Germani, 2012)**. Chaque modèle a été développé à partir d'un scénario ou étude de cas, où le développement d'un produit est la base d'application de l'ensemble des outils. L'exploration de la dimension produit sera comme objectif dans la suite de nos travaux. Le verrouillage des outils disponibles nous poussent vers le développement d'un outil ouvert basé sur les recommandations et les points positifs des modèles explorés et les outils proposés.

Chapitre III : Pré-modèle de l’outil de sélection et de génération d'un processus de conception

III. 1 Introduction

Les constats issus de l'état de l'art sur les outils et les méthodes de conception et les travaux réalisés au LCPI, nous ont poussés vers la réalisation d'un nouvel outil dédié vers deux situations :

- Une adaptation d'un modèle à partir de la carte de classement (des 60 modèles)
- Ou une réalisation d'un processus de conception (l'objectif de l'outil à développer dans ce chapitre).

Ainsi, notre recherche s'intéresse à la problématique de sélection (adaptation) et de génération des processus de conception dans le cadre de projets industriels où des projets R&D. Nous visons essentiellement deux objectifs : modéliser l'aide à la sélection des processus de conception (carte sémantique) ; et développer un outil d'assistance aux concepteurs et chefs de projet (outil de génération).

Pour ce faire, nous avons appliqué une méthodologie de recherche basée sur l'exploration-action, inspirée du modèle de processus de conception de produits nouveaux du LCPI et modèles de la littérature.

Notre démarche expérimentale s'articule en deux étapes clés allant de développement du produit sans l'outil (la carte sémantique tridimensionnelle), l'identification des pratiques est notre objectif. L'assistance de la carte pour le développement des produits tout en tenant en compte la nature de l'organisme où les travaux sont effectués est la deuxième étape afin de valider l'outil. Une expérimentation pour l'évaluation de la carte sémantique tridimensionnelle par des experts exerçant dans le domaine depuis longtemps est nécessaire.

L'exploration d'un processus émergeant dans les sciences de conception depuis quelques années est l'objectif d'une autre expérimentation afin de montrer l'intérêt d'autres environnements dans le développement des produits à travers un processus structuré et identifié sur la carte de classement (processus numérique).

A la fin de nos expérimentations, nous devons aboutir à la validation du développement d'un outil d'aide au choix où de génération d'un processus de conception.

Nous rappelons que l'hypothèse globale de notre travail est : ***Aider le choix d'un modèle de processus de conception par l'adaptation (l'exploration des processus existants et de leur principales étapes, tout en considérant leur configuration), où par la génération (réaliser un processus de conception).***

L'objectif de cette partie est de développer une carte sémantique tridimensionnelle, afin d'apporter une aide aux concepteurs dans la phase de sélection d'un processus de conception et les outils nécessaire pour chaque phase de ce processus. Cette carte est conçue autour des modèles issus de la littérature et du modèle LCPI (transfert des pratiques de conception et les méthodes de conception). Concrètement cet outil devrait apporter une assistance pour les chefs de projets et les acteurs de la conception pour innover mieux. Pour cela l'outil fournit les éléments de base pour que l'acteur puisse construire lui-même une liste des connaissances utiles et spécifiques au produit à développer. Cet outil est considéré comme un support organisationnel (processus de conception) et un support d'apprentissage (outils et méthodes).

Cette carte sémantique permet la conception du produit sous l'angle innovation supporté par les méthodes et les outils, les objectifs visés par le développement de cette carte :

- Apporter l'aide à une équipe de conception par la présélection des méthodes et des outils nécessaires au développement du produit visé,

- Aider au choix d'un processus pour résoudre le problème organisationnel pour guider la conception (réduire le taux d'échec),
- Optimiser le temps de développement et proposer des produits innovants,
- Adapter le processus de conception de l'entreprise en fonction du produit

La **Figure III-1**, indique l'impact de développement d'un outil d'aide au choix (carte sémantique) sur l'ensemble de l'activité de conception afin d'arriver à une sélection où génération d'un processus de conception.

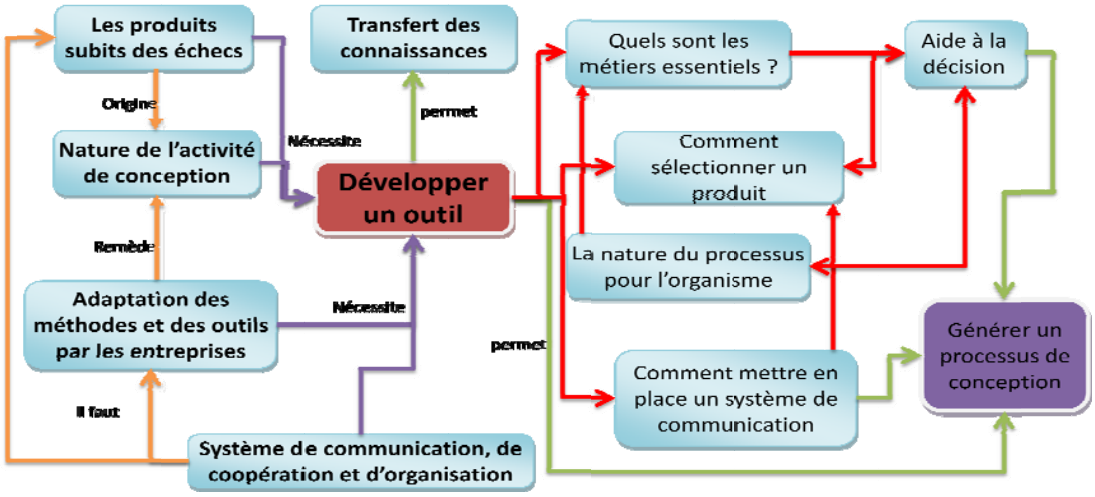


Figure III-1 : Contribution de la carte sémantique à la génération d'un processus de conception

Cette carte sémantique permet le choix et la construction d'un processus de conception avant d'entamer la conception et l'améliorer au fur et à mesure de l'avancement de développement d'un produit. Cette modélisation de génération de processus de conception est donc plus adaptative qu'un modèle existant où un modèle présélectionné (amélioration d'un modèle existant). Pour cela, nous supposons que :

- L'équipe de conception soit ouverte à des améliorations dans l'action,
- L'organisme accepte un changement (recherche des ressources et des pratiques) et une adaptation d'un modèle choisi où générer,
- Créer un environnement d'échange et de transfert.

Le but de cet outil est d'être à la fois méthodologique et évolutif pour générer une solution innovante. L'idée est que si les éléments nécessaires au concepteur lui sont plus accessibles, cela réduit les délais de conception.

L'idée est que ce nouvel outil peut aider à l'intégration et l'appropriation de nouveau fonctionnement par l'accès aux connaissances adaptées en s'appuyant sur la dimension métiers essentiels.

Pour clarifier aussi ce que peut-être cette carte sémantique, nous indiquons ici ses deux fonctions principales :

Fonction principale 1 : Permettre au responsable de conception de trouver et de choisir des solutions concrètes pour son projet en termes de démarche et d'organisation de la conception.

Fonction principale 2 : Permettre au concepteur de bien intégrer les ressources choisies (outils & méthodes).

III. 2 Proposition d'une carte sémantique tridimensionnelle des processus de conception

L'énoncé de la problématique et des hypothèses de modélisation nous ont permis de proposer un prémodèle d'aide au choix d'un processus de conception **(Figure III-2) sur la base des éléments identifiés dans le chapitre état de l'art**. Ce prémodèle est tridimensionnel : une dimension « produit » représentée par l'action innovation ; une dimension « métiers essentiels » correspondant aux méthodes, outils et métiers employés pour supporter l'action ; et une dimension « processus de conception » permettant de faire le lien entre la première et la deuxième dimension à travers la sélection d'un modèle de processus de conception tout en s'appuyant sur des critères d'aide à la décision afin d'adopter où de générer un processus de conception.

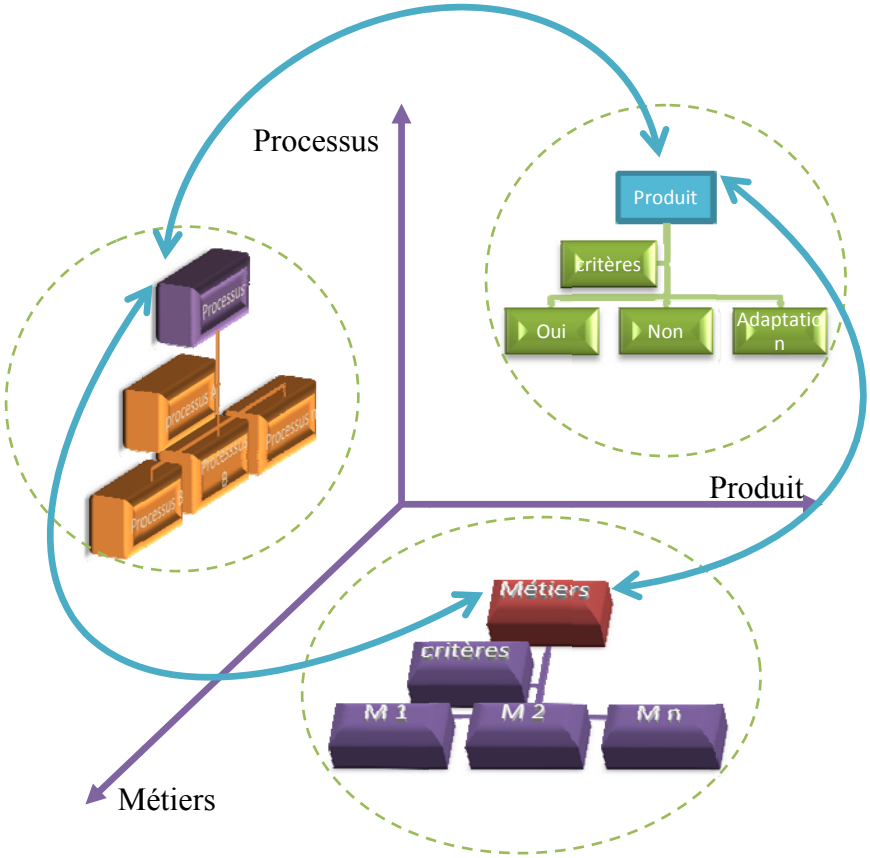


Figure III-2 : ***Pré-modèle d'aide à la sélection d'un processus de conception***

Comme nous l'avons indiquée précédemment, l'activité de conception est basée sur un ensemble de données qui constituent le vecteur entrée de l'activité de conception, celle-ci nous permettra de réaliser les sorties sous formes de produits où services (Figure III.3).

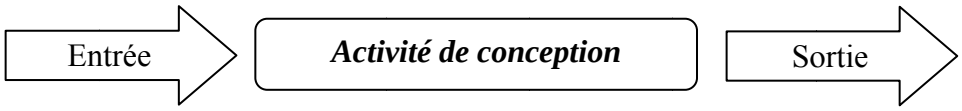


Figure III. 3 : ***vecteurs amont et aval de l'activité de conception***

Dans la suite un aperçu sur les connaissances et vecteurs d'entrées et de sorties.

III. 2. 1 Données et connaissances pour les vecteurs « entrées » et « Sorties » pour la carte sémantique tridimensionnelle

a) Vecteurs Mots clés

Pour collecter les données et connaissances nécessaires pour les différentes dimensions, nous nous appuyons principalement sur une analyse lexicale d'un certain nombre de problèmes de conception d'une part et d'autre part sur l'analyse des entrées et des sorties des activités de conception.

Entrée	Objectif de l'activité	Sortie
Abstraction : - Connaissance du domaine	Simplifier la complexité de l'objet à concevoir Outils : synthèse et composition	Représentation appropriée des abstractions : esquisse, schémas
Analyse : - Phénomènes physiques et théoriques - Classements des contraintes (facile et difficile) - Hypothèses - Degré de précision - Géométrie de la conception - Environnement de conception - Méthodes d'analyses (expérimentale ou simulation)	Prédiction du comportement d'une conception Outils : analyse par éléments finis, analyse basée sur des heuristiques, approximation et analyse numérique	Comportement de la conception
Association : - Méthodes et outils de génération des idées - Domaine de connaissance	Générer des idées/concepts innovant à travers l'association des idées/concepts Outils : brainstorming	- Idées - concepts
Composition : - domaine de connaissances - combinaison des connaissances - idées - représentation appropriée des abstractions	Combiner des idées/concepts par association des idées/ concepts qui répondent à l'ensemble de la fonction globale	- concepts - fonctions modulaires - alternatives de conception
Contrainte : - exigences de conception - Classements des contraintes (facile et difficile)	Réduire la complexité de l'espace des solutions de conception	- Classements des contraintes (facile et difficile) - Espace de conception
Décision : - Exigences de la conception - Alternatives de conception - Classement des objectifs	Choisir la meilleure alternative à partir d'un ensemble en fonction de certains critères. Outils : QFD	- Mapping des critères - Classement des décisions de conception
Décomposition :	La connaissance de la structure du produit et les exigences fonctionnelles de solutions de conception ainsi que la réduction de flux d'informations entre les activités	

Tableau III. 1 l'objectif des entrées et sorties des activités de conception

Le tableau III. 1 indique le résultat des vecteurs entrées et sorties de l'activité de conception. Dans ce sens, nous procédons à l'étude de différents travaux effectués au LCPI (Tableau III. 2) ainsi que des travaux de

littérature traitants les problématiques de conception pour identifier les mots-clés pouvant influer sur le choix des outils de conception pour chaque dimension et chaque phase, car les concepteurs utilisent généralement un langage lexical pour décrire leurs problématiques **(Nidamarthi et al., 2001)**. L'objectif est d'extraire les mots-clés pertinents, puis de les classifier dans des familles de même nature.

	Mots subjectifs	**Mots évolutifs**	**Mots polysémiques**	**Mots « problématiques »**
Définitions	Mots pouvant être appliqués ou associés à toute problématique	mots considérés aujourd'hui comme problématique de recherche, mais aptes à être intégrer dans le futur, dans tous projets	mots pouvant être traduit de deux manières	L'ensemble des mots retenus pouvant faire partie d'une problématique de conception.
Exemples	Qualité, optimisation, risques…	Capitalisation, analyse de cycle de vie (ACV), …	optimisation, ce terme peut être considéré comme une modification pour un meilleur rendement, ou une démarche qui peut être une méthode adaptée à une problématique donnée.	Nouveau, Mobilier, Massif, Existant, Prototype, Jouet, Modification, Informatique, Maquette, Evolutif, Précision, Modulaire, Design, Grande Série, Démontable, Ergonomie, Couleur, Humidité, Créativité, Mobile, Recyclable, Mécanique, Alimentaire, Elastique, Electrique, Jetable, Tissu, Mécatronique, Compact, Pliable,…

Tableau III. 2 : Familles de mots-clés (Benfriha, 2005).

b) Vecteurs processus

A tout stade du processus de conception, toute solution envisagée par le concepteur doit donc être compatible avec les connaissances liées :

- aux fonctionnalités du système (connaissance fonctionnelle),
- à l'organisation du système (connaissance organique),
- aux phénomènes physiques impliqués dans le comportement du système conçu (connaissance physique),
- au fonctionnement du système (connaissance technique),
- aux règles métiers impliquées dans la réalisation, la mise en œuvre et le fonctionnement du système (connaissance métier),
- à l'environnement de fonctionnement du système (connaissance environnementale, économique, industrielle).

Toutes ces connaissances ne sont pas forcément exprimées ni intégrées dès le début de la conception préliminaire; mais plutôt à des étapes différentes du processus de conception.

De plus, les concepteurs ont besoin d'une méthode pour capturer l'information sous forme de connaissance **(Theodosiou, 2003)**.

Dans un contexte d'ingénierie collaborative, même si la conception est réalisée par des équipes pluridisciplinaires, beaucoup de concepteurs sont spécialisés dans une seule discipline.

La communication entre des concepteurs ayant des expériences différentes n'est pas facile **(Reymen, 2001)**. Chacun n'ayant pas le même langage, le partage des données techniques entre les différents métiers est rendu difficile à divers stades du projet.

Le vecteur processus sera basé sur l'outil développé dans chapitre état de l'art, la carte sémantique de classement des processus de conception.

Un processus de conception permet d'aboutir par l'activité fonctionnelle à la définition d'un produit et cette réalisation offre en même temps aux acteurs du processus une occasion de coopérer, de communiquer, d'apprendre et de partager leurs connaissances et leurs savoirs **(Lonchampt, 2004)**.

c) Vecteurs Choix, décisions

Durant la conception préliminaire, plusieurs choix sont à valider, afin de passer aux phases suivantes: sélection de concept, choix de concept de solution, détermination de composants et choix d'architecture, etc. Chaque décision de conception change l'état de la conception **(Ullman, 2003)** et la description du produit s'enrichit.

Sawada, illustre les "degrés de liberté de conception". L'espace des solutions de conception s'élargi de manière pyramidale (**Figure III.4**), et il est exploré pour chaque concept, jusqu'à ce qu'une solution de conception soit trouvée. Durant l'exploration des alternatives de conception, le concepteur prend des décisions comme la détermination de valeurs pour des paramètres de conception. Afin d'obtenir une solution de conception optimale, il est nécessaire pour le concepteur d'explorer les alternatives générées par les différentes options de décision, et de les comparer **(Sawada, 2001)**.

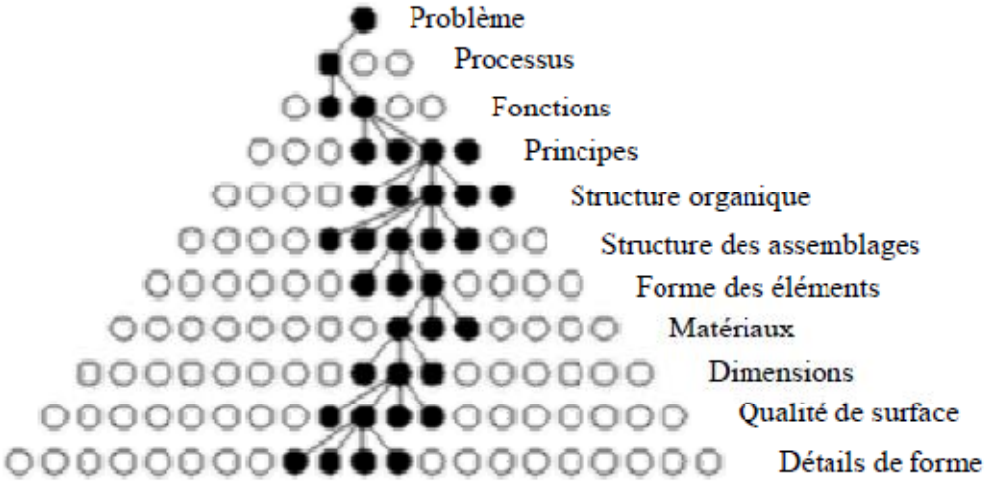


Figure III. 4: Elargissement de l'espace des solutions de conception (Scaravetti, 2004).

Le concepteur réalise des choix en appliquant les connaissances qu'il possède et en prenant en compte les contraintes qu'il perçoit **(Belloy, 2001)**. Les connaissances de conception peuvent être vues comme un savoir implicite obtenu grâce à l'expérience, ou bien un savoir explicite (théories, méthodologies, modèles de conception, etc.) **(Reymen, 2001).**

Alors que la conception avance, de plus en plus, paramètres de conception sont introduits pour décrire des solutions de conception avec plus de précision. Pour choisir des options optimales les concepteurs doivent

prendre beaucoup de décisions basées sur des intuitions ; les rapports entre les paramètres de conception sont souvent sous-jacents **(Sawada, 2002)**.

Ainsi, les pratiques sont souvent basées sur des habitudes **(Matthews, 2002)**. L'expérience et le savoir faire influencent fortement la compétence des concepteurs dans la création d'objets techniques **(Hubka, 2001)**. C'est notamment le cas pour l'évaluation de la faisabilité d'un concept; qui est basée sur l'expérience et les connaissances des concepteurs **(Ullman, 2003)**.

Plusieurs décisions s'exercent aux différents niveaux du processus de conception :

Pour ce qui est de l'**évaluation des concepts**, Ullman précise que souvent seul le concept qui semble être le plus prometteur est développé : cela évite d'après lui de passer du temps à structurer les concepts, à les rendre mesurables pour qu'ils puissent être comparés vis-à-vis des objectifs de conception et des spécifications. La difficulté dans l'évaluation de concept c'est que l'on dispose de connaissances et données très limitées sur lesquelles on peut baser la sélection **(Ullman 03)**. Même si des méthodes et outils existent, comme les matrices QFD qui permettent une comparaison de concepts au regard de différentes fonctions, la sélection de concept est une étape critique car toutes les activités suivantes en dépendent **(Li-Chieh, 2002)**. Le Coq souligne le caractère combinatoire de la **recherche d'architecture** et le nombre important de solutions qui en résulte. Cet auteur propose d'explorer les différentes combinaisons possibles d'éléments. Ensuite, l'évaluation des différentes solutions d'architectures doit impliquer les différents acteurs métiers. Cette évaluation est plutôt qualitative et positionne les solutions par rapport à l'existant **(LeCoq, 1992)**. Une fois que l'on dispose de plusieurs architectures réalisables, il faut être capable de choisir donc de les hiérarchiser.

d) Vecteurs Itérations

La démarche de conception de produit est intrinsèquement itérative **(Quarante, 1994)(Roozenburg, 1995)(Scott, 1996)**. Beaucoup de modèles de processus de conception prévoient d'ailleurs, implicitement, des boucles de retour en arrière **(Tate, 1996) (Reymen, 2001)**. A chaque niveau de la conception, le processus est itératif et récursif, et fourni un progrès incrémental du problème **(Wood, 2001)**.

La conception de produit est au cours du projet une série d'aller-retour. Le phénomène d'itération est une caractéristique fondamentale de l'acte de conception de produit selon Vadcard **(Vadcard, 1996)**. Il préconise d'intégrer l'aspect itératif dans la programmation de l'action, plutôt que de la considérer comme un phénomène perturbateur dû à des erreurs de choix.

Les itérations proviennent de la recherche d'architecture. Entre la recherche de concepts ("conceptual design") et la conception architecturale ("embodiment design"), plusieurs itérations sont nécessaires pour faire émerger la conception définitive **(Pahl, 1996)**.

(Wynn, 2007) définit les objectifs des itérations en six points:

- Exploration : Dans la pensée moderne sur la conception, c'est une vue quasi universelle que la concurrence, l'exploration itératif des espaces des problèmes et des solutions est fondamentale pour le processus de résolution de problèmes créative. Selon cette perspective orientée vers les solutions, la conception implique un processus répété de solution de l'espace divergence (encours de synthèse), suivie par la convergence (lors de l'évaluation).

- Convergence : De nombreux problèmes techniques peuvent être considérés, comme le choix des paramètres pour atteindre les objectifs de performance bien définis. Lorsque les relations entre les paramètres et les objectifs sont complexes et une solution ne peut pas être directement identifiées, un processus itératif est utilisé pour converger vers une conception «satisfaisante». Différentes méthodes et / ou outils sont souvent appliqués comme des niveaux croissants de détail sont atteints au cours de convergence. La stratégie de convergence est utilisée dans les procédés axés concepteur ainsi que la conception automatisée et des systèmes d'optimisation.
- Raffinement : Conceptions qui répondent à leurs besoins primaires peuvent parachevés pour améliorer les caractéristiques secondaires, par exemple pour améliorer l'élégance ou pour réduire les coûts. Raffinement excessif se produit souvent où il n'est pas évident quand s'arrêter de travailler sur un problème, par exemple si il y a quelques jalons dans un programme de développement ou si les critères d'évaluation sont subjectifs.
- Retravailler: Les tâches peuvent exiger de retravailler en réponse aux problèmes qui émergent que l'analyse est effectuée, ou suite à des influences extérieures telles que les changements d'exigences. Retravailler inutile peut aussi être causé si le processus est trop complexe pour identifier la manière la plus efficace de l'exécution du travail. Une configuration qui élimine ce peut ne pas être possible si les contraintes de temps exigent un travail à commencer par les informations d'entrée incomplète. Retravailler nécessite des tâches à une nouvelle tentative parce que leur information d'entrée est mise à jour. Cela n'est pas souhaitable parce que l'effort est dépensé sans augmentation globale des performances ou des connaissances.
- Négociation : De nombreux problèmes de conception exigent l'intégration des contributions de personnel qui sont formés dans des disciplines différentes et qui ont une compréhension limitée des autres domaines. Cette situation est commune où les créateurs ne possèdent pas un aperçu technique de la conception entière, par exemple dans des produits très complexes tels que les moteurs d'avion. Dans un tel cas l'itération permet des arbitrages entre des objectifs concurrents à négocier.
- Répétition : Tâches similaires ou étapes sont souvent réalisées à différents moments dans le cycle de conception d'appliquer une opération similaire à de nombreuses informations. Répétition diffère de l'exploration, la convergence, la négociation, la reprise et le raffinement en ce qu'elle implique revisitant les activités de conception similaire pour atteindre un objectif différent, plutôt que de revisiter un objectif en utilisant éventuellement des méthodes différentes.

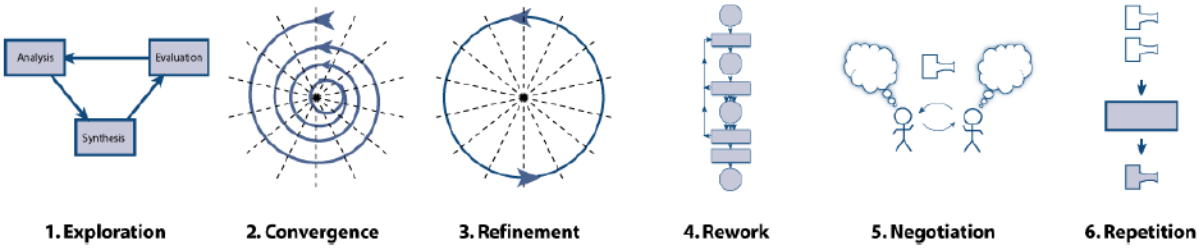


Figure III. 5: Six perspectives pour les itérations (Wynn, 2007)

III. 2. 2 Première dimension de la carte: La nature des produits – préparation des connaissances -

Dans leur démarche pour concevoir un produit, les concepteurs partent du fonctionnel vers le structurel. Tout au long de ce passage, ils proposent des solutions pour répondre aux besoins des utilisateurs. Ces solutions sont élaborées grâce à une succession d'activités qui permettront d'amener progressivement le produit vers son état final.

Alors que la connaissance est considérée comme une information structurée, elle peut également être considérée comme information dans un contexte. Ce contexte dépend d'un certain nombre de variables ou le produit est destiné, l'organisation, la philosophie de conception a suivre, le stade particulier de la conception au cours duquel la connaissance est utilisée, et le plus important de tous, l'esprit du concepteur. Bien qu'il soit important de la structurer et organiser les données pour faciliter la recherche et la réutilisation, il est également important de comprendre que ni l'esprit du concepteur, ni le processus des idées de conception, s uit une structure ou une séquence spécifique **(Senthil, 2013)**.

L'objectif des entreprises est d'acquérir un avantage concurrentiel en lançant sur le marché des produits innovants avant la concurrence. L'équipe de conception doit pour cela valider les performances du produit conçu, car il est nécessaire de s'assurer de la conformité du produit aux spécifications du cahier des charges. Cependant, il est parfois difficile d'évaluer certaines caractéristiques du produit, en particulier lorsque cela requiert une mise en situation dans un environnement réel qui n'a pas encore été réalisé **(Mun, 2009) (Mougenot, 2008)**.

Les phases d'évaluation sont à la base d'un long processus d'ajustement du produit. Si une erreur est détectée, le processus de conception revient à l'étape de définition pour proposer une alternative qui sera réévaluée. Les délais de réaction peuvent alors compter plusieurs mois. Les itérations de conception les plus rapides sont habituellement dans la phase de définition, où les idées sont généralement générées, vérifiées et sélectionnées ou rejetées dans des délais de l'ordre de la semaine **(Sellgren, 1998) (Chou, 2012)**.

Si un problème est détecté au stade de la production par exemple, il faut revoir la conception à partir d'une étape antérieure et réengager une grande partie des dépenses déjà investies. La **Figure III. 6** montre que cela peut s'élever jusqu'à 75% du coût du produit dans les cas extrêmes.

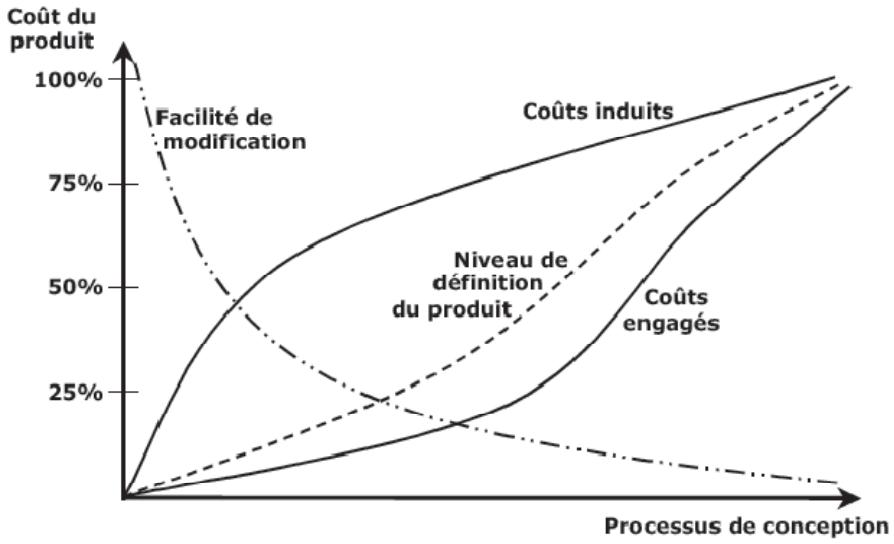


Figure III. 6 : Coût d'un produit durant sa conception **(Salomone, 1995)**

La première étape du processus de conception, la définition de caractéristiques des produits, doivent prendre compte des besoins et exigences des clients. Le succès dans Le marché aujourd'hui est dépendant du niveau de la satisfaction du client. Si le produit conçu permet plus de fonctionnalités, qui sont requises par le client, le niveau de satisfaction est augmentée **(Akgunduz, 2002)**.

Pour la conception d'un nouveau produit, il est nécessaire d'utiliser des représentations intermédiaires afin d'évaluer le produit, identifier les défauts du produit, trouver des solutions alternatives et déterminer les coûts de fabrication **(Dai, 1994) (Segonds, 2011)**. Les concepteurs utilisent différentes représentations intermédiaires pour visualiser leurs concepts. Ces représentations intermédiaires sont pour eux un moyen de simuler les différentes caractéristiques du produit.

Il existe de nombreuses définitions des représentations intermédiaires, dont voici quelques exemples:

"Ce sont des outils d'interaction, entre l'ensemble des acteurs de la vie du produit, afin de permettre des échanges et des compréhensions mutuelles plus efficaces." **(Tichkiewitch, 1997)**

"Ce sont des représentations simplifiées d'un système, ayant pour objectifs d'accroître notre capacité à comprendre, à prévoir et si possible à contrôler les comportements futurs du système." **(Neelamkavil, 1987)**

"Ce sont des représentations simplifiées d'un produit, contenant quelques-unes de ses propriétés essentielles, représentées de manière similaire ou égale." **(ENDREA, 2001)**

"Ce sont des représentations contenants certaines propriétés du produit et privées de certaines autres." **(Buur, 1989)**

Pour **(Yannou, 2001)**, le concept est également un objet intermédiaire dans la représentation de ce que sera le produit final.

Les représentations du produit sont souvent utilisées pour partager les idées et réduire le risque de changements tardifs coûteux **(Ulrich, 2000)**. Ces représentations du produit peuvent aider l'équipe de conception à comprendre les différentes fonctionnalités du produit. Allen a été un des premiers à montrer l'influence de la rapidité de circulation des informations dans les projets, sur la performance des équipes en recherche et développement **(Allen, 1982)**. Selon Nonaka, dans une équipe un tiers du temps est consacré aux échanges d'informations **(Nonaka, 1990)**. Il s'agit de se comprendre, mais surtout de se comprendre vite et bien. Cependant, le vocabulaire et sa diversité sémantique sont sujets à interprétation selon sa propre langue et sa propre culture **(Törlind, 1999)**. Les représentations intermédiaires sont utilisées tout au long du processus de conception, de l'idée initiale jusqu'au produit final. Les représentations intermédiaires sont un outil de l'activité de conception, permettant de décrire le futur produit. **(Söderman, 1998)** a défini quatre types d'utilisation des représentations intermédiaires dans le processus de conception.

1. Evaluer le futur produit ;
2. Identifier les erreurs dans les phases amonts du processus de conception ;
3. Stimuler le dialogue entre les différents acteurs ;
4. Aider à la prise de décision.

(Johansson, 1988) considère les représentations intermédiaires comme un média d'information, qui permet aux membres de l'équipe de conception, issus de métiers différents, de décider ensemble des choix de conception. Il définit sept utilisations des représentations intermédiaires:

1. Evaluation du produit par l'utilisateur ;
2. Tests et évaluations techniques ;
3. Définition des besoins du client ;
4. Evaluation esthétique ;
5. Validation de concept ;
6. Communication interne et externe ;
7. Présentation commerciale.

(Mantelet, 2006), considère que Le processus de conception étant caractérisé par une matérialisation progressive d'un espace problème en un espace solution, nous entendons par représentations intermédiaires, les différents niveaux de concrétisation progressive ou espaces intermédiaires au cours du processus de conception (cahier des charges, planches de tendances, modèles de style, modèle géométrique numérique, bloc diagramme fonctionnel, maquettes, prototype …).

Les représentations intermédiaires constituent un moyen pour coordonner les différents acteurs impliqués dans le processus de conception « multi-métiers ».

(Segonds, 2011), considère que lors de l'avancée du processus de conception, les représentations intermédiaires deviennent de plus en plus contraintes et elles permettent une concrétisation progressives des solutions de conception. Les premières traces tangibles de concrétisation sont la plupart du temps des esquisses réaliser à la main (Figure III.7).

Figure III. 7 : classification des représentations intermédiaires (Bouchard et al, 2005)

Selon le point de vue de **(Maurel, 1992)** cité par **(Vadcard, 1996)** selon lequel un objet peut être analysé au moyen de trois valeurs : la valeur d'usage, la valeur d'estime et la valeur d'échange :

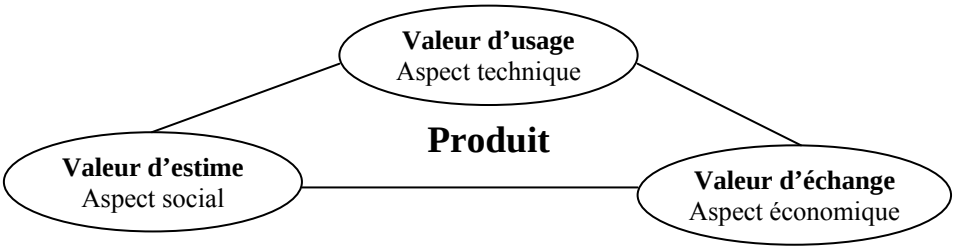


Figure III. 8 : Les trois valeurs d'un produit

Sur la base de la Figure III. 8, et pour réaliser les trois valeurs, les représentations intermédiaires interviennent pour créer un passage entre les phases du processus de conception. L'exploitation des représentations intermédiaires par les acteurs de conception pendant le cycle de développement est basé sur les trois valeurs : usage, estime et échange. Nous considérons l'environnement de développement du produit comme moyen d'échange pour présenter le produit.

III.2.2.1 Les modèles produits orientés intégration métiers

(Bluntzer, 2009) souligne que les retours sur les expériences sont aujourd'hui un vecteur permettant de capturer des informations métiers en entreprise. Lors d'un processus de conception, nous sommes en présence de nombreuses modifications, notamment dans la phase conception détaillée, qui nous permettent d'extraire des règles métier.

(Tichkiewitch, 1996) propose un modèle produit permettant la coopération entre les acteurs de la conception. Ce modèle est construit de façon à stocker, dans une même base, tous les éléments utilisés par chaque métier et leurs interactions. Chaque acteur rajoute une contrainte liée à son métier. Ce modèle permet de structurer et d'associer des composants dans un système par la spécification des différents liens. Un lien correspond à une caractéristique externe du composant et les relations expriment les liaisons entre les liens.

Trois règles sont associées à ce concept : une règle de composition/décomposition pour représenter les détails des composants, une règle de substitution pour remplacer une relation entre liens par un ensemble composant/lien/relation et enfin une règle de représentation multi vues.

III.2.2.2 Les modèles produits orientés fonctions

Pour faciliter le passage de l'expression du besoin à la définition du produit, **(Dupinet, 1991)** a proposé d'utiliser des graphes pour représenter le produit. Plusieurs graphes ont été construits pour intégrer les fonctions, l'architecture et les choix technologiques : le "graphe logique" pour représenter les fonctions du produit, le "graphe technologique" pour représenter les contacts entre les surfaces fonctionnelles et le "graphe produit" pour vérifier la cohérence des deux premiers graphes. Les graphes sont utilisés pour spécifier les éléments du modèle produit : entité, fonction, frontière, composant et contrainte. L'entité est définie comme l'objet le plus élémentaire, la fonction exprime l'interaction entre des entités, la frontière est constituée d'un ensemble d'entités qui interagissent avec l'environnement du produit, le composant est un assemblage d'entités et la contrainte traduit toutes les dépendances et relations entre les éléments.

III.2.2.3 Modèles orientés capitalisation et réutilisation des connaissances

La connaissance est un élément essentiel de la conception. Le contenu d'une base de connaissances peuvent être utilisés dans un certain nombre de cas afin:

(i) de diffuser les connaissances à d'autres personnes dans une organisation;

(ii) de réutiliser les connaissances de différentes façons pour des fins diverses;

(iii) d'utiliser leurs connaissances pour développer des systèmes intelligents qui peuvent effectuer des tâches de conception complexes.

La connaissance est difficile à acquérir, auprès des spécialistes. Les difficultés proviennent d'un certain nombre de facteurs. Tout d'abord, les spécialistes ne sont pas bonnes pour transmettre leurs savoir faire, c'est un caractère chez les spécialistes (en terme de communication). Ils ont ce que l'on appelle la connaissance tacite qui fonctionne à un niveau subconscient et il est donc difficile, voire impossible, où d'extraire. Deuxièmement, les spécialistes ont différentes expériences et opinions. Troisièmement, les spécialistes développent notamment les conceptualisations et des raccourcis mentaux qui ne sont pas faciles à communiquer. Quatrièmement, les spécialistes utilisent un jargon et supposent que la plupart de leurs interlocuteurs comprennent la terminologie qu'ils utilisent. Outre ces difficultés, d'autres problèmes liés à la représentation et le stockage des connaissances, tels que la taille de la connaissance et le formalisme de représentation comme illustré sur la figure III. 9 **(Yang, 2012)**.

(Harani, 1997) a développé un modèle produit pour la capitalisation et la réutilisation des connaissances. Il est destiné à représenter toutes les informations liées à un produit conçu ou à concevoir. Le modèle est construit sur trois niveaux conceptuels. Le niveau d'abstraction est défini par un méta-modèle où tous les concepts de base sont définis. Ensuite, le concepteur élabore la conception spécifique à son domaine qui génère le modèle de produit spécifique à exploiter au dernier niveau de réalisation. Le modèle est structuré de manière à permettre la définition du produit à partir des spécifications extraites du cahier des charges, à maintenir à jour la connaissance produit et à conserver l'historique de conception à des fins de réutilisation. Les informations du modèle sont contenues dans les concepts : produit, paramètre et point de vue **(Gonçalves, 2010)**.

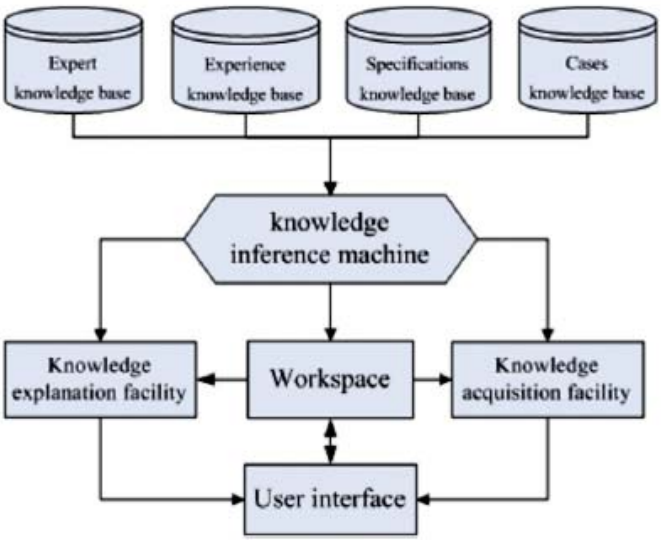


Figure III. 9 : les connaissances pour un processus de conception (Yang, 2012)

III.2.2.4 Modèles produits multivue

(Gonçalves, 2010) mentionne les travaux de **(Vargas, 1995)** et **(Saucier, 1997)**, qui proposent un méta-modèle multi vues permettant la description d'une famille de produits. L'objectif principal est d'intégrer le point de vue géométrique au même titre que d'autres points de vue. Ils proposent d'intégrer dans un même modèle les aspects fonctionnels, physiques et géométriques du produit. Le modèle fonctionnel permet de représenter une décomposition arborescente des fonctions que peut satisfaire une classe de produits. Les nœuds de l'arbre décrivent les fonctions, les fonctions élémentaires ou les solutions techniques, et les feuilles correspondent aux entités. Les arcs de l'arbre supportent des liens de décomposition fonctionnelle et des liens sémantiques. Le modèle fonctionnel est établi à partir des connaissances conceptuelles disponibles. A partir de ces fonctions, les solutions techniques sont répertoriées et les entités définissant les solutions techniques sont paramétrées. Le modèle physique définit la décomposition structurelle des variantes de la classe de produits. Il repose sur une décomposition arborescente qui a pour nœuds intermédiaires des assemblages, des assemblages élémentaires ou des pièces, et pour feuilles des entités. Les arcs décrivent les liens sémantiques pouvant être obligatoires ou optionnels. Cet arbre est obtenu à partir des données techniques (nomenclatures).

III. 2. 2. 5 Conclusion

Un modèle produit décrit les différentes connaissances relatives à un produit. Plusieurs travaux traitant la modélisation de produit suggèrent une représentation multi vues : fonctionnel, structurel, géométrique, physique **(Tollenaere, 1994)**. La modélisation multi vue est utilisée pour des raisons à la fois de complexité des produits et de diversité des connaissances issues de divers métiers.

Beaucoup de personnes utilisent des informations contextuelles sans s'en rendre compte. L'importance de la connaissance, c'est qu'elle améliore la capacité de fournir une plus grande importance à l'activité, des faits, des artefacts générés et les décisions prises. Par ailleurs, les actes de connaissances contextuelles sont comme un meilleur filtre, qui soutient la découverte de nouvelles informations de la connaissance lorsque l'on compare le contexte actuel avec ce qui est disponible dans la mémoire de l'organisation **(Nunes, 2009)**.

Trois éléments sont nécessaires au mécanisme de conception de produit, les deux premiers éléments relèvent d'une activité centrée sur le produit, ce sont la caractérisation de l'environnement du produit, la résolution du problème de transformation d'état de la problématique de conception vers la définition du produit. Le troisième élément relève d'une activité centré sur le projet de conception, c'est le management du projet. Dans tous les cas, le concepteur est confronté au problème de cohérence des connaissances relatives au produit. Il est donc indispensable de renforcer ces modèles par des formalismes assurant la cohérence des connaissances.

Les représentations intermédiaires des produits et les environnements de développement constituent un élément de réponse pour la réalisation d'un processus de conception. A travers les éléments identifiés par ce chapitre, le produit est considéré comme carrefour de croisement des éléments de conception. Nous le proposons comme une dimension dans l'outil à développer.

III. 2. 3 La deuxième dimension : les caractéristiques des processus de conception

Nous présentons dans cette partie les caractéristiques des processus de conception en termes d'architecture et relation entre les phases et les étapes. Comme le processus de conception est un ensemble d'activités, la description de la nature des liens est très importante pour l'insérer dans la réalisation d'un processus de conception.

Nous avons fait état, dans le chapitre précédent, d'une part des caractéristiques des problèmes de conception, d'autre part de l'évolution des organisations industrielles cadres des processus de conception, et subséquemment des modèles décrivant ces processus (la carte de classement 60 modèles).

III. 2. 3. 1 Les modèles graphes des processus de conception :

(Zouar, 2007) rapporte que le modèle processus de **(Vargas, 1995)** a pour but de formaliser la connaissance de manière déclarative et permet de représenter la suite de tâches à effectuer. Il est composé d'un ensemble de tâches (problèmes à résoudre), d'un ensemble de méthodes (manières de résoudre des tâches) et d'un ensemble de méthodes élémentaires (calculs et dialogues avec l'utilisateur). Les tâches et les méthodes sont organisées sous la forme d'un graphe ET/OU (Figure III. 10). Cet arbre fournit une structure détaillée des problèmes à résoudre.

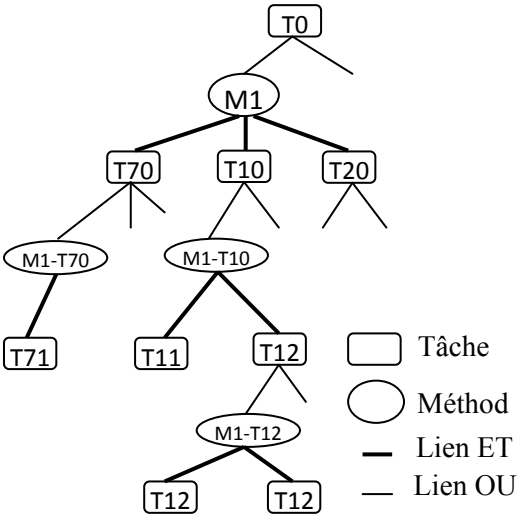


Figure III. 10 : Arbre tâches/méthodes (Vargas, 1995)

Chaque tâche contient plusieurs méthodes et chaque méthode peut être dédiée à une ou plusieurs tâches. La mise en œuvre du modèle processus de conception nécessite deux étapes :

Les contraintes de structure sont utilisées pour modéliser les relations booléennes de l'arbre tâches/méthodes, les contraintes de résolution pour limiter les valeurs possibles des paramètres de chaque composant et les contraintes intervenant en cours du processus et qui ne sont activées que lorsque la méthode qui les contient est sélectionnée. Les valeurs des paramètres peuvent être sélectionnées par une heuristique ou calculées par un algorithme. Les méthodes sont également choisies par une heuristique ou en fonction de certaines priorités prédéfinies. Dans le cas où un choix s'avérerait incohérent, le mécanisme de retour arrière (backtrack) est utilisé.

Le modèle du processus de conception permet de représenter la suite de tâches à effectuer pour concevoir un objet donné. Il est composé des éléments suivants :

• Les Tâches : elles représentent les différents problèmes à résoudre ou buts à atteindre en cours de conception,

• Les Méthodes : elles représentent les différentes solutions possibles,

• Les Méthodes élémentaires : elles permettent le dialogue avec l'utilisateur, l'exécution de formules de calculs ou de requêtes ponctuelles (en dehors du modèle géométrique) avec le modeleur de CAO.

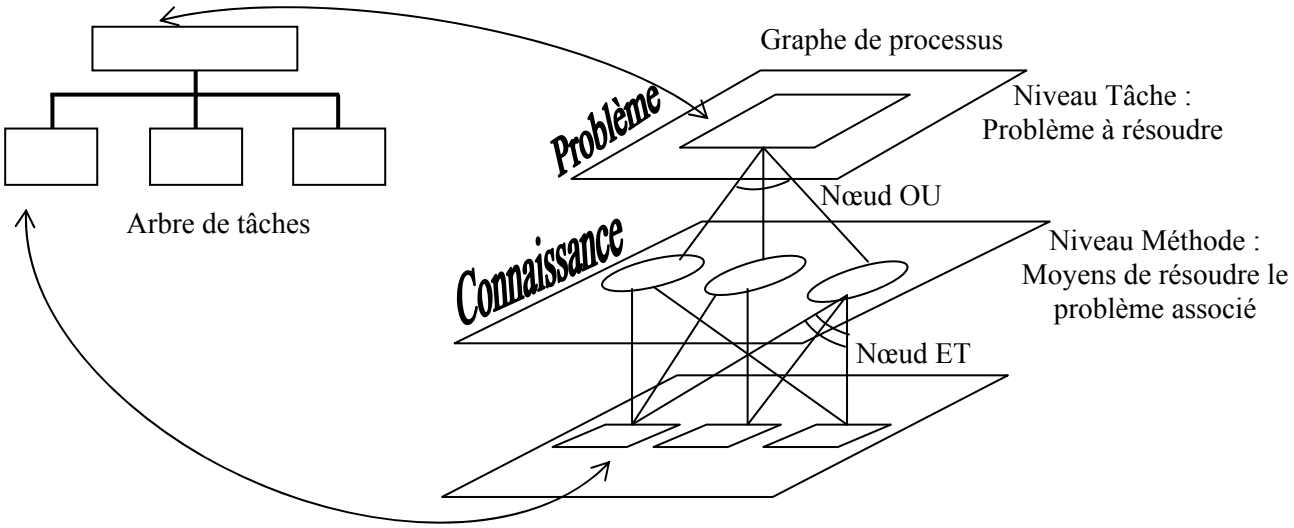


Figure III. 11 : Graphe du processus de conception.

L'arbre des tâches est une représentation statique du processus de conception. Il fournit une structure détaillée des problèmes à résoudre (figure III. 11). Chaque tâche contient plusieurs méthodes. Chaque méthode possède plusieurs tâches. Si les tâches représentent une structure de type problème sous problème, les méthodes représentent les différents moyens de résoudre chaque sous problème. L'ensemble des Tâches / Méthodes est ainsi organisé sous la forme d'un graphe ET /OU (figure III. 11).

La mise en œuvre du modèle du processus de conception, nécessite la définition des aspects statiques et dynamiques de ce modèle :

· Définition statique: identification des tâches et méthodes,

· Identification des problèmes à résoudre et hiérarchisation en vue d'indiquer la priorité d'exécution quand celle-ci est obligatoire et bien définie,

· Définition de la dynamique du modèle (résolution des problèmes).

Les aspects dynamiques du modèle permettent au concepteur de définir sa propre stratégie de résolution (au sens métier du terme), tout en ayant une représentation globale des différentes tâches (problèmes) à résoudre.

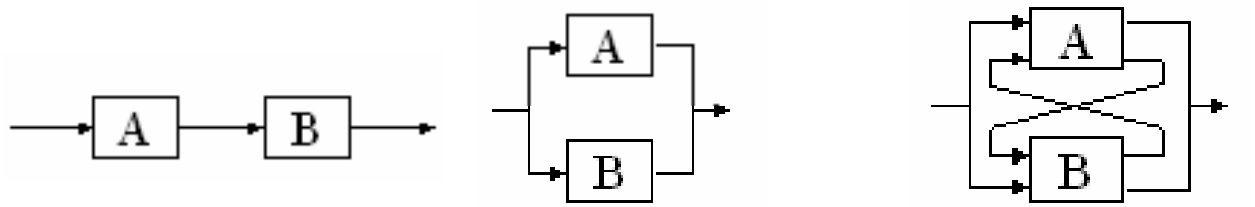
Les différentes tâches du modèle du processus sont obtenues à partir d'une analyse des problèmes posés par le concepteur. Les tâches ne correspondent pas à une description de la façon de concevoir chaque composant du modèle physique ou fonctionnel du produit.

III. 2. 3. 2 Les types des liens entre les activités de conception

Pendant le déroulement du processus de conception, les concepteurs interviennent dans ses activités afin de résoudre des problèmes et développer des solutions. La fin d'une activité rend disponibles des données de sortie nécessaires au démarrage d'activités en aval. En conséquence, les activités de conceptions sont liées entre elles.

En fonction des dépendances informationnelles, on peut représenter trois types de liens entre les activités de conception. Considérant deux activités A et B, les trois types de liens sont les suivants (**Figure III. 12**) :

- Les activités dépendantes : ce sont les activités qui doivent être réalisées de façon séquentielle (pour commencer, l'activité B à besoin d'informations fournies par l'activité A).
- Les activités indépendantes (parallèles) : ce sont des activités qui n'échangent aucune information entre elles, mais qui sont dépendantes d'une autre activité et leurs sorties sont nécessaires pour une autre activité.
- Les activités interdépendantes (couplées) : elles sont mutuellement dépendantes (A a besoin d'informations fournies par B et B a besoin d'informations fournies par A). Dans ce cas un certain nombre d'itérations peut être nécessaire pour converger vers une solution acceptable.



Activités dépendantes Activités indépendantes Activités interdépendantes

Figure III. 12 : Les types d'activités en fonction de leurs dépendances

A partir de ces trois types de lien entre activités, l'exécution peut se faire selon différents scénarios possibles :

- Exécution séquentielle : ce type d'exécution est spécifique à l'ingénierie séquentielle (classique) où les activités sont enchaînées et sont exécutées une après l'autre par différentes équipes. Ce type d'exécution est facile à maîtriser, mais allonge les délais de conception.
- Exécution en chevauchement : l'exécution des activités en chevauchement peut être réalisée par la réorganisation des activités et par la constitution d'équipes multidisciplinaires qui peuvent intervenir dans plusieurs activités de conception tout au long du processus de conception. Ce type d'exécution peut se présenter sous deux formes différentes :
  - avec transfert d'informations préliminaires, le flux d'informations est unilatéral, spécifique plutôt à l'ingénierie séquentielle,
  - avec échange réciproque d'informations, le flux d'informations est bilatéral, spécifique à l'ingénierie simultanée.
- Exécution simultanée : dans ce cas, en fonction du lien entre les activités, deux schémas peuvent se présenter :
  - avec des activités indépendantes, l'exécution se fait sans échange d'informations,
  - avec des activités interdépendantes, l'exécution nécessite un échange d'informations entre les activités

Alors que les méthodes basées sur les modèles séquentiels prescrivent pour le processus de conception une suite de phases enchaînées strictement, ce schéma n'est que très rarement respecté, du fait des réitérations rendues nécessaires, entre autres, par les difficultés éprouvées par les acteurs d'une phase à prendre en considération les contraintes inhérentes à une autre phase.

Dans les modèles simultanés, ces réitérations disparaissent et les processus réels qu'elles décrivaient sont modélisés d'une part par le parallélisme des activités menées, et d'autre part par l'intégration qui se met en place entre les différentes activités.

Les directives VDI (Verein Deutscher Ingenieure, organisme de normalisation Allemand) préconisent un processus de divergence et convergence pour chaque phase. La Figure III.13 illustre également toutes les alternatives possibles à chaque étape du processus de conception. Même si une convergence est préconisée, toutes les combinaisons possibles ne sont pas examinées. Par exemple, un seul "concept solution" est choisi à la fin du "conceptual design", seule l'architecture en résultant est évaluée.

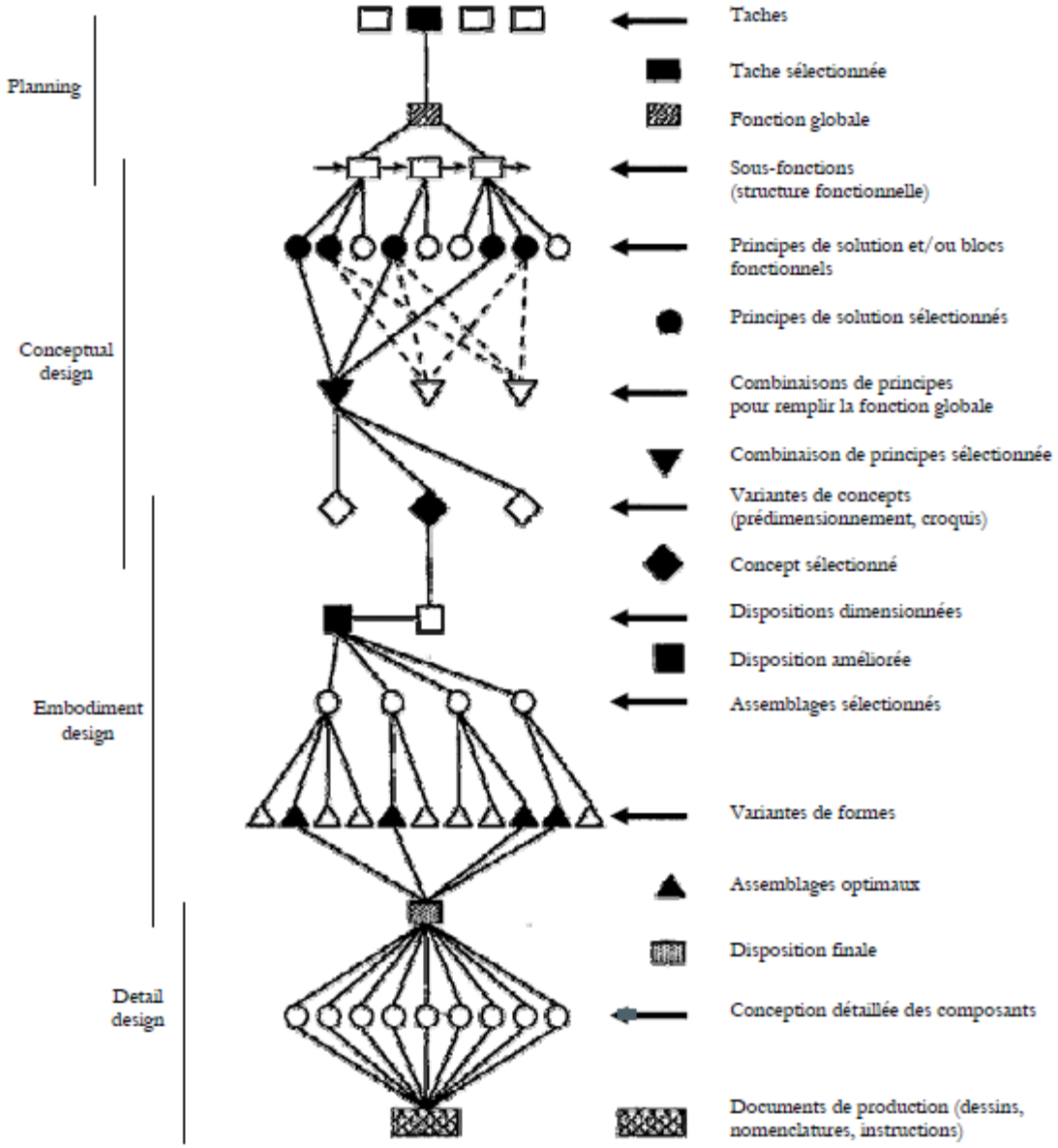


Figure III.13 : Divergence et convergence dans le processus de conception, d'après les directives VDI.

Une première décision importante est à prendre à la fin de la **phase de recherche de concepts**, pour faire un choix parmi des concepts pertinents ou des concepts de solution.

Selon Ullman, la méthode des matrices de décision (méthode Pugh) permet la pondération des critères et l'évaluation des alternatives pour chaque critère. Ce travail est réalisé par groupe, les décisions sont subjectives. Chaque concepteur a en effet un concept favori, qu'il considère comme une donnée, pour évaluer les autres. De

plus, cette méthode peut être itérative. Enfin, les concepts peuvent être insuffisamment détaillés pour pouvoir être évalués au travers des critères **(Ullman, 03)**. Les caractéristiques du produit sont incomplètement définies, les connaissances sont faibles durant les premières phases de la conception préliminaire **(Chapman, 1999) (Welp, 1999)**. De plus, il n'existe pas de méthode qui décrit la façon d'obtenir des architectures de produit **(LeCoq, 1992)**. L'expérience et l'intuition du concepteur sont utiles durant la recherche d'architecture. **(Hubka, 2001).** Cette nécessité de prendre des décisions a priori rend le recours à l'expérience des concepteurs obligatoire. La conception est à la fois déductive et intuitive ; les solutions obtenues sont rarement optimales. Un besoin d'aide à l'identification des caractéristiques structurantes du problème de conception préliminaire apparaît.

III. 2. 3. 3 Relation entre le modèle produit et le modèle processus

La modélisation du produit et la modélisation des processus sont les deux aspects fondamentaux du développement des produits, et sont également l'enceinte de la recherche dans le domaine de l'ingénierie pour le moment.

Établir des modèles efficaces de développement des produits ne permet pas seulement de gérer, traiter et contrôler efficacement le processus, mais aussi des résultats dans l'organisation de l'équipe multifonctionnelle pour développer des produits simultanément et en coopération.

Les modèles des produits et les modèles de processus proposés, tels que le modèle produit orientée « structure », modèle de produit orientée « géométrie », le modèle produit orientée « connaissance », modèle de produit « intégré », le modèle réseau de Petri, le modèle UML, etc …, décrivent le produit et son processus de développement à partir des activités réalisées en coopération et simultanément entre les acteurs de conception.

Ces modèles et méthodes promeuvent le développement de la conception des produits et l'innovation. Cependant, les relations et interrelations entre le modèle produit et de son modèle processus correspondant ont été ignorés lorsque le modèle processus a été établis **(Huang, 2006)**.

Le Modèle Produit décrit les informations sur les produits et les relations entre différentes informations et connaissances. En général, les données du modèle produit sont déterminées par sa structure et son contenu. La structure dépend de la nature du produit et les outils utilisés pour modéliser l'information ainsi que la construction des dispositifs nécessaires pour la base de données. Le contenu est en fonction de la particularité du produit. Le Modèle de processus est la description abstraite du processus de développement de produit, et il peut être utilisé pour analyser, optimiser et mettre en place le processus de l'activité de développement de produits et d'aider à la gestion et au suivi de l'ensemble du processus.

Sur la base de différents critères, un modèle produit peut être en outre structuré en sous-modèles, par exemple un modèle extérieure, le modèle interne, et le modèle de l'information technologique. Le modèle externe peut être davantage structuré en un modèle client, un modèle marché, modèle de l'environnement, modèle de fournisseur, et ainsi de suite. Le modèle interne peut être en outre classé dans un modèle exigence, modèle fonction, le modèle conceptuel, le modèle de conception, le modèle de processus, et ainsi de suite. Le modèle d'information technologique peut être plus classé en un modèle de défaillance, le modèle matériel,

modèle de tolérance, le modèle état de surface, et ainsi de suite. Selon les différentes décompositions du processus, il existe de nombreux modèles de processus.

Par exemple, selon le cycle de vie d'un produit, le modèle du processus peut être davantage structuré en sous-modèles, tels que un modèle de processus de conception, le modèle de processus de fabrication, le modèle de processus d'assemblage, le modèle de processus de recyclage, et ainsi de suite. Le modèle de processus de conception peut être en outre classé sous formes de phases. La décomposition du processus devrait aboutir à la collaboration des processus, la gestion et l'optimisation. Plus la granularité du processus est élevée, plus le degré de couplage entre les processus est élevé.

La modélisation de développement des processus du produit, se compose de deux volets interdépendants: le modèle produit et le modèle processus. Les modèles produits sont liées aux bases de données des produits et leur gestion associée et les algorithmes d'accès. Les modèles processus sont aussi communément liés au développement de produits.

(Huang, 2006) évoque 3 types de développement, comme indiqué sur les figures III. 14 et III. 15 :

1. Le modèle produit est la ligne principale de développement du produit. Dans ce mode, le modèle produit est statique, et le modèle processus est dynamique. Le modèle produit est le noyau du processus de développement. Le modèle processus est améliorée (ou réorganisée) continue à adapter le modèle produit, par lequel le développement du produit est terminé.

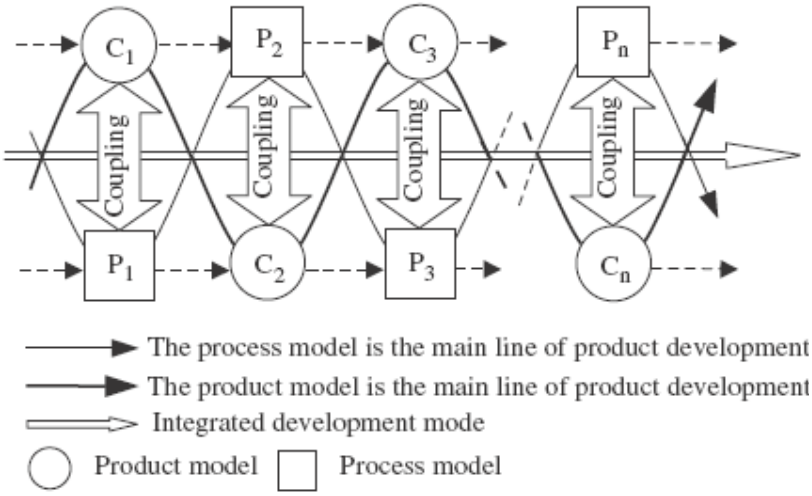


Figure III.14 : mode de développement basé sur le modèle d'intégration (Huang, 2006)

2. Le modèle processus est la ligne principale de développement du produit. Dans ce mode, le modèle processus est statique et le modèle produit est dynamique. le modèle processus est le noyau du processus de développement. Le modèle produit est modifié en fonction de l'environnement de développement pour s'adapter au modèle processus.
3. Mode de développement intégré. Dans ce mode de développement, la ligne principale du modèle produit et la ligne principale du modèle processus sont intégrés. Basé sur l'environnement de développement pratique, à la fois le modèle produit et le modèle processus sont modifiés de manière synchronisée afin d'adapter les uns aux autres. cette modification est dynamique et réciproque. l'état des informations sur le modèle produit et les informations sur le modèle processus changent simultanément.

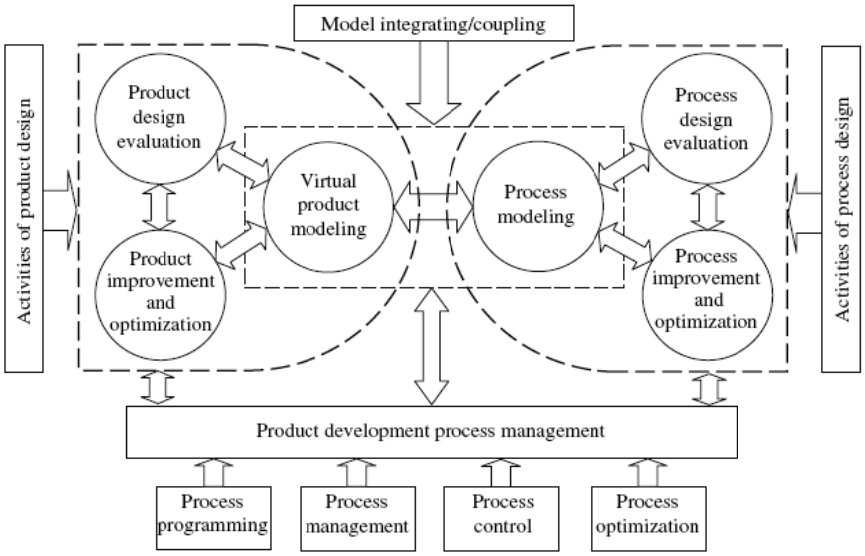


Figure III.15 : intégrer l'architecture de développement du produit sur la base du modèle de couplage (Huang, 2006)

III. 2. 4 La troisième dimension : les métiers essentiels

Lors du processus de conception, tous les métiers de l'entreprise sont en contact avec le produit étudié. Par analogie avec la génération d'un concept de produit, quand le concepteur le réalise, ce concept doit être validé par tous les métiers. C'est le même résonnement pour les règles métier. Le processus de validation des règles métier, consiste à faire valider une règle métier par les acteurs métier avant d'être diffusée auprès des concepteurs pour une application sur tous les prochains projets. **(Bluntzer, 2009)** Propose une validation des connaissances métier par la méthode ERV (Expert Rule Validation), elle est divisé en six étapes majeures et peut être interrompu à tout moment.

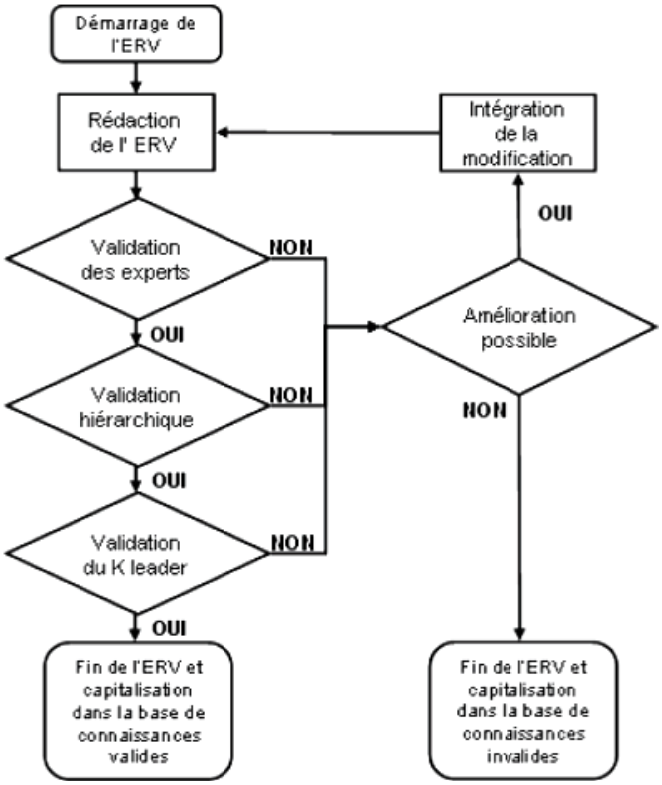


Figure III. 16 : le processus de validation des règles métier (Bluntzer, 2009)

Tout ce contexte produit un cadre de plus en plus contraignant pour les concepteurs dont le métier consiste, désormais, à ouvrir un espace de liberté, celui de la solution, dans un environnement de contraintes multiples. La conception devient désormais un système complexe non seulement par la recherche d'une solution optimale qui réalise un compromis de toutes les contraintes et les attentes, mais aussi parce que le secteur industriel connaît depuis quelques décennies un progrès technologique important qui, à la fois, accompagne et participe à l'accélération du phénomène d'innovation.

Les méthodes et les outils associés à la conception sont assez nombreux même si, d'un point de vu opérationnel, leur usage est loin d'être généralisé dans les équipes de conception **(Deneux, 2002)**. Vadcard **(Vadcard, 1995)**, a distingué sept catégories d'activités du concepteur, pour lesquelles il a recensé plus d'une centaine d'outils et de méthodes divers et variés pouvant être mobilisés (Tableau III. 3).

Catégorie	Exemple de méthode
1. Caractérisation du besoin	Analyse fonctionnelle, QFD, FAST, APTE, SAGACE,…
2. Recherche de solution	Brainstorming, matrices de découvertes, techniques d'exploration systématique,…
3. Définition du produit	Architecture produit, dessins techniques,...
4. Matérialisation de solution	Maquette ou prototype, logiciels de CAO et de synthèse d'image, outils de simulation,…
5. Analyse de solution	AMDEC, bloc diagrammes, arbres de défaillances, analyse de la valeur,…
6. Gestion du projet	Méthodes relatives à la gestion de projets (PERT, GANTT,…), techniques de suivi et de pilotage de projets,…
7. Gestion de la qualité	QFD, techniques d'assurance qualité en conception, plan d'expérience, Taguchi,...

Tableau III. 3 : Catégories des méthodes de conception (Vadcard, 1995)

La diversité des outils associés à l'activité de conception est accentuée par les progrès dans le domaine informatique. En effet, des outils informatiques d'aide à la conception sont développés et concernent, entre autre, les démarches fonctionnelles, la modélisation géométrique et la simulation numérique, etc. Par ailleurs, on trouve des systèmes informatisés d'aide aux activités de conception dans les environnements nécessitant une coordination et un partage des tâches surtout dans le cas des projets de conception distribuée. Ces outils informatisés, bien qu'ils ne soient pas indispensables à la vie d'une équipe de conception, jouent un rôle primordial, en particulier, lorsqu'ils prennent en charge des opérations fastidieuses ou impossibles à réaliser par les concepteurs en un temps raisonnable **(Potteck, 2001)**.

En adoptant le modèle en V du processus de conception présenté dans la figure suivante (Figure III. 17), nous présentons une cartographie des méthodes et des techniques associées au processus de conception dans la Figure III.18. La liste des méthodes et techniques présentée dans cette cartographie est loin d'être exhaustive. La cartographie présente la partie couverte du processus de conception par la méthode ou la technique considérée et son niveau d'utilisation ou de mise en œuvre par les praticiens de la conception. Le niveau de mise en œuvre peut varier d'une entreprise à une autre et aussi selon les secteurs d'activités **(Aloui, 2007)**.

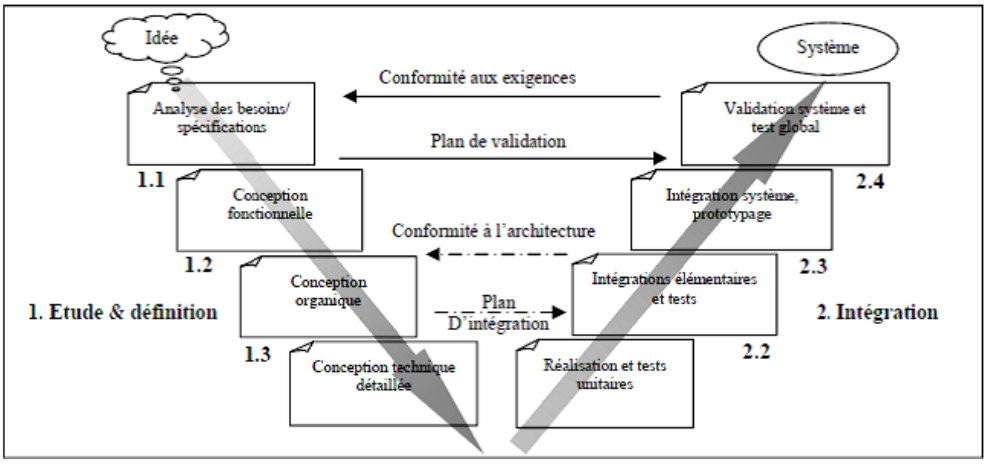


Figure III.17 : Processus de conception selon le modèle en V(Aloui, 2007).

L'étude de la cartographie de la Figure III.18 confirme et met en avant deux phénomènes principaux:

- La diversité des méthodes existantes utilisées dans le processus de conception,
- Le manque de couverture de certaines phases du processus de conception par rapport à d'autres ; en effet, malgré la diversité de méthodes et d'outils disponibles, les méthodologies de conception font toujours l'objet d'efforts de formalisation et d'élaboration.

Il est important, compte tenu de ces deux constats, d'engager un travail de formalisation et de structuration des méthodologies de conception. En effet, ces deux phénomènes conjugués entraînent un manque d'efficience dans le processus d'action des concepteurs notamment dans les PME qui ne disposent pas toutes des ressources et des structures nécessaires et suffisantes.

Un tel travail doit structurer et orienter l'activité de conception dans les PME vers plus de performance. Malgré des expériences accumulées dans le domaine de la conception et des efforts de formalisation, nous soulignons un clair besoin en matière de méthodes structurantes de ce champ. Ces méthodes se veulent robustes, flexibles, simples à mettre en œuvre et surtout cohérentes et complètes pour pallier au manque de maîtrise de certaines phases du processus de conception. Cet effort de structuration des méthodologies de conception participe sans aucun doute à l'amélioration de l'efficacité des processus d'innovation.

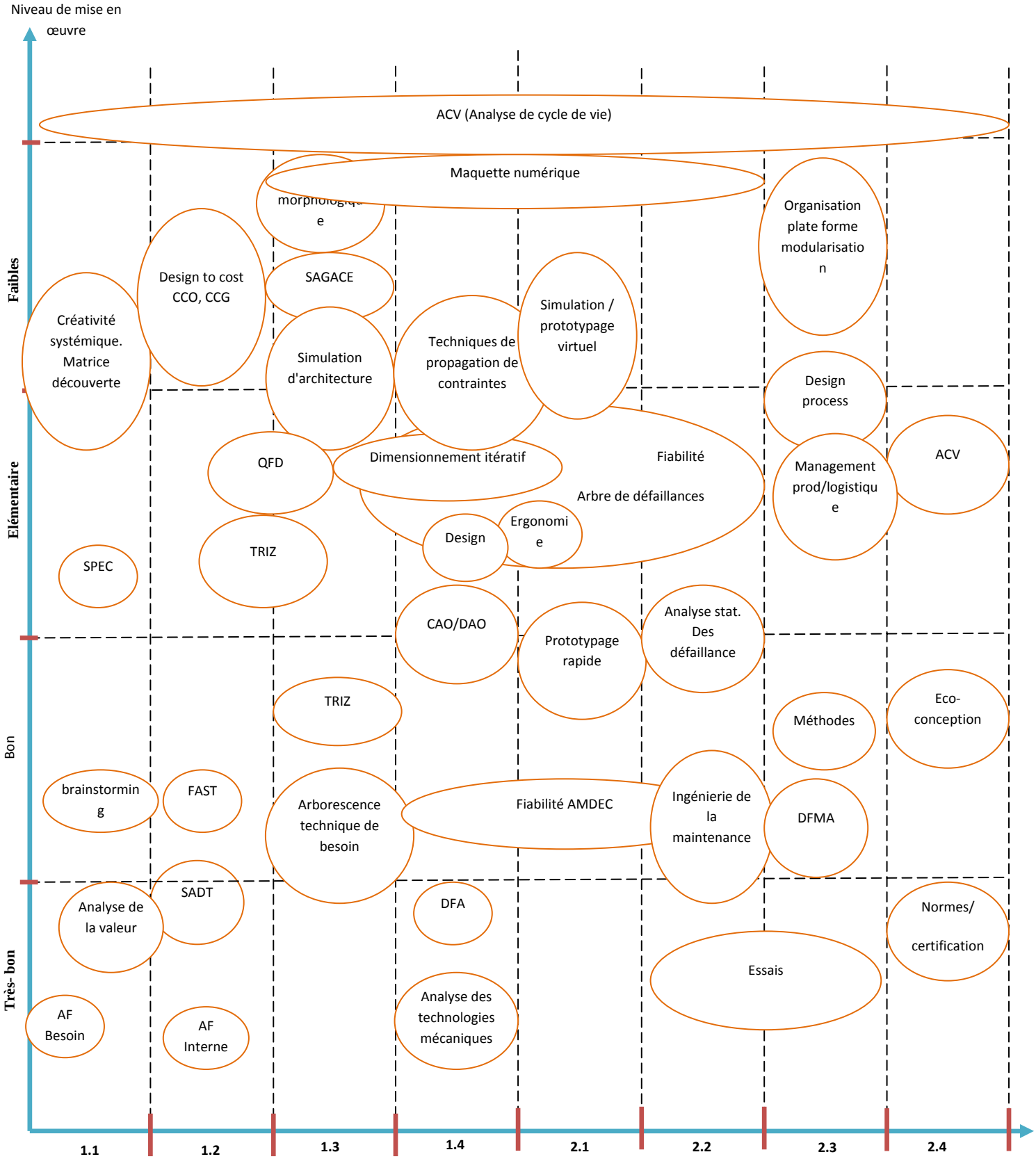


Figure III.18 : Cartographie des méthodes et techniques associées au processus de conception (Aloui, 2007)

III. 2. 5 Aide à la décision dans le choix d'un processus de conception

Lors de la phase de conception du produit, différentes fonctionnalités sont issues directement du cahier des charges, soit découlant de son analyse fonctionnelle ou crées par le concepteur. A ce moment plusieurs solutions technologiques sont souvent disponibles pour réaliser la fonction en question. Et même dans le cas d'un produit composé d'une seule pièce, des choix peuvent se poser. Par exemple pour réaliser une règle à dessin, les graduations seront-elles gravées ou sérigraphiées **(Moison, 2005)** ?

Le problème devient critique dans le cas d'assemblages mettant en jeu différent mécanismes ou fonctions. Car pour parvenir au meilleur compromis, cela revient à étudier l'ensemble des combinaisons de choix technologiques associés à chaque fonction à remplir.

D'où la nécessité d'un outil d'aide à la décision à ce niveau qui sera une introduction à la phase amont du processus de conception par l'identification des métiers qui rentrent dans le processus de développement du produit. Donc, la présélection de la nature du produits et les métiers associés revient à employer des critères d'aide à la décision sur les ressources disponibles et sur les collaborations à réalisées afin d'arriver à une innovation.

IV. 2. 5. 1 Aide à la décision dans le choix de la nature du produit

(Ullman, 2009) considère que la conception est l'évolution technique et sociale de l'information, ponctuée par des prises de décisions.

Selon Darses, les concepteurs ne prennent pas en compte l'ensemble des données disponibles pour concevoir et se fondent sur un ensemble limité pour évoquer une solution **(Darses, 2000)**. C'est une des raisons des itérations dans le processus de conception.

Le terme utilisateur fait souvent référence à la situation de vie "utilisation". Mais plus globalement, plusieurs "acteurs" sont confrontés au produit durant son cycle de vie, et l'appréhendent de manière différente **(LeCoq, 1992)** : concepteur, utilisateur final, designer, ergonome, producteur, vendeur, réparateur, etc.

Pour la seule situation de vie "conception", ces acteurs génèrent des points de vue différents, qu'il est nécessaire d'intégrer pour que le produit satisfasse ses fonctions d'usage, d'estime, de productibilité durant ses différentes positions d'utilisation.

De plus, chaque métier à sa propre idée de conception et ses spécificités **(Darses, 2000)**.
La transversalité et la coopération entre métiers se heurtent souvent à l'inadéquation des outils. Héritiers d'une problématique séquentielle **(Jeantet, 1998)**, ils permettent difficilement la prise en compte simultanée :
- des différentes exigences et restrictions imposées par les phases du cycle de vie produit;
- des différents points de vue et règles métiers **(Brissaud, 1998)**.

Intégrer simultanément l'ensemble des connaissances provenant des différents des acteurs métiers est une réelle difficulté; leurs exigences peuvent être en conflit **(Scott, 1996)**.

Ces connaissances constituent des contraintes de nature hétérogènes et sont souvent intégrées à des stages différents du processus de conception; ce qui conduit à des itérations.

De nombreuses conditions du marché incontrôlables peuvent affecter le succès d'un nouveau produit, les entreprises peuvent effectivement améliorer les décisions sur la précision de leur nouveau produit. Afin de faciliter la compréhension du grand nombre de facteurs qui pourraient avoir l'impact sur ces décisions, les

regrouper en quatre domaines généraux. Comme le montre la figure III.19, les facteurs liés à la tâche se rapportent à la complexité de la tâche, l'importance de la tâche, la rareté de l'information et des instructions de travail. Les facteurs de décision liés à l'expertise et la diversité des personnes impliquées dans l'évaluation de nouveaux produits. Les facteurs liés au déclenchement sont sur la façon dont les opinions de la nouvelle décision de produit ont été générées. Enfin, les facteurs liés à l'agrégation surle chemin des différentes opinions sont regroupées dans une nouvelle évaluation du produit **(Ozer, 2005)**.

Figure III. 19 : Facteurs influençant la décision dans l'évolution du produit innovant

III. 2. 5. 2 Aide à la décision dans le choix de la nature de conception

La décision doit être repoussée à un stade où le concepteur dispose de plus d'éléments; la comparaison et le choix seront plus objectifs, et aucune solution n'est écartée d'ici là.

Pour éviter les décisions arbitraires, Bocquet suggère de définir des espaces admissibles pour les paramètres, et de décider en fin de développement des valeurs à leur affecter. Il précise toutefois que cette stratégie ne peut pas être totalement appliquée car elle nécessite des changements de comportements et des outils particuliers **(Boccquet, 1998)**. Afin d'évaluer une alternative de conception, il faudrait pouvoir évaluer les "champs de performance" de concepts, plutôt que de se restreindre à évaluer ensuite les performances d'une solution particulière, souvent arbitrairement évaluée **(Yannou, 2001)**. Des stratégies qui réduisent de manière importante l'espace des solutions sont nécessaires **(Chandrasekaran , 1990)**.

Ainsi, l'aide à la décision en conception préliminaire est nécessaire pour aider à la recherche d'architectures réalisables et pour fournir les moyens au concepteur de choisir parmi elles.

La prise de décisions est un élément important du processus de conception. La prise de décisions est réalisée à travers un processus de formulation d'hypothèses et de correction de ces hypothèses. Les concepteurs sont continuellement confrontés à des prises de décision.

Selon Vélez, une difficulté majeure en conception est la lenteur du cycle de formulation et de correction des hypothèses de conception **(Vélez, 1999)**. Il s'agit du processus à travers lequel le concepteur formule et ultérieurement corrige les hypothèses de conception (**Figure III. 20)**. La lenteur de ce cycle limite la production d'idées du processus créatif et favorise le maintien de solutions non conformes au cahier des charges, affectant ainsi les décisions prises ultérieurement.

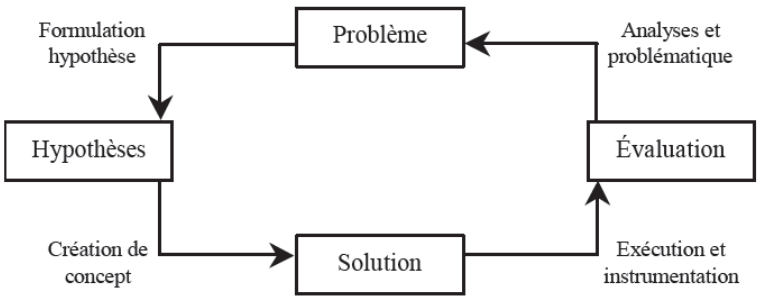


Figure III. 20 : Cycle de formulation et de correction des hypothèses de conception.

Les décisions sur le développement de nouveaux produits sont cruciales, mais complexes. Le développement de nouveaux produits est considéré comme une arme concurrentielle qui aide les entreprises à survivre et à réussir sur les marchés. Un nouveau produit joue un rôle important non seulement dans la pénétration des marchés, mais également la construction et le maintien des relations avec les clients et cédant des bénéfices. Cependant, le développement de nouveaux produits, de l'idée jusqu'à la création du produit, exige une communication inter-acteurs, entre les concepteurs, les ingénieurs et le personnel de marketing. Par ailleurs, pour obtenir un avantage concurrentiel dans un marché, les décisions doivent être sensibles et faites sur divers aspects du développement de nouveaux produits, tels que les attributs des produits, le segment de la clientèle, la promotion et la stratégies de commercialisation. Ces décisions sont liées entre elles et finiront par affecter la rentabilité. Il est difficile de parvenir à un consensus entre les différentes parties impliquées dans le développement de produits, qui ont différents responsabilités et préoccupations. Un système d'aide à la décision est donc nécessaire dans la résolution de ces problèmes de décision **(Chan, 2011)**.

III. 2. 6 Conclusion

La réalisation d'un processus de conception est soumise à des conditions et des critères multiples. L'exploration de l'ensemble des critères par des équipes de conception ou le chef du projet est difficile sur le plan temps/action. La réalisation d'un outil qui accompli cette tâche devient une nécessité d'intérêt majeur pour les entreprises où le processus est absent où mal structuré.

Les constats réalisés pendant la première partie de l'état de l'art montrent le verrouillage des outils disponibles où l'absence de certains parties jugées nécessaires pour l'adaptation d'un processus de conception. L'identification des axes sur lesquels les outils sont développés nous à aider à proposer une approche originale toutes en intégrant les recommandations de la littérature.

Identification des éléments nécessaires pour le développement d'un outil d'aide au choix d'un processus de conception :

- les mots-clés pouvant influencer sur le choix des outils de conception pour chaque dimension et chaque phase
- A tout stade du processus de conception, toute solution envisagée par le concepteur doit donc être compatible avec les connaissances
- Chaque décision de conception change l'état de la conception et la description du produit s'enrichit
- Le concepteur réalise des choix en appliquant les connaissances qu'il possède et en prenant en compte les contraintes qu'il perçoit
- Plusieurs décisions s'exercent aux différents niveaux du processus de conception
- A chaque niveau de la conception, le processus est itératif et récursif, et fourni un progrès incrémental du problème

La première dimension : La nature des produits – préparation des connaissances –

- Les représentations du produit sont souvent utilisées pour partager les idées et réduire le risque de changements tardifs coûteux
- Un modèle produit décrit les différentes connaissances relatives à un produit

La deuxième dimension : Les présentations des processus de conception

- **Les modèles graphes des processus de conception**
- Le modèle du processus de conception permet de représenter la suite de tâches à effectuer pour concevoir un objet donné
- L'arbre des tâches est une représentation statique du processus de conception

La troisième dimension : les métiers essentiels

- l'activité se déroule de plus en plus dans un contexte complexe et évolutif en raison du nombre croissant des acteurs participants aux projets de conception
- La diversité des outils associés à l'activité de conception est accentuée par les progrès dans le domaine informatique

La nécessité d'un outil d'aide à la décision

- La décision doit être repoussée à un stade où le concepteur dispose de plus d'éléments
- Les décisions sur le développement de nouveaux produits sont cruciales, mais complexe

Sur la base de ces constats et les différents travaux cités, nous détaillons dans la suite notre approche et outil d'aide au choix et au génération du processus de conception.

III. 3 Une carte préliminaire des processus de conception

les concepteurs peu expérimentés s'appuient dans un premier temps sur leurs propres connaissances, cependant, afin d'aboutir à une conception satisfaisante, ces derniers recherchent des applications analogues, des guides méthodologiques ou des conseils à travers des concepteurs expérimentés. Ceci montre l'intérêt de la mise en place d'un outil de capitalisation des expériences en ingénierie de conception **(Lahonde, 2010)** **(Benfriha, 2005)**.

Le choix approprié de méthodes est crucial pour mettre en place un processus de conception cohérent et qui conduit à un résultat convenable. Dans ce sens, Ernzer **(Ernzer, 2002)**, montre que l'exploitation correcte et satisfaisante d'une méthode, repose sur son processus de sélection, qui doit impérativement passer par trois niveaux d'abstraction, à savoir : niveau académique, niveau stratégique, niveau Opérationnel.

Au niveau académique , ce sont les chercheurs universitaires qui identifient, valident et standardisent des méthodes pour les rendre accessibles aux concepteurs. Plusieurs travaux de recherche, notamment ceux de **(Birkhofer, 2001)** **(Mulet & Vidal, 2001)**, ont participé à la mise on place de démarches permettant la catégorisation des méthodes de conception dans des bases de données exploitables.

Au niveau stratégique , ce sont les entreprises qui sélectionnent des méthodes qui répondent à leurs besoins spécifiques dans les guides méthodologiques créées par la communauté scientifique et universitaire. Pour assister les entreprises dans cette phase, Stetter **(Stetter, 2000)**, propose un processus pas à pas pour implémenter les méthodes sélectionnées dans les entreprises. D'autres chercheurs **(Ernzer, 2002)**, proposent des outils pour mettre en adéquation les caractéristiques des méthodes avec les besoins des entreprises. Lindemann **(Lindemann, 2002)**, a indiqué que la phase d'adaptation d'une méthode à un contexte donné, est une action essentielle pour un déploiement réussi de méthodes.

Au niveau opérationnel, le choix est effectué par des ingénieurs qui doivent traiter une tâche. La recherche dans ce domaine, montre que la sélection et l'usage correct des méthodes au niveau opérationnel augmentent leur appropriation par les concepteurs et ainsi leur utilisation devient systématique.

(Lahonde, 2010) souligne qu'il existe de nombreuses méthodes de conception. Elles assistent les concepteurs dans leur activité et permettent de prendre en compte dès les phases amont du développement de produits, l'ensemble des fonctions attendues du futur système (fabrication, usage, style, maintenabilité, recyclage, etc.). Elles permettent également de pallier à la complexité intrinsèque des produits et de leurs processus, de travailler aisément en équipe projet, de pouvoir garder une traçabilité des décisions prises en conception et des justifications associées, etc. Malgré les avantages incontestés des méthodes, de multiples enquêtes soulignent leur **manque d'utilisation en pratique**. Ce constat est unanime quelque soit la famille de méthodes considérée et quelque soit la zone géographique. Plusieurs justifications tendent à expliquer cette sous-utilisassions. Certains chercheurs pointent notamment le **manque d'assistance aux concepteurs en matière de sélection des méthodes** précisant qu'ils ressentent souvent des difficultés dans le choix de méthodes appropriées.

(Benfriha, 2005) souligne que le choix de méthode relatif au processus de conception est l'approche la plus utilisée dans la recherche et la sélection de méthodes d'aide à la réalisation d'une tâche de conception. Il s'agit d'analyser la tâche en question et de l'assigner à la phase adéquate dans le processus de conception. Le concepteur par la suite, utilise les listes de classification de méthodes, associés à chaque phase, pour identifier la méthode appropriée.

III. 3. 1 Pré-proposition d'un modèle de processus de conception

Nous avons identifié l'approche d'une carte sémantique pour l'aide au choix d'un processus de conception, qui peut être vue comme une approche par dimension très simple, et apprécié son intérêt intrinsèque pour décrire les caractéristiques d'ouverture et de sélection d'un problème de conception, pour son choix de représenter le processus de conception selon les dimension temporelle et problème/solution/décision.

Par la suite, nous proposerons de construire un modèle du processus de conception sur la base de cette approche de carte sémantique tridimensionnelle, en nous appuyons sur la complémentarité entre les notions de produits et métiers essentiels dans un environnement de développement collaboratif.

Nous avons choisi de baser notre approche sur un modèle d'aide au choix du processus de conception. En ce sens, celui-ci est vu comme la sélection d'une part de la représentation du problème (produit innovant et cahier des charges fonctionnel), et d'autre part de la définition de la solution (métiers essentiels). Nous considérerons donc ici (la Figure III. 21) le processus de conception comme le résultat de la dimension produit (domaine de la représentation du problème) et la dimension métiers essentiels (domaine de la définition de la solution), ainsi que des modèles présélectionnés des processus de conception (carte sémantique de classement des processus) qui décrivent les tâches menées par les concepteurs lors de la navigation dans et entre ces domaines. Dans un premier temps, nous nous contenterons de ces concepts pour construire un modèle de base du processus de conception, avant de détailler celui-ci. Sur la base de cette vision pour la construction du processus de conception comme résultat de trois dimensions, nous pouvons identifier les activités qui décrivent la navigation dans et entre ces dimensions.

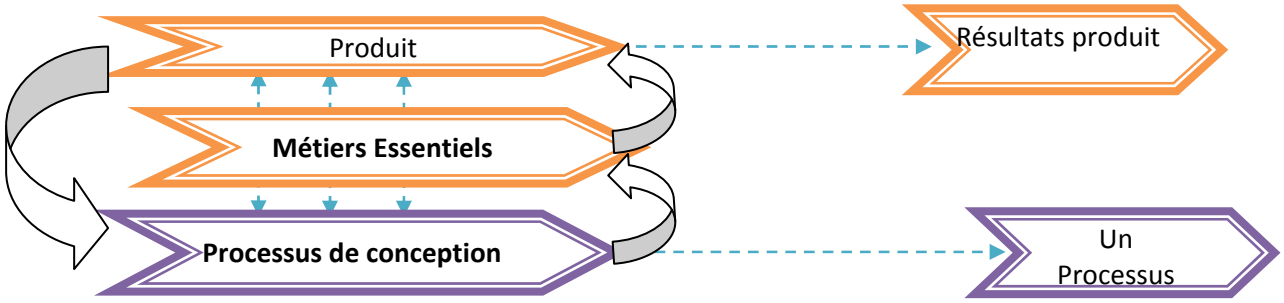


Figure III. 21: Liaisons entre les dimensions de notre approche

III. 3. 2 Problème d'optimisation et d'itération

Un des problèmes importants à considérer dans notre étude est celui de l'optimisation des flux d'informations en fonction des ressources et des liens entre les activités du processus de conception. En effet, un nombre important de retours arrière est dû aux interdépendances entre les activités couplées. Sur la **Figure III. 22**, l'activité « i » a besoin, comme l'information d'entrée, d'une information fournie par l'activité « j ». Cette dernière a également besoin d.une information d'entrée fournie par l'activité « i ».

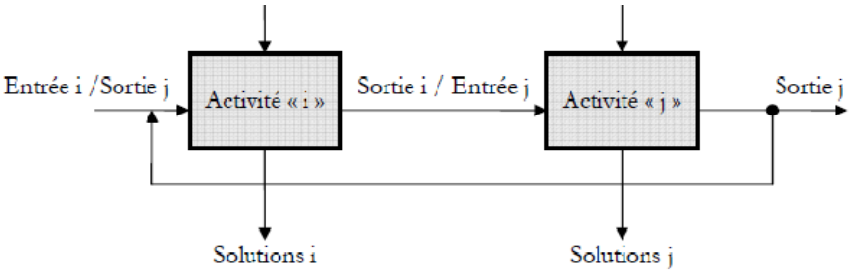


Figure III. 22: **Des activités couplées**

Pour résoudre ce problème, il est nécessaire de réaliser un ou plusieurs cycles itératifs. Les activités pouvant être exécutées en série ou en parallèle **Figure III. 23**.

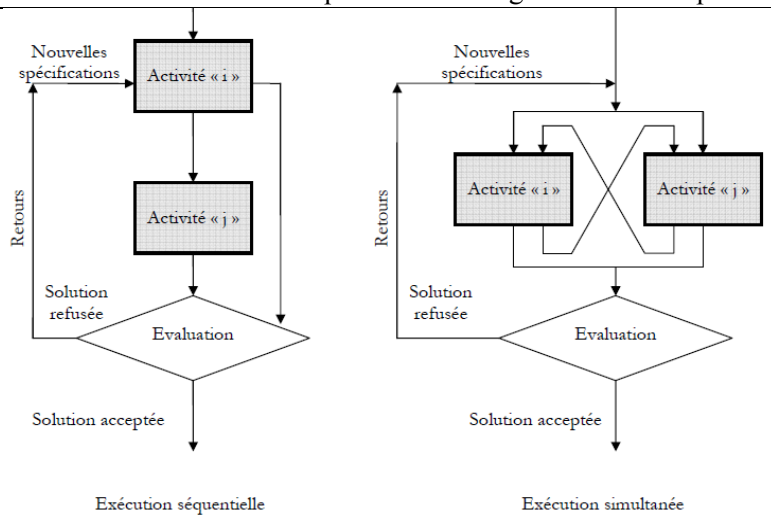


Figure III. 23: L'exécution d'activités couplées

Pour bien analyser les flux d'informations dans le processus de conception, if faut s'intéresser :

- aux données échangées et leur type ;
- à l'incohérence des données ;
- à la redondance des données ;
- à la disponibilité/indisponibilité des données.

L'analyse doit permettre de définir les stratégies d'engagement des activités de conception dans l'objectif de réduire le nombre d'itérations nécessaires à la résolution des problèmes de conception.

Pour mettre en évidence les itérations au niveau local, nous focalisons notre représentation au niveau des étapes de conception. En fonction du degré de granularité de l'analyse et de la complexité du produit, nous pouvons étudier les itérations au niveau des phases, des activités ou des tâches ou encore au niveau des actes de conception, voir la **Figure III. 24**.

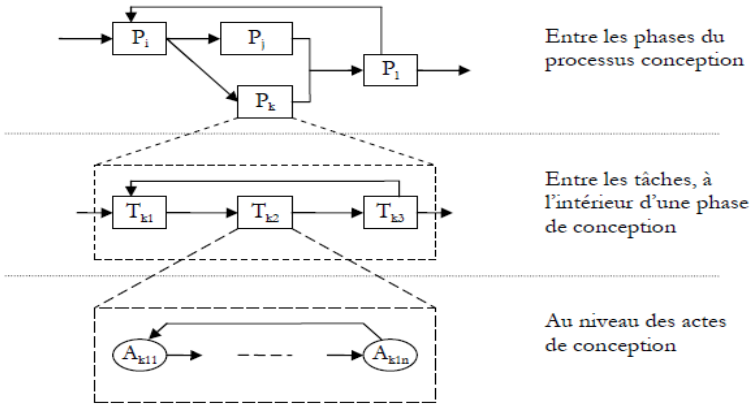


Figure III. 24: Itérations et degré de décomposition du processus de conception

Il nous parait nécessaire de structurer une carte basée sur les modèles des processus de conception existants. Nous proposons la démarche illustrée en Figure IV. 25. En amont de la première phase de conception, les méthodes de définition et d'analyse de CDCF interviennent, les outils d'aide à la décision sur la nature du produit sont sélectionnés pour classer notre produit. L'espace solution est déterminé afin de faciliter l'exploitation des outils et des méthodes liées au développement du produit.

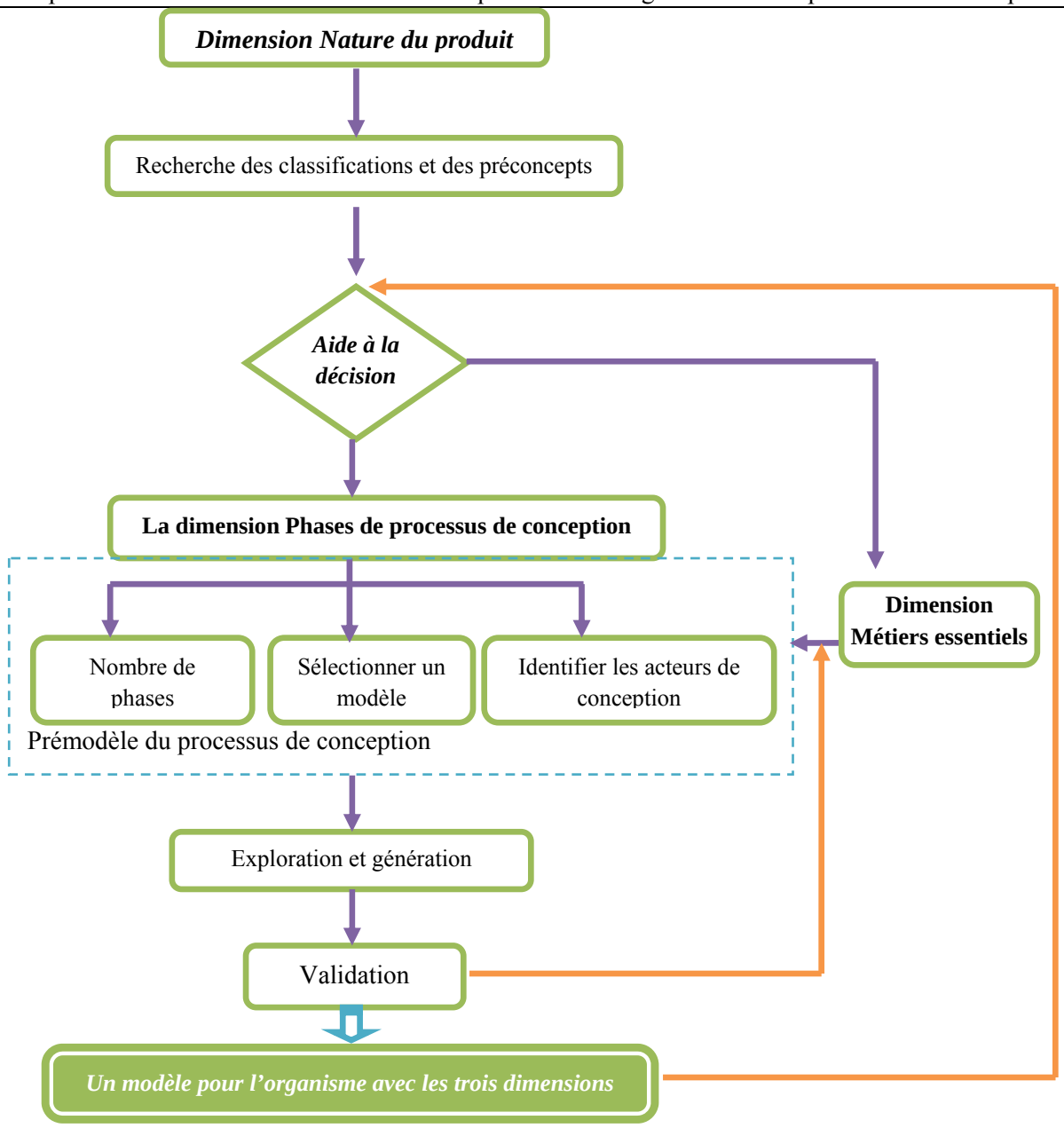


Figure III. 25 : l'exploitation de la carte sémantique pour générer un processus de conception pour l'organisme selon la nature du produit

III. 3. 3 Une carte de classement des processus de conception

Nous nous appuyons sur l'état de l'art de la **§ II. 4. 2 Modèles de processus de conception,** pour créer une carte de classement des processus de conception. Ce classement est basé sur :

- la notion des phases des processus de conception
- la notion des activités liées à chaque phase

La carte de classement des processus de conception est présentée en annexe.

III. 4 Validation et la feuille de route pour la carte

La réalisation de la carte sémantique s'est appuyée sur un besoin de créer une conception structurée au sein d'un organisme où les produits subits des échecs importants dans les différentes étapes de développement.

La validation de cette carte sera déterminée par des expérimentations. Les expérimentations sont effectuées dans les deux laboratoires avec une variété de produits en appuyant sur différentes équipes de conception. Dans un premier lieu l'observation des équipes de conception sur le développement des produits proposés est effectué. Dans une deuxième étape ces équipes de conception sont rappelées à réaliser la conception de ces produits toutes en appuyant sur la carte sémantique.

Dans une troisième étape et en fonction des résultats issus des expérimentations la mise en œuvre d'un outil de génération d'un processus de conception décrivant les étapes et les métiers essentiels sera réalisée.

Les concepteurs devaient proposer un produit innovant toutes en indiquant le principe de choix des outils et des méthodes ainsi que les ressources et les environnements utilisées pour le développement du produit. Les difficultés pour le développement du produit sont identifiées pour chaque phase afin de déterminer l'impact des critères de décision sur la résolution de ces lacunes et de les intégrer dans l'outil à développer.

III. 4. 1 Pré-modèle et feuille de route pour DIMENSION PRODUIT, Figure III. 26

L'élaboration du produit est à charge de l'entreprise, sa vie au marché et à l'utilisateur, enfin, son élimination est aujourd'hui de la responsabilité de tous, en particulier de l'entreprise. La conception est une étape importante car c'est elle qui donne naissance au produit, de façon à ce qu'il puisse devenir une réalité physique, conforme aux souhaits exprimés. Le besoin peut ne pas être totalement satisfait par le produit livré ou le besoin peut évoluer, il est alors nécessaire d'apporter des modifications et donc de réitérer le processus.

Un flux d'informations produit permet de passer des besoins du client, exprimés sous forme de cahier des charges, à la définition du produit et de son procédé d'élaboration.

a) Connaissance sur le produit :

Le but est de connaître le problème c'est-à-dire le « quoi ». Un questionnaire entre les différents acteurs est capable de donner un aperçu sur l'état de connaissance sur le produit.

- ***Q1 : l'activité de l'entreprise et le produit ?***

Le produit relève des activités de l'entreprise (totalement, partiellement, nouveau)

- ***Q2 : la nature de la conception ?***

La nature de la conception pratiquée par l'entreprise est capable de réaliser le produit

- ***Q3 : compétences de l'équipe de conception ?***

Les ressources et les compétences de l'équipe de conception de l'entreprise suffisantes pour le développement du produit.

b) Décision :

Correspond à la sélection d'une action parmi celles qui sont envisageables. Ce choix doit être conforme aux objectifs qui ont été définis. Dans notre cas, les objectifs sont techniques (en relation avec l'objet à concevoir) mais, également, stratégiques (en relation avec l'organisation, le système qui a en charge la conception).

Au regard des théories et pratiques de la décision, les éléments à prendre en compte sont :

- identification de la décision, quand y a-t-il décision ou non-décision ?
- les acteurs de la décision ;
- le moment de la prise de décision (conserver une certaine liberté au projet, ne pas prescrire trop tôt) ;

- le processus de décision, le suivi et les moyens à mettre en œuvre...

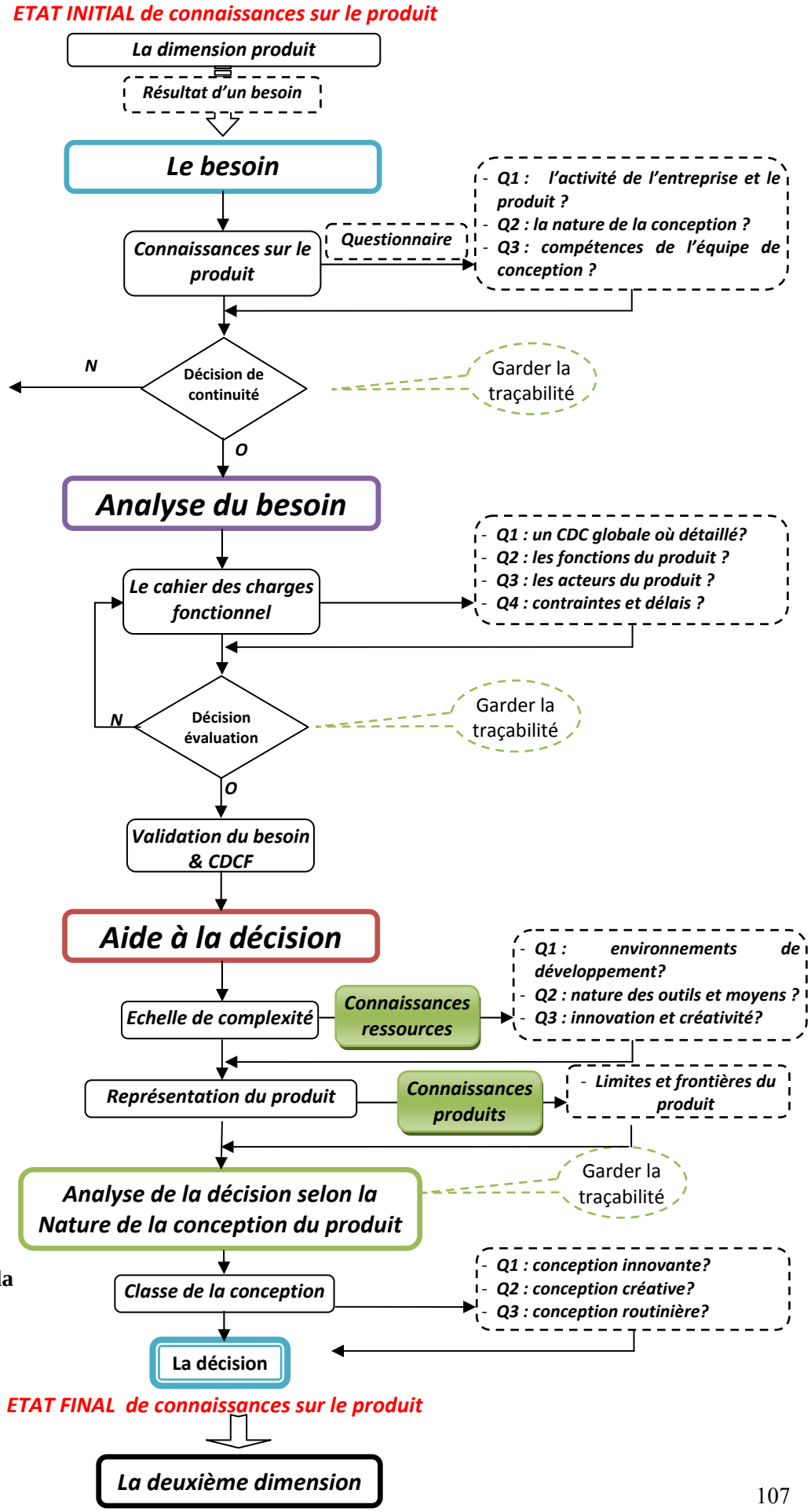


Figure III. 26. Prémodèle de la dimension produit

c) Analyse du besoin

L'activité de conception correspond à une transformation de flux d'informations relatives à la fois à la connaissance du produit et au processus représentant l'évolution de cette connaissance. En effet, l'objectif de la conception est non seulement de définir le produit mais également de trouver le meilleur chemin pour aboutir à cette définition. Trop souvent, les concepteurs consacrent une grande partie de leur énergie à trouver une solution avant même de s'interroger sur le bon chemin à suivre pour y arriver. Ainsi, certains outils ou méthodes ont été développés de façon à aider (ou à contraindre) les acteurs de la conception à mieux appréhender les phases d'intelligence et de conception. Nous pouvons citer, à titre d'exemple, l'analyse fonctionnelle, la méthode QFD et la méthode SADT qui sont les outils les plus connus.

Le cahier des charges fonctionnel :

Avant d'entamer l'étape conception et choix des concepts et dans la phase analyse du besoin un questionnaire pourra faciliter et déterminer le chemin à suivre ainsi d'éliminer certains échecs du produit. Des échanges sous question réponse dans une phase initiale est suffisante :

- ***Q1 : un CDC global où détaillé?***

  Le cahier des charges proposé pour le produit est sous forme global (verbale, des grandes lignes, …) où sous forme détaillé (suivre une méthode de rédaction du cahier des charges).

- ***Q2 : les fonctions du produit ?***

  Un état de représentation sur les fonctions et les sous-fonctions du produit

- ***Q3 : les acteurs du produit ?***

  La destination du produit est les acteurs qui assistent dans le développement du produit

- ***Q4 : contraintes et délais ?***

  Déterminer les contraintes liées au produit : cycle de vie du produit

  Déterminer les délais de réalisation et de livraison

L'analyse fonctionnelle permet de décrire les besoins du demandeur sous forme de fonctions de service. Après avoir été identifiées, les fonctions sont caractérisées : critères d'appréciation, niveau d'un critère, flexibilité, limite d'acceptation et taux d'échange.

L'analyse fonctionnelle consiste à tenter de répondre aux questions suivantes :

- qu'est-ce que c'est ?
- quel en est l'usage ?
- quelle est la fonction principale ?
- quelles sont les fonctions secondaires ?

Et aussi :

- combien en faut-il ?
- quel prix maximal l'objet peut-il coûter ?

En fait, on va devoir définir :

- les principales fonctions ;
- les conditions de fonctionnement.

La méthode QFD (Quality Function Deployment) permet de corréler les « quoi » et les « comment » en permettant l'évaluation de la satisfaction apportée par les solutions retenues aux fonctions à remplir. Cette évaluation est quantifiée par des combien et peut être propagée dans tout le processus de définition du produit. La méthode QFD est principalement appliquée en reconception de produit ou lorsque l'on dispose d'une référence, plutôt que lors d'une conception d'un produit entièrement innovant où il est souvent très difficile d'évaluer la satisfaction des fonctions. C'est une méthode de différentiation, de comparaison et de capitalisation de savoir-faire, mais qui ne permet pas de représenter l'historique du raisonnement du concepteur et les raisons qui l'ont conduit aux solutions retenues.

La méthode SADT (Structured Analysis and Design Technique) permet une représentation structurée d'un système formé d'activités et de données.

Les données d'entrée représentent l'expression des attentes du marché sous forme d'un cahier des charges et les données de sortie caractérisent le produit par la connaissance de ses formes, de ses dimensions, des matériaux employés et de son procédé d'élaboration.

d) Le modèle de Kano comme outil d'évaluation et de classification des besoins

Ce modèle est issu du domaine de la qualité et a été développé par le japonais Noriaki Kano en 1984. La méthode s'appelait à l'origine « M-H Property of Quality » et a été initialement proposée dans un article publié en 1979. Elle prend ses sources de la psychologie sociale et notamment des travaux de la théorie de la Motivation-Hygiène (« M-H theory ») de Frederick Herzberg.

Le choix de ce modèle se justifie pour les raisons suivantes :

- C'est un modèle qui confronte les besoins trouvés à la réalité des acteurs concernés puisqu'il se base sur un questionnaire
- Il peut être facilement utilisable pour une étude de besoins multi-acteurs.
- Le modèle de Kano permet d'étudier la relation qui existe entre la réponse à un besoin et la satisfaction qui en découle. En travaillant sur la théorie de Herzberg, Kano a conclu qu'il peut exister différentes sortes de besoins. Chacune met en évidence une relation différente entre la performance et la satisfaction.
- Ce modèle fait une distinction entre les facteurs de satisfaction et d'insatisfaction.

Cette distinction trouve ses sources sans doute dans les travaux de Herzberg. En effet, selon Kano, il ne suffit pas d'éviter les sources d'insatisfaction de besoin pour aboutir à un produit qui procure de la satisfaction. A l'opposé, il ne suffit pas de répondre aux besoins qui ont une influence sur la satisfaction pour éviter les sources d'insatisfaction.

Les idées invisibles sur la qualité du produit peuvent être rendues visibles avec une classification claire des besoins. En effet, le modèle de Kano est basé sur le positionnement du produit à développer selon deux axes. L'axe horizontal représente la performance du produit, alors que l'axe vertical représente la satisfaction correspondant à un niveau de performance donnée du produit **(Löfgren et Witell, 2005)**. Quatre groupes ont été identifiés :

1. Pour certains besoins, la satisfaction des clients est proportionnelle à la performance du produit. Selon Kano, ces besoins sont dits « de performance ». Par exemple, l'économie d'essence que permet une voiture est considérée comme un besoin de performance, plus la voiture est économe en essence,

plus grande est la satisfaction du conducteur, et vice-versa **(Berger et al., 1993)**. Ces besoins permettent ainsi de garder et de fidéliser les clients **(Sireli et al., 2007)**.

2. Les besoins basiques sont ceux pour lesquels le client est insatisfait lorsque le produit n'y répond pas et neutre lorsque le produit y répond. Par exemple, l'hygiène dans un restaurant est un besoin basique, l'absence d'hygiène induit une forte insatisfaction chez les clients. Ils sont indifférents à sa présence puisqu'ils l'attendent **(Tontini, 2003a)**. Comme ces besoins sont attendus par les clients et sont considérés comme des acquis, ils ne sont pas souvent explicités par les clients. Donc, bien qu'ils ne soient pas exprimés explicitement, il est nécessaire de tenir compte de ces besoins **(Füller et Matzler, 2007)**.

3. Les besoins attractifs sont ceux pour lesquels le client est satisfait lorsque le produit y répond. Par contre, il est neutre lorsque le produit n'y répond pas. Ce sont des besoins auxquels les clients ne s'attendent pas, par exemple, un thermomètre sur une brique de lait permettant de savoir la température du lait **(Löfgren et Witell, 2005)**. Un produit qui répond aux besoins attractifs permet de créer une plus grande valeur ajoutée et influence fortement les préférences des clients. Les utilisateurs leaders ou innovants sont probablement ceux qui seront les plus sensibles à cette catégorie de besoins.

Néanmoins, il est difficile d'identifier les besoins attractifs à l'aide des techniques traditionnelles de marketing. C'est pour cela, que les produits innovants ont été souvent initiés par des entreprises visionnaires et proactives qui ont pris des risques lors du lancement de ces produits sur le marché **(Füller et Matzler, 2007)**. Les besoins attractifs permettent de se différentier par rapport aux compétiteurs **(Sireli et al., 2007)**.

4. Le quatrième groupe est constitué de besoins pour lesquels les clients sont indifférents, peu importe si oui ou non, le produit répond au besoin en question. Ils sont qualifiés de besoins neutres.

Les besoins des clients sont évalués grâce à un « double » questionnaire, constitué d'une partie fonctionnelle et d'une partie dysfonctionnelle. L'objectif de cette approche est de déterminer les impressions sur le futur produit.

Les personnes interrogées peuvent répondre sur une grille disposant de cinq réponses possibles, allant de l'accord complet avec l'énoncé de la question (Cela me serait très utile), à un désaccord complet (Cela me dérangerait beaucoup, je ne pourrais pas l'accepter).

Traitement des réponses des questionnaires de Kano

Selon le modèle original de Kano, la classification est obtenue en combinant directement les réponses des deux questions fonctionnelles et dysfonctionnelles. En effet, pour chaque client, la table d'évaluation de Kano est utilisée pour déterminer la catégorie d'un besoin donné. Ensuite, selon la fréquence des réponses de toutes les personnes interrogées, le point de vue dominant détermine la classification de chaque besoin **(Kano, 1984)**.

e) Amélioration de la démarche Kano par Benrejeb

Supposons que n besoins soient identifiés, qu'un questionnaire de Kano soit préparé et que m personnes répondent à ce questionnaire.

Nous proposons de regrouper toutes les réponses sous une forme matricielle, nous aurons donc une matrice contenant m lignes (correspondant aux personnes interrogées) et n colonnes (correspondant aux n besoins

identifiés). C'est une matrice de dimension (m x n). En réalité, nous obtenons deux matrices de même dimension : une matrice regroupant les réponses aux questions fonctionnelles et une deuxième pour les réponses aux questions dysfonctionnelles.

$$\begin{array}{cc} & \overbrace{\cdots j \cdots}^{n\ besoins} \\ m\ interviewés\ \begin{array}{c} \vdots \\ i \\ \vdots \end{array} & \begin{pmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1n} \\ \vdots & y_{ij} & \vdots \\ y_{m1} & \cdots & y_{mn} \end{pmatrix} \end{array} \qquad \begin{array}{cc} & \overbrace{\cdots j \cdots}^{n\ besoins} \\ m\ interviewés\ \begin{array}{c} \vdots \\ i \\ \vdots \end{array} & \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & x_{ij} & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} \end{array}$$

(Y_{ij}) : *matrice fonctionnelle* $\qquad$ (X_{ij}) : *matrice dysfonctionnelle*

Figure III. 27. Matrice fonctionnelle et dysfonctionnelle (Benrjeb, 2009)

Xij et *Yij* sont respectivement les réponses aux questions dysfonctionnelles et fonctionnelles.

Nous avons choisi les propositions de réponses montrés dans le Tableau III. 4. Nous leur avons donné des scores variant de -2 à 2, selon l'échelle de Likert. Ce système de notation a l'avantage d'attribuer des scores négatifs et positifs symétriquement à la réponse neutre.

Question fonctionnelle:

Q: Si le produit i répond au besoin j, comment vous sentiriez-vous?

1. Cela me serait très utile	+2
2. Cela serait le minimum pour moi	+1
3. Cela me serait égal	0
4. Cela me dérangerait mais je pourrai l'accepter	-1
5. Cela me dérangerait beaucoup, je ne pourrais pas l'accepter	-2

Question dysfonctionnelle:

Q: Si le produit i ne répond pas au besoin j, comment vous sentiriez vous?

1. Cela me serait très utile	+2
2. Cela serait le minimum pour moi	+1
3. Cela me serait égal	0
4. Cela me dérangerait mais je pourrai l'accepter	-1
5. Cela me dérangerait beaucoup, je ne pourrais pas l'accepter	-2

Tableau III. 4. Proposition des réponses au questionnaire de Kano et leur notation (Benrjeb, 2009)

Puis, nous procédons au calcul de nos trois indicateurs selon les équations suivantes d'après **(Tontini, 2003a)** :

$$FI = \frac{\sum degrès\ de\ satisfaction\ avec\ existence}{nombre\ de\ réponses \times 2}$$ (seulement les réponses positives aux questions fonctionnelles)

$$DI = \frac{\sum degrès\ d'insatisfaction\ avec\ abscence}{nombre\ de\ réponses \times 2}$$ (seulement les réponses négatives aux questions dysfonctionnelles)

$$RI = \frac{\sum degrès\ d'insatisfaction\ avec\ existence}{nombre\ de\ réponses \times 2}$$ (seulement les réponses négatives aux questions fonctionnelles)

La prise en compte de la formalisation matricielle que nous avons développée (matrices (Yij) et (Xij) dans la Figure III. 27) nous amène à la proposition suivante :

- Le score fonctionnel FI^j pour un besoin j (correspondant à l'index de satisfaction) est calculé comme suit :

$$FI^j = \frac{\sum_{i=1}^{m} y_{ij}}{\underset{y_{ij} \geq 0}{m \times 2}}$$

Le score fonctionnel FI^j indique si la satisfaction peut augmenter si le produit répond au besoin j. De même, le score dysfonctionnel DI^j pour le besoin j (correspondant à l'index d'insatisfaction) est calculé comme suit :

$$DI^j = \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ x_{ij \geq 0}}}^{m} x_{ij}}{m \times 2}$$

Le score dysfonctionnel DI^j indique si l'insatisfaction peut augmenter si le produit ne répond pas au besoin j. Le score RI j pour le besoin j est calculé comme suit:

$$RI^j = \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ y_{i \leq j0}}}^{m} y_{ij}}{m \times 2}$$

Le score RI^j est un indicateur de l'existence des réponses « Inverse » et « Discutable».

Les scores fonctionnels et dysfonctionnels peuvent être regroupés dans deux vecteurs :

Vecteur fonctionnel : $FI = (\ldots\ldots\ldots FI^j \ldots\ldots\ldots)$

Vecteur dysfonctionnel : $DI = (\ldots\ldots\ldots DI^j \ldots\ldots\ldots)$

f) Aide à la décision

Contrairement à la production où le chemin est en général connu par l'existence des gammes, en conception ce chemin se construit au fur et à mesure des problèmes rencontrés et en fonction des objectifs à atteindre qui peuvent évoluer.

Le chemin à suivre en conception dépend bien entendu du point de départ (besoins exprimés), du point d'arrivée (connaissance du produit), mais également des moyens (appelés ressources) dont on peut disposer pour atteindre l'objectif. Lors de l'activité de conception, il est nécessaire de prendre des décisions non seulement sur les aspects technologiques, mais également sur les aspects de conduite relatifs à la façon de concevoir.

Les décisions technologiques correspondent à des choix, des sélections d'alternatives de solutions pour résoudre un problème lié à la connaissance du produit (choix d'une technologie, d'un composant, d'une architecture d'implantation, d'une dimension, d'un procédé d'élaboration...). Ces décisions sont essentiellement procédurales et donc informatisables. De nombreux outils et méthodes existent pour supporter de telles décisions (analyse multicritère, tri croisé, systèmes experts, case base raisonning...).

Les décisions de conduite sont relatives à la planification des activités mais également à l'évolution de la connaissance de l'objet de la conception, en l'occurrence le produit (affecter des ressources humaines ou techniques ; favoriser la créativité ; générer des situations de conception coopératives ; maîtriser la qualité, les coûts, les délais, la réactivité ; gérer les spécifications ; gérer la connaissance...). Ces décisions sont souvent caractérisées par le fait qu'elles sont le résultat d'une activité humaine et donc difficilement formalisables. Dans ce cas, on cherche à comprendre l'environnement de la décision pour fournir au décideur les éléments à partir desquels il pourra prendre sa décision.

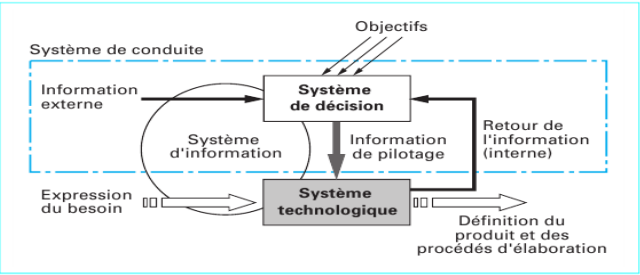


Figure III. 28: Le système de conduite et le système technologique (Girard, 2001)

Le système technologique, composé des hommes, des savoir-faire, des machines, des logiciels et des flux d'information liée à la connaissance des produits ; l'objectif est de transformer les besoins exprimés en définition des produits et de leurs procédés d'élaboration ;

- d'autre part, le système de conduite ayant pour rôle de piloter le système technologique pour qu'il atteigne les objectifs de performances fixés.

Le système de conduite de la conception comprend deux sous-systèmes :

- le sous-système décisionnel ; il a pour objectif d'élaborer les décisions fixant les ordres de gestion, appelés informations de pilotage, transmis au système technologique ;
- le sous-système d'information ; il permet de transmettre, traiter et mémoriser les informations nécessaires ; il sert de liaison entre le système technologique et le système de décision.

g) Analyse des décisions selon la Nature de la conception

Selon le degré de complétude sur la connaissance des objets et sur le processus de construction de cette connaissance, il est possible de classer la conception en trois classes:

Conception créative, conception innovante et conception routinière.

Les décisions de conduite portent sur la mise en place de standardisation des procédés de résolution c'est-à-dire la prescription des tâches. Très souvent, ce type de conception concerne des objets techniques non révolutionnaires ce qui justifie de décider de résoudre en interne à l'entreprise à des fins d'efficacité, de délais et de maîtrise des coûts.

L'analyse de l'activité de conception conduit à distinguer deux regards pour la modélisation des décisions de conception :

- le regard de l'objet où le concepteur réfléchit sur l'objet lui-même afin de le définir ;
- le regard de l'action où le concepteur réfléchit sur la façon de procéder pour résoudre.

Il est alors possible de classer la nature des décisions de conduite en deux catégories :

- les décisions relatives à la synchronisation du déploiement des besoins avec la définition de la connaissance sur le produit ;
- les décisions relatives à la synchronisation de l'avancement des projets avec la disponibilité des ressources.

III. 4. 2 Prémodèle et feuille de route pour DIMENSION PROCESSUS DE CONCEPTION

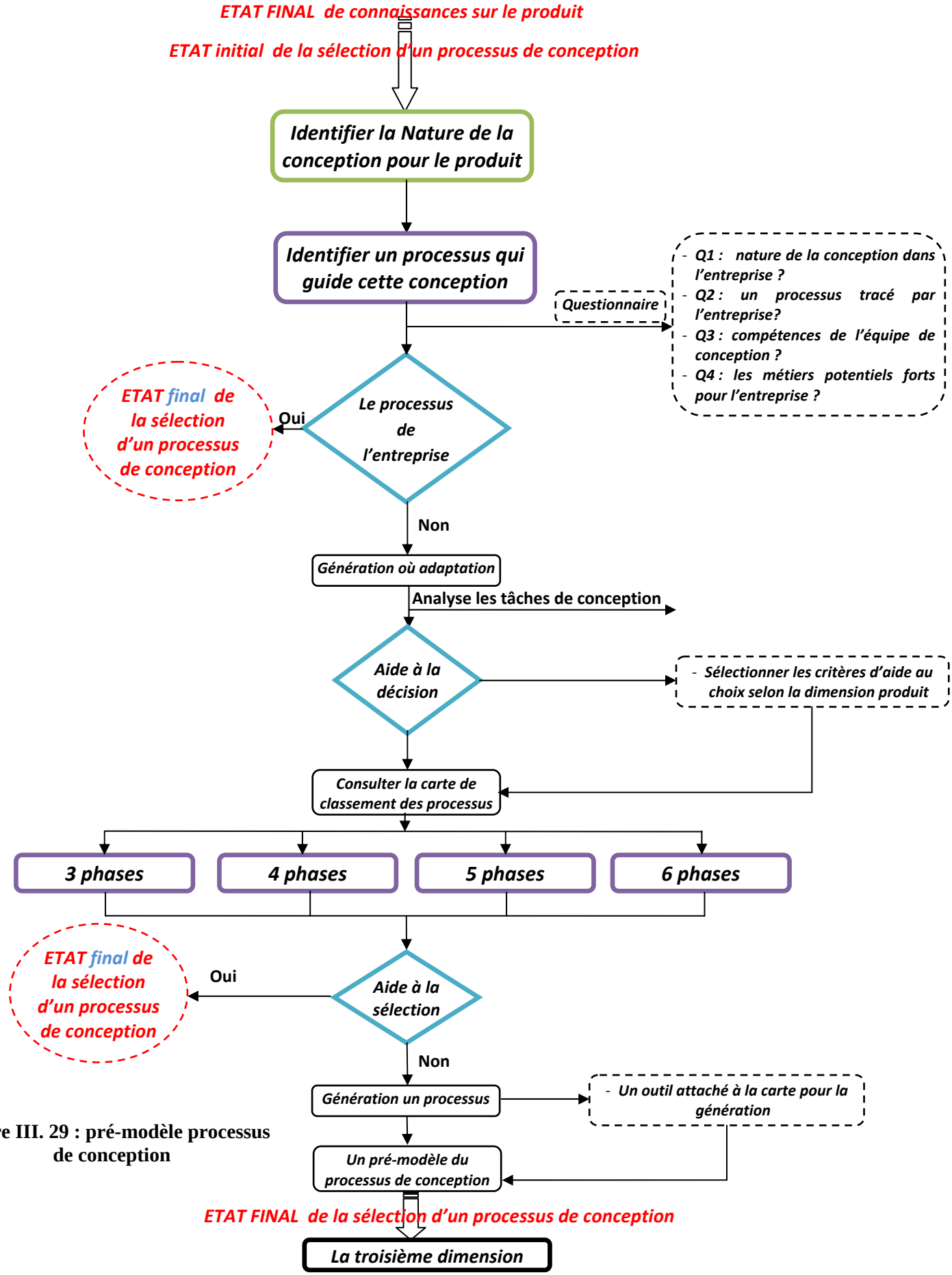


Figure III. 29 : pré-modèle processus de conception

Les décisions en conception se prennent « naturellement » au cours du projet. Généralement, la décision repose sur le savoir-faire et l'expérience du responsable du projet. La prise de conscience qu'une décision locale (ou non-décision) peut ensuite avoir une influence capitale n'est pas toujours aisée par les différents acteurs. Cette compétence sera mieux partagée et s'acquerra plus vite s'il est possible de se référer à une approche structurée de la décision en conception. L'étude de ces décisions doit ainsi permettre aux acteurs de la conception de mettre en place une démarche d'amélioration de la performance en ingénierie des produits. Les décisions peuvent être classées en deux catégories : les décisions technologiques et les décisions de conduite. Les décisions technologiques correspondent à des choix, des sélections d'alternatives. Elles sont essentiellement procédurales et il existe de nombreuses méthodes et outils pour les supporter. Les décisions de conduite sont relatives à la planification des activités et à la gestion de l'évolution des connaissances. Elles sont le résultat d'une activité humaine basée sur le compromis (divergence des objectifs des acteurs) et l'expérience (savoir-faire des acteurs).

1. *Identifier la Nature de la conception pour le produit*

C'est la dernière étape de la dimension produit où les critères de sélection et d'aide à la décision ainsi que les questionnaires établis nous ont permis de sélectionner la nature de conception qu'il faut adaptée pour le produit.

2. *Identifier un processus qui guide cette conception*

L'identification d'un processus qui guide la conception identifiée pour le produit est initiée par un questionnaire de base qui donne des points d'aide au choix. Le questionnaire est reformulé comme suit :

- ***Q1 : quelle est la nature de conception dans l'entreprise ?***

  La réponse à cette question est la clé pour la suite du processus de sélection d'un processus de conception.

- ***Q2 : y-a- t'il un processus tracé par l'entreprise?***

  Des entreprises développent des produits selon leur propre processus où il n'y a pas de processus. Leur processus est capable de réaliser le besoin identifié où non. Le développement détaillé de cette deuxième question pour d'éliminer certaines étapes de la dimension processus.

- ***Q3 : compétences de l'équipe de conception ?***

  La sélection des compétences de l'équipe de conception nous permettra dans la suite de sélection et de génération du processus de conception d'identifier les phases d'intérêt pour l'équipe de conception et de solliciter des ressources externes pour une insuffisance sur le plan compétences.

- ***Q4 : les métiers potentiels forts pour l'entreprise ?***

  L'identification des métiers potentiels facilite la sélection dans la troisième dimension de notre carte.

2.1 Le processus de conception de l'entreprise :

Deux situations présentent après la réponse au questionnaire précédent :

- L'entreprise a un processus de conception mais certains métiers manquent où nécessitent une adaptation d'un processus de conception. Dans ce cas la deuxième dimension de notre carte « processus de conception » sollicite la troisième dimension de la carte « métiers essentiels ».

- L'entreprise pratique certains métiers et il y a une disponibilité de ressources, mais en remarque l'absence de processus de conception qui guide ces métiers. Dans ce cas la dimension processus de conception intervienne pour la génération où l'adaptation d'un processus de conception.

2.2 Aide à la décision :

La dimension produit nous permettra de récolter une série d'informations autour du produit, la nature de conception et les métiers de l'équipe de conception. Dans le cas d'absence d'un processus de conception pour cette entreprise, nous somme devant deux situations :

1er situation : Adapter un processus de conception

Afin de facilité l'adaptation un processus de conception, une carte de classement des processus de conception (voir chapitre II Pré-modèle de la carte sémantique, §) est établie. Les informations de la première dimension aident à l'adaptation et à la décision. Si un modèle présent sur la carte est adaptable au besoin et spécifications du produit alors nous nous dirigerons vers (état final de la sélection d'un processus de conception) la troisième dimension pour ajouter où supprimer des métiers spécifiques pour chaque phase du processus de conception.

2eme situation : Générer un processus de conception

Si le besoin nécessite un processus de conception qui ne figure pas sur la carte de classement, alors nous recherchons un processus sur mesure, la génération devient une nécessité.

Pour résoudre cette situation de génération nous appuyons sur :

- ***Une version papier de la carte ;***
- ***Une application d'aide à la génération basé sur les algorithmes d'optimisation.***

III. 4. 3 Pré-modèle et feuille de route pour DIMENSION METIERS ESSENTIELS

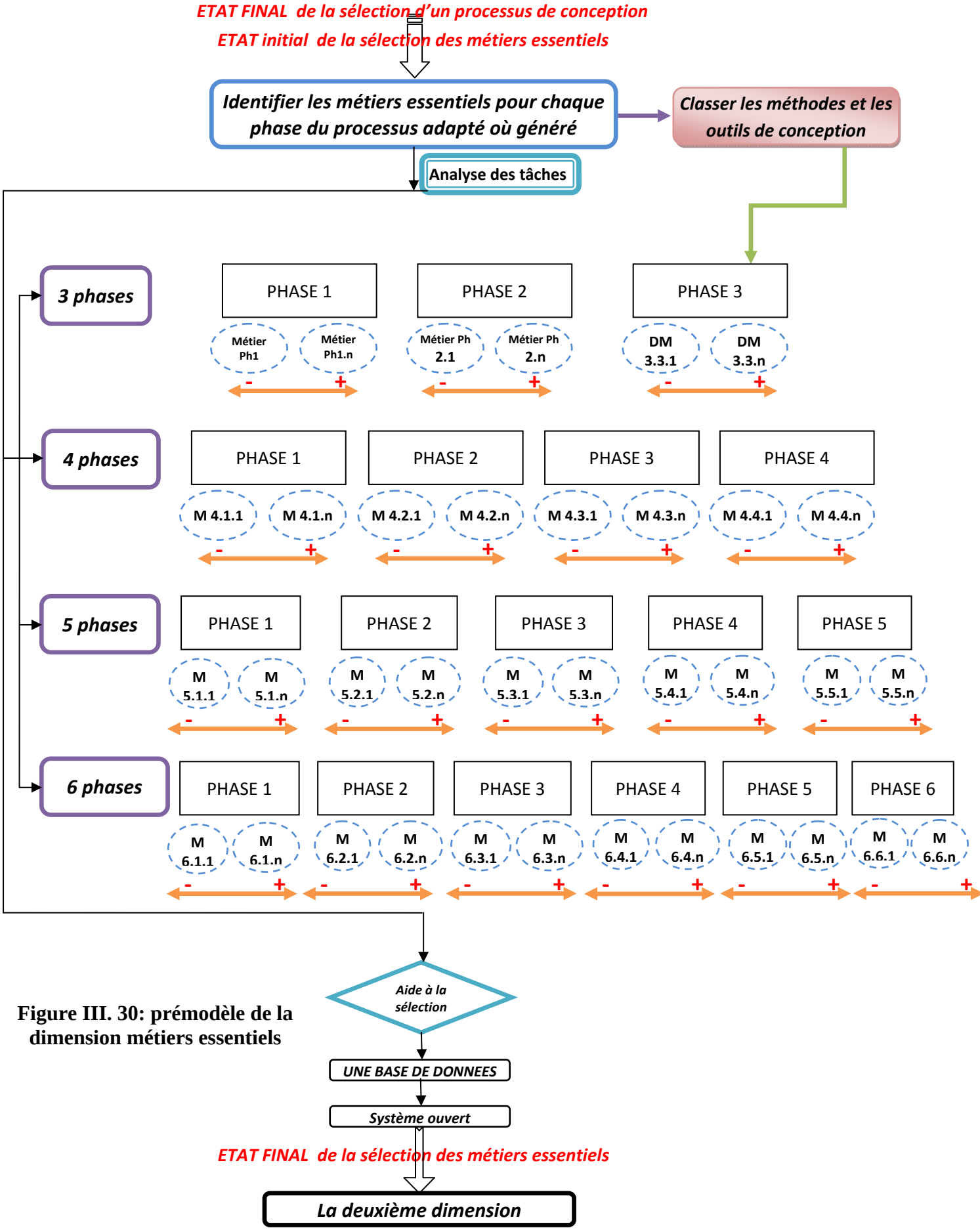


Figure III. 30: prémodèle de la dimension métiers essentiels

III. 4. 3. 1. Identifier les méthodes et les métiers pour chaque phase du processus adapté où généré

Après avoir déterminé la nature du processus de conception (adapter où générer), la détermination des métiers associés à chaque phase est une pratique difficile.

Le type de connaissances relatives au produit est basé sur les informations associées au futur produit dès les premières phases de la conception. L'identification de ces connaissances nécessite la réalisation d'un modèle produit. Généralement ces modèles ne couvrent pas l'ensemble du processus de conception et ne permettent pas de conserver l'historique de conception indispensable pour comprendre la logique de conception.

Tout comme les connaissances relatives au produit, celles relatives au processus sont formalisées à partir de modèle de processus. Par ailleurs, **(Serrafero, 2005)** propose une catégorisation des connaissances métier en prenant en compte les connaissances relatives au produit, au processus et également les connaissances liées au domaine projet.

Le pré-modèle de la figure III. 30 aide à l'identification des méthodes et outils de conception ainsi que les métiers essentiels liés à chaque phase du processus de conception. La sélection d'une méthode ou d'un métier est liée premièrement à l'identification du nombre des phases du processus de conception, et dans une deuxième étape au classement des méthodes et métiers pour chaque phase. La priorité de sélection est donnée pour les ressources disponibles au sein de l'entreprise. Ces derniers sont considérés comme métiers essentiels.

1. 1 Typologies des méthodes de conception :

Un premier type de classification permet de répartir les méthodes en fonction de leur finalité (méthodes de créativité, de représentation, d'analyse de solution, …). Une deuxième forme de regroupement conduit à séparer les méthodes en fonction de leur positionnement sur le processus de conception. Cette classification a pour objectif de structurer les méthodes afin de mieux cerner d'une part leur zone d'applicabilité et d'autre part leur niveau de pertinence.

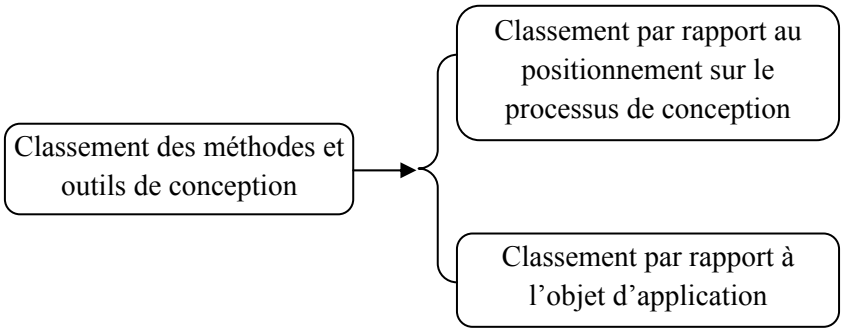


Figure III. 31: Classement des méthodes et outils de conception

L'ensemble des méthodes de conception de produits appartient à l'une des classes suivantes :

- Classe des méthodes de créativité : aide à la recherche d'idées. Ces méthodes ont in impact plus marqué sur les premières phases d'un projet de conception.
- Classe des méthodes d'analyse du marche : mise en évidence d'une part de la demande du consommateur potentiel du futur produit et d'autre part de l'offre proposée en la matière.
- Classe des méthodes de recherche de solutions : identification d'alternatives de solutions et choix de celle satisfaisant au mieux l'ensemble des contraintes internes au produit ou propres à son environnement tout au long de son cycle de vie.

- Classe de méthodes de représentation : formalisation immatérielle (réalisation d'une esquisse, d'un plan, d'un fichier CAO, …) et matérialisation (concrétisation physique sous forme de maquette ou prototype).
- Classe des méthodes de gestion de projet : organisation et administration des tâches mises en jeu, des délais qui lui sont impartis et des coûts qu'elle engendre.

Classification par rapport au positionnement sur le processus de conception :

- Les méthodes d'application globale : elles concernent l'ensemble des phases du processus de conception.
- Les méthodes d'application locale : elles sont plus spécifiques à une phase. Elles peuvent toutefois apparaître sur plusieurs d'entre elles mais toujours de façon indépendante.

Une méthode d'application globale peut faire appel à des méthodes d'application locale.

Classification par rapport à l'objet d'application :

- Méthodes appliquées au produit : ces méthodes sont directement liées à la définition du produit auquel elles apportent une valeur ajoutée ou bien dont elles restreignent le cadre de définition par la mise en évidence de contraintes. Ce sont des méthodes attachées à la résolution d'un problème de fond.
- Méthodes appliquées au processus de conception pour l'améliorer : ces méthodes sont liées à la définition du processus de conception qu'elles contribuent à améliorer en terme de qualité et de réactivité. Ce sont des méthodes attachées à la définition de la forme de processus de conception. Elles utilisent des données génériques issues de l'observation du processus.
- Méthodes appliquées au processus de conception pour améliorer le produit : ces méthodes concernent le processus de conception qu'elles sont susceptibles de modifier en vue de caractériser au mieux le produit. Elles sont spécifiques à un produit par la nature des informations qu'elles requièrent.

Classification selon Vadcard :

(Vadcard, 1996) propose une classification des outils de conception selon sept familles. Cette taxinomie est orientée programmation de l'utilisation des outils. Elle est basée sur les fonctions que remplissent les outils tout au long du processus de conception de produit.

Familles d'outils de conception	Fonction des outils
Famille n°1	Outils de caractérisation pluridisciplinaire du besoin
Famille n°2	Outils de créativité
Famille n°3	Outils de définition de solution
Famille n°4	Outils de matérialisation de solution
Famille n°5	Outils d'analyse de solution
Famille n°6	Outils de management de projet
Famille n°7	Outils de qualité

Tableau III. 5 : familles d'outils de conception de produit

Classification selon Perrin :

(Perrin, 2005) propose une classification construite selon l'ordre chronologique d'un projet de conception et selon l'état du produit, il a comptabilisé plus de 165 méthodes et outils de conception qu'il a lui même regroupés en sept catégories.

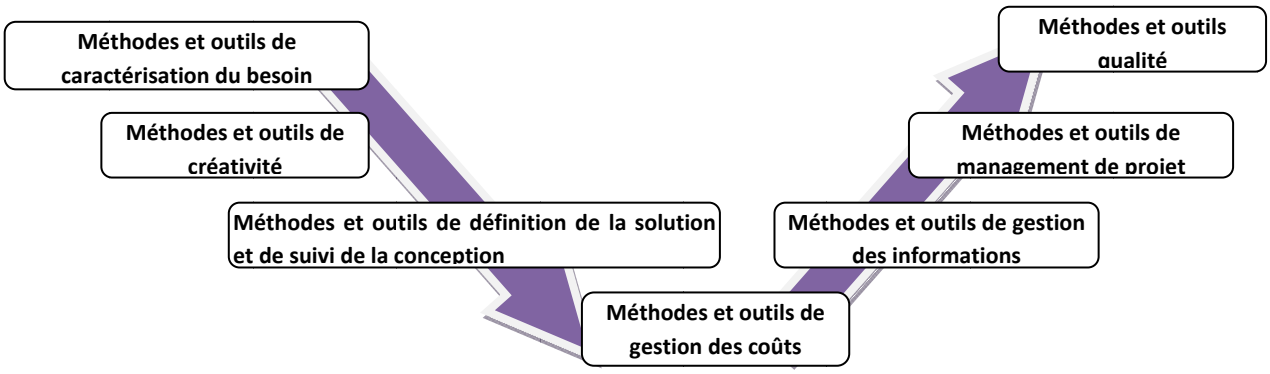


Figure III. 32: Démarche adapté par (Perrin, 2005) pour la classification des méthodes et outils de conception.

La classification selon l'approche de Lahonde

(Lahonde, 2010) à basée la classification des méthodes et outils de conception selon l'exploration et l'expérimentation du modèle de **(Aoussat, 1990)**.

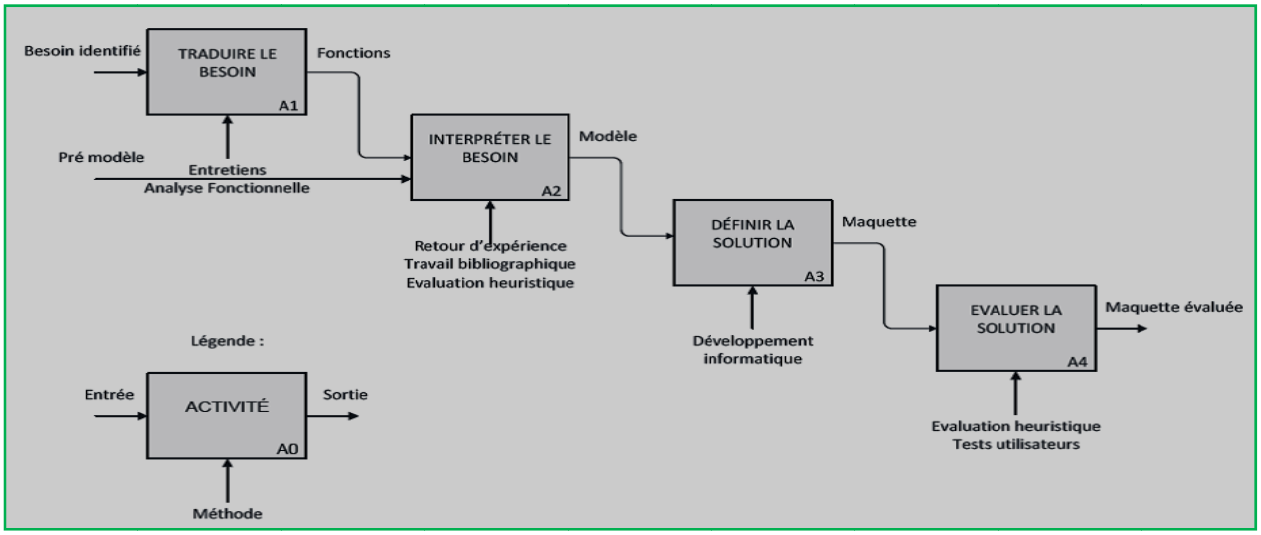


Figure III. 33 : Démarche adapté par Lahonde pour la classification des méthodes et outils de conception.

1- L'étape de traduction du besoin : son objectif est de définir les fonctions nécessaires à une compréhension approfondie du problème qui amène ainsi à préciser le rôle clé des données et connaissances dans l'activité de sélection des méthodes.
2- L'étape d'interprétation du besoin permet s'enrichir et de caractériser les données et les connaissances mises en œuvre.
3- L'étape de définition de la solution : conduit à la création d'une maquette fonctionnelle.
4- L'étape d'évaluation de la solution, permet de réaliser un re-bouclage avec la théorie.

(Lahonde, 2010) signale qu'au vu du nombre élevé de méthodes existantes, de leur extrême diversité et considérant qu'aucune d'elles ne peut être utilisée systématiquement sur tous les projets, on se représente beaucoup mieux la nécessité et la difficulté inhérente à l'activité de sélection des méthodes de conception. Dans une autre perspective, les personnes interviewées ont largement fait référence à l'adéquation des méthodes avec les moyens et les ressources.

Comme l'indique la figure III. 34, la fréquence d'utilisation des méthodes de conception sur un échantillon de 22 projets et les règles de sélection des méthodes issues d'un retour d'expérience.

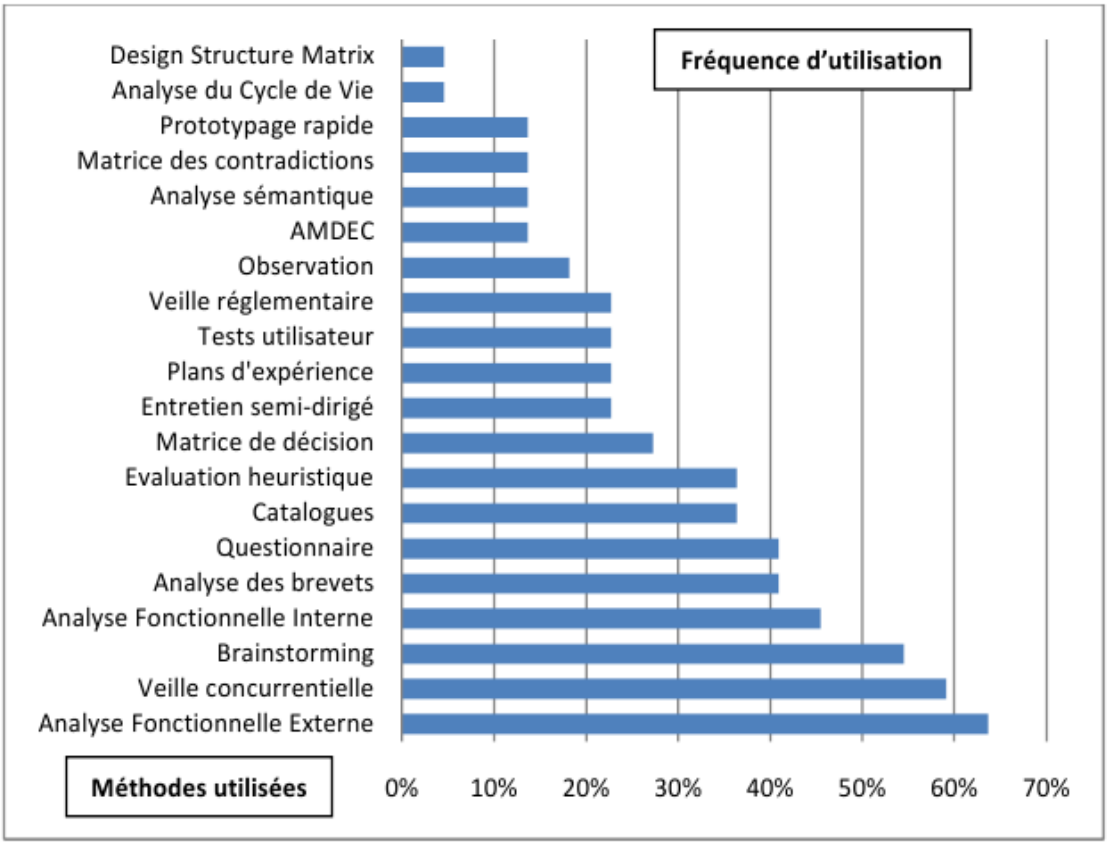


Figure III. 34: Fréquence d'utilisation des méthodes de conception sur un échantillon de 22 projets (Lahonde, 2010)

III. 4. 3. 2 Phase analyse de tâches

Dans la conception, la tâche n'est pas très bien définie et est utilisée différemment dans différents contextes. Dans notre recherche, elle englobe deux concepts. Tout d'abord, elle est utilisée pour ciblée les activités réalisées par les utilisateurs; ces activités peuvent concerner une catégorie générale des activités ou un type d'activité spécifique. Deuxièmement, elle se réfère à des activités exécutées par une structure ou d'une série de structures. Les tâches découlent de la pertinence entre les comportements délivrés par un système de conception et un principe utilisé dans le système. Nous utilisons une structure à plusieurs niveaux pour expliquer la relation entre le comportement et la tâche. Le plus haut niveau est un comportement qui est composé d'une série de tâches concrètes, et chaque tâche concrète est composée de plusieurs actions.

Tache		Méthodes	Sous-taches
Conception		Proposition, Critique, Modification (PCM)	Proposition, Vérification, Critique, Modification
	Proposition	Méthodes de décomposition et de transformation	Génération spécifique des sous-problèmes Solution des sous-problèmes générer par la décomposition Composition des solutions des sous problèmes
		Méthodes basées sur des cas	Correspondre et récupérer cas similaire
		Méthodes globales de contrainte-	

		satisfaction Méthodes numériques d'optimisation Méthodes de propagation Contrainte numérique ou symbolique	
	Génération spécifiques des sous-problèmes	Contraintes de propagation et contraintes de publication	Simulation pour décider comment les contraintes se propagent
	Composition des solutions de sous-problèmes	Méthodes de configuration	Simulation du comportement de la solution sélectionné
Vérification		domaine Spécifiques des calculs ou simulation	
		Simulation qualitative, Codification simulation visuelle	
Critique		Causalité techniques d'analyse comportementale d'attribuer la responsabilité Dépendance des techniques d'analyse	
Modification		Franchissement des déclivités comme les méthodes qui améliorer progressivement les paramètres Changements basés sur la dépendance Fonctions pour structurée un mapping de connaissances Ajouter de nouvelles fonctions	nouvelle Fonction de conception. Recomposez avec candidat conception

Tableau III. 6: Structure des tâches pour la conception

III. 4. 3. 3 Synthèse pour la classification des métiers

Sur la base des travaux de **(Vadcard, 1996), (Thouvenin, 2002), (Perrin, 2005), (Benfriha, 2005), (Lahonde, 2010), (Segonds, 2011),** les métiers employés sur l'ensemble de processus de conception sont liés à des phases ou à des familles et interviennent sur le processus de conception. Cependant un inconvénient sur cette sélection est qu'un concepteur où utilisateur au bout de certains années de pratique pourra oublier où ignorer certains outils et méthodes liées à son métier **(Tomiyama, 2009)**.

Dans notre approche de classification des connaissances métiers, nous devons prendre en compte la diversité des informations et connaissances utilisées. C'est une classification basée sur des activités liées à chaque phase. La différence avec les travaux effectués jusqu'à maintenant est que : Nous nous appuyons sur la notion **Métiers Essentiels** pour chaque phase, c.-à-d. affecter à chaque phase du processus de conception un ensemble d'outils et de méthodes et ainsi identifier les métiers indispensables pour la réalisation de l'activité de conception.

III. 5. Exploitation de l'outil par des utilisateurs : version papier

Dans un premier temps nous exploitons l'outil en version papier. Cette version est basée sur les trois pré-modèles développés dans ce chapitre, la carte de classement développé dans le chapitre état de l'art et les tableaux des familles des méthodes et outils liés aux phases des processus de conception (présentés dans l'annexe).

Dans nos expérimentations l'exploitation sous cette forme est guidée par le développeur de cette approche, dans ce sens nous recommandons les consignes de **(Tomiyama, 2009)** sur l'apprentissage et l'enseignement des outils et des méthodes de conception.

En bref la figure ci-dessous montre le chemin de l'exploitation de l'outil :

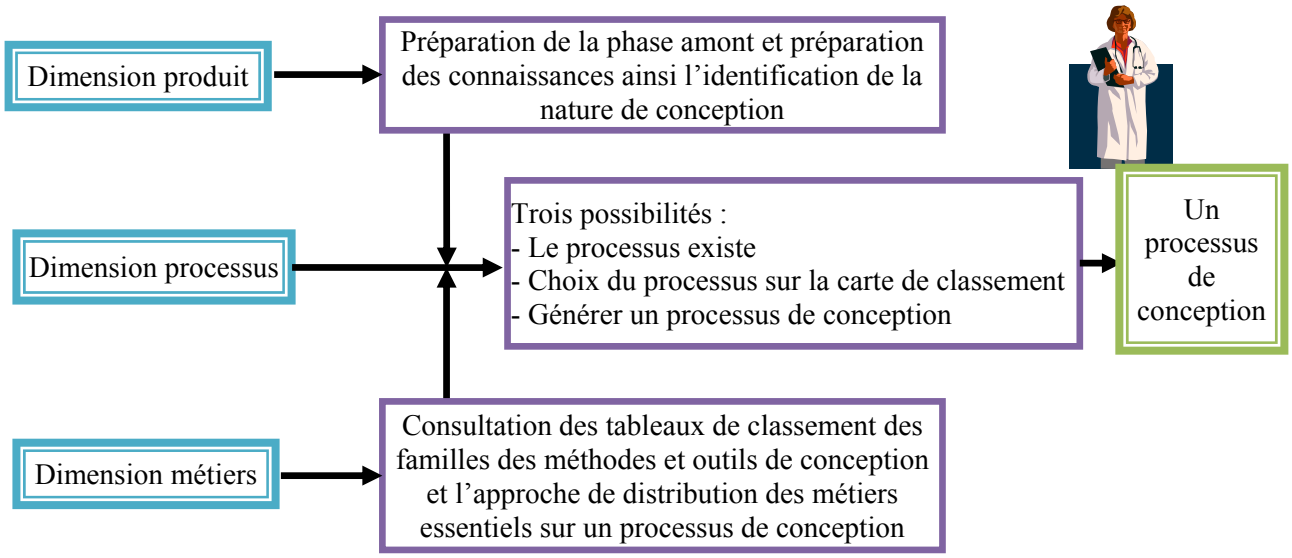


Figure III. 35: Génération du processus de conception sur la base des pré-modèles

Le détail de cette exploitation est l'objectif de la deuxième expérimentation du chapitre IV, à travers le développement des produits par des concepteurs.

III. 5. 1. Périmètre du guide

- L'observation des utilisateurs : La connaissance des utilisateurs, la compréhension de leurs besoins, l'observation directe de la façon dont les personnes vivent et travaillent est à la source de toute innovation. Elle permet la génération d'idées en rapport direct avec les besoins des utilisateurs finaux.
- La communication : l'intégration des connaissances, le rôle de chaque membre de l'équipe de conception, la mise à jour des outils et méthodes de conception pour réaliser une coopération entre les acteurs de la conception.
- L'explication : mode opérationnel de l'exploitation des dimensions de la carte sémantique.
- Signaler l'importance de la phase amont de la conception comme clé de réussite.

III. 5. 2. Périmètre des équipes de conception

L'objectif des équipes de conception est de réaliser des tâches spécifiques pour chaque concepteur. Dans notre cas chaque acteur est invité à réaliser un inventaire de son champ disciplinaire (outils, méthodes, compétences, métiers, …). La projection de cet inventaire sur les dimensions de la carte sémantique nous permettra de réaliser plusieurs constats :

- Identifier les ressources disponibles au sein de l'établissement,
- Enrichir la dimension métiers,
- Distribuer les tâches selon le principe « Exploitation de l'existant »,
- Lancer une coopération externe par le chef du projet pour compléter le manque,
- Créer un système de communication entre les acteurs de conception

III. 6. Outil de génération : numérisation et assistance

L'intérêt de cet outil porte sur la conception conjointe du produit-processus à travers le développement d'un système interactif d'Aide à la réalisation. Suite à une situation d'aide à la sélection basée sur les pré-modèles, l'objectif final est de proposer une méthode outillée (une méthodologie + un environnement logiciel interopérable + un démonstrateur informatique). Ils permettront d'aider à la génération des processus de conception via l'intégration Conception/Acteurs de conception.

Aujourd'hui, les produits deviennent de plus en plus complexes que la plupart d'entre eux nécessitent une équipe d'acteurs de divers domaines d'expertise pour développer une idée en un produit. Les entreprises doivent être très efficaces à rationaliser le processus de développement de produit afin de réduire le temps et coûts de développement et de maintenir la qualité des produits pour satisfaire les exigences du client. Processus de conception de produit complexe implique souvent de nombreuses tâches de conception. Conception des changements où une nouvelle structure survient souvent de façon imprévisible dans la conception de produits (changer la nature de produit). Il est donc nécessaire de trouver le chemin le plus optimal pour les modifications de conception, afin de réduire leur impact sur le processus de conception autant que possible.

Nous avons identifié sur le pré-modèle du processus de conception trois possibilités pour créer un processus de conception :

- Un transfert : assistance par une autre entité pour développer un processus de conception, c'est une entreprenariat basée sur les échanges et des transferts ;
- Une adaptation : de consulter une carte de présélection de 60 processus de conception issus de la littérature et classés selon des critères de prototypes et de phases. Des critères d'aides à la décision facilitent l'adaptation d'un processus de conception ;
- Une génération : l'objectif de cette troisième situation et de donner une solution dans le cas où ont ne peut pas réaliser le transfert et l'adaptation d'un processus de conception.

L'objectif de cette partie et de développer un outil de génération lié à la carte sémantique pour compléter les possibilités de réalisation d'un processus de conception.

Comme indiqué précédemment dans le contexte de cette étude, notre objectif est d'adapter un processus de conception pour une entreprise afin d'éviter ou de réduire les échecs sur les produits. La deuxième dimension de la carte sémantique 3D est la dimension processus. Cette dimension est basée sur la carte de classement des processus de conception. Dans le cas où cette carte n'offre pas un processus à adapter, la génération d'un processus est alors préconisée en fonction des dimensions : produits et métiers essentiels.

Un de nos objectifs est l'optimisation du processus de conception, la carte sémantique 3D est en effet une contribution dans ce sens. En effet, l'outil de génération de processus de conception est basé sur une approche algorithmique.

Trouver un algorithme d'optimisation lié à la problématique de génération d'un processus de conception est difficile parce que nous nous ne sommes pas en face d'une problématique traditionnelle d'optimisation où les fonctions et les variables sont bien déterminés. Nous sommes en face d'un ensemble de mots clés comme variables d'entrées et nous souhaitons avoir en sortie un processus bien structuré sous forme de phases accompagnées de méthodes, d'outils et de métiers liés à chaque phase du processus généré. Il faut construire l'algorithme adéquat et chercher une architecture optimale de l'outil.

Dans notre thèse, une méthode basée sur la simulation de génération de processus de conception est proposée pour choisir le plus court chemin de réalisation d'un processus de conception et intervenir dans le cas où il y a un changement dans le processus de développement des produits. Comme est indiquée au paragraphe IV. , les graphes sous forme de nœuds « ET/OU» sont utilisés pour représenter les logiques d'entrée et de sortie de chaque tâche et activité de conception. Les modèles mathématiques sont développés pour créer à travers une assistance graphique un processus de conception et donner les changements par rapport à l'ancien processus ainsi le gain du temps et la possibilité de changement. Les algorithmes d'optimisation et de simulation basés sur l'approche GENITIQUE pour trouver des sorties possibles selon la variation des tâches d'entrée. Ce développement est réalisé sur la base des phases d'un processus de conception.

III. 6. 1. Architecture de l'outil de génération

Nous proposons d'outiller les concepteurs et les chefs de projets pour leur permettre de générer un processus de conception appropriées à leur établissement, entreprise où bien entité de recherche. Cet outil permet d'arriver à une optimisation globale dans le choix d'un processus de conception.

Pour développer cet outil nous suivons l'architecture d'un processus de conception de 6 phases, Figure III. 36 :

Les 03 premières phases sont développées pendant la réalisation de la carte sémantique. Nous développons les 03 dernières phases.

Dans cette partie, l'objectif principal est d'explorer les méthodes d'optimisation algorithmiques susceptibles d'améliorer la recherche d'une solution optimale. Trouver par une relation quelconque un processus de conception qui satisfait les critères de l'entreprise est très difficile. Nous allons donc adapté une approche algorithmique couplée à la simulation (comparer les résultats à la carte de classement) et à l'expérimentation (génération dans des environnements réels).

Soit un système (industriel, de laboratoire, social, …etc.) dont l'état dépend de variables opératoires, le terme optimisation désigne une action visant à trouver l'ensemble des valeurs de ces variables opératoires qui entraîne un état souhaité pour le système **(Hoinard, 2009)**.

On peut classer les méthodes d'optimisation appliquées à ce type de problème en trois grandes catégories :

- Les méthodes d'optimisation à base de règles établies par expérience ou par déduction logique.
- Les méthodes d'optimisation exactes, dont l'objectif est de déterminer l'optimum exact d'une fonction objectif.
- Les méthodes d'optimisation approchées ou heuristiques, qui sont particulièrement adaptées à la résolution des problèmes fortement combinatoires.

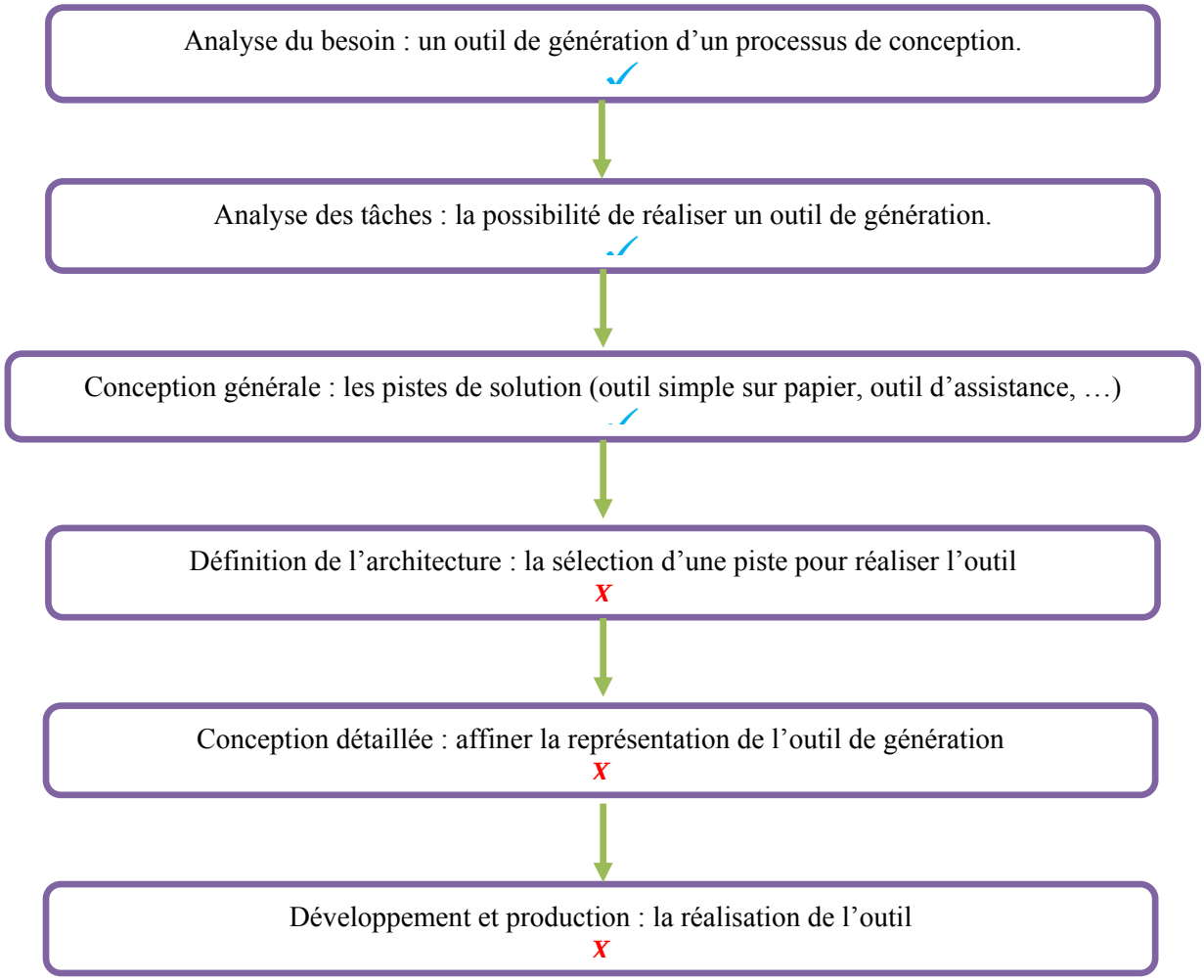


Figure III. 36: outil de génération et optimisation du processus de conception

Nombreuses sont les méthodes d'optimisation **(Hajji, 2003)**. On peut cependant les classer en deux grandes catégories : les méthodes déterministes et les méthodes stochastiques. Dans la première classe, on rencontre toutes les méthodes qui cherchent le minimum d'une fonction en se basant sur la connaissance d'une direction de recherche, souvent donnée par le gradient de cette fonction. Dans le cas d'optima multiples, elles s'arrêtent sur le premier rencontré.

Les méthodes stochastiques sont une alternative pour palier cet inconvénient. Les trois méthodes stochastiques les plus répandues sont les algorithmes génétiques, le recuit simulé et la recherche taboue. Elles sont capables de trouver le minimum global d'une fonction même dans des cas très difficiles, mais le temps de calcul peut être élevé.

III. 6. 2. Méthodes déterministes

Ces méthodes peuvent être subdivisées en plusieurs sous classes, les méthodes heuristiques, les méthodes statistiques, les méthodes Branch&Bound, les méthodes mathématiques, et les méthodes d'apprentissage automatique. Cette classification est illustrée en figure III. 37.

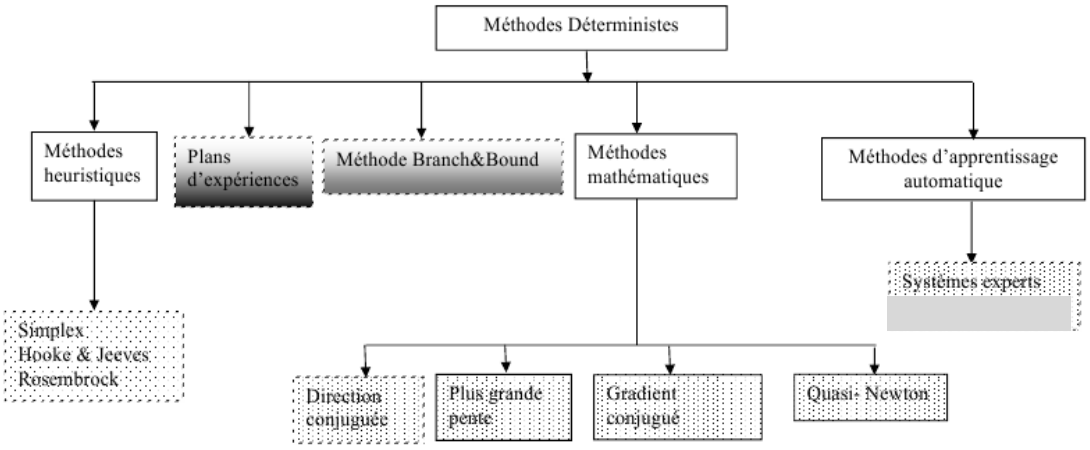


Figure III. 37. Méthodes d'optimisation déterministes

III. 6. 3. Méthodes stochastiques

Les méthodes d'optimisation stochastiques s'appuient sur des mécanismes de transition probabilistes et aléatoires. Cette caractéristique indique que plusieurs exécutions successives de ces méthodes peuvent conduire à des résultats différents pour une même configuration initiale d'un problème d'optimisation. Ces méthodes ont une grande capacité à trouver l'optimum global du problème. Contrairement à la plupart des méthodes déterministes, elles ne nécessitent ni point de départ, ni la connaissance du gradient de la fonction objectif pour atteindre la solution optimale. Elles sont d'ordre zéro. Cependant, elles demandent un nombre important d'évaluations de la fonction objectif. La figure IV. 38, présente les méthodes stochastiques les plus utilisées.

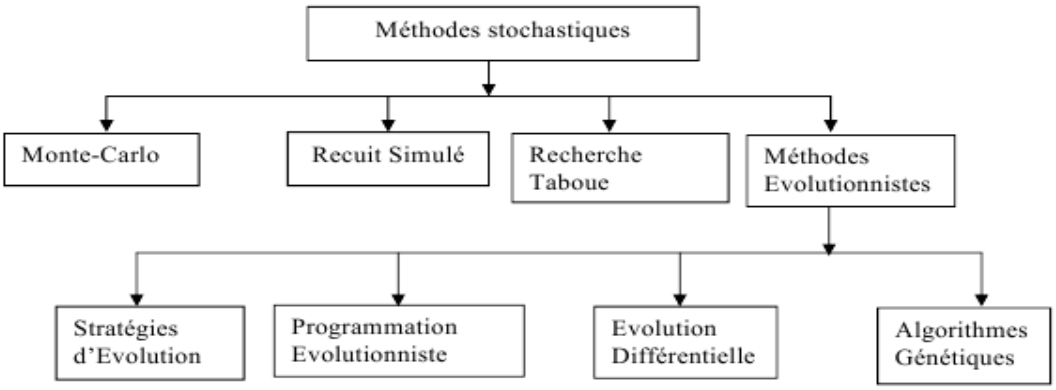


Figure III. 38. Méthodes d'optimisation stochastiques

Le principal avantage de ces méthodes est qu'elles peuvent s'appliquer à n'importe quelle classe de problèmes, faciles ou très difficiles, bien ou mal formulés, avec ou sans contrainte Elles semblent être tout à fait adaptées à l'optimisation de systèmes de génération d'un processus de conception.

III. 6. 4. Définition de l'architecture de l'outil de génération du processus de conception

L'architecture de l'outil est une interface graphique destinée aux concepteurs (chefs de projets) pour le renseignement des informations sur le produit à réaliser. Le cœur de l'outil est un algorithme d'optimisation qui cherche le chemin optimal avec un maximum d'outils et de méthodes pour réaliser le processus de conception.

Le résultat généralement est sous forme d'un graphe qui doit respecter :

a) La gestion des itérations : cette gestion est basée sur l'aide à la décision dans la majorité des cas et sur des outils spécifiques dans certains cas, par exemple, la matrice de structure de la conception (Design Structure Matrix) pour identifier d'avantage les caractéristiques plus importantes associées au problème de conception et qui nécessitent de nombreuses itérations pour la résolution.

b) La décomposition du processus de conception : en phases, domaines où activités. L'objectif de cette décomposition est de réduire la complexité du projet de conception des produits à travers la décomposition des phases en sous phases et chacune est considérée comme une tâche liée à une contrainte et une variable. Ainsi nous convergeons vers la décomposition des activités de conception en sous-tâches, donc la possibilité de créer un codage d'identification pour chaque tâche.

c) Gérer les tâches en utilisant la modélisation « ET/OU» : les produits peuvent impliquer des experts multidisciplinaires de conception et les différentes activités de conception peuvent être exécutées simultanément.

d) La simulation pour gérer la création du processus de conception : la simulation est une méthode efficace pour évaluer la dynamique de génération de processus de conception. Plusieurs facteurs peuvent être modélisés (le temps, la quantité) afin de programmer les activités de conception.

Sur la base de ces contraintes on peut définir l'idée de base de l'outil qui est :

« la Simulation basée sur des algorithmes d'optimisation pour déterminer le chemin optimal pour créer un processus de conception spécifique à un produit soumis à des contraintes de changement en s'appuyant sur la notion de décomposition en sous-tâches et le minimum d'itérations ».

III. 6. 5. Conception détaillée

La conception détaillée de l'outil à pour objectif la détermination et l'exploration de la boite noire entre les entrées et les sorties. C'est une conception qui s'appuie sur des algorithmes d'optimisation et des critères de sélection et d'aides à la décision.

Le processus généré est un ensemble de phases basées sur le besoin et l'objectif de l'entreprise. Il faut réaliser un modèle de processus de conception qui englobe la totalité des phases avec les outils, les méthodes et les métiers liés à chaque phase tout en respectant les itérations entre les tâches et les sous-tâches.

Voici quelques éléments d'aide à la conception de notre outil :

- La dimension produit de la carte : c'est une dimension clés dans les différentes configurations. Cette dimension peut conduire le processus de conception à travers l'analyse du besoin et l'identification de la nature de conception. Intégrer cette dimension dans l'outil de simulation est la première étape afin de sélectionner le chemin optimal d'identification (échapper à la notion papier). C'est une dimension qui supporte la phase amont de la conception.
- Dans un processus de conception de produits innovants, les concepteurs n'ont pas une vision complète et détaillée du produit. Ils ne peuvent pas prédire avec précision quel impact un changement sur la conception apportera sur l'ensemble du processus de conception. L'outil de simulation tient compte de cette notion par l'introduction des différentes contraintes dans la phase amont de développement du produit.

- Une modification de la conception peut être résolue en changeant la conception des sous systèmes, des composants, où un changement sur les valeurs des paramètres. Le changement sera optimal de sorte que l'effort total requis pour gérer le changement peut être minimisé sans la diminution du degré de satisfaction du client sur le produit, qualité et le coût.

Ainsi nous identifions les questions prioritaires aux quelles notre outil devra répondre :

- Quels itinéraires devraient être sélectionnés pour identifier les phases, les activités, les tâches et les sous-tâches d'une manière à gagner le temps.
- Comment gérer les évolutions dynamiques de la conception (relation entre les tâches de conception) ?
- La distribution des outils et méthodes de conception sur les phases et les activités de conception ?

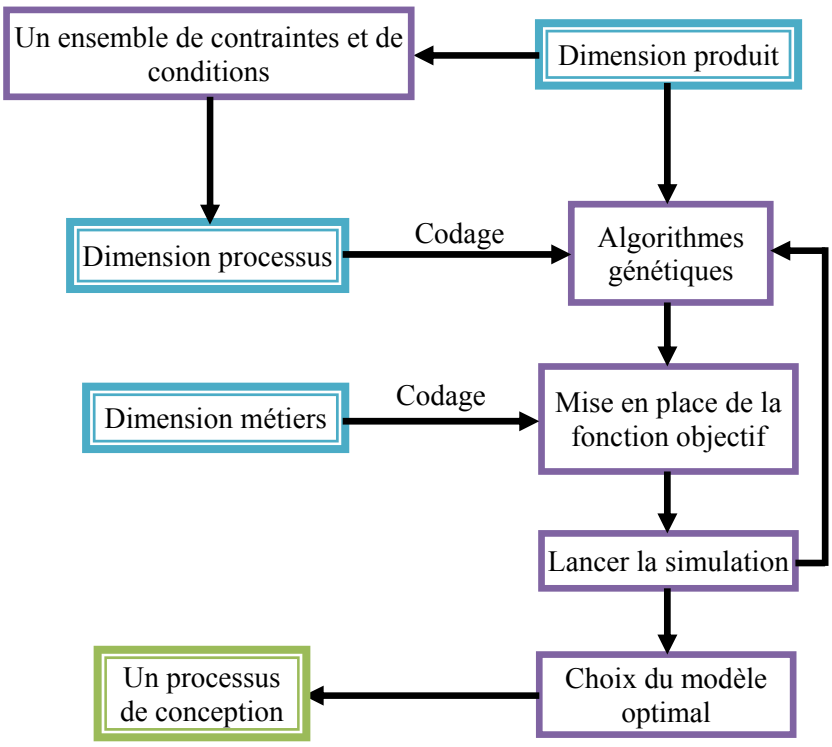


Figure III. 39 : Digramme de base pour la simulation du choix du processus de conception

Le modèle de génération de processus de conception en appuyant sur l'intégralité du modèle de la Figure IV. 40, nous donnera des milliers de cas de configuration de processus de conception. La question qui se pose est comment trouver au minimum un seul processus de conception qui indique la nature de la conception, les phases de conception, les méthodes et les outils liées à chaque phase ?

La réponse à cette question est l'exploitation de la figure IV. 39 et les pré-modèles développés de la carte sémantique. Pour bien clarifier cette situation nous utiliserons ***l'optimisation par simulation***. Il est donc très important de proposer un modèle qui puisse être le plus fidèle possible aux intentions et priorités des concepteurs. La prise en compte des connaissances et des métiers disponibles est nécessaire pour la fitness du processus de conception.

Le modèle réseau global pour la génération du processus de conception

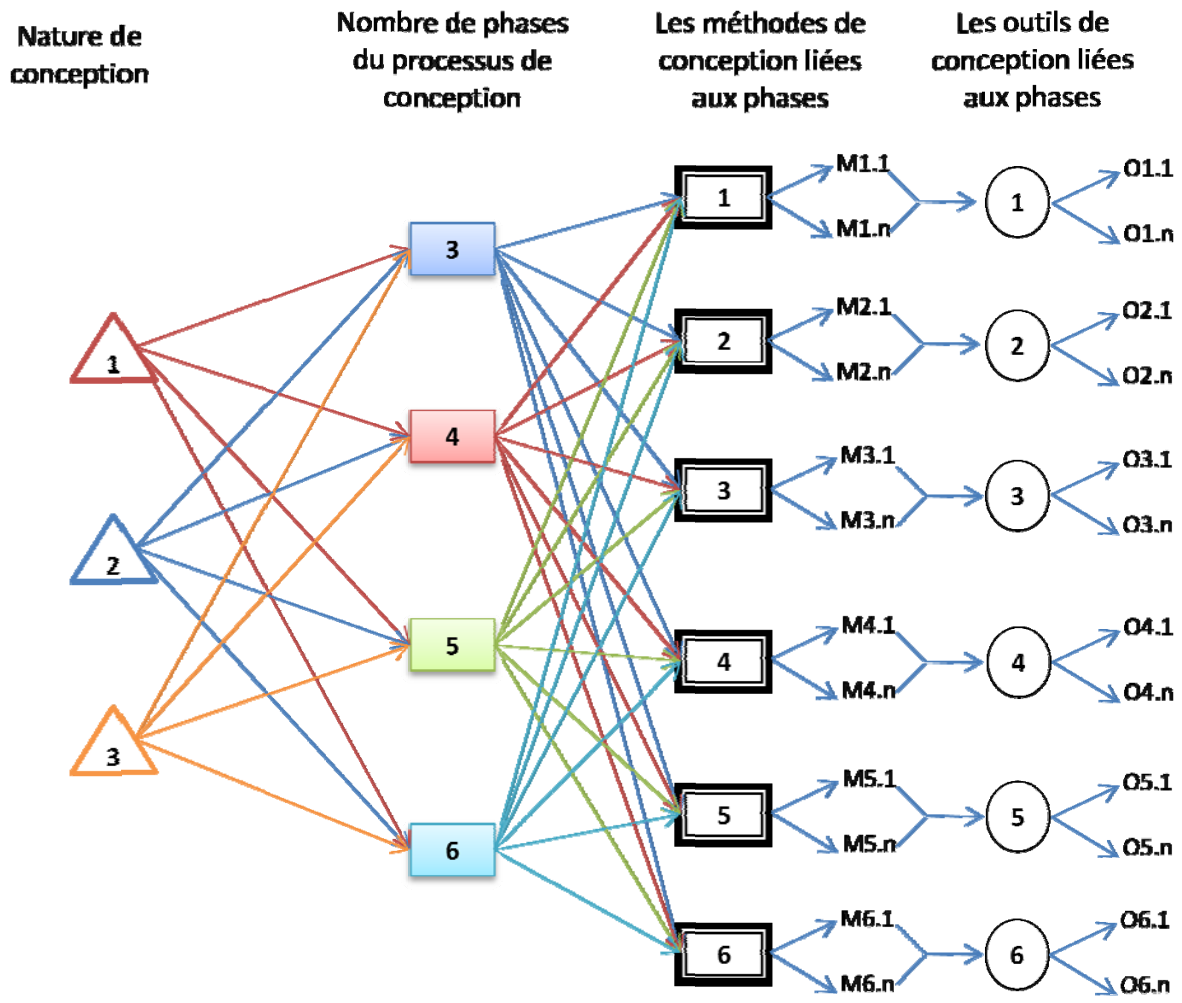


Figure III. 40 : Réseau global de sélection d'un processus de conception

Etat 0 : la nature de la conception

L'étape finale du pré-modèle dimension produit de la figure IV. 26, est une sélection de la nature de conception. Pour arriver à cette sélection des questionnaires et des analyses de besoin sont à la base de cette préparation.

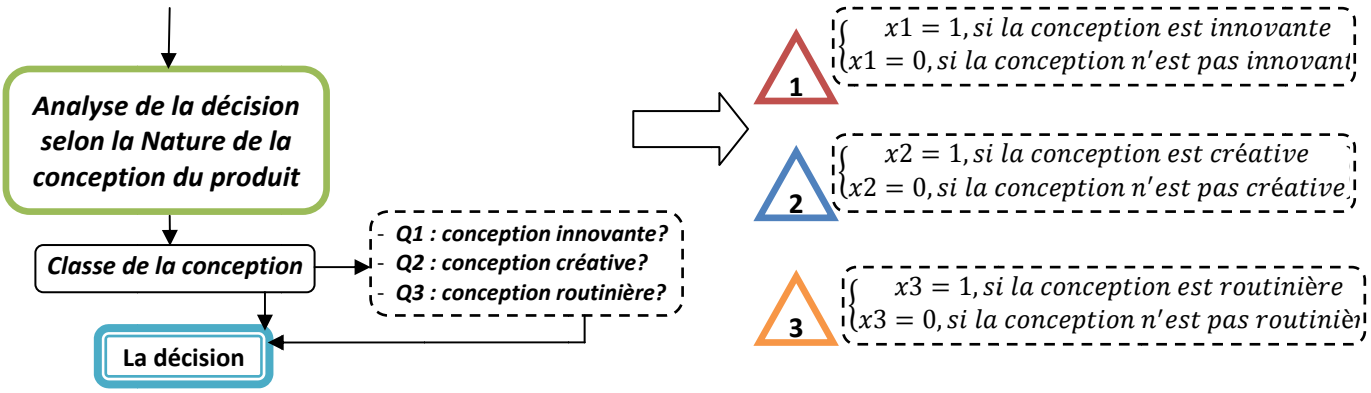


Figure III. 41: La décision de sélection de la nature de conception

Donc la fonction de décision de la sélection de la nature de conception (NC) est définie comme suit :

$$NC\ (x) = \begin{cases} 1 & si\ une\ conception\ est\ sélectionnée \\ 0 & si\ la\ conception\ n'est\ pas\ sélectionnée \end{cases}$$

Où $x = (x1, x2, x3)$ est le vecteur des attributs de la nature de conception.

Sous forme matricielle on pourra écrire :

		Innovante	Créative	Routinière
NC (x)	Innovante	1	0	0
	Créative	0	1	0
	Routinière	0	0	1

Etat 1 : nombre de phase du processus de conception

Comme est indiquée au chapitre état de l'art, les processus de conception sont classés sous forme de phases, de 03 phases jusqu'à 06 phases. La sélection des phases est liée à la dimension produit et la dimension processus de conception.

Dans la suite du travail on utilise l'indexation suivante pour les phases des processus de conception :

Nom de la phase	Besoin (identification et analyse)	Analyse des tâches	Conception générale	Conception préliminaire	Conception détaillée	Mise en œuvre (développement & production)
L'indexe	Ph1	Ph2	Ph3	Ph4	Ph5	Ph6
Sous forme binaire	100000	010000	001000	000100	000010	000001

Tableau III. 7 : Indexation des phases de processus de conception

Le nombre des phases de processus de conception peut être formulé comme suit :

$$NPh = \sum_{i=1}^{i=6} Ph_i$$

L'analyse de la carte de classement des processus de conception développée dans le chapitre II nous a permit de limiter le nombre de phase pour un processus comme suit :

	Combinaison selon la carte de classement
03 phases	(Ph3, Ph4, Ph5), (Ph2, Ph3, Ph5), (Ph1, Ph3, Ph5), (Ph2, Ph3, Ph4)
04 phases	(Ph2, Ph3, Ph4, Ph5), (Ph1, Ph3, Ph4, Ph6), (Ph1, Ph2, Ph3, Ph4), (Ph1, Ph4, Ph5, Ph6), (Ph2, Ph4, Ph5, Ph6)
05 phases	(Ph1, Ph2, Ph3, Ph4, Ph5), (Ph2, Ph3, Ph4, Ph5, Ph6), (Ph1, Ph2, Ph3, Ph4, Ph6)
06 phases	(Ph1, Ph2, Ph3, Ph4, Ph5, Ph6)

Tableau III. 8 : Combinaisons possible selon la carte de classement des processus de conception

En dehors de ces combinaisons, d'autre cas pourront être identifiées :

	D'autre possibilité de Combinaison
01 phase	(Ph1), (Ph2), (Ph3), (Ph4), (Ph5), (Ph6)
02 phases	(Ph1, Ph2), (Ph1, Ph3), (Ph1, Ph4), (Ph1, Ph5), (Ph1, Ph6) ……

03 phases	(Ph1, Ph2, Ph3), (Ph1, Ph2, Ph4), (Ph1, Ph2, Ph5), (Ph1, Ph2, Ph6) …….
04 phases	(Ph1, Ph2, Ph3, Ph6), (Ph1, Ph2, Ph5, Ph6), (Ph1, Ph2, Ph3, Ph6) …….
05 phases	(Ph1, Ph2, Ph3, Ph4, Ph5)

Tableau III. 9: Autres combinaisons pour le nombre de phases

Appliquant la formule de calcul des combinaisons on obtient

	Nombre de cas selon la formule de calcul des Combinaisons
01 phase	6 cas
02 phases	15 cas
03 phases	20 cas
04 phases	15 cas
05 phases	6 cas
06 phases	01 cas

Tableau III. 10: Nombre de combinaison exacte pour le nombre de phases

La question qui se pose est comment gérer ces différentes combinaisons ? C'est à dire de trouver la bonne combinaison des phases. Une partie de réponse pour cette question sous forme de questionnaire est présentée dans la dimension produit du pré-modèle de la carte sémantique.

Ajouter un critère de préférence nous permettra une bonne identification de classement des phases dans un processus de conception.

Soit : R la réponse à une question, P une performance d'une préférence

$NPhP = \sum_{i=1}^{i=6} Ph_i - (\sum R + \sum P)$

Les réponses liées aux étapes de la carte sémantiques	Les préférences liées aux étapes de la carte sémantiques
R1= besoin interne R2= besoin externe	P1= reconception de produit P2= conception de produit P3= prototype virtuelle P4= prototype physique et fabrication
R3= il y a un CDC R4= il n'y a pas de CDC	P5=détaillé le CDC par l'équipe de conception P6=détaillé le CDC avec le demandeur P7=renvoyer le CDC vers le demandeur
R5= il y a un environnement de développement R6= il n'y a d'environnement de développement	P8= environnement 2D P9= environnement CAO P10= environnement virtuel P11= un ensemble d'environnement
R7= un produit compliqué R8= un produit simple	P12= les ressources de l'entreprise P13= des ressources externe P14= coopération

Tableau III. 11: Les préférences liées aux étapes de la carte sémantique.

L'analyse des résultats du Tableau III. 11, nous amènent vers une situation de prise de décision multiple. Le nombre de variables d'interprétation génère présente une difficulté pour la recherche de solutions optimales.

Les réponses et les préférences sont un moyen de limitation et d'identification des phases du processus de conception.

Exemple 1 : pendant la phase 0, la conception est de nature créative, le besoin est interne (R1) et le produit est sous forme d'un prototype virtuelle (P3) et sous forme de reconception (P1). L'analyse de cette situation nous amène à identifier la première structuration du processus de conception :

Besoin interne R1 : pas d'identification du besoin, phase 1 = 0

Prototype virtuelle P3 : pas d'implémentation, phase 6 = 0

Reconception P1 : nécessite d'autres réponses et d'autres préférences.

Notre processus de conception à 4 phases essentiels :

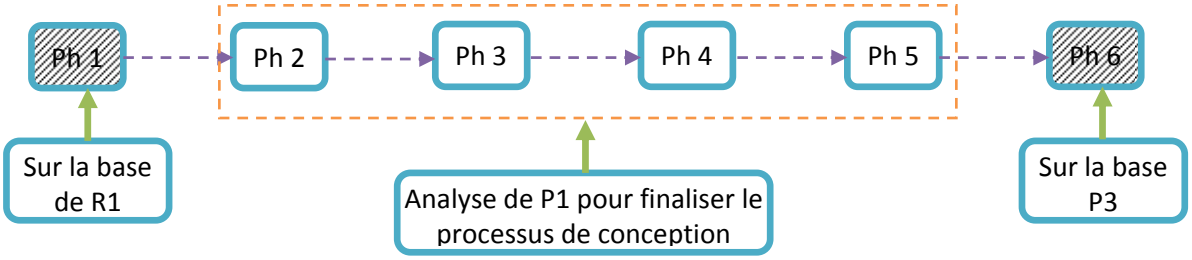


Figure III. 42 : première génération du processus de conception

L'exploration de la préférence P1 par les résultats des réponses et préférences : P1 est basée sur l'ensemble de R3, R4, P5, P6, P7. Si on prend R3 et P5, la phase analyse du besoin est réalisée par l'équipe de conception, donc la phase 2 sera une phase de moins dans l'ensemble du processus de conception. Pour cette configuration nous avons un processus de conception de 03 phases.

Une méthode d'agrégation s'avère indispensable pour contourner cet obstacle. Les critères de performances (variables) peuvent avoir différents niveaux d'importance ou de poids. Le problème d'attribut multiple pour la prise de décision est un cas de l'agrégation. Le but est de choisir une fonction d'agrégation qui modélise la prise de décision pour le choix des préférences.

Dans la suite nous utiliserons la notation suivante :

μ : les préférences, μ_i sont indexation et ω_i leur poids

La préférence globale μ_g est calculée en utilisant une fonction d'agrégation *P*

$$\mu_g = P((\mu_1, \omega_1), \dots, (\mu_n, \omega_n))$$

La méthode de l'imprécision est une théorie formelle de la manipulation de l'information qui représente les préférences entre les options de conception avec les mathématiques des ensembles flous.

Lorsque la préférence globale pour la performance d'une conception est limitée par l'attribut avec un rondement plus bas, le problème de décision est classé comme « non-compensation » et la fonction d'agrégation utilisée est le simple minimum. Dans ce cas, les poids ne sont pas significatifs et ne sont pas inclus dans les calculs. Quand une bonne performance sur un attribut est perçue le problème est classé comme « compensation ».

Les différentes méthodes d'agrégation passent toutes par une phase d'introduction de coefficients de pondération. Le choix des coefficients de pondération est très subjectif et pose de nombreux problèmes. Les différentes variables agrégées étant la plupart du temps adimensionnées et comprises entre 0 et 1, la nature de la pondération ne peut avoir qu'un sens relatif et qualitatif.

Etat 2 : nombre de méthodes et outils de conception pour les phases du processus de conception

Après avoir identifié la nature de la conception pour le développement du produit et déterminer le nombre de phases du processus de conception il nous reste d'attribuer pour chaque phases les méthodes de conception.

L'analyse du paragraphe § **1. 1 Typologies des méthodes de conception** et le prémodèle de la figure III. 30, dimension métiers essentiels, chaque phase du processus de conception est un ensemble de méthodes et outils de conception. On prend l'exemple du paragraphe précédent, la configuration du processus de conception sera :

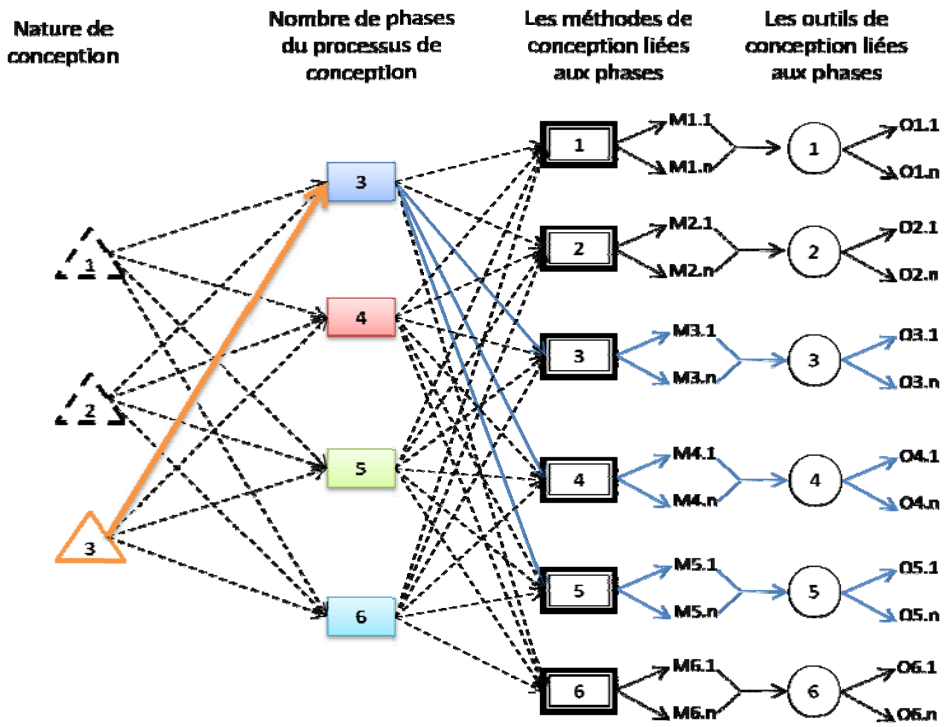


Figure III. 43 : La configuration du processus de conception sur la base des réponses et des préférences.

Sur la base de la première identification, une conception créative, le poids est attribué aux méthodes et outils de créativité ensuite la sélection est en fonction des ressources disponibles dans l'entité où l'entreprise, c'est le premier cercle et les autres sont en fonction des voisinages de collaboration.

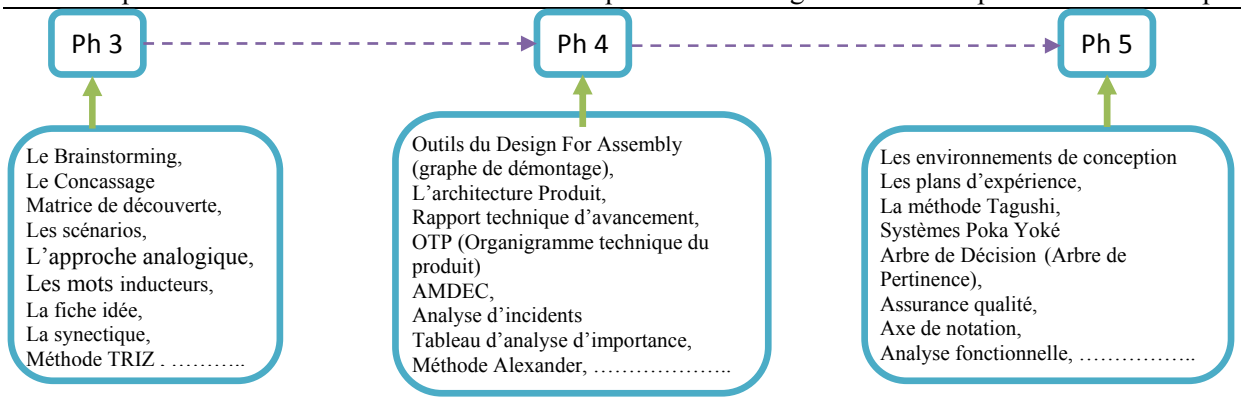


Figure III. 44 : identification des méthodes et outils de conception par rapport au processus de conception

L'identification des méthodes est outils est en fonction des autres réponses et préférences. L'ensemble des réponses et préférences sont autour des ressources disponibles dont les métiers essentiels. La sélection des métiers essentiels se base sur la fonction fitness qui donne d'avantage poids aux méthodes et outils. D'où la nécessité de classer les métiers essentiels dans la première cercle des ressources disponibles. Une deuxième cercle sera réservé pour le classement des métiers des partenaires, ainsi de suite les rayons des cercles augmentent.

La détermination de cette fonction est le résultat des enquêtes et des différents mises à jour sur des bases de données liées au fonctionnement d'une entité.

méthodes et outils de gestion des coûts	**Poids (coûts)**		
	Nature de conception		
	Routinière	Innovante	créative
L'analyse de la Valeur (AVC- AV de la conception, AVA- AV administrative, AVF- AV Fabrication, AVP- AV Produit)	1	0.4	0.9
CCO (Conception pour un Coût Objectif) / Design to Cost, Redesign to cost,	0.1	0.5	0.8
CCG (Conception pour un Coût Global) / Design to Life Cycle Cost	0.2	0.6	0.7
Loi de Pareto	0.3	0.7	1
La Courbe du Juste Milieu	0.4	0.8	0.2
L'Approche comptable	0.5	0.9	0.3
BBZ (Budget Base Zero)	0.6	1	0.4
L'Evaluation Paramétrique Prévisionnelle des Coûts,	0.7	0.1	0.5
L'Evaluation Analogique Prévisionnelle des Coûts,	0.8	0.2	0.1
L'Evaluation Analytique Prévisionnelle des Coûts,	0.9	0.3	0.6

Tableau III. 12 : attribution des poids (coûts) pour les outils et méthodes en fonction de la nature de conception

L'objectif de la fonction fitness est de limiter le nombre des méthodes et outils ainsi que de sélectionner le juste nécessaire sur la base des métiers essentiels. Ces derniers sont les ressources de l'entreprise, l'outil et la méthode liée à chaque métier son poids est plus grand ainsi de suite.

Etat 3 : gérer les itérations entre les phases du processus de conception d'un coté et entre les méthodes et outils de conception de l'autre coté

La détermination du nombre de phases ainsi que les outils et les méthodes liées à chaque phase ne donne pas l'aspect final du processus de conception. La coordination entre les résultats de chaque phase et les résultats

de chaque métier contribue dans la réussite du produit. Cette coordination est gérée par des itérations qui sont généralement des aides à la décision. Gérer les itérations conduit à connaître l'amont et l'aval de l'outil, la méthode et la phase du processus de conception (les entrées et les sorties). Construire une situation d'aide à la décision sur la base des résultats est une tâche de conception varie en fonction des métiers (concepteurs, chefs du projet, spécialistes, marqueteur, …). Dans notre cas l'ensemble des itérations qu'il faut gérer sont :

- ✓ itération entre méthodes et outils ;
- ✓ itération entre phases ;
- ✓ itération entre l'entrée et la sortie.

Pour gérer les itérations, les figures IV. 11, 22, 23, 24, sont adaptées pour la configuration du processus de conception.

On prend l'exemple précédent :

Les méthodes de conception choisies pour la phase 3 sont : brainstorming, la fiche idée ainsi les outils liés à chaque méthode qui sont : les questionnaires, les esquisses à main levée.

Les méthodes de conception pour la phase 4 sont : l'architecture produit, AMDEC et les outils qui sont,

Les méthodes de conception pour la phase 5 sont : analyse fonctionnelle, les plans d'expérience.

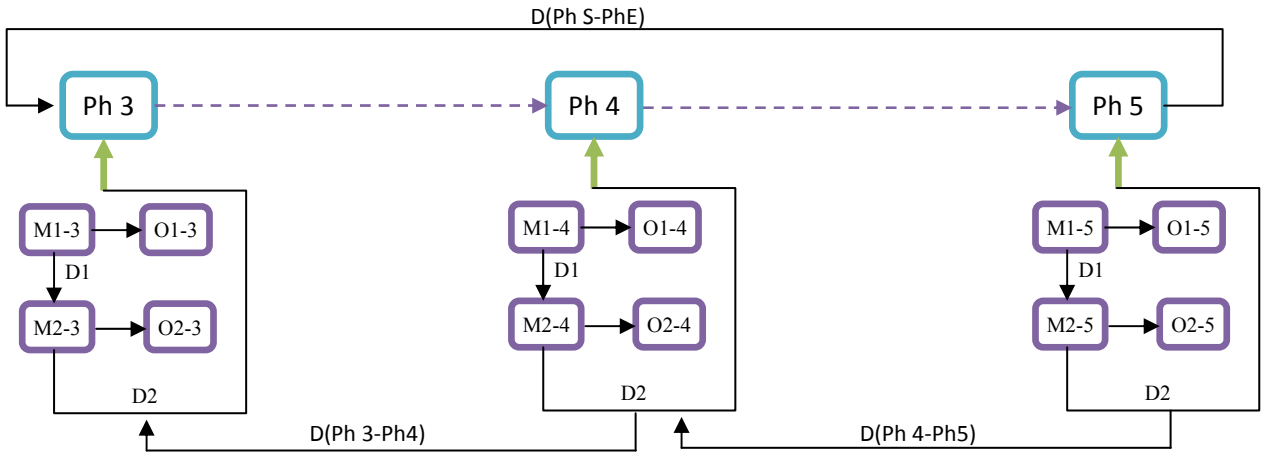


Figure III. 45: Les itérations entre méthodes et phases

La décision de précision est le résultat des méthodes et outils de conception, l'itération est réalisée sur la base de résultat où la nécessité d'une autre méthode et outil de conception (D1, D2).

La décision de continuité est réalisée entre deux phases adjacentes afin de diminuer le cycle général d'itération D(Ph3-Ph4).

La décision d'évaluation est réalisée entre la phase entrée et la phase sortie. L'objectif de l'itération est d'évaluer le résultat du processus de conception D(PhS-PhE).

Etat 4 : Formaliser la fonction objectif

Formulation du problème d'optimisation

Soit une fonction objectif, **F*obj* = *f* (MTHD, OTL, NACNPT, NPH, IPC)**.

Soit **{S}** l'ensemble fini, mais de grand cardinal, correspondant à toutes les combinaisons de toutes variables d'entrée.

Le problème d'optimisation de la fonction objectif peut être mis sous la forme :

Minimiser (ou Maximiser) **F*obj* = *f* (MTHD, OTL, NACNPT, NPH, IPC)**

MTHD : méthode de conception**, OTL :** outils de conception, **NACNPT :** nature de conception, **NPH** : nombre de phase du processus de conception, **IPC** : itération pour le processus de conception

Un élément $s_{(i)}$ de {S} qui donne à F*obj* sa valeur minimale (ou maximale) est donc une solution optimale.

Détermination de la taille de la population initiale

Pour déterminer la population initiale, il faut connaitre la longueur de la chaîne. Notre population est déterminée comme suit :

Nature de conception			Nombre de phases						Méthodes de conception pour chaque phase				Outils de conception pour chaque phase				Itération entre phases du processus					
1	2	3	Ph 1	Ph 2	Ph 3	Ph 4	Ph 5	Ph 6	M 1	M 2	M 3	M n	O 1	O 2	O 3	O n	I (Ph1 - Ph2)	I (Ph2 - Ph3)	I (Ph3 - Ph4)	I (Ph4 - Ph5)	I (Ph5 - Ph6)	I (Phfin-Phdébut)

Tableau III. 13 : Longueur de la population, le modèle général.

Le tableau III. 13, décrit un modèle minimal et canonique pour notre système évolutionnaire. Cette représentation nous permet d'étudier des propriétés quasiment impossibles à étudier dans leur milieu naturel, ainsi que de résoudre des problèmes n'ayant pas de solutions calculables en temps raisonnables avec des performances quantifiables, facilement mesurables et qu'on peut confrontés aux autres stratégies de résolution.
On prend l'exemple précédent, la chaîne est présentée comme suit :

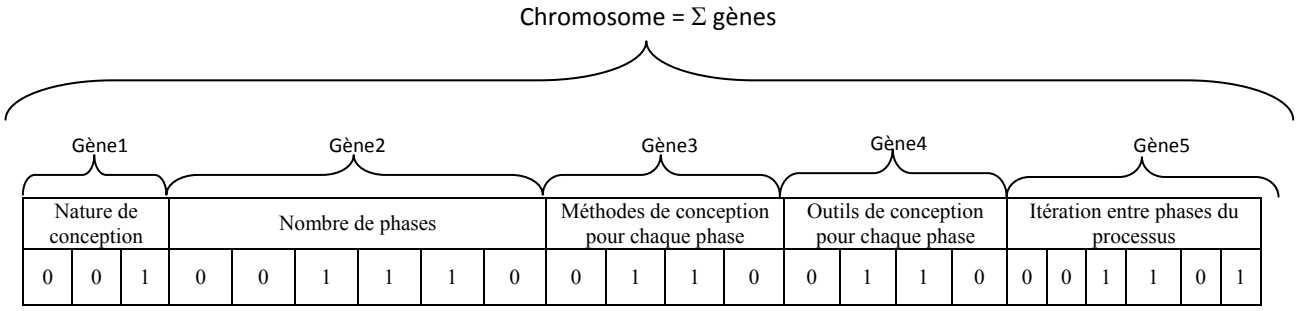


Tableau III. 14 : codage de la solution selon les critères de l'exemple 1.

Un algorithme génétique est un algorithme itératif de recherche d'optimum, il manipule une population de taille constante. Elles fournissent des solutions aux problèmes n'ayant pas de solutions calculables en temps raisonnable de façon analytique ou algorithmiques. La taille constante d'une population entraîne un phénomène de compétition entre les chromosomes. Chaque chromosome représente le codage d'une solution potentielle au problème à résoudre, il est constitué d'un ensemble d'éléments appelés gènes, pouvant prendre plusieurs valeurs appartenant à un alphabet non forcément numérique.

A chaque itération, appelée génération, est créée une nouvelle population avec le même nombre de chromosome. Cette génération consiste en des chromosomes mieux adaptés à leur environnement tel qu'il est représenté par la fonction sélective. La création d'une nouvelle population à partir de la précédente se fait par application des opérateurs génétiques que sont : la sélection, le croisement et la mutation.

Choix de la fonction fitness

L'étape la plus sensible dans un système par évolution génétique est la définition de la fonction fitness.

On définit la fonction fitness comme étant l'ensemble des ressources disponibles dans l'entité ou l'entreprise. Les ressources sont des métiers essentiels, des méthodes, des outils et des moyens. Nous définissons la fonction fitness : $fitness = \Sigma\, ressources\ (E)$

L'objectif est de minimiser la fonction objectif F*obj* par l'intégration de la fonction fitness. Le but de l'algorithme génétique est de minimiser la fonction objectif afin de trouver un meilleur individu qui représente le sous-ensemble de caractéristiques sélectionnées telles que les phases, les méthodes et les outils du processus de conception.

La population initiale est générée à partir du Tableau III. 13 et le chromosome dans cette population est un vecteur binaire comme est indiqué sur le tableau III. 14. Une partie des cas possibles de la population sont présentés sur le tableau III. 15. Vérifier l'ensemble des populations sera difficile. La limite de certains gènes devient une nécessitée dans un premier niveau et dans un deuxième niveau c'est le rôle de la fonction fitness de réaliser la sélection.

A chaque génération de l'algorithme génétique une évaluation de chacun des individus de la population est faite en utilisant la fonction fitness. Cette fonction donne la qualité d'un chromosome, c'est sur cette valeur que sont calculées les chances de sélection de ce chromosome.

« Nous cherchons à minimiser la fonction objectif, il faudra donc maximiser la fonction fitness ».

La force de chaque chromosome de la population est calculée afin que les plus forts soient retenus dans la phase de sélection, puis modifiés dans la phase de mutation.

Après l'évaluation de la population, plusieurs opérateurs génétiques sont appliqués : le croisement, la mutation et la sélection. L'algorithme se termine quand le critère d'arrêt est satisfait. Dans notre cas le critère de terminaison est lié à la génération d'un processus de conception optimal (nbr de phases, méthodes et outils).

La matrice de la population

Nature de conception			Nombre de phase						Méthodes de conception						Outils de conception						Itérations					
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	3	1	2	2	3	2	3	1	1	1	1	1	1
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	3	2	3	2	3	1	3	2	3	2	3	1	1	1	1	1	1
1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	2	2	3	2	0	1	2	2	3	2	0	1	1	1	1	0	1
1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	3	2	3	2	0	1	3	2	3	2	0	1	1	1	1	0	1
1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1
1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	2	2	3	0	0	1	2	2	3	0	0	1	1	1	0	0	1
1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	3	2	3	0	0	1	3	2	3	0	0	1	1	1	0	0	1
1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1
1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	2	2	0	0	0	1	2	2	0	0	0	1	1	0	0	0	1
1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	3	2	0	0	0	1	3	2	0	0	0	1	1	0	0	0	1

Tableau III. 15 : la configuration de la population sur la base du chromosome du tableau III. 14

La sélection

Selon la qualité des chromosomes, chacun se voit attribuer un pourcentage de chance d'être choisi pour la reproduction, qui correspond à l'importance relative de la qualité du chromosome par rapport à la qualité totale de la population. Cela revient à donner aux chromosomes dont la valeur de fonction de fitness est grande une probabilité plus élevée de contribuer à la génération suivante.

On donne une fonction fitness pour l'exemple 1 sous la forme suivante :

Fitness = l'entité E utilise une stratégie de veille pour identifier le besoin et analyse fonctionnelle pour l'analyse du besoin. Des séances de brainstorming pour la génération des concepts initiaux du produit. La conception est de nature créative afin de réaliser un prototype CAO.

Cette fonction fitness sous cette forme est un ensemble de ressources de l'entité que nous l'identifions comme suit :

- gène 1 : une conception créative
- gène 2 : 05 phases, réalisé un prototype CAO
- gène 3 : méthodes de conception pour la phase 1, la phase 2, la phase 3,

Les outils ainsi que des notions sur des itérations sur la base des ressources disponibles n'existent pas. La sélection depuis la population initiale. La sélection permet d'identifier statiquement les meilleurs chromosomes d'une population et d'éliminer les mauvais.

Croisement

Dans notre cas, le croisement est une étape à réaliser dans la phase elle-même (parce que il y a un risque de perturber la structure des phases du processus de conception). L'analyse du tableau V. 15, montre que la variation est seulement sur les méthodes et les outils, remplacer un gène par un autre, nous sommes en face d'une mutation.

Mutation

Une mutation est définie comme étant l'inversion d'un bit dans un chromosome. Cela revient à modifier aléatoirement la valeur d'un paramètre. Les mutations jouent le rôle de bruit et empêchent l'évolution de se figer. Elles permettent d'assurer une recherche aussi bien globale que locale, selon le poids et le nombre de bits mutés. De plus, elles garantissent mathématiquement que l'optimum global puisse être atteint. Ainsi en toute rigueur, l'algorithme génétique peut converger sans croisement.

Plusieurs méthodes pour la mutation, nous citons les plus connues :

- opérateur d'inversion simple : cet opérateur consiste à choisir aléatoirement deux points de coupure et inverser les positions des gènes situées au milieu ;
- opérateur d'insertion : cet opérateur consiste à sélectionner au hasard un gène et une position dans le chromosome à muter, puis à insérer le gène sélectionné dans la position choisie ;
- opérateur d'échange réciproque : c'est un opérateur qui permet de sélectionner deux gènes et de les changer.

Insertion

Après la mutation, la méthode d'insertion est utilisée pour générer une nouvelle population. Plusieurs stratégies pour réaliser l'insertion :

- première stratégie, consiste à choisir les individus à partir des enfants déjà créés par l'opérateur de mutation. Dans ce cas, les parents sont remplacés par les enfants mutés.
- Une autre stratégie consiste à choisir les individus à partir des parents de la population précédente et de nouveaux enfants. A chaque itération, les individus ayant les meilleures fitness seront sélectionnés.
- L'élitisme, consiste à copier quelques meilleurs individus dans la nouvelle population.

Critère d'arrêt

Le test d'arrêt joue un rôle très important dans le jugement de la qualité des individus. Les critères d'arrêt sont de deux types :

- Arrêt après un nombre fixé a priori de générations ;
- Arrêt lorsque la population cesse d'évoluer ou n'évolue plus suffisamment.

Ecriture de l'algorithme

Début

1. Générer une population aléatoire de n chromosomes.
2. Evaluer la fitness des chromosomes avec la fonction $fitness = \Sigma\, ressources\ (E)$
3. Répéter
4. Appliquer l'opération de sélection
5. Appliquer l'opération de mutation avec une probabilité *pm*
6. Ajouter les nouveaux chromosomes à la nouvelle population
7. Calculer la fonction fitness f(x), pour tout chromosome x
8. Appliquer l'opération de remplacement
9. Jusqu'à la génération du processus de conception

FIN

Tableau III. 16 : les grandes lignes de l'algorithme de génération du processus de conception

Notre programme doit commencer par la génération aléatoire d'une population initiale qui est composée d'un ensemble de chromosomes dont les gènes sont pris au hasard. C'est cette première génération qui va servir de point de départ à l'algorithme génétique.

La sélection se fait aléatoirement et doit permettre l'obtention de nouveaux individus à partir d'une population initiale suite à une itération. Nous utiliserons l'opérateur de mutation et de croisement.

La simulation

L'objectif d'une partie de la troisième expérimentation. La simulation est un moyen d'identification d'analyse et de numérisation de l'outil afin de déterminer des solutions optimisées qui répondent à des critères de la fonction fitness. La simulation utilise l'algorithme suivant :

Algorithme génétique pour la génération du processus de conception

1 : intialiser : P_{int}, P_{mut}, $Iter_{max}$,
2 : générer aléatoirement P_{int} ensemble de phase, méthodes et outils
3 : répéter
4 : i = 0
6 : génération de N scénarios perturbés à partir du scénario initial.
7 : sélectionner aléatoirement deux parents de la population
8 : mutation des deux parents
9 : évaluer tous les chromosomes par la fonction fitness
10 : ranger les parents et les enfants dans l'ordre croissant
11 : supprimer les chromosomes faibles et enregistrer les meilleurs chromosomes selon la fonction fitness
12 : i = i+1
13 : jusqu'à i = $Iter_{max}$

III. 7 Conclusion

Le modèle de la carte proposé, construit sur la base d'un besoin identifié auprès des organismes de conception, permet et donne aux équipes de conception un outil d'aide au choix et de génération d'un processus de conception riche de méthodes et des outils pour chaque phase. Les dimensions de cette carte constituent un carrefour d'identification et d'assemblage des pratiques d'un organisme afin de réaliser une innovation avec succès. Elle permet l'implémentation d'un processus efficace et sur mesure pour pérenniser les activités de l'organisme et de garder le cap sur le marché.

Une telle carte est une contribution originale dans les sciences de conception par sa nature évolutive tout au long du développement du produit ainsi que son influence sur le comportement de l'équipe de conception dans un organisme où le processus de conception est absent où partiellement utilisé. Un autre point qui rend cette approche originale est la dimension métiers essentiels issues d'un processus de transfert d'une entité où organisme vers d'autres entités toutes en analysant des cas de la littérature. Cette dimension reste ouverte pendant le développement du produit ce qui diminue la quantité des itérations dans le processus de conception et entre les différentes phases et boucles.

Développer cet outil sous forme d'un logiciel est une finalité pour notre travail. Effectivement, la génération par simulation est basée sur une approche génétique d'identification et d'ajustement en fonction des paramètres identifiés selon la dimension produit (phase amont de conception).

Chapitre IV : Expérimentations

Note : Les résultats détaillés des produits développés pendant les expérimentations sont dans la partie annexe.

IV.1 Introduction

Cette partie de thèse a pour objet dans un premier niveau de recherche la vérification et la validation des hypothèses issues de l'étape recherche bibliographique et les perspectives des travaux de recherches effectués dans les deux laboratoires. Pour cela nous nous appuyons sur une approche d'exploration et d'application des méthodes, des outils et d'identification des métiers et de mesurer le gradient de leurs contributions dans le processus de conception.

Notre positionnement scientifique est caractérisé par l'exploitation des ressources de génie industriel et les ressources de sciences de conception à travers des études de cas et d'analyse de scénarios.

Dans une deuxième partie, nous revenons sur les enjeux d'une recherche en conception de produits aussi bien sur le plan organisationnel méthodologique que sur le plan scientifique. Tout d'abord, la sélection d'un processus de conception est importante pour une entreprise donc c'est un levier important d'innovation (objectif des expérimentations) ; à ce titre, cette recherche peut donc intéresser les responsables des différents entreprises (entité de recherche). D'autre part, notre recherche explore des thématiques scientifiques émergentes (Conception Centrée Utilisateur) et pluridisciplinaires (Conception Assistée par Ordinateur et Conception Assistée par Réalité Virtuelle) comme des environnements essentiels (2D, 3DCAO et virtuel) identifiés à travers le développement d'un outil d'aide au choix d'un processus de conception.

Les expérimentations ont pour but de montrer la contribution de la carte sémantique, de la modélisation jusqu'à la définition et la mise en place d'un processus de conception et l'identification des métiers (avec un ensemble d'outils et de méthodes) spécifiques aux phases du processus de conception. Nous montrerons :

- que la carte sémantique de classement aide à adapter un processus de conception,
- que l'identification des méthodes, outils et métiers essentiels pendant l'utilisation de la carte sémantique tridimensionnelle,
- qu'un outil d'aide au choix d'un processus de conception est nécessaire (génération et réalisation),
- que la validation de deux processus pour l'entité E contribue dans l'enrichissement de la carte de classement.

L'objectif de cette partie est de montrer que quelques soit la nature des produits, leurs contextes et leurs objectifs, les problèmes de la conception peuvent souvent être vus comme des problèmes d'accès à l'information et d'exploitation pour l'identification. C'est le cas d'adaptation et de génération d'un processus de conception. Ces problèmes se traduisent par des pertes de temps. Ainsi, l'accès à l'information, identifiés les outils nécessaires pour arriver a une conception innovante sans échec est essentiel pour réduire les temps de conception. Le temps gagné peut servir pour innover de plus, pour économiser sur les coûts de développement, soit pour acquérir une position concurrentielle plus avantageuse. Ces problèmes d'accès à l'information justifient en fait la nécessité d'un outil d'aide au choix. La Figure IV. 1 donne un aperçu sur la nécessité d'un outil qui guide au choix (génération où adaptation) d'un processus de conception.

Dans ce chapitre, nous présenterons différents cas de développement de produits qui serviront à valider l'hypothèse globale et les sous hypothèses. La présentation d'exemples de développement des produits, de type d'organisme et les acteurs montrera la contribution dans les sciences de la conception.

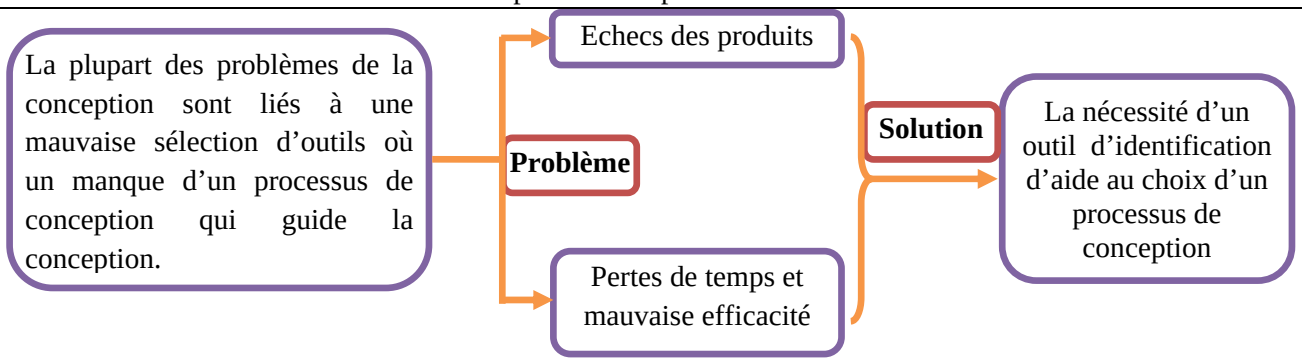


Figure IV. 1: besoin d'un outil d'aide au choix et d'identification des métiers et des processus de conception

La première expérimentation consiste à analyser le comportement des équipes de conception dans un organisme qui développe des produits sans un processus de conception bien structuré. Des produits sont à développer par l'équipe de conception, le suivi du développement et les pratiques de cette équipe ainsi que les outils et les méthodes utilisées sont mesurés ; l'équipe de conception n'est pas informer sur des objectifs et de la finalité de ce travail.

L'objectif de la deuxième partie de la première expérimentation est l'exploitation de la carte sémantique, l'influence des processus de conception, les méthodes et les outils associés sur le développement de produits sélectionnés et étudiés dans cette expérimentation. Cette partie de l'expérimentation montre que les pratiques réalisées pendant la première partie de l'expérimentation nous a permis de sélectionner les méthodes et les outils liées a chaque phase du processus de conception. Cette sélection nous permettra d'identifier Les métiers essentiels pour le processus et de montrer que selon la complexité du produit les métiers et la nature du processus changent, d'où l'intérêt de modéliser les métiers dans le cadre de projets pour lesquels ils sont utiles.

Nous avons choisi d'étudier les différents processus ainsi que les méthodes et les outils liés à ces processus afin de reformuler notre carte et d'en tirer des métiers essentiels accompagnant le processus. Les méthodes, outils et métiers sont validés par des expérimentations car ils constituent des éléments concrets pour les concepteurs. Un autre avantage de nos expérimentations est que les connaissances produites sont construites et validées par une expérience réelle.

Pour valider l'hypothèse globale, les cas expérimentaux seront présentés par rapport aux cas de la nature du produit sous l'aspect exploration avec et sans processus de conception. L'exploration, au sens où nous l'entendons, représente l'étude des métiers identifiés par la carte sémantique. Concrètement les métiers que nous avons observés et explorés se présentent sous la forme d'une liaison de méthodes et d'outils méthodologiques, qui montrent une volonté de la part d'un concepteur de transférer son savoir-faire. Les produits et les organismes étudiés ici ont été choisis en fonction des critères de sélection suivants :

- l'engagement des membres de l'organisme (la disponibilité des équipes de conception),
- la capacité à analyser et à formuler des plans d'action pour un produit et pour un processus,
- le changement du produit en cours de processus,
- le nombre d'éléments méthodologiques intégrés dans le processus de conception,
- l'adaptation aux stimulations de l'environnement.

Cette première expérimentation nous a permis de valider la sous hypothèse H1 et répondre à l'ensemble de la problématique et donner un aspect d'application de l'outil développé auprès des utilisateurs.

Une deuxième expérimentation est basée sur les résultats de la première expérimentation. L'objectif de cette dernière est de valider deux processus de conception élaborés et finalisés pendant la première expérimentation, processus I et processus II. La validation est basée sur la notion adaptation-application-génération. Les produits développés pendant cette expérimentation appartiennent aux mêmes familles des produits de la première expérimentation, le changement est la fonction des produits (l'utilisation et la nature : prothèse de genou et prothèse de la hanche). Les processus re-générer pendant cette expérience valident les hypothèses et la problématique de recherche et l'outil développé.

L'objectif de la troisième expérimentation est l'analyse des pratiques réalisées pendant la première et la deuxième expérimentation afin de valider et enrichir la troisième dimension de l'outil « la dimension métiers essentiels ». L'identification des métiers sollicités et pratiqués pendant cette expérimentation, et les projetés sur les deux catégories identifiées des processus de conception I et II, offre à l'entité une vision sur les ressources qu'il faut employées et sollicitées pour le développement.

Nous nous appuyons sur un transfert entre le LCPI et le LSM dans une étape ultérieure des expérimentations réalisées (la deuxième partie de la troisième expérimentation). Ce transfert est basé sur la validation de la carte sémantique et l'appréciation des résultats de l'outil de génération par des spécialistes dans le domaine de processus de conception. C'est un travail d'évaluation basé sur l'analyse du besoin et l'identification des perspectives des spécialistes sur les processus de conception. Les avis des équipes de conception pendant la première et la deuxième expérimentation sont considérés comme un point de départ pour la formalisation du besoin global et les sous besoins.

Les résultats de ce chapitre sont une contribution aux sciences de conception et de gestion des projets de conception et d'innovation à travers la validation d'un outil « Carte sémantique tridimensionnelle » et des processus de conception spécifique pour une entité. Cette contribution est le fruit d'un travail entre deux laboratoires de recherche et un terrain d'expérimentation vaste (les intervenants pour l'évaluation et développement des produits).

Ce travail se positionne sur l'axe de recherche du LCPI « Optimisation du processus de conception », et l'axe de recherche du LSM « conception des produits innovant et robuste ».

V.2 Cadre de la première expérimentation : Analyse des équipes de conception avant et après l'utilisation de la carte sémantique

IV. 2. 1 Introduction

Cette première expérimentation a pour objectif l'analyse des équipes de conception autour de certains produits. Les critères que nous avons retenus pour caractériser un produit sont ; la complexité technologique (mécanique, électronique, télécommunication…), son usage (grand public, limité, …), sa fabrication (prototype, série, cycle de maintenance…), son environnement (consommation, dégradation, …) et sa fin de vie (recyclage, décontamination, …). Concrètement, le résultat de cette approche sera confondu avec des projets de conception en cours, afin d'apprécier deux situations distinctes utilisant le même cahier des charges de conception. L'objectif de cette première expérimentation, est de laisser les concepteurs proposer une démarche sans l'utilisation de la carte sémantique, la synthèse de ces observatoires viendra confirmer la nécessité d'un outil d'aide au choix. Cette première expérimentation, est considérée comme une première étape dans cette recherche.

Nous décrirons dans cette partie la description des différents produits développés dans différents organismes (laboratoire de recherche, entreprise) afin d'observer la nature des produits à concevoir.

Les différents modes de fonctionnement de la conception dans les organismes étudiés nous montrent l'intérêt de proposer un outil d'assistance d'aide au choix d'un processus de conception. De plus l'analyse des différentes types de conception a permis d'implémenter la notion innovation.

V 2. 2 Méthode

Nous souhaitons identifier des pratiques des équipes de conception. Dans une optique de conception centrée utilisateur, nous envisageons de nous adresser directement à eux. Plusieurs méthodes s'offrent alors à nous **(Brangier and Barcenilla, 2003)** : **les groupes de discussion, l'entretien semi-dirigé, le questionnaire ou l'observation.**

Un groupe de discussion, ou *focus group*, se compose d'une dizaine d'utilisateurs s'exprimant librement sur un produit ou service durant une séance, le tout coordonné par un animateur. Cette méthode exige de la part des utilisateurs une connaissance minimale du produit ou service à évaluer. Or, à ce stade de l'expérimentation, nous ne savons pas quels sont les systèmes d'aide au choix des méthodes utilisés par les utilisateurs et même, si il en existe effectivement dans leur environnement de travail. Ainsi, dans un premier lieu nous adaptons cette méthode de recueil du besoin pour déterminer les outils existants dans ces organismes.

Lors d'une observation directe, l'analyste observe une situation réelle et collecte l'ensemble des données en lien avec l'activité de l'utilisateur. Cette technique ne s'applique qu'à l'étude des expertises ayant de fortes composantes comportementales ou gestuelles. Or, en ce qui concerne l'activité de sélection des méthodes de conception, le concepteur raisonne et prend sa décision sans manifester une quelconque activité extérieure. L'entretien et le questionnaire sont deux méthodes utilisées classiquement en conception. Malgré leurs avantages avérés (expertise minimale de l'expérimentateur et ressources limitées pour la mise en œuvre des méthodes dans leur version de base), elles comportent elles aussi certaines limites.

D'une part, elles impliquent toujours un décalage dans le temps et dans l'action, si bien qu'elles entrainent une vision déformée des connaissances. D'autre part, certains biais liés à l'évocation explicite des

faits sont à noter. Les données de sortie de ces deux techniques sont de nature différente : l'entretien vise l'obtention de données qualitatives alors que le questionnaire aboutit à des données quantitatives exploitables statistiquement. Dans notre étude, nous souhaitons obtenir une vision fine de l'activité des concepteurs et chefs de projet en matière de choix des méthodes et outils de conception.

Nous visons l'obtention de données qualitatives et quantitative, ce qui nous oriente vers le choix de la méthode d'observation et d'entretien. De plus, les entretiens sont particulièrement adaptés lorsque l'on souhaite recenser les besoins des utilisateurs.

IV. 2. 3 Nature de la conception et les équipes de conception

L'objectif de cette expérimentation est de remarquer l'activité de conception d'un produit innovant au sein d'un organisme qui ne s'appui pas sur un processus de conception. Nous développons dans cette expérience certains produits. Ces produits permettent d'avoir une représentation quantitative de méthodes et des outils liées à la pratique de la conception appuyée par les connaissances des acteurs de cette conception et l'absence d'un processus structuré.

IV. 2. 3. 1 Nature de la conception dans l'entité E

L'entité E est constituée d'une équipe de concepteurs qui maîtrise certains outils et méthodes de conception (cette équipe est un ensemble de disciplines de génie mécanique) selon le tableau suivant :

	Concepteur 1	**Concepteur 2**	**Concepteur 3**
Nombre d'années dans l'équipe de conception	23	14	10
Les outils de conception	Les environnements CAO et les outils de base	Les environnements CAO, CARV	Les environnements CAO
La nature de la conception	routinière	Routinière innovante	routinière
Les méthodes de la conception	Connaissances de base	Les méthodes d'innovation	Connaissances de base
La relation avec les autres concepteurs	Echange basé sur l'exploitation	Animation, coordination et échange	Echange basé sur l'exploitation
Les outils d'aide à la décision	Analyse sur une base de connaissances	Critères d'aides à la décision	Analyse sur une base de connaissances

Tableau IV. 1 : caractéristiques de l'équipe de conception dans l'organisme A

Cette entité E, voulait bien créer une innovation par l'adaptation d'un processus de conception ou reformulation de ces activités de l'état 0 qui est la conception aléatoire de produits vers l'état 1 qui est une conception innovante de produits, afin de maintenir son poids dans le domaine de développement des produits.

La nature de l'activité de l'entité E est la conception. Certains produits ont fait partie des activités de formation au sein de l'organisme d'où l'extension vers une deuxième équipe de conception qui les développe comme l'indique le Tableau IV. 2.

	Concepteur 1	Concepteur 2	Concepteur 3	Concepteur 4	Concepteur 5	Concepteur 6
Nombre d'années dans l'équipe de conception	03	03	03	04	04	04
Les outils de conception	Les outils de DAO et de simulation numérique	Les outils de DAO et de simulation numérique	Les outils de DAO et de simulation numérique	Les outils CAO, FAO et de simulation numérique	Les outils CAO, FAO et de simulation numérique	Les outils CAO, FAO et de simulation numérique
La nature de la conception	Conception préliminaire	Conception préliminaire	Conception préliminaire	Conception structurée	Conception structurée	Conception structurée
Les méthodes de la conception	Ressources cycle de formation	Ressources cycle de formation	Ressources cycle de formation	Ressources cycle de formation	Ressources cycle de formation	Ressources cycle de formation
La relation avec les autres concepteurs	Echanges sur les connaissances	Echanges sur les connaissances	Echanges sur les connaissances	Echanges sur les connaissances et la nature de conception	Echanges sur les connaissances et la nature de conception	Echanges sur les connaissances et la nature de conception
Les outils d'aide à la décision	Consultation des chefs des projets	Consultation des chefs des projets	Consultation des chefs des projets	Consultation des chefs des projets	Consultation des chefs des projets	Consultation des chefs des projets

Tableau IV. 2 : caractéristiques de la deuxième équipe de conception dans l'organisme A

IV. 2. 3. 2 Nature des produits à concevoir

Certains de ces produits avaient pour origine un besoin externe exprimé sans un cahier de charges détaillé, l'étude de ces produits aide l'entité E à rentrer dans des réseaux de partenariats et de développer des connaissances nécessaires à la pérennité de l'entité E, par le développement innovant des produits. D'autres produit sont issus d'un besoin interne par l'entité E ont été réalisés afin de résoudre des problèmes techniques par de la R&D.

Les différents produits que nous allons étudier afin de valider notre approche et d'argumenter les critères de développement de notre outils sont les suivants :

Produit PEXT 1 : conception & réalisation d'une prothèse totale de genou

Produit PEXT 2 : conception & réalisation d'une prothèse totale de la hanche

Produit PEXT 3 : conception & réalisation d'une orthèse dynamique

Produit PEXT 4 : conception & réalisation d'un goniomètre de mesure

Produit PINT 1 : conception & réalisation d'un moule à injection plastique pour les engrenages

Produit PINT 2 : conception & réalisation des engrenages plastiques

A l'issue de ces différents produits nous pouvons identifier différents modes de fonctionnement de la conception dans l entité E. nous pouvons ainsi distinguer les éléments qui mènent vers des résultats positifs de

ceux qui mènent vers des échecs. Ces différents modes de fonctionnement se situent par rapport aux contextes des produits, leurs objectifs et les moyens utilisés.

Le développement détaillé de ces produits est indiqué dans les annexes de ce document. Dans la suite on note seulement les résultats importants ainsi les schémas liés au protocole expérimental.

IV. 2. 4 Conception d'un produit par une équipe de conception sans l'utilisation de la carte

IV. 2. 4. 1 Produit PEXT 1 : conception d'une prothèse totale de genou

L'étude de la prothèse totale de genou a été réalisée dans le cadre d'une collaboration avec les services de la santé afin de proposer des produits innovants liés à la nature morphologique d'une part et d'autre part à la nature des pratiques chez la population de l'Afrique du Nord. Dans cette première expérimentation nous avons suivi l'activité conception au sein de l'entité E et avec l'équipe de conception indiquée au Tableau IV. 2.

Cahier des charges

Déterminer des tailles sur mesure pour chaque patient. L'objectif consiste à concevoir, innover, créer et réaliser un produit à partir d'un besoin. Le produit envisagé peut être entièrement nouveau ou être l'amélioration d'un produit existant. L'objectif est de **Réaliser la conception d'une prothèse totale de genou sur mesure.** La conception de ce produit fait appel à des connaissances dans divers domaines.

Pour ce premier produit il n ya pas de cahier des charges fonctionnel entre le demandeur et le concepteur, d'où l'hébergement de ce projet dans l'entité E qui pratique la conception sans un processus structuré. Pour y arriver l'équipe de conception réalise les tâches suivantes :

- **Rassembler les informations, réunir une documentation**
- **Prévoir un programme d'action**
- **Déterminer les outils de réalisation**

Données à l'entrée

Pour évaluer l'activité de conception pour ce produit, les acteurs de conception ont comme seule consigne de pratiquer la conception quotidienne pour ce produit sans avoir pris connaissance de la deuxième étape de l'expérimentation (utilisation de la carte).

Données collectées

Dans un premier niveau les données sont collectées à partir d'une situation de discussion, d'observation et d'assistance. L'objectif est d'analyser par la suite les activités des équipes de conception afin de proposer une méthode de réalisation d'un processus de conception en s'appuyant sur un outil d'aide.

Résultats

Cette expérience montre combien il est nécessaire d'approfondir l'intégration des outils et des méthodes innovantes au sein d'un organisme qui pratique une conception sans le soutien d'un processus. Pour être pertinent, il faut se poser les bonnes questions sur les nouvelles ressources à intégrer:

- En quoi l'intégration de nouvelles ressources pose problème dans le fonctionnement des entreprises ?
- Quel est le fonctionnement des entreprises ? Ce fonctionnement est-il compatible avec les nouvelles ressources à intégrer?
- Quels types de problèmes sont rencontrés ? Est-il possible de les résoudre avec cette solution ?

- Problèmes de non-rentabilité ? Est-ce que l'investissement dû à l'intégration de la nouvelle ressource peut être risqué ?
- Quelle valeur ajoutée est attendue ?
- Y-a-t-il des problèmes de complexité et de non compréhension ?

Analyse du cahier des charges

Comme le cahier des charges n'était pas bien détaillé, l'équipe de conception et à travers un groupe de discussion, exprimant librement sur le produit durant des séances échelonnées sur une période d'un mois à raison d'une séance de deux heurs environ chaque semaine, le tout coordonné par un animateur. Cette méthode adoptée par l'équipe de conception est volontaire et elle vise l'acquisition de la part des concepteurs de connaissances minimales du produit auprès des utilisateurs. Or, pour l'équipe de conception c'est une méthode d'échange et de clarification du besoin qui nécessite de l'analyse.

La notion « produit innovant » est indiquée et soulignée par l'ensemble de l'équipe de conception. Elle arrive à la conclusion de « proposer un nouveau produit toutes en considérons les activités liées à ce produit ». Aucun membre de cette équipe n'a évoqué tout au long de cette expérience l'impact des produits existants par rapport aux produits développés. La notion de l'équipement lié à ce produit n'est pas mentionnée.

Les outils et les méthodes de conception employés

Après l'étape analyse du besoin identifié dans le cahier des charges, et comme l'entité E n'a pas de processus de conception à suivre pour ce type de produits, les différents acteurs de la conception se sont appuyés sur leurs connaissances pour développer le produit. Tout au long de la période de développement du produit nous avons identifiés les outils et les méthodes employés par les acteurs de la conception.

	Méthodes	Outils	Environnement
Traduction du besoin	Propre initiative de l'équipe	XX	Séance de discussion
Interprétation du besoin	XX	Analyse préliminaire des tâches	Séance de discussion
Définition de la solution	XX	Technique de reverse engineering	Environnement CAO
Evaluation de la solution	Analyse de la conception	Simulation + résultats de la littérature	Environnement CAO + FAO

Tableau IV. 3 : les outils et les méthodes employées pour développer le produit

Analyse des Données collectées

D'après les résultats du Tableau IV. 3 en remarque que la seule dimension dominante au sein de cette équipe de conception sont les métiers ou ressources, et cela est dû à la formation de la personne en charge du développement de produits.

Nous avons en effet cherché à **analyser la pratique de la conception dans un organisme sans un processus de conception ainsi que l'utilisation des méthodes de conception**. Cette analyse a été réalisée tout d'abord d'un point de vue global :

« Quelle est la stratégie suivie pour développer le produit ? Combien de méthodes différentes ont été utilisées en moyenne sur ce projet ? » ; Puis de manière plus détaillée : « Quels sont les types de méthodes utilisées et leurs répartitions sur ce projet ? Quelles sont les méthodes utilisées de façon systématique et celles qui relèvent de la spécificité de chaque membre de l'équipe de conception? ». D'autres données ont été extraites en vue d'une analyse qualitative. L'objectif étant ici de **vérifier si l'innovation est réalisée ainsi que son taux de réussite du produit**, et quels sont par conséquent les paramètres mis en jeu lors de cette démarche. De ces paramètres, découleront les **premières règles** de choix et de sélection de la carte sémantique.

Résultats

Les concepteurs font avant tout référence à leur formation ainsi qu'à leurs expériences antérieures lors de la sélection des méthodes et les outils de conception. Ainsi, on retiendra que pour les concepteurs, les notions d'expertise méthodologique (en référence au degré de compétence du concepteur dans la mise en œuvre de la méthode), de jugement (qui peut être pour une même méthode positif, négatif ou neutre selon les individus) et d'habitudes (qui différencient les méthodes favorites des autres méthodes) constituent un référence pour pratiquer la conception.

Discussion

L'obtention d'une description de la conception au sein de l'entité E sur l'étude de cas de développement d'un produit est nécessaire afin de déterminer une approche originale par la proposition d'un outil d'accompagnement pendant la conception au vu de la diversité des activités à réaliser. En effet, pour mener à bien un projet de développement de produits nouveaux, le concepteur entreprend des actions qui font appel à des mécanismes différents (abstraction, génération, sélection, etc.). Ceci implique l'utilisation de méthodes diverses et variées. Ainsi, les concepteurs doivent disposer d'un **large éventail de méthodes** de conception.

Certaines familles de méthodes ont été représentées pendant le développement du produit. Il s'agit tout d'abord des méthodes de CAO et de reverse engineering. L'emploi de ce type de méthodes n'est pas suffisant parce qu'il manque une variante qui est le souci permanent de concevoir un produit au plus près des attentes **des clients et futurs utilisateurs**. Ce qui explique le manque des méthodes de créativité pendant la réalisation de ce projet. De plus, il est important de noter que l'organisation de séance de créativité fait appel à une combinaison de méthodes. Créativité et évaluation sont souvent décrites comme des activités transverses tout au long du projet de développement de produits. Enfin, les méthodes de veille et de recherche d'informations ont été également absentes sur ces projets. En effet, il est important de rappeler ici que la plupart des projets de conception sont des innovations incrémentales qui se basent sur l'existant.

Les démarches de conception mise en œuvre par l'organisme A sont souvent peu formalisées et peu structurées. Dans ces démarches, c'est plutôt l'expérience des concepteurs qui constitue la base de l'activité de conception. Ce qui marque le plus dans ces démarches c'est une orientation systématique à concrétiser très vite le produit. Au contraire de ce qui est recherché, cette démarche intuitive est coûteuse et consommatrice de temps à cause de sa logique d'essai/erreur.

L'ensemble de la démarche de cette première expérience est résumé sur le Tableau IV. 4.

Besoin	Identification **Les travaux cités dans cette optique sont traités dans des laboratoires de biomécanique spécialisés. En fait, c'est la première fois que ce thème soit traité au niveau de l'EMP. En revanche l'enjeu économique et social des prothèses de genou en Algérie prouve son importance parmi les préoccupations du ministère de la santé et de l'habitat** Marché : **Etude de cas sur mesure, le reste du marché est abandonné par les concepteurs**
Analyse de cahier des charges	**Analyse du besoin :** le besoin, n'est pas exprimé sous forme fonctionnelle, donc la constitution du système à concevoir est difficile. Ainsi, le champ des solutions n'est pas toujours valable et les échecs sont en évolution. **Retour :** L'équipe de conception n'a pas exigé un retour pour avoir un cahier de charges fonctionnel, elle est basée seulement sur les séances d'échange organisées **Données :** Les entrées et les sorties sont résumés en un produit sur mesure
Définition de la solution	**Données d'entrées :** Des images de genou scanné de différents patients. **L'approche adoptée :** L'équipe de conception a opté pour une méthode de modélisation qui comprend la génération des modèles CAO-3D à partir des résultats de la segmentation. Ces étapes seront présentées d'une manière plus explicite dans ce chapitre. La phase de modélisation CAO-3D est réalisée d'une façon semi-automatique à l'aide de la fonctionnalité Scan To 3D du logiciel SolidWorks. Cette partie est faite en deux étapes principales. **Méthode d'analyse :** L'étude est portée uniquement sur la phase position du cycle de marche, car dans la phase oscillation, les contraintes présentes au niveau de l'articulation du genou sont très faibles et généralement réparties sur les muscles et les ligaments. L'équipe de conception a choisi d'étudier les deux composants (l'implant fémoral et l'insert en PE) d'une PTG dont le modèle éléments finis est développé dans le module CosmosWorks de SolidWorks.
Méthodes de conception sollicitées dans ce projet	**Analyse du besoin :** Quelques séances autour d'une table ronde **Les environnements :** L'ensemble des concepteurs utilisent l'environnement CAO et les outils de reverse engineering pour développer le produit **Calculs et simulation** L'utilisation des outils liés aux environnements CAO pour réaliser les calculs et simulation **Prototypage :** L'utilisation des outils liés aux environnements FAO pour réaliser des prototypes
Outils de conception sollicités dans ce projet	Un ensemble d'outils liés aux méthodes de conception sollicitées ainsi que les environnements utilisées
Evaluation de la solution	**Prototype CAO :** L'équipe de conception et à travers les séances d'échange avec les spécialistes n'arrive pas à évaluer proprement le modèle CAO du produit et cela est justifié par la non maîtrise de cet outil par les spécialistes. **Prototype Physique :** Le prototype physique réalisé par des moyens de FAO est critiqué sur plusieurs plans, notamment par les spécialistes qui recommandent des solutions et des corrections sur le modèle initiales.
Conclusion	L'absence d'un processus de conception au sein de cet organisme et malgré les compétences de l'équipe de conception ainsi que les outils développés pour ce produit et les méthodes de conception employés le produit à connu un échec dans des phases préliminaires. Réévaluation et la correction des lacunes signalées sur le produit à consommer un temps, de plus et des efforts de la part des concepteurs. D'où la nécessitée d'un processus de conception.

Tableau IV. 4 : les outils et les méthodes employées pour la réalisation d'une prothèse sur mesure par une équipe de conception –sans carte sémantique-

IV. 2. 4. 2 Produit PINT 1 : conception & réalisation d'un moule à injection plastique pour les engrenages

L'étude des engrenages plastiques a été réalisée dans le cadre d'une collaboration interne entre laboratoires afin de répondre à un besoin identifié pendant les cycles de maintenance de différents équipements. Cette étude devrait aboutir à la production de ces engrenages. Dans cette deuxième expérimentation nous avons suivi l'activité conception au sein de l'entité E et avec la participation de l'équipe de conception indiquée au Tableau IV. 2.

Cahier des charges :

Réaliser des engrenages en plastique selon les indications des équipes de maintenance. L'objectif consiste à concevoir et réaliser un produit à partir d'un besoin. Le produit concerné peut être entièrement nouveau ou peut être l'amélioration d'un produit existant. La conception de ce produit fait appel à des connaissances dans des divers domaines.

Pour ce deuxième produit il n ya pas un cahier des charges fonctionnel entre le demandeur et le concepteur, d'où l'hébergement de ce projet dans l'entité E, ce dernier qui pratique la conception sans un processus structuré. Pour y arriver l'équipe de conception réalise les tâches suivantes :

- **Rassembler les informations, réunir une documentation**
- **Prévoir un programme d'action**
- **Déterminer les outils de réalisation**

Données à l'entrée :

Pour évaluer l'activité de conception pour ce produit, les acteurs de conception ont comme seule consigne de pratiquer la conception habituelle pour ce produit sans avoir énoncer la deuxième étape de l'expérimentation (utilisation de la carte).

Données collectées

Dans un premier niveau les données sont collectées à partir d'une situation de discussion, d'observation et d'assistance.

Résultats

Cette expérience montre combien il est nécessaire d'approfondir l'intégration des outils et des méthodes innovantes au sein d'un organisme qui pratique une conception sans le soutien d'un processus.

La conception du Produit PINT 1 : conception & réalisation d'un moule à injection plastique pour les engrenages

Comme le cahier des charges n'était pas bien détaillé, le besoin exprimé est la réalisation des engrenages plastiques. L'équipe de conception, et à travers une discussion interne, est dirigée vers la réalisation d'un moule à injection plastique. Cette méthode adoptée par l'équipe de conception est volontaire et elle vise l'acquisition de la part des concepteurs une solution minimale pour ce produit. Or, pour l'équipe de conception c'est une méthode d'échange et de clarification du besoin qui nécessite de l'analyse.

Aucun membre de cette équipe à indiqué tout au long de cette expérience l'impact des produits et des solutions existants ainsi que leur influence par rapport à aux produits développées.

Les outils et les méthodes de conception employées

Après l'étape analyse du besoin identifié dans le cahier des charges et comme l'entité E n'a pas un processus de conception à suivre, les différents acteurs de la conception ont utilisé sur leurs connaissances pour

développer le produit. Tout au long de la période de développement du produit nous avons identifiées les outils et les méthodes employées par les acteurs de la conception.

	Méthodes	Outils	Environnement
Traduction du besoin	Propre initiative de l'équipe	XX	XX
Interprétation du besoin	les activités de l'équipe	Analyse préliminaire des tâches	XX
Définition de la solution	XX	Feuille de Calcul et notions de base	Environnement CAO
Evaluation de la solution	XX	Mise en plan	Environnement CAO + FAO

Tableau IV. 5 : les outils et les méthodes employées pour développer le produit

Analyse des Données collectées

D'après les résultats du Tableau IV. 5 on remarque que la seule dimension dominante au sein de cette équipe de conception est les métiers ou ressources et cela est dû à la formation de l'individu en charge du développement de produits.

Discussion

Certaines familles de méthodes ont été représentées pendant le développement du produit. Il s'agit tout d'abord des méthodes de calcul empirique, des mises en plan et de FAO. Il est important de noter que l'organisation de séance de créativité fait appel à une combinaison de méthodes. Les méthodes de veille et de recherche d'informations ont été également absentes sur ces projets.

Les démarches de conception mise en œuvre par l'entité E sont souvent peu formalisées et peu structurées. Dans ces démarches, c'est plutôt l'expérience des concepteurs qui constitue la base de l'activité de conception. Ce qui marque le plus ces démarches c'est une propension systématique à concrétiser très vite le produit. Au contraire de ce qui est recherché, cette démarche intuitive est coûteuse et consommatrice de temps à cause de sa logique d'essai/erreur.

L'ensemble de la démarche de cette deuxième expérience est résumé sur le Tableau IV. 6.

Besoin	Identification **Les travaux cités dans cette optique sont traités dans les pratiques de la conception rotinière. En fait, c'est une pratique innovante car les engrenages réalisés par les équipes de conception ce sont de matériaux non-plastique (acier, aluminium, …). En revanche l'enjeu économique des engrenages plastiques est très important** Marché **Etude de cas sur la maintenance, le reste du marché est abandonnée par les concepteurs**
Analyse de cahier des charges	**Analyse du besoin** le besoin, n'est pas exprimé sous forme fonctionnelle, donc la constitution du système à concevoir est difficile. Ainsi, le champ des solutions n'est pas toujours valable et les échecs sont en progression. **Retour** L'équipe de conception n'a pas exigé un retour pour avoir un cahier de charges

	fonctionnel, elle est basée seulement sur les connaissances dans le domaine **Données** Les entrées et les sorties sont résumés en un produit de rechange.
Définition de la solution	**Données d'entrées** Des pièces usées et non fonctionnelles. **L'approche adoptée** L'équipe de conception opte pour une méthode de modélisation qui comprend des mesures dans un laboratoire de métrologie et à partir de ces données, des calculs empiriques sont établis. La phase de réalisation est exécutée d'une façon semi-automatique à l'aide du logiciel SolidWorks. Cette partie est faite en deux étapes principales. **Méthode d'analyse** L'étude est portée sur la phase dimensionnement du moule et sur les résultats obtenus après injection.
Méthodes de conception sollicitées dans ce projet	**Analyse du besoin :** Quelques séances autour d'une table ronde **Les environnements :** L'ensemble des concepteurs utilisent l'environnement CAO et FAO **Calculs et simulation** L'utilisation des outils liés aux environnements CAO et FAO pour réaliser les calculs et simulation **Prototypage** L'utilisation des outils liés aux environnements FAO et méthodes d'usinage conventionnel pour réaliser le moule
Outils de conception sollicités dans ce projet	Un ensemble d'outils liés aux méthodes de conception et de prototypage sollicitées ainsi que les outils de fabrication
Evaluation de la solution	**Prototype CAO** le modèle CAO du moule est bien établi et cela s'explique par la maîtrise de cet outil par les équipes de conception. **Prototype Physique du moule** Le prototype physique du moule réalisé par des moyens de FAO est bien réalisé et cela s'explique par la maîtrise de l'environnement FAO. **Résultat de l'injection** A ce stade il y a un échec sur le produit. L'analyse de l'échec à montré que l'équipe de conception n'a pas appuyée sur les connaissances des spécialistes dans le domaine des produits plastiques
Conclusion	L'absence d'un processus de conception au sein de cet organisme et malgré les compétences de l'équipe de conception ainsi que les outils développés pour ce produit, le produit a connu un échec dans des phases avancées de la conception. La réévaluation et la correction des lacunes signalées sur le produit à consommer un temps complémentaire et des efforts de la part des concepteurs. D'où l'intérêt d'un processus de conception.

Tableau IV. 6 : les outils et les méthodes employées pour la réalisation d'un engrenage plastique –sans carte sémantique-

IV. 2. 4. 3 Synthèse & Discussion:

Sur les deux produits développés par les équipes de conception, plus de 10 méthodes de conception ont été utilisées. Comme est indiqué sur la figure IV. 2, Il y a une grande différence dans la nature des deux produits par contre la même équipe développe les deux produits. Certaines méthodes sont centrées sur l'analyse du besoin, d'autres se focalisent sur la recherche des concepts, d'autres sur la conception détaillée du produit et d'autres sur la réalisation du produit.

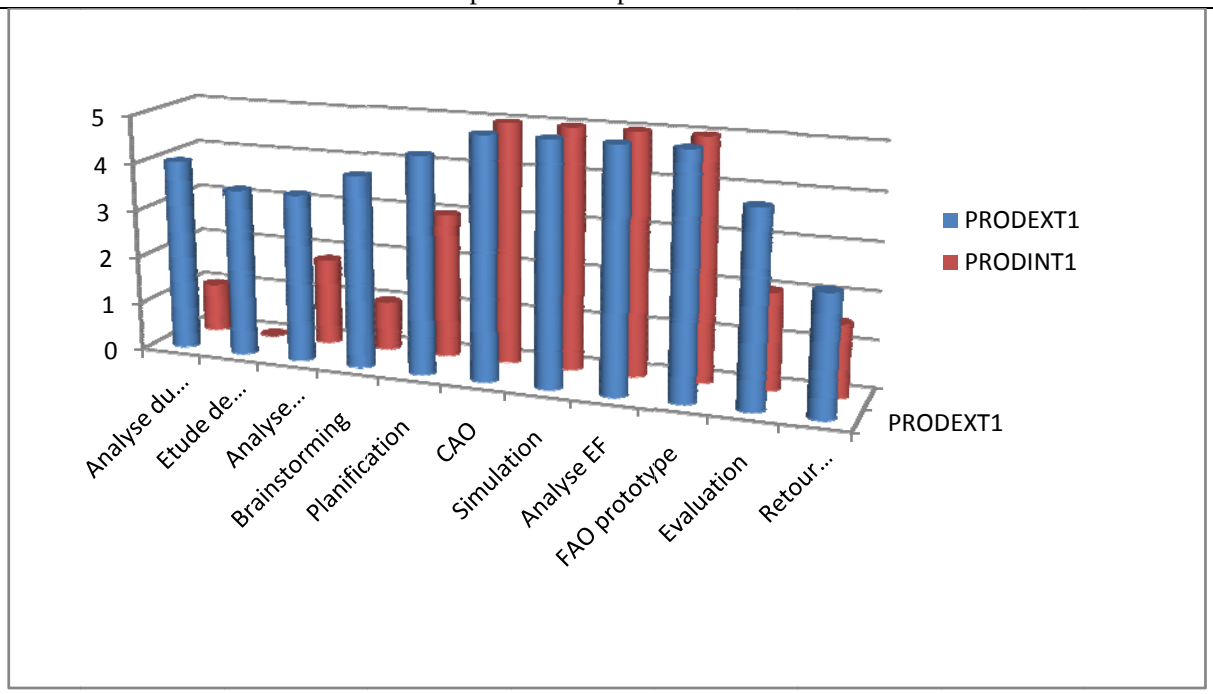


Figure IV. 2: répartition des connaissances sur les deux produits.

La capitalisation des connaissances, c'est de considérer les connaissances utilisées et produites comme un ensemble de richesses constituant un capital apte à être actualisé (enrichir, mettre à jour…) et partages entre les acteurs d'un projet dans l'objectif d'augmenter la valeur de ce capital. La projection des méthodes et outils sur les phases d'un processus de conception montre la répartition des outils utilisés pour les deux produits par rapport aux phases (figure IV. 3).

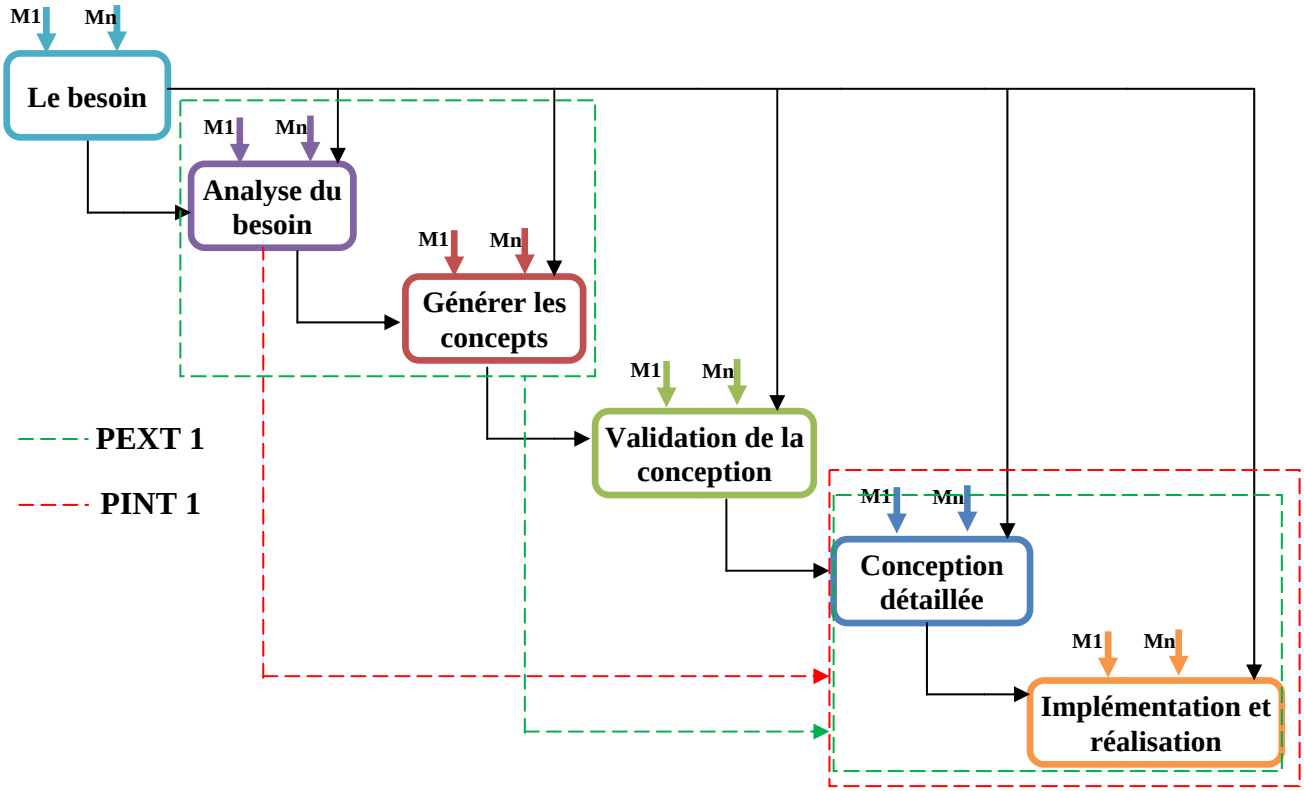


Figure IV. 3 : Projection des activités de l'équipe de conception sur les phases du processus de conception

La Gestion des Connaissances est une démarche pluridisciplinaire visant à atteindre l'objectif fixé grâce à une exploitation optimale des connaissances de l'entreprise. La gestion des connaissances, externes et surtout

internes, est un concept qui peut paraître similaire de part son support technique mais qui présente une importance stratégique sur le plan du management de l'entreprise. **Certaines connaissances sont perdues des dictionnaires des équipes de conception et cela est dû au non pratique de ces connaissances**.

Les deux produits développés dans cette partie par des équipes de conception montrent que les connaissances sont liées aux pratiques des concepteurs et leurs natures de formation. Les échecs de ces produits à des stades différents de la conception (échec dans la phase préliminaire du premier produit et dans la phase finale du deuxième produit) sont causés par un manque d'un processus de conception qui guide le développement du produit.

Un tel processus qui intègre des utilisateurs dans les différentes phases de conception, et indique les outils et les méthodes liées à chaque phase, est un facteur de réussite pour les entreprises et les équipes de conception. Comme le montre la figure IV. 3 ; la projection des méthodes et les outils employés par les équipes de conception sur un modèle complet de processus de conception donne un aperçu sur le modèle du processus de conception pour cette entité. L'impact des phases et les métiers sur le produit est traduit par une exploitation où développement d'un outil susceptible d'accompagnement l'équipe de conception dans le développement d'un produit innovant.

Cette première analyse nous permet de dresser un premier constat. Au vu du nombre élevé de méthodes existants, de leur diversité, on souligne la nécessité et la difficulté inhérente à l'activité de sélection des méthodes de conception. D'où la notion évoquée sur l'outil **«Dimension Métiers Essentiels ».**

A la question : pourquoi avoir utilisé ces méthodes et outils de conception ?

Les acteurs de conception justifient leurs choix, Figure IV. 4, en premier lieu d'atteindre les objectifs avec les ressources disponibles et maitrisés par les acteurs. D'autre citent l'adéquation des outils avec le produit.

Ce critère soulève la notion de temporalité lors du choix des méthodes. Enfin, d'autres personnes ont mentionné le fait que certaines méthodes pouvaient leur être imposées.

D'autres encore, ont évoqué le fait qu'elles correspondaient tout simplement à un maîtrise (une formation où exercice), ou même que le choix était tout simplement le fruit du hasard. Ainsi, on retrouve en filigrane de ces réponses les avantages associés aux méthodes, mais également leurs critères de choix en lien avec le contexte et leurs caractéristiques intrinsèques.

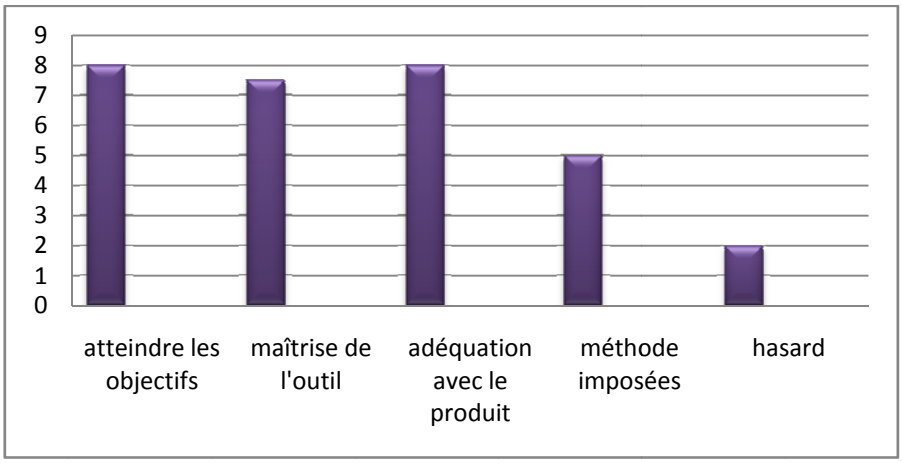


Figure IV. 4 : le choix des méthodes et outils selon les acteurs des équipes de conception

La répartition des tâches de conception entre les acteurs de la conception et le transfert de connaissances et les flux d'information sont illustrés sur la figure IV. 5.

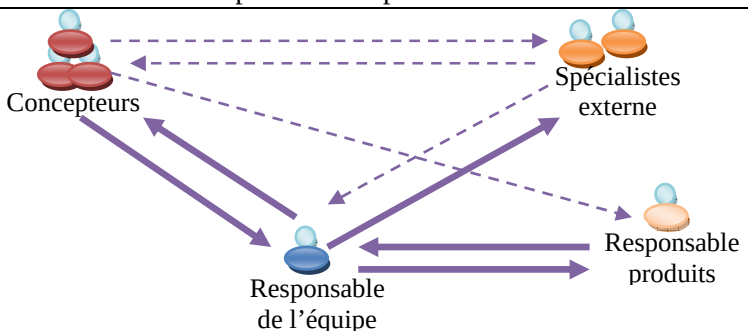


Figure IV. 5 : flux d'information dans le développement des deux produits

Les difficultés rencontrées pour les deux produits apparaissent à différents moments du projet (Figure IV. 6). Avant le démarrage du développement, les concepteurs ressentent des difficultés pour l'analyse du cahier des charges et prendre une décision. Pendant la réalisation des deux produits, certains concepteurs se rendent compte qu'ils ont sous-estimés les difficultés liées à la sélection d'une méthode où outil, d'autres ont du mal à trouver une méthode, et enfin, certains ressentent des difficultés à adapter les méthodes pour le développement du produit. Après la fin du projet de développement des deux produits, les concepteurs font le constat qu'il manque un outil, un guide ou un processus qui accompagne les équipes de conception pendant leurs développements.

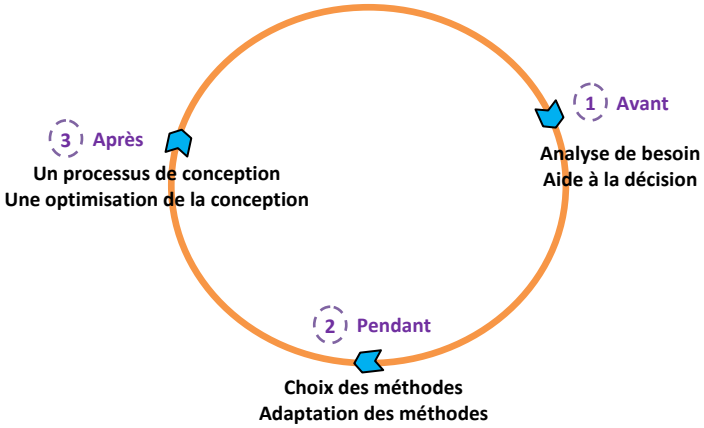


Figure IV. 6 : Difficultés rencontrées pendant la conception des deux produits

Ainsi, les résultats recueillis dans cette thématique semblent nous conforter dans l'idée qu'il existe effectivement un besoin d'assistance à la sélection d'un processus de conception qui sera capable d'indiquer les outils et les méthodes pour chaque phase du processus de conception.

IV. 2. 4. 5 Conclusion

Cette première partie de la première expérimentation est une phase d'exploration et d'identification des pratiques basées sur la stratégie focus groupe. Les pratiques réalisées nécessitent d'avantage des travaux d'organisation afin de guider les ressources disponibles et d'éviter les échecs liés à l'environnement de développement des produit.

La conclusion d'installer (réaliser) un processus de conception est validée. Comme élément de réponse pour cette validation est l'application de l'outil développée « carte sémantique tridimensionnelle pour la génération d'un processus de conception », c'est l'objectif de la deuxième partie de cette expérimentation.

IV. 2. 5 Conception d'un produit par une équipe de conception avec l'utilisation de la carte

Cette expérimentation est réalisée avec les mêmes produits et les mêmes acteurs de la partie précédente. Comme indiqué sur le modèle de la carte sémantique, les méthodes et les outils sélectionnés sont classées en fonction des phases du processus de conception.

Les activités de conception pour l'entité E, sont identifiées dans l'expérimentation précédente. Il s'agit ici de valider l'intégration d'un nouvel outil et de mesurer son impact sur l'organisme et de vérifier que l'organisme est passé d'un niveau à un autre. Le suivi de développement des produits permettra de simuler le fonctionnement de l'outil dans l'organisme.

Cette carte sémantique va permettre une préconisation plus facile des outils et méthodes de conception nécessaires, car chaque organisme se trouve dans une situation qui lui est propre. Comme nous avons décrit dans le chapitre outil, notre outil est une carte sémantique tridimensionnelle : dimension produit, dimension métiers et dimension processus. Cette carte donne la possibilité à un organisme de créer un produit innovant, re-conception en analysant sa complexité et de déterminer pour chaque stade les ressources à employées. Pour améliorer l'organisation de la conception, la dimension processus de conception génère et propose une structure adéquate pour l'organisme. Pour créer une dynamique d'innovation les outils et les méthodes sélectionnés pour le produit et dans le processus de conception créent un climat d'innovation au sein de l'organisme.

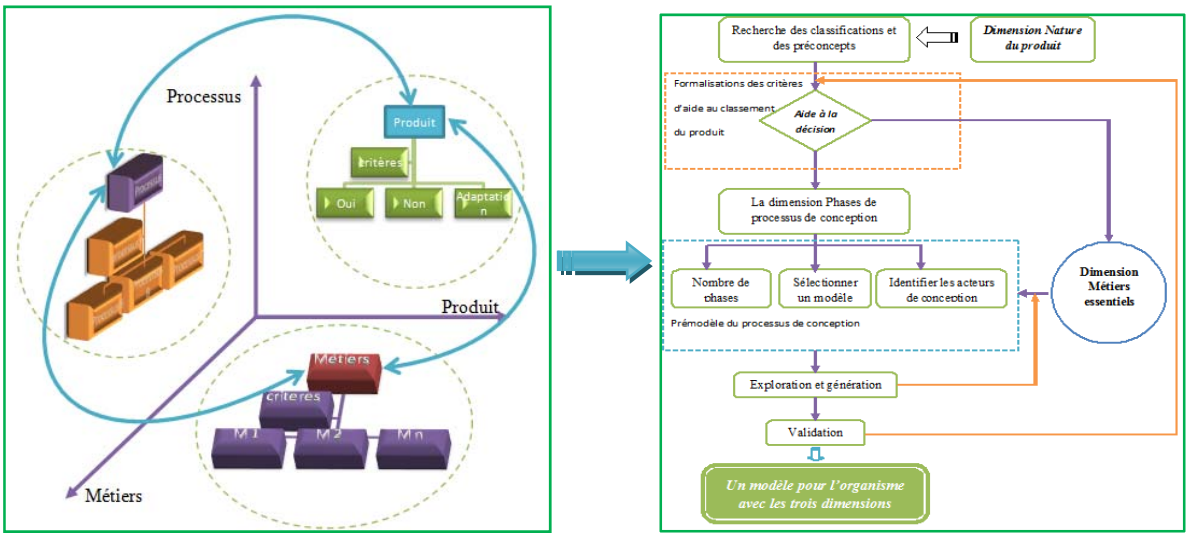


Figure IV. 7: passage de l'aspect tridimensionnelle de la carte vers l'identification des outils et des méthodes pour chaque phase de la conception

Le passage de la carte sémantique tridimensionnelle vers l'identification des méthodes et des outils est basé sur l'exploitation de chaque dimension et crée les liens entre eux afin de valider la décision à chaque étape de la conception (figure IV. 7).

IV. 2. 5. 1 la conception du Produit PEXT 1 : conception d'une prothèse totale de genou en s'appuyant sur la carte sémantique - Cas d'adaptation-

L'objectif de cette étape est de valider le modèle de la carte sémantique dans l'entité E, et créer une dynamique d'innovation selon un processus de conception par rapport à la stratégie initiale de l'entité E. Dans cette expérience nous avons suivi l'activité de conception au sein de l'entité E et avec l'équipe de conception indiquée au Tableau IV. 2 mais cette fois ci nous avons expliqué pour les différents acteurs de cette équipe le rôle de la carte sémantique ainsi que l'importance des critères d'aide à la décision et les outils et les méthodes

liées a cette carte. La projection de la dimension produit comme un facteur potentiel (exploration de la phase amont de conception) pour la réussite de la phase amont du processus de conception à donner une autre réflexion pour les équipes de conception.

IV. 2. 5. 1. 1 Identification de la dimension produit

Nous avons proposé à l'équipe de conception la première dimension (§ **IV. 4. 1 Pré-modèle et feuille de route pour DIMENSION PRODUIT)** de la carte pour réaliser une projection de cette dimension sur les produits à développer. Comme est illustré sur la figure IV. 8, le développeur de cette carte est un animateur et sont rôle l'explication du mode de fonctionnement de l'outil.

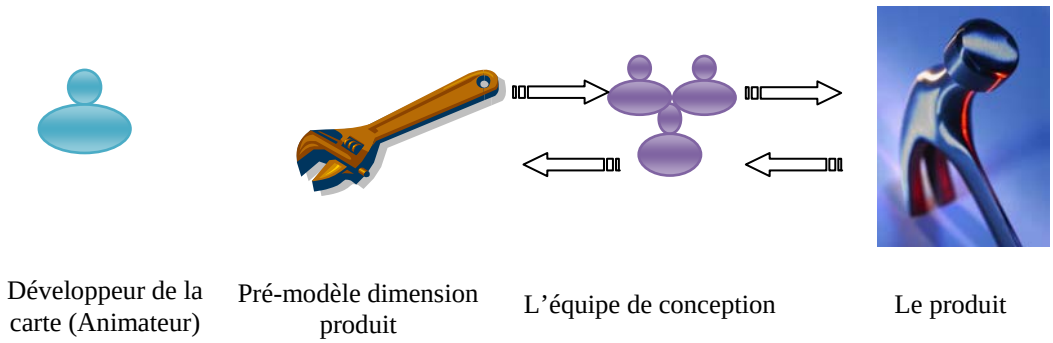


Figure IV. 8 : exploitation de la première dimension par l'équipe de conception

Le besoin :

1- **Expression fonctionnelle du besoin**

Pour être rationnelle et efficace, la démarche de conception, commence par une formulation exhaustive du besoin exprimé ou implicite des utilisateurs. On dispose à ce stade de l'expression du besoin du client en termes marketing, économiques, de résultats attendus, de délais. Toutefois, le besoin, exprimé sous forme fonctionnelle, ne préjuge pas de la constitution du système à concevoir. Ainsi, le champ des solutions n'est pas restreint. La validation du besoin permet de vérifier que celui-ci est clairement identifié et correctement formulé, ainsi que d'apprécier sa stabilité dans le temps.

Le besoin préliminaire est : réaliser une prothèse totale de genou sur mesure.

2- **Connaissance sur le produit**

Le but est de connaître le problème c'est-à-dire le « quoi ».

La première étape de la dimension produit est de situer la position de l'entreprise par rapport au produit, c.-à-d. les connaissances de l'équipe de conception et les pratiques de cette entreprise. La réponse au questionnaire à cette étape est la clé pour la suite du projet. La nature des réponses détermine la valeur ajoutée pour l'entreprise et le changement des pratiques ainsi que la capitalisation des équipes de conception en termes de pratiques et connaissances.

Cette étape marque la continuité dans le développement du produit où le renvoi vers la source sur une base de non qualification et hors activité de l'entreprise ou l'entité de recherche. La valeur ajoutée est un facteur très important pour rendre l'innovation pratique auprès les équipes de conception. L'adaptation d'un processus de conception est l'objectif final de cette entreprise.

Question	réponse	Valeur	Adaptation
Q1 : l'activité de l'entreprise et le produit ?	Activité innovante pour l'entreprise	Innovation	Axe de recherche
Q2 : la nature de la conception et le produit ?	L'entreprise n'a pas réalisé ces produits	Créativité	Elargir le champ de connaissances
Q3 : compétences de l'équipe de conception et le produit ?	Pas de méthodes & outils	Un processus de conception	Adapter un processus de conception

Tableau IV. 7 : Première étape de la dimension produit

3- Décision de continuité

La décision correspond à la sélection d'une action : soit de continu donc l'adaptation du projet où de rejeter le projet. Pour ce produit, le chef du projet et sur la base du Tableau IV. 7 (sur la base des valeurs), à décider de prendre le projet. La valeur et l'adaptation est un argument pour lancer un produit innovant.

Les réponses présentées dans le tableau et la décision constituent une première trace du produit. Sauvegarder cette trace est nécessaire pour l'évaluation du produit dans la phase finale du projet de développement.

Analyse du besoin

Avant d'entamer l'étape de conception et de choix des concepts et dans la phase analyse du besoin un questionnaire pourra faciliter et déterminer le chemin à suivre ainsi que d'éliminer certains échecs du produit. La situation du besoin et les valeurs ajoutées pousse vers une analyse détaillée du besoin. Comme l'indique le Tableau IV. 8, la réponse au questionnaire donne un aperçu sur les outils & les méthodes à utiliser pour créer une analyse détaillée du besoin.

Question	réponse	Valeur	Adaptation
Q1 : *un CDC du produit global où détaillé**?***	Non détaillé	Outils & méthode	Sélectionner sur la carte
Q2 : les fonctions du produit ?	Non détaillé les sous fonctions du produit	Développement	Des graphes de fonction et sous fonction
Q3 : *les acteurs du produit **?***	La population et l'activité	Etude du marché	Outils & méthodes
Q4 : *contraintes et délais ?*	Plus longtemps (durée de vie), garder les dispositifs actuels	Un produit sur mesure	Une stratégie de mesure et de conception

Tableau IV. 8 : Analyse du besoin par un questionnaire

Critères de qualification concepteur

Le concepteur doit exprimer ses **critères de pertinence de la conception**. Ce sont ces critères qui vont lui permettre de qualifier la conception proposée.

Le concepteur peut être :

- Le concepteur final du produit à concevoir; auquel cas certains critères et fonctions internes du produit le concernent et font partie de ses critères de qualification;
- Un membre d'une équipe de conception de l'entreprise, un donneur d'ordre, un prescripteur, un organisme vérificateur : il peut être intéressé par des critères liés à des fonctions internes, des critères permettant d'évaluer le comportement physique attendu par le concept final.

Les réponses du tableau IV. 8, et les critères de qualification sur l'état finale du produit nous pousse a détaillé la notion préliminaire du besoin.

Cinq besoin ont été identifiés pour le produit, tableau IV.9. Neuf entretiens ont été réalisés avec les membres des deux équipes de conception. Ainsi les matrices fonctionnelles et dysfonctionnelles sont de dimension (9 X 5) comme est montré sur la figure IV.9.

Code	besoins
B1	Un produit sur mesure
B2	Un produit innovant
B3	Garder l'équipement de l'intervention
B4	Une population bien déterminée
B5	Introduire les chirurgiens dans le processus de développement

Tableau IV. 9 : liste des besoins pour le produit

La matrice Kano

Question fonctionnelle : Q B 1: si le produit sur mesure répond au besoin identifié, comment vous sentiriez vous ?		C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8	C 9
Cela me serait très utile	+2									
Cela serait le minimum pour moi	+1									
Cela me serait égal	0									
Cela me dérangerait mais je pourrai l'accepter	- 1									
Cela me dérangerait beaucoup, je ne pourrais pas l'accepter	- 2									
Question dysfonctionnelle : Q B1 : si le produit sur mesure **NE** répond au besoin identifié, comment vous sentiriez vous ??										
Cela me serait très utile	+2									
Cela serait le minimum pour moi	+1									
Cela me serait égal	0									
Cela me dérangerait mais je pourrai l'accepter	- 1									
Cela me dérangerait beaucoup, je ne pourrais pas l'accepter	- 2									

$$X_{ij} = \begin{array}{c} \\ C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \\ C5 \\ C6 \\ C7 \\ C8 \\ C9 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} B1 & B2 & B3 & B4 & B5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} +1 & +2 & +2 & 0 & +2 \\ +1 & +2 & +2 & +2 & +2 \\ +1 & +2 & +2 & +1 & +2 \\ +2 & 0 & -1 & +2 & 0 \\ +2 & 0 & -1 & +2 & 0 \\ +2 & 0 & -1 & +2 & 0 \\ +2 & +2 & 0 & +2 & 0 \\ +2 & +2 & 0 & +1 & +2 \\ +2 & +2 & 0 & +1 & +2 \end{pmatrix} \end{array} \qquad Y_{ij} = \begin{array}{c} \\ C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \\ C5 \\ C6 \\ C7 \\ C8 \\ C9 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} B1 & B2 & B3 & B4 & B5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} -2 & -1 & -2 & 0 & -1 \\ -2 & -1 & -2 & -2 & -2 \\ -2 & -1 & -2 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ -2 & -1 & -1 & 0 & -1 \\ -2 & -1 & -1 & 0 & -1 \\ -2 & -1 & -1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \end{array}$$

Figure IV. 9 : la matrice fonctionnelle et dysfonctionnelle des besoins identifiés pour le produit

Les scores fonctionnels et dysfonctionnels, ainsi que le score RI ont été calculés, ce qui donne les valeurs suivantes :

	B 1	B2	B3	B4	B5
FI =	(1	0.66	0.33	0.72	0.55)
DI =	(0.83	0.5	0.5	0.27	0.38)
RI =	(0	0	0.16	0	0)

Figure IV. 10: Vecteurs fonctionnel, dysfonctionnel et inverse pour les concepteurs

Nous remarquons que le besoin B3 de la figure IV.10 : «Garder l'équipement de l'intervention » possède une valeur de RI élevée (0.16). Rappelons que le RI est un indicateur de l'existence d'un besoin de type Inverse. Cette valeur importante pour le besoin B3 peut être expliquée par le fait que les concepteurs ne s'attendent pas à ce que l'équipement existant présente une contrainte de conception d'un produit innovant d'une part et d'autre part les autres concepteurs acceptent cette contrainte. Analysant l'expérience dans le domaine de la conception et les produits développés par les équipes de conception, un manque d'activités de conception au sein de l'entité et le développement des produits est la cause principale pour les réponses de ces concepteurs. Tous les autres besoins possèdent des valeurs acceptables de RI.

Nous devons faire attention à la valeur du RI pour chaque besoin. En effet, cet indicateur assure la validité des réponses données par les concepteurs interrogées. Il permet ainsi de détecter les besoins de type « Discutable » ou « Inverse ». Une valeur importante de RI signifie que la formulation opposé du besoin doit être considérée.

Sur la base des résultats obtenus les équipes de conception ont la possibilité de réaliser un produit innovant et sur mesure tout en développant le besoin initial en besoins stratégiques constituant un ensemble de contraintes et d'objectifs qu'il faut tenir en compte, c.-à-d. le besoin global est divisé en sous besoin marquant pour une sélection de sous besoin une contraintes liée au produit ou l'entité.

Etape 1 : Cahier des charges :

Le cahier des charges n'a pas changé. La seule variante qui a changé par rapport à la première expérimentation est la division du besoin initial à des besoins identifiés (Voir Tableau IV. 9): Déterminer des tailles sur mesure pour chaque patient. L'objectif consiste à concevoir, innover, créer et réaliser un produit à partir d'un besoin. L'objectif est de **Réaliser la conception d'une prothèse totale de genou sur mesure.**

Pour ce produit il n ya pas eu de cahier des charges fonctionnel détaillé entre le demandeur et le concepteur. Pour y arriver l'équipe de conception réalise les tâches suivantes en analysant les recommandations et les détailles issues de l'analyse de la première dimension de la carte :

- **Analyse du besoin**
- **Analyse du CDC**
- **Rassembler les informations, réunir une documentation**
- **Prévoir un programme d'action**
- **Faire face à des aléas, maitriser l'incertain**
- **Procéder à des choix**
- **Exploiter des éléments de connaissance appartenant à différents domaines du savoir**
- **Savoir gérer son temps**

Analyse du cahier des charges

Une analyse du cahier des charges nécessite l'identification des tâches (ou activités) de conception (Figure IV. 11). Différents moyens peuvent être utilisés à cette fin : analyse fonctionnelle, analyse des objets intermédiaires, etc. Pour identifier les tâches dans la conception du Produit PEXT1, et en appuyant sur la carte sémantique nous avons utilisé l'analyse fonctionnelle pour décomposer les tâches et les fonctions du produit.

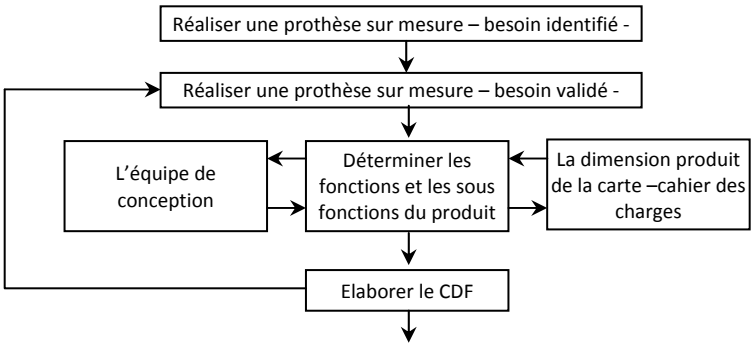


Figure IV. 11 : réaliser le CDF par l'équipe de conception

La première étape de cette analyse est d'identifier les fonctions du produit. On considère le produit comme un moyen d'interagir avec le milieu extérieur. La fonction est, alors, l'action du produit ou de l'un de ses constituants exprimée exclusivement en termes de finalité. On distingue les fonctions associées aux différentes actions d'un produit par leur nature, comme illustré sur la figure IV.12 :

• Les fonctions principales (FP) : elles expriment les services rendus par le produit pour répondre aux besoins des utilisateurs.

• Les fonctions contraintes (FC) : elles traduisent les exigences d'adaptation du produit au milieu extérieur.

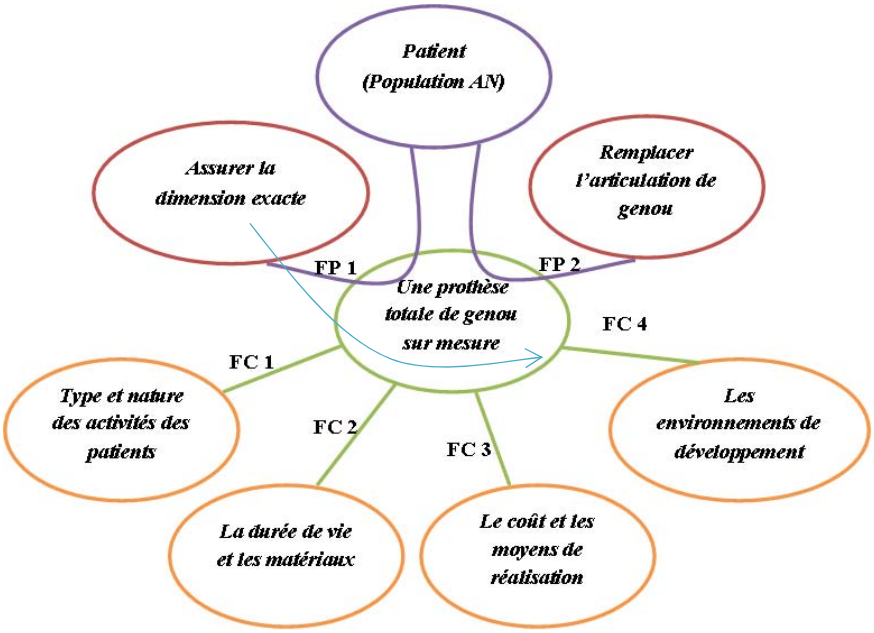


Figure IV. 12: premier modèle de CDCF du produit

Aide à la décision

Après avoir analysé le besoin et finaliser le CDF, le chemin à suivre en conception dépend bien entendu du point de départ (besoins exprimés), du point d'arrivée (connaissance du produit), mais également des moyens (appelés ressources) dont on peut disposer pour atteindre l'objectif. Lors de l'activité de conception, il est

nécessaire de prendre des décisions non seulement sur les aspects technologiques, mais également sur les aspects de conduite relatifs à la façon de concevoir.

Echelle de complexité

Afin d'identifier les aspects de conduite et les aspects technologiques, la réponse à ces questions par les équipes de conception est une étape dans l'aide à la décision

- ***Q1 : environnements de développement?***

Dans cette expérimentation les équipes de conception ont choisis de travailler dans plusieurs environnements en parallèles. L'identification des environnements de développement est une activité qu'il faut adopter par les équipes de conception. Pour cela il y a :

- Un environnement d'échange : entre les concepteurs et les demandeurs ainsi que les utilisateurs. C'est un environnement où la génération des idées et l'analyse du besoin est réalisées.
- Un environnement de développement : la réalisation des idées et des concepts générer dans le premier environnement. L'intégration des acteurs du premier environnement est nécessaire pour certaines étapes du deuxième environnement.
- Un environnement de réalisation : générer des prototypes et la mise en œuvre des concepts finalisés dans le deuxième environnement. Un retour vers le premier et deuxième environnement est nécessaire pour la validation de l'état finale du produit.

Pour ce produit l'équipe de conception à fait le choix suivant :

Environnement d'échange	Environnement de développement	Environnement de réalisation
Table ronde **Séances de brainstorming**	Papier et crayon CAO	Prototypages rapide FAO

Tableau IV. 10 : les environnements identifiées pour la conception du produit PEXT1

- ***Q2 : nature des outils et moyens ?***

La nature des outils et les moyens utilisés sont liés aux phases du processus de conception d'une part et d'autre part des environnements de développement. Une identification détaillée des outils et moyens disponibles auprès des équipes de conception est nécessaire. La troisième dimension de notre outil « Dimension métiers essentiels» détermine en détail les outils et les méthodes nécessaires pour le développement du produit.

- ***Q3 : innovation, créativité et ordinaire (routine)?***

La réponse à cette question par les équipes de conception détermine la nature de conception. Le choix de la créativité est le cas de la majorité des équipes de conception. Un retour sur les outils et les méthodes qu'il faut employer pour réaliser la conception créative du produit, les équipes de conception ont peu de connaissances pour ce type de conception, c'est un autre constat qui montre l'intérêt d'une telle carte.

Représentation du produit :

Pour la conception de ce produit, il est nécessaire d'utiliser des représentations intermédiaires afin d'évaluer le produit, identifier les défauts du produit, trouver des solutions alternatives et déterminer les coûts de fabrication. Les concepteurs utilisent différentes représentations intermédiaires pour visualiser leurs concepts dans les

différents environnements. Ces représentations intermédiaires sont pour eux un moyen de simuler les différentes caractéristiques du produit.

		Unitaire	Série	Conception	Nature de l'organisme	Environnement de développement
Produit	simple	xx	xx	créative	Académique	
	complexe	xx	xx	créative		CAO FAO

Tableau IV. 11 : représentation du produit (déterminer les limites)

Analyse de la décision selon la Nature de la conception du produit

La conception identifiée est de nature créative et comme nous l'avons indiqué, on connaît une partie du cahier des charges d'un produit. Ensuite la dimension Produit nous a permis de développer le cahier des charges et le besoin. On ne sait pas, a priori, comment décomposer le problème pour obtenir une solution. La détermination du plan d'activités fait partie de la conception, car l'équipe de conception est devant une situation non pratiquer auparavant. Les connaissances technologiques et scientifiques nécessaires ne sont pas clairement identifiées ou maîtrisées.

D'où la nécessité d'un processus de conception pour guider la créativité du produit.

IV. 2. 5. 1. 2 Identification de la dimension processus de conception

Le déroulement du processus de conception peut être soumis à des perturbations. Les risques induits par ces perturbations peuvent être considérables. Ainsi, le déroulement du processus doit être bien surveillé. Le responsable du projet doit savoir à tout moment quelles sont les caractéristiques du processus pour pouvoir intervenir dans le cas échéant.

Il est ainsi nécessaire d'avoir des outils capables de caractériser le processus de conception à un moment donné et/ou de réaliser l'évaluation de ses performances. Ces outils seront basés sur les résultats de la première dimension qui est le produit et d'autre part sur la dimension des modèles de processus de conception qui figurent sur la carte sémantique.

La performance peut être liée à la manière dont se déroule le processus ou/et à son résultat. Les objectifs de l'évaluation de performance varient en fonction des moments de sa réalisation :

- Soit l'évaluation est intégrée aux diverses phases du processus de conception. On parle dans ce cas d'évaluation itérative (a priori). L'amélioration du processus de conception se fait en continu.
- Soit l'évaluation se déroule après la conception (a posteriori). L'évaluation sert alors à valider le processus étudié ou améliorer le processus.

Dans notre travail, la dimension processus de conception doit porter une information sur le type du processus de conception et les itérations nécessaires et le nombre des phases à explorer pour obtenir comme résultat un processus spécifique pour l'établissement. Pour développer la dimension processus de conception, nous avons adopté la démarche résumée sur la Figure IV. 13.

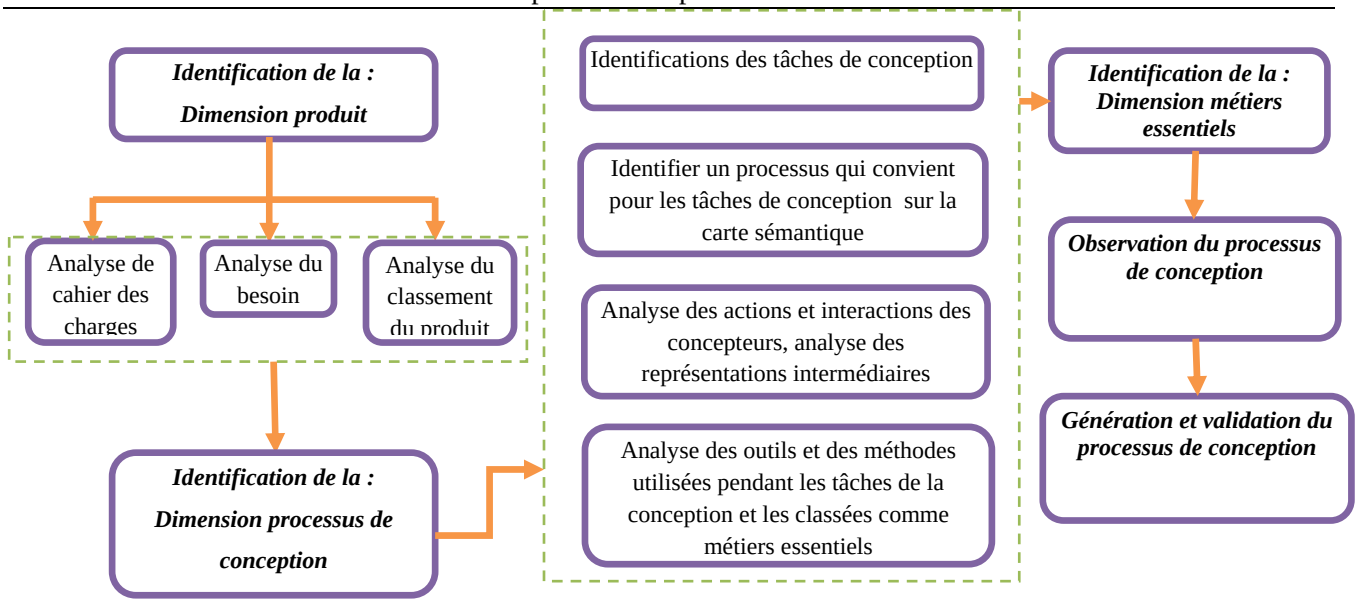
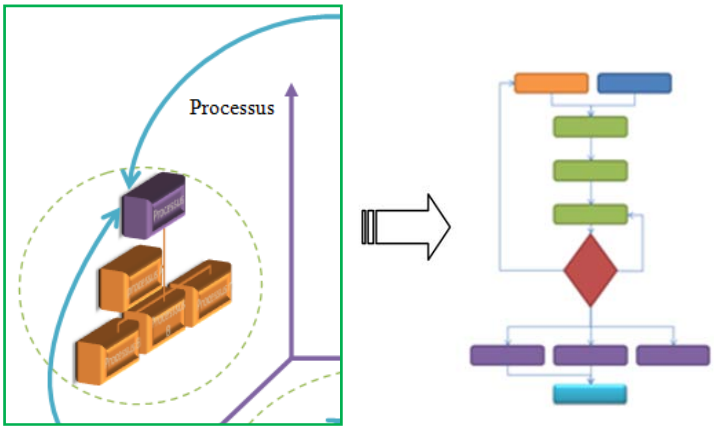


Figure IV. 13 : la démarche pour identifier la dimension processus de conception

Identifier un processus qui guide la conception



Pré-modèle dimension processus

Sélection d'un processus sur la carte de classement

Figure IV. 14 : la sélection d'un processus de conception via le prémodèle « Dimension Processus »

L'identification d'un processus qui guide la conception sélectionnée (créative) pour le produit est initiée par un questionnaire de base qui donne des points et des réponses d'aide au choix, la dimension processus contribue dans l'identification et la sélection d'un processus de conception, Figure IV. 14.

- ***Q1 : quelle est la nature de conception dans l'entreprise ?***

  Les équipes de conception pratiquent des activités de conception mais ne sont pas spécialisées dans une conception bien désignée. La conclusion de la première dimension est comme une identification et une valeur ajoutée pour les équipes de conception, la nature de conception est créative.

- ***Q2 : y-a- t'il un processus tracé par l'entreprise?***

  Nous avons soulignée que cet organisme n'a pas de processus de conception bien structuré. Et selon les résultats de la première expérimentation le développement du produit sans un processus de conception n'a pas répondu aux attentes des clients. Donc face à cette situation il est nécessaire de déployer un processus de conception.

- ***Q3 : compétences de l'équipe de conception ?***

La sélection des compétences de l'équipe de conception nous permettra dans la suite de sélection et de génération du processus de conception d'identifier les phases où l'équipe de conception et de solliciter des ressources externes pour compléter leurs compétences.

Les tableaux IV. 1 et IV. 2 indiquent les différentes caractéristiques des équipes de conception ainsi que leurs compétences.

- ***Q4 : les métiers a fort potentiels pour l'entreprise ?***

L'identification des métiers potentiels facilite la sélection des outils et méthodes dans la troisième dimension de notre carte.

2.1 Le processus de conception de l'entreprise :

- L'entreprise pratique certains métiers, sans disposer de processus de conception qui guide ces métiers. Dans ce cas la dimension processus de conception intervient pour la génération ou l'adaptation d'un processus de conception existant.

2.2 Aide à la décision :

La dimension produit nous permettra de récolter une série d'information autour du produit, la nature de conception et les métiers de l'équipe de conception. Deux situations sont envisageables, si cette entreprise ne dispose pas d'un processus de conception :

1er situation : Adapter un processus de conception

Pour adapter un processus de conception, une carte de classement des processus de conception (voir chapitre IV Pré-modèle de la carte sémantique) est établie afin de faciliter l'adaptation. Les informations de la première dimension aident à l'adaptation et à la décision. Si un modèle présent sur la carte est adaptable au besoin et spécifications du produit nous nous dirigerons vers (état final de la sélection d'un processus de conception) la troisième dimension pour ajouter où supprimer des métiers spécifiques pour chaque phase du processus de conception.

2eme situation : Générer un processus de conception

Si le besoin nécessite un processus de conception qui ne figure pas sur la carte de classement où recherchons un processus sur mesure, la génération devient une nécessité.

Identification des tâches de conception

Nous allons ici préciser comment le concepteur s'assure de la pertinence de sa conception, à travers l'identification des tâches et les intervenants dans le cycle de conception et comment réalise ses choix. Nous virons également quels sont les faits sur les quels il s'appuie pour s'assurer de la cohérence des solutions qu'il sélectionne durant la phase de conception.

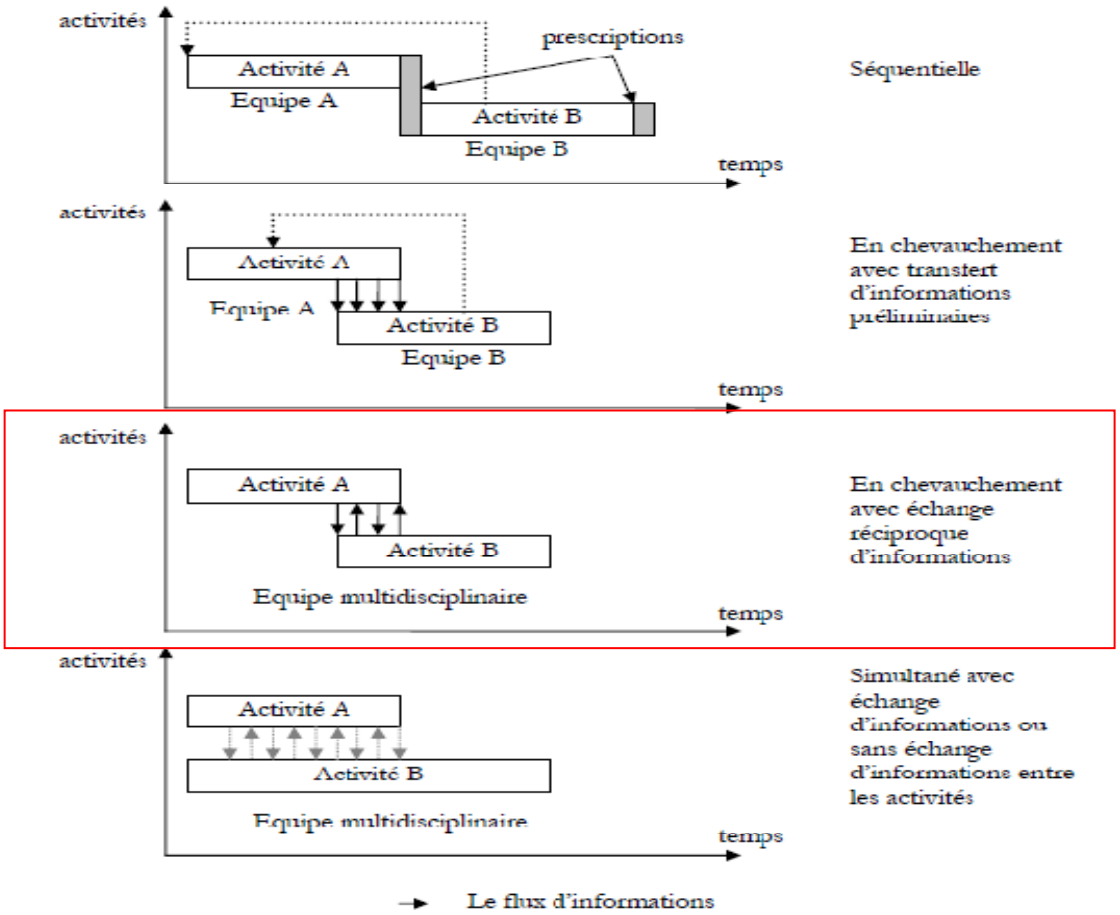


Figure IV. 15 : Les différents schémas d'exécution des activités et tâches de conception

Les concepteurs de l'entité E, et à travers des indications de sélection et d'aide à la décision identifiées en exploitant la dimension produit, ils sont divisés les tâches de conception. Chaque tâche représente une activité. La fin d'une activité rend disponibles des données de sortie nécessaires au démarrage des activités en aval. En conséquence, les activités de conceptions sont liées entre elles.

L'exécution peut se faire selon différents scénarios possibles. L'analyse de la figure IV. 15 par l'équipe de conception à permis d'identifier la nature de l'activité et de distribuer les tâches, ainsi que d'augmenter le champ d'investigation de l'équipe de conception ; une activité basée sur un échange réciproque entre les équipes (équipe multidisciplinaire) et la meilleure configuration pour **créer un produit innovant.**

La tâche innovation entre équipe de conception :

La capacité d'innovation (entreprise, service, produit, …) repose sur l'existence d'un processus d'innovation, ce processus à comme carburant le savoir faire (ressources) dont elles disposent (entreprise, service, produit, …) qui va influencer l'émergence de l'innovation. L'innovation apporte une amélioration scientifique, technique, économique aux produits, process ou services, elle devrait s'intégrer dans une stratégie cohérente avec les axes de recherche et de développement.

Consulter la carte de classement des processus

Chaque processus doit contribuer au progrès permanent de son organisme. Pour cela, il convient d'écouter les dysfonctionnements, d'analyser les pratiques de travail par rapport aux données de sortie produites et de trouver des axes d'amélioration. Ainsi nous sommes devant un **processus créatif**. L'aspect créativité sera projeté sur un processus de développement des produits orthopédiques dans le but de créer des innovations et des produits sur mesure.

L'identification de la créativité comme processus au sein des activités de conception pousse l'équipe de conception à exploiter les environnements et les techniques de cette méthode et de chercher dans la carte de classement le processus de conception qui supporte en plus dans ces phases l'activité « Créativité ».

La créativité vise à modifier le stock des connaissances, en les remaniant, en les recombinants, en leur donnant d'autres sens et d'autres valeurs.

Le **processus créatif** comprend plusieurs **phases** : détection du problème ou du thème, formulation du thème, recherche d'informations, étude des informations, recherche de pistes de solutions, amélioration des solutions, critères de choix des solutions, sélection d'une ou plusieurs solutions, communication à propos des solutions.

Identifier un processus qui convient pour les tâches de conception sur la carte de classement:

L'identification réalisée à partir de la figure IV. 15, que les tâches de conception sont d'un ordre réciproque entre deux activités (tâches). D'où la forme itératif des phases et des activités de conception.

Nous allons chercher maintenant un processus itératif, il reste à identifier le nombre des phases de ce processus. Comme nous l'avons identifié pendant l'élaboration de la carte de classement des processus de conception le nombre des phases se situe entre 2 phases et 6 phases.

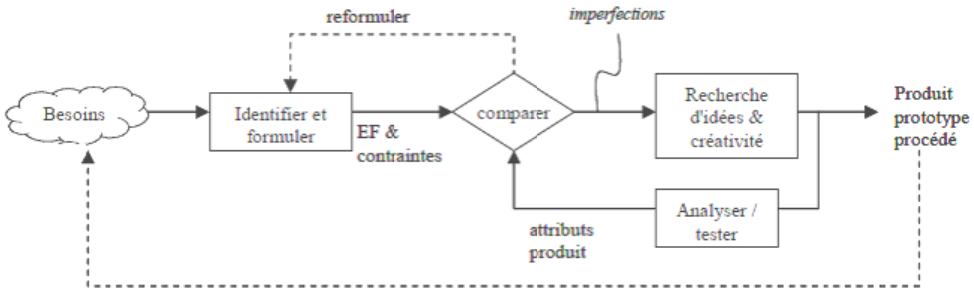


Figure IV. 16 : Processus de conception itératif selon le point de vue 'Axiomatic Design' (Scaravetti, 2004)

La Figure IV. 16 représente le processus de conception selon le point de vue de l'Axiomatic Design. Ce processus de définition est itératif, et il est centré sur la définition et l'optimisation des Exigences Fonctionnelles.

L'analyse de la structure de ce processus de conception nous permet d'identifier 04 phases :

- Phase Identification et analyse du besoin
- Phase conceptual design « recherche de concepts »
- Embodiment phase « conception générale »
- Phase conception détaillé

Une contrainte de réaliser des prototypes et des produits empêche l'adaptation de ce processus. Réadapter ce processus par l'ajout d'une 5ème phase est une solution pour le produit.

Après avoir identifié un processus de conception et les différentes phases de ce processus, l'exploration de ces phases par l'équipe de conception de l'organisme A constitue une étape importante car les différentes phases sont constituées d'un ensemble d'outils et de méthodes. Les actions des concepteurs et les représentations intermédiaires du produit est une activité qu'il faut bien identifiée pendant le développement d'un processus de conception. Dans notre expérience cette activité est liée aux environnements utilisés pour le développement du produit et les outils utilisés pour les représentations intermédiaires.

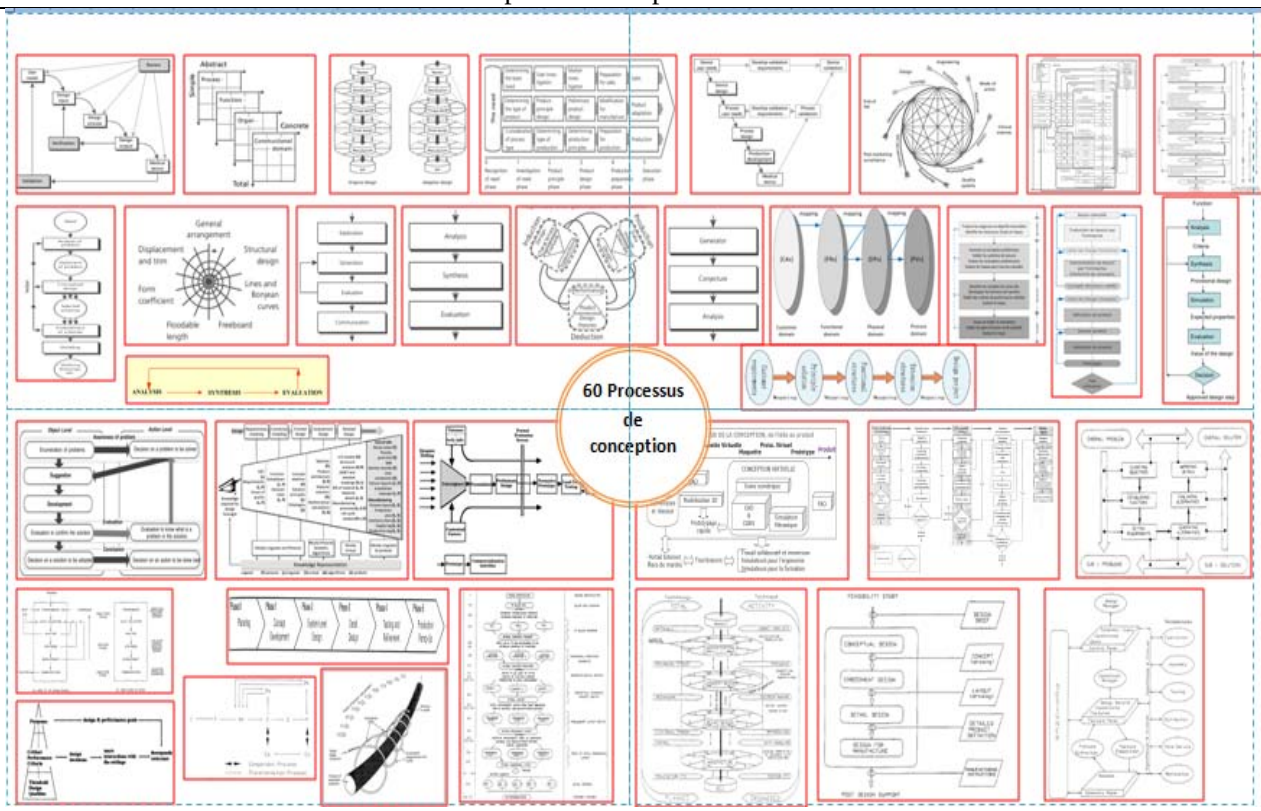


Figure IV. 17 : carte de classement des processus de conception

Un point est soulevé par les équipes de conception après la sélection des phases types pour un processus de conception. Ce point concerne les itérations et la nature de passage d'une phase vers une autre.

La réponse donnée aux équipes de conception est de sélectionner un modèle schématique de la carte de classement des processus (Figure IV.17) de conception qui propose un modèle pour les produits de santé. Un modèle séquentiel et un modèle itératif sont identifiés (Figure IV. 18) mais la boite noire pour les équipes de conception reste toujours pas claire. L'analyse de la dimension produit et les résultats de chaque phase détermine les boucles des itérations et la dimension métiers essentiels détermine les relations entre les méthodes et les outils à utilisées dans les phases du processus de conception.

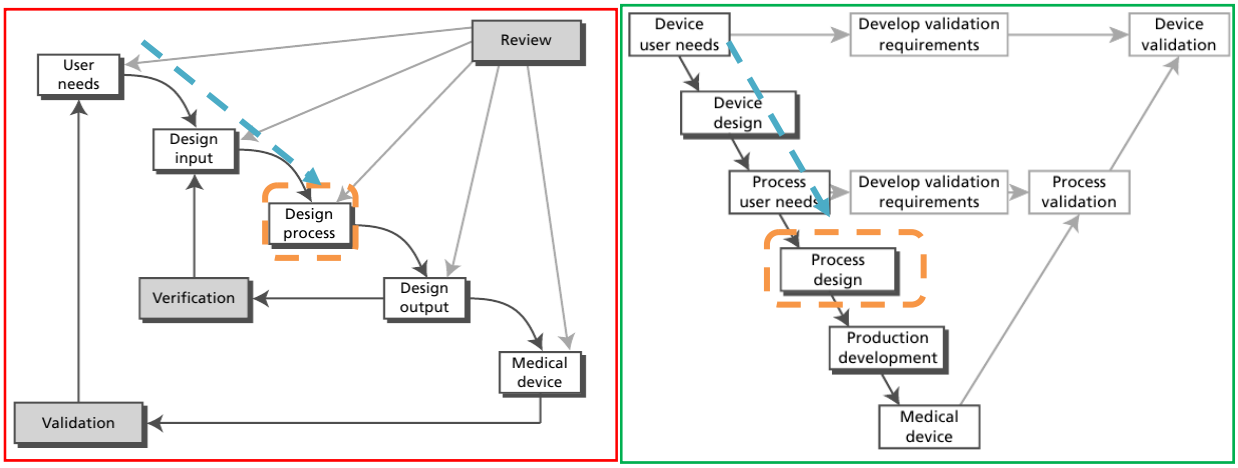


Figure IV. 18 : deux modèles pour la conception des produits de santé.

Analyse des itérations entre les phases

Le modèle itératif indique 3 niveaux d'itération :

Des itérations pour validation,

Des itérations pour vérification

Des itérations pour tester (insérer les utilisateurs).

Des résultats détaillés après l'adaptation de cette stratégie sont présentés dans la partie synthèse de cette partie.

Analyse des actions et des interactions des concepteurs, analyse des représentations intermédiaires

Un modèle conceptuel est une représentation mentale. Il dépend étroitement de la connaissance déjà acquise et de la compréhension de la situation présente. Il évolue avec l'expérience. Il est incomplet et imprécis mais il guide l'essentiel du comportement.

On distingue deux formes de modèle : le modèle de conception et le modèle de l'utilisateur.

1) Le Modèle de Conception est le modèle conceptuel de l'outil. Puisque la raison d'être d'un outil est d'aider l'utilisateur à accomplir un ensemble de tâches, le modèle de conception doit résulter d'une étude approfondie des besoins, des possibilités et des limitations de l'utilisateur type.

2) Le Modèle de l'Utilisateur est la représentation mentale que l'utilisateur élabore à propos de l'outil. Il résulte de l'interprétation que l'utilisateur fait de l'image (esquisse). Le concepteur a donc pour tâche de définir une image qui conduit l'utilisateur à construire, au cours de l'interaction avec l'outil, un modèle compatible avec le modèle de conception. Si l'image est explicite, cohérente et intelligible, alors on peut espérer que l'utilisateur élabore le modèle adéquat.

La réalisation d'une tâche met en jeu au moins sept activités :

1) L'établissement d'un but

2) La formation d'une intention,

3) La spécification d'une suite d'actions

4) L'exécution des actions,

5) La perception de l'état du système,

6) L'interprétation de l'état du système,

7) L'évaluation de l'état du système par rapport au but

Le concepteur doit procéder à de nombreuses transformations des représentations associées à l'artefact, afin de construire une représentation de plus en plus détaillée du but à atteindre. Plusieurs outils sont identifiées dans cette étape : dessin technique, esquisse à main levée, esquisse dans des environnements CAO et CARV, analyse émotionnel …

Le dessin technique, central dans l'activité des concepteurs considérés, a des fonctions multiples. Au niveau individuel, comme dans de nombreuses tâches de conception, le dessin, résultat d'un travail individuel, permet le test d'hypothèse. Au niveau collectif, il remplit d'autres fonctions : outil de communication avec d'autres acteurs (en amont, en aval ou au même niveau), il est aussi un matériau sur lequel les concepteurs opèrent en commun. La conception peut alors être vue comme un processus de prise de décision distribuée, utilisant le graphisme comme outil de gestion de l'interdépendance entre concepteurs.

La troisième dimension : Métiers essentiels

Analyse des outils et des méthodes utilisées pendant les tâches de la conception et les classer en relation avec les métiers, ces derniers sont considérés comme métiers essentiels

En s'appuyant sur la carte sémantique, la dimension produit et la dimension processus, les acteurs de la conception ont identifié à chaque phase de conception un ensemble des méthodes et des outils qui sont employées pour le développement du produit innovant.

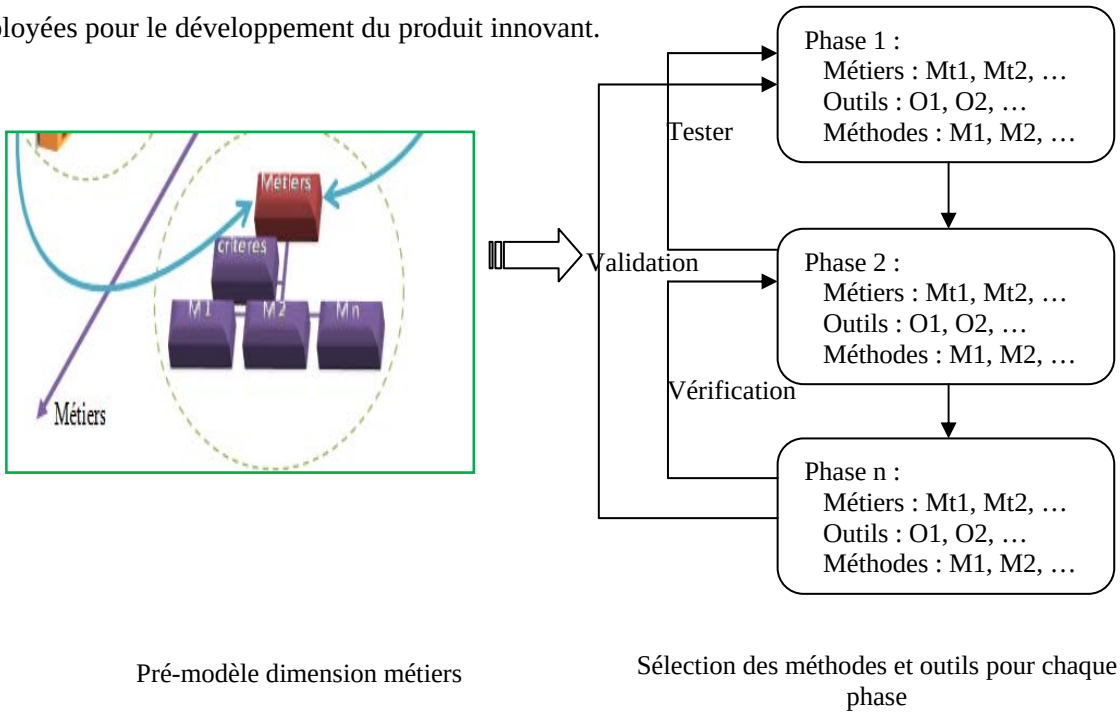


Figure IV. 19: sélection des outils et méthodes de conception pour chaque phase.

L'objectif est qu'à partir de la problématique de conception posée dans le cahier des charges, le concepteur interroge la carte, et en fonction de la précision de sa problématique la dimension produit détermine la complexité, à ce niveau un ensemble d'outils de conception appropriés sont proposé et sélectionné. Dans la liste d'outils proposés par la carte, chaque outil est lié à une suite de phases, de méthodes et des outils appartenant à d'autres dimensions.

On pourra interpréter ceci de la manière suivante : la carte propose au concepteur les outils les plus utilisés pour sa problématique précisément et qui ont donné satisfaction à la dimension produit. La carte propose également des outils secondaires où du deuxième rang, afin de garder le concepteur en position de décideur et la carte en position d'outil d'aide à la décision.

Pour atteindre notre objectif, « un processus de conception pour l'entité E », nous développons le noyau d'un système ouvert et évolutif pour chaque phase, ainsi que itérations entre les phases.

La conception doit alors être construite comme un processus dynamique qui intègre l'ensemble des acteurs le plus en amont possible et dans toutes les phases de ce processus.

L'ensemble des méthodes et outils utilisés par les acteurs de conception pour le développement des produits sont des ressources disponibles pour l'entité, on pourra ainsi les considérer comme métiers essentiels. Dans des phases où sous phases, le chef de projets fait appels à des ressources externes à l'entité afin de compléter le développement du produit, l'ensemble de ces ressources constituent un cercle de voisinage aux métiers essentiels.

IV. 2. 5. 1. 3 Synthèses

		Résultats
Dimension produit	**Analyse du cahier des charges**	l'analyse fonctionnelle préliminaire : On distingue les fonctions associées aux différentes actions d'un produit par leur nature : • Les fonctions principales (FP) : elles expriment les services rendus par le produit pour répondre aux besoins des utilisateurs. • Les fonctions contraintes (FC) : elles traduisent les exigences d'adaptation du produit au milieu extérieur.
	Analyse du besoin	Critères de qualification client Expression fonctionnelle du besoin
	Analyse du classement du produit	- Rassembler les informations, réunir une documentation - Prévoir un programme d'action - Faire face à des aléas, maitriser l'incertain - Procéder à des choix - Exploiter des éléments de connaissance appartenant à différents domaines du savoir - Déterminer et assurer un contrôle tout au long de la réalisation de la conception - Savoir gérer son temps **Utiliser le Tableau IV. 5 pour classer la nature du produit au sein de l'organisme**
	Le cahier des charges initial	**Identification** Les travaux cités dans cette optique sont traités dans des laboratoires spécialisés de biomécanique. En fait, c'est la première fois que ce thème soit traité au niveau de l'EMP. En revanche l'enjeu économique et social des prothèses de genou dans notre pays prouve son importance parmi les préoccupations du ministère de la santé et de l'habitat **Marché** Etude de cas sur mesure, le reste du marché est abandonné par les concepteurs **Analyse du besoin** le besoin, n'est pas exprimé sous forme fonctionnelle, donc la constitution du système à concevoir est difficile. Ainsi, le champ des solutions n'est pas toujours valable et les échecs sont en progression. **Retour de la première pratique** L'équipe de conception n'a pas exigé un retour pour avoir un cahier de charges fonctionnel, elle est basée seulement sur les séances organisées d'échange **Recommandation** **Développer un cahier de charges fonctionnel détaillé par l'augmentation des séances de consultation et d'identification du besoin et des fonctions du produit auprès des utilisateurs du produit et les spécialistes**
	Le cahier de charges détaillé	Un cahier de charge préliminaire est établi afin de l'utiliser comme base pendant les séances d'échange pour établir un cahier de charge détaillé. L'application de la méthode FAST, pour détailler les fonctions technique du produit et enrichir le cahier des charges. Après avoir détaillé les fonctions principales et les fonctions techniques du produit, l'équipe de conception réalisera certaines activités de conception. L'identification de ces activités par la dimension processus de conception sera la deuxième étape.
	Aide à la sélection et à la décision	Les outils et méthodes de conception doivent alors être aptes à supporter une activité de conception pluridisciplinaire et doivent permettre aux différentes compétences de contribuer à la définition du produit et du processus de fabrication associé. La pluridisciplinarité des métiers pour la conception de notre produit aide à la sélection à partir de la dimension processus de conception et le type et les

		méthodes associées à ce processus.
Dimension processus	**Identification des tâches de conception**	L'identification des tâches de conception représente une description de l'activité de conception basée sur la caractérisation des échanges verbaux (actes de langage), des échanges gestuels et des échanges et interventions sur des objets intermédiaires entre les acteurs, lors de la coopération pour développer le produit. Dans le cas de la prothèse totale de genou, après l'analyse fonctionnel des équipes multidisciplinaires sont créer pour effectuer un échange de connaissance et un savoir faire. Le rôle de l'équipe de conception est de crée des concepts et le rôle de l'équipe chirurgiens et techniciens sera l'évaluation et l'assistance dans la phase amont de conception. Pour réaliser ces tâches de conception des environnements sont employées pour faciliter l'échange. **Les environnements d'échange :** **1- Les environnements de créativité** **2- Les environnements Conception assistée par ordinateur** **3- Les environnements Conception assistée par la réalité virtuelle** L'identification de ces environnements est caractérisée par les critères de sélection et d'aide à la décision du produit. Ces environnements constituent un lien d'échange et de sélection d'un processus de conception à partir de la carte sémantique « dimension processus »
	Identifier un processus qui convient pour les tâches de conception sur la carte sémantique :	L'échange entre le groupe de concepteurs et le groupes des chirurgiens en appuyant sur les environnements est le fond commun de ressources et connaissances, la sélection est basée sur la notion itérative. La consultation de la carte sémantique de classement des processus de conception, ainsi que la structuration de ces derniers et le cahier des charges fonctionnel du produit nous avons identifié six phases du processus de conception. **Phase 1 & 2: Analyse du besoin et planification des tâches** La dimension produit da la carte sémantique nous à permis d'analyser le besoin lors de la phase de planification des taches, les acteurs du projet évalue la faisabilité du projet, clarifie et formalisent les étapes à venir du projet. Il s'agit d'une phase où le problème de conception commence à être explorer, on ne parle pas encore de solutions. **Phase 3 & 4 : La conception générale *Conceptual Design Phase*** consiste à explorer le problème de conception posé au départ (cahier des charges) et à proposer des pistes de solutions. L'équipe de conception à réaliser cette phase avec succès grâce à l'exploration efficaces des différentes étapes, outils et méthodes de cette phase toutes en gardant le contact avec la deuxième équipe. Le développement des outils et des algorithmes pour créer une base de données pour une grande population est un travail original qui repose sur l'environnement CAO et les techniques de reverse engineering. Proposer un produit innovant est supporté par la théorie TRIZ et les séances de créativités auprès des utilisateurs à travers la réalisation des esquisses dans des environnements différents. Les membres de l'équipe de conception à travers l'exploitation de ces données et le système de communication employé ont arrivé à proposer des solutions innovantes. **Phase 5 & 6 : Conception détaillée** Partant de l'architecture générale du produit, l'étape de conception détaillée permet d'affiner les représentations du produit, de manière à expliciter toutes les caractéristiques techniques du produit. Les techniques de prototypage rapide et les mises en plan sont utilisées pour déterminer les détails de notre produit

Tableau IV. 12: Conception du produit « prothèse totale de genou » par l'application de la carte sémantique

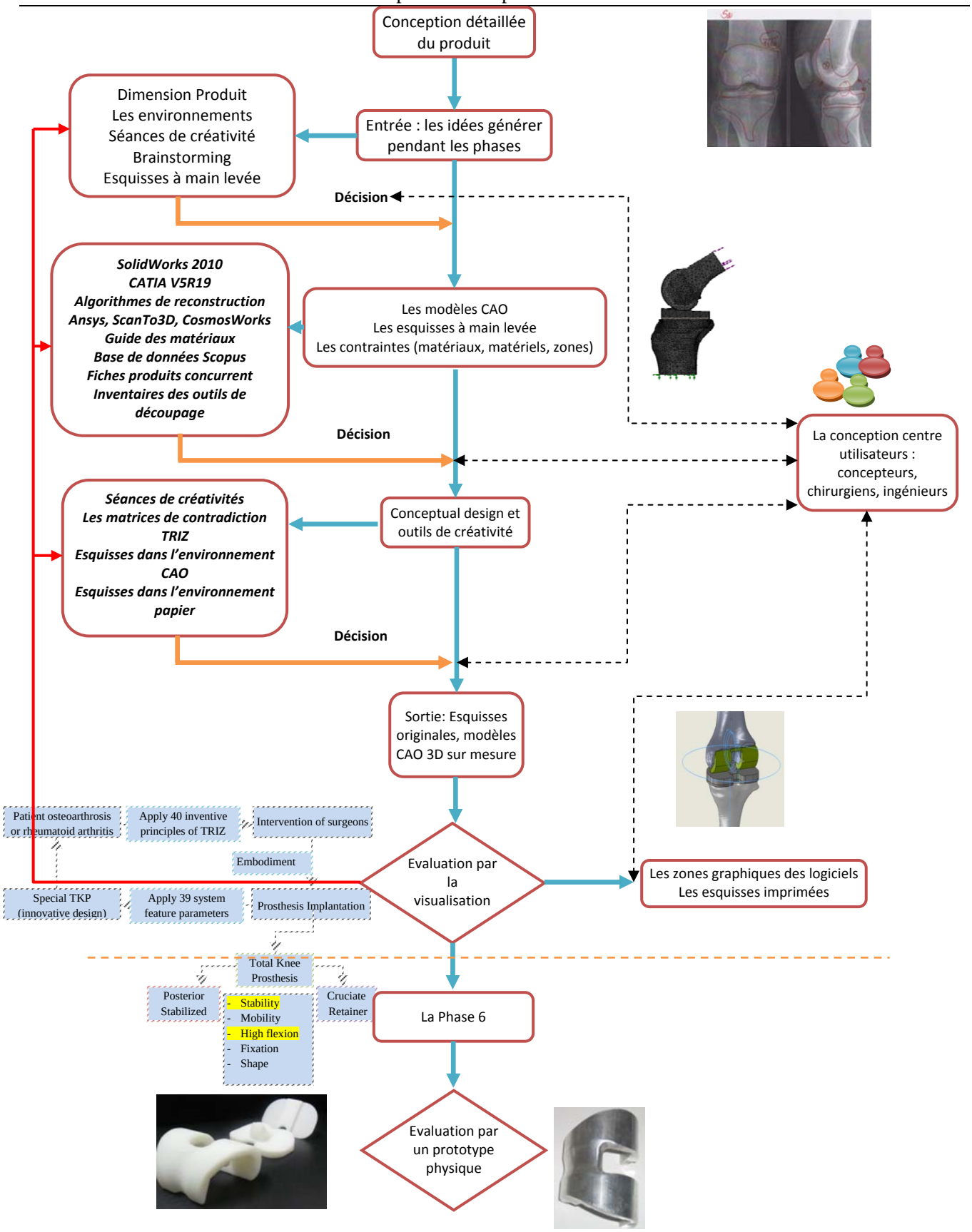


Figure IV. 20: un extrait des résultats après l'adaptation d'un processus de conception

La figure IV. 20 représente la phase conception détaillée pour ce produit « prothèse de genou » ainsi que les outils, les environnements et les métiers liés à cette phase. Pour plus de détaille sur les autres activités consulter les articles publiés liés au produit.

IV. 2. 5. 2 Etude du Produit PINT 1 : conception d'un moule à injection plastique pour les engrenages en s'appuyant sur la carte sémantique – Cas de génération-

Dans cette expérience nous avons suivi l'activité conception au sein de l'organisme A et avec l'équipe de conception indiquée au tableau IV. 2. Cependant cette fois ci nous avons expliqué pour les différents acteurs de cette équipe le rôle de la carte sémantique ainsi que l'importance des critères d'aide à la décision et les outils et les méthodes liées a cette carte. Le déroulement de cette expérimentation est similaire à la précédente.

Projection de la dimension produit sur le développement du PINT 1

Un flux d'information « produit » permet de passer des besoins du client, exprimés sous forme de cahier des charges, à la définition du produit et de son procédé d'élaboration. D'où l'intérêt du prémodèle produit proposé au chapitre outil, qui est sous forme d'un organigramme évolutif, séquentiel et itératif. Evolutif dans le sens de son ouverture à des nouvelles ressources, méthodes et outils. Ainsi le chef de projet (équipe) de conception ne trouve pas un problème de verrouillage.

Séquentiel parce que chaque activité est liée à celle qui la précède. Itératif entre certaines phases séquentielles, permet d'augmenter le champ des solutions et offre des concepts plus performants. Ainsi c'est une préparation de la phase amont du processus de conception.

Sur les Figures IV.21 et IV.22, du pré-modèle, montrent que les connaissances sur le produit est la première étape après l'identification du besoin: son objectif est de connaître le problème c'est-à-dire le « quoi ». Un questionnaire entre les différents acteurs est en mesure de donner un aperçu sur l'état de connaissance sur le produit.

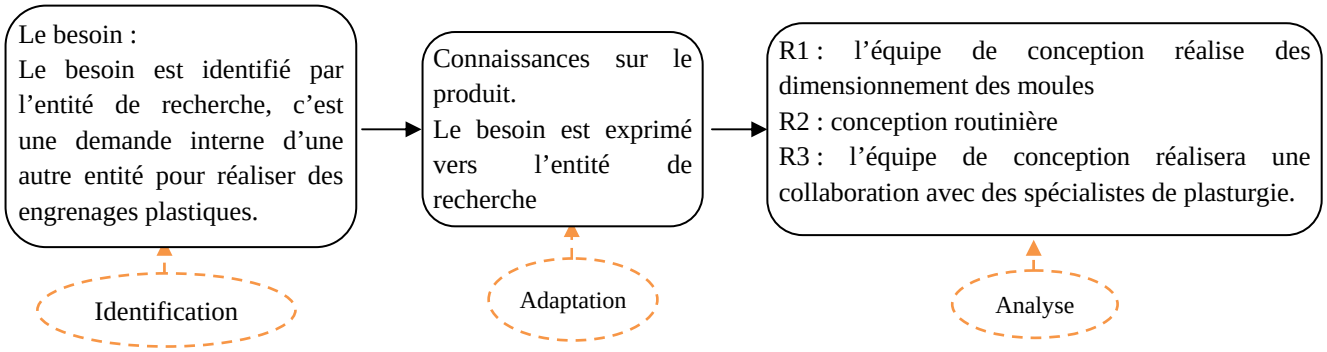


Figure IV.21 : Première projection sur la dimension produit

Le résultat du pré-modèle produit est projeté sur un cas de produit « moule pour engrenages plastiques» comme est indiqué sur la figure IV. 21.

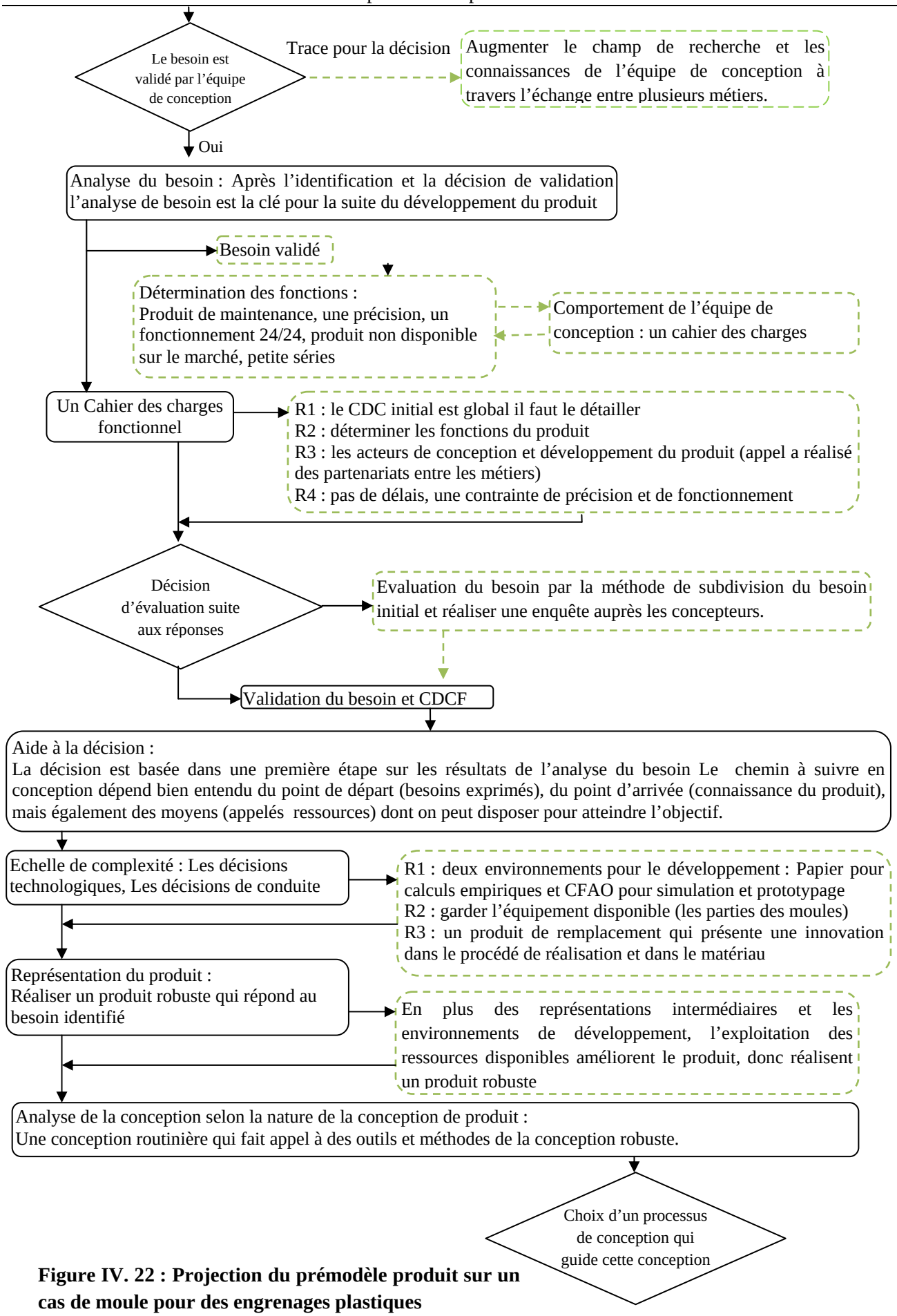


Figure IV. 22 : Projection du prémodèle produit sur un cas de moule pour des engrenages plastiques

Je donne ici quelques indications sur les étapes de la figure IV. 22.

Cahier des charges : Réaliser un moule pour des engrenages plastique selon les indications des équipes de maintenance. L'objectif consiste à concevoir et réaliser un produit à partir d'un besoin. Le produit envisagé peut être entièrement nouveau ou être l'amélioration d'un produit existant. L'objectif est de Réaliser la conception d'un moule pour engrenage plastique. La conception de ce produit fait appel à des connaissances dans des divers domaines. Pour ce produit il n ya pas un cahier des charges fonctionnel entre le demandeur et le concepteur. Le chef de projet cherche une conception routinière, robuste et sans échecs sur la fabrication du produit. Une autre contrainte c'est la réalisation selon les ressources disponibles. Le chef de projet est appuyé sur la dimension produit pour préparer la phase amont. Cette dimension permet de préparer le terrain pour réaliser un processus de conception pour ce type de produits. Un cahier des charges préliminaire est établi par l'équipe de conception, figure IV.23.

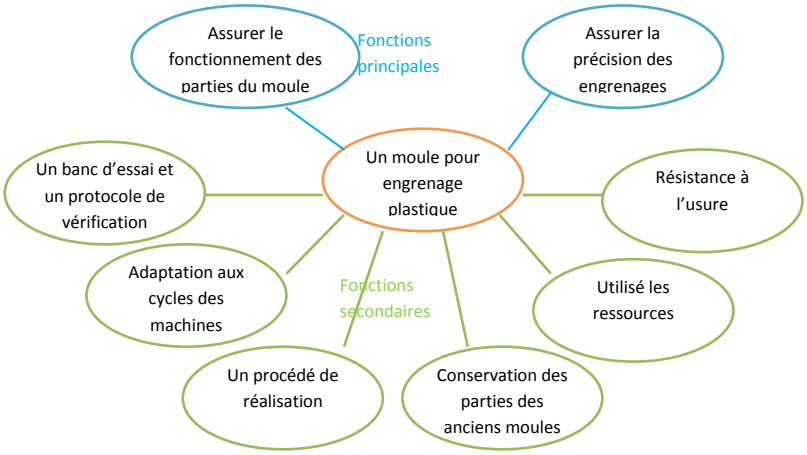


Figure IV. 23. Cahier de charges préliminaires du produit

Analyse du besoin : Les réponses exprimées sur la figure et les critères de qualification sur l'état final du produit nous pousse vers plus de détail de la notion préliminaire du besoin. Quatre besoins ont été identifiés pour le produit. Quatre entretiens ont été réalisés avec les membres de l'équipe de conception. Ainsi les matrices fonctionnelles (*Xij*) et dysfonctionnelles (*Yij*) sont de dimension (4 X 4), comme est illustrée sur les figure IV. 24 et IV.25.

Besoin : réaliser des engrenages plastiques
Sous besoin B1 : la qualité des engrenages
Sous besoin B2 : réaliser une collaboration
Sous besoin B3 : des produits précis et disponibles sur le marché
Sous besoin B4 : utiliser les moyens disponibles

Tableau IV. 13. Le besoin global et les sous besoins pour réaliser un engrenage plastique

$$X_{ij} = \begin{array}{c} \\ C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} B1 & B2 & B3 & B4 \end{array} \\ \begin{pmatrix} +2 & +2 & +2 & +2 \\ +2 & +2 & +2 & +2 \\ +2 & 0 & +1 & -1 \\ +2 & 0 & +1 & -1 \end{pmatrix} \end{array} \quad Y_{ij} = \begin{array}{c} \\ C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} B1 & B2 & B3 & B4 \end{array} \\ \begin{pmatrix} -2 & -1 & 0 & -2 \\ -2 & -1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

Figure IV.24 : la matrice fonctionnelle et dysfonctionnelle des besoins

Les scores fonctionnels et dysfonctionnels, ainsi que le score inverse (RI) ont été calculés, ce qui donne les valeurs suivantes :

	B 1	B2	B3	B4
FI =	(1	0.5	0.75	0.5)
DI =	(0.75	0.25	0	0.375)
RI =	(0	0	0	0.25)

Figure IV. 25 : Vecteurs fonctionnel, dysfonctionnel et inverse pour les concepteurs

Projection de la dimension Processus de conception sur le développement du PINT 1

Les résultats de la première expérimentation sur le développement de ce produit nous a conduit à la conclusion suivante :

« L'absence d'un processus de conception au sein de cette entité et malgré les compétences de l'équipe de conception ainsi que les outils développés pour ce produit et les méthodes de conception employées le produit à connu un échec dans des phases avancées de la conception. Réévaluation et la correction des lacunes signalées sur le produit à consommer un temps supplémentaire et des efforts de la part des concepteurs. D'où la nécessitée d'un processus de conception » (Figure IV. 26). Le paramètre identifié pour la réussite de ce produit est de consulter d'autres domaines pour créer une collaboration entre les différentes activités de la conception (Figure IV. 27).

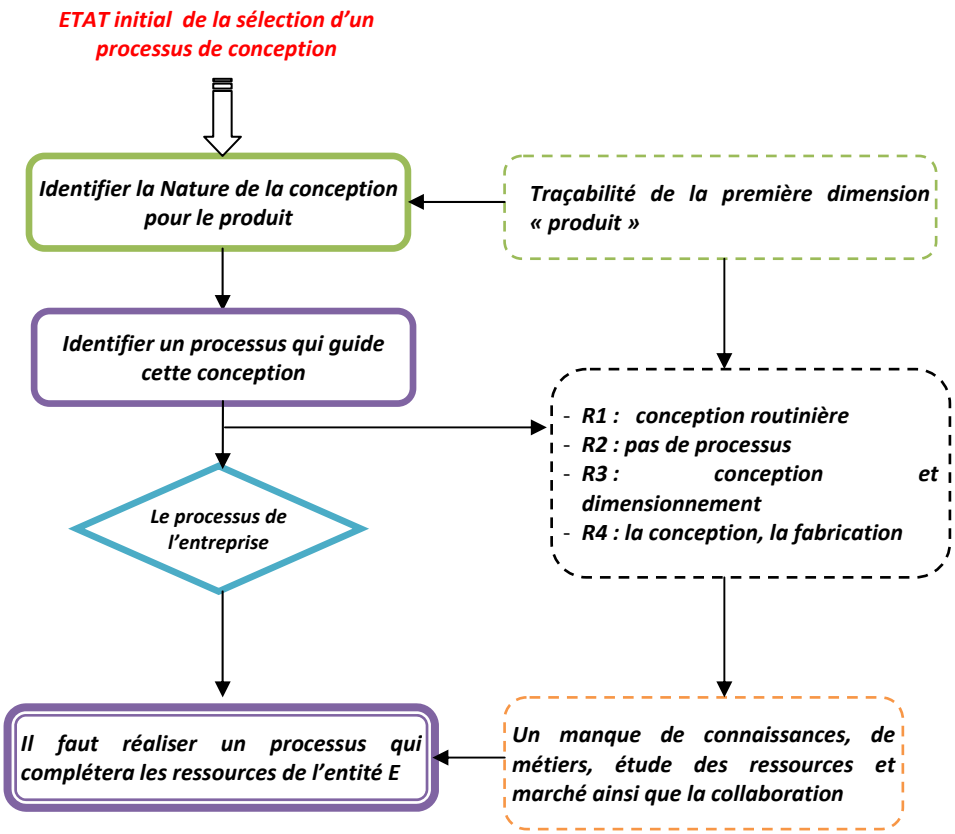


Figure IV.26 : La première étape du pré-modèle processus de conception pour la sélection

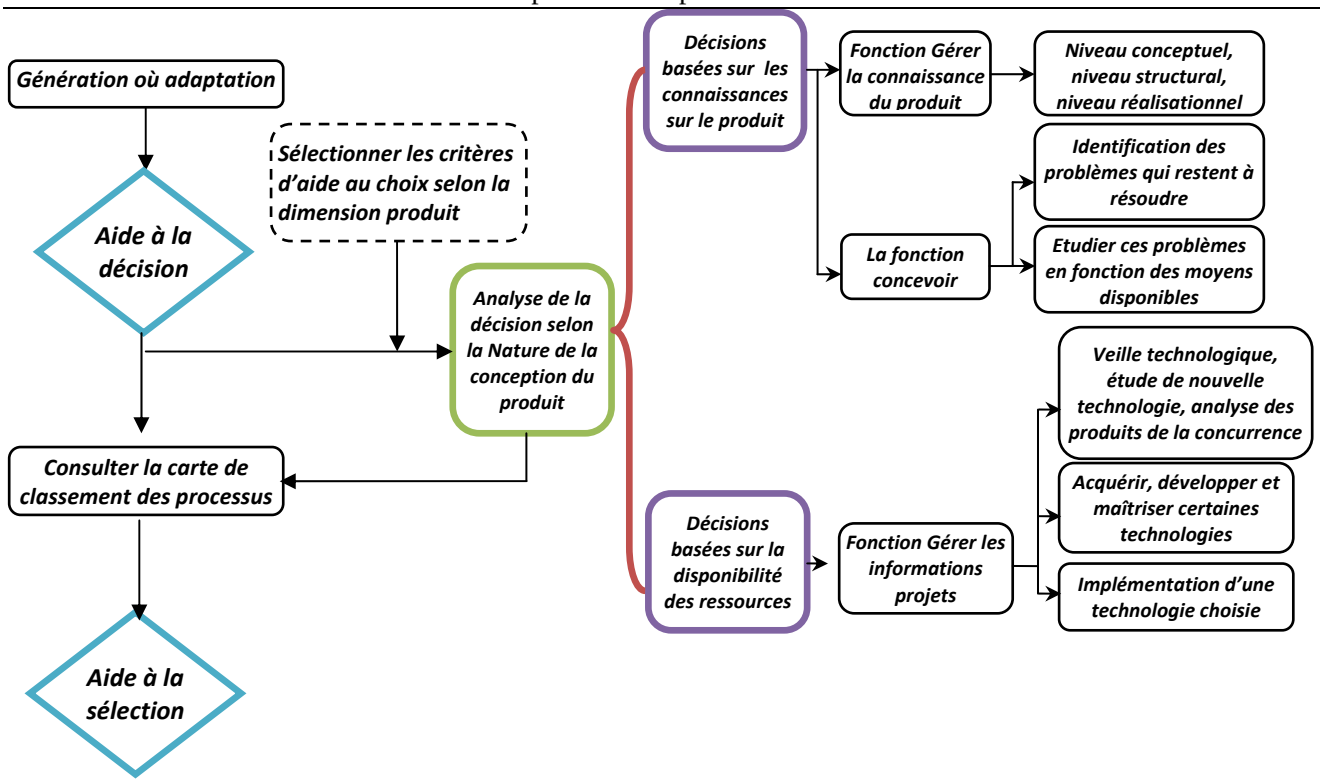


Figure IV. 27 : L'aide à la décision pour la sélection d'un processus de conception

D'après les résultats de la dimension produit et la première étape de la dimension processus de conception, le modèle sélectionné à partir de la carte de classement du processus de conception pour ce produit est basé sur la notion de « domaine » (Figure IV. 28). Chaque domaine représente un ensemble d'activités, de métiers et de disciplines afin de réaliser un produit robuste.

La consultation de la carte sémantique de classement des processus de conception nous à permet de sélectionner le modèle suivant :

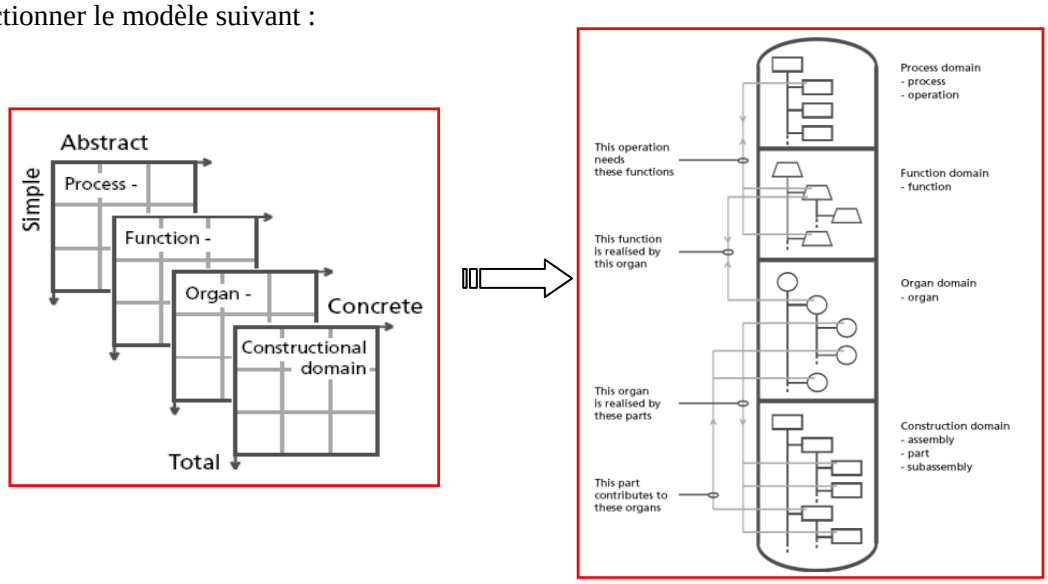


Figure. IV. 28 : Sélection d'un modèle de processus de conception sur la carte de classement pour le développement du PINT1.

La valeur du vecteur inverse de la figure IV. 25, est importante pour la suite des travaux de conception pour cette équipe. En effet cette valeur est liée au besoin 4 qui est de garder l'équipement de fabrication des moules. Cette notion du sous besoin est utilisée par les équipes de conception et les autres domaines.

Les domaines identifiés nécessaires pour la collaboration avec l'équipe de conception sont :

	Domaine de maintenance	Domaine de conception	Domaine des matériaux	Domaine de plasturgie
Sur le produit	Réduire les éléments à entretenir dans l'ensemble du produit	Gérer la coordination entre les domaines pour créer une conception robuste	Les matériaux et la qualité de surface	Calcul de cavité
Sur l'équipement	Préserver l'équipement existant de maintenance		L'usinabilité des matériaux par l'équipement disponible	Calcul des amortissements sur la durée de vie du produit

Tableau. IV. 14. L'apport des domaines pour l'équipe de conception pour créer un produit.

L'ensemble du processus de conception est constitué de 05 phases et de quatre domaines (Figure IV. 29). Le dernier paramètre à gérer pour l'élaboration du processus de conception c'est les itérations entre les phases et les domaines (Figure IV. 30).

D'après les recommandations de la littérature sur les itérations, nous sommes en face de développer la notion de « Raffinement : Conceptions qui répondent à leurs besoins primaires peuvent parachevés pour améliorer les caractéristiques secondaires, par exemple pour améliorer l'élégance ou pour réduire les coûts. Raffinement excessif se produit souvent où il n'est pas évident quand s'arrêter de travailler sur un problème, par exemple si il ya quelques jalons dans un programme de développement ou si les critères d'évaluation sont subjectifs ».

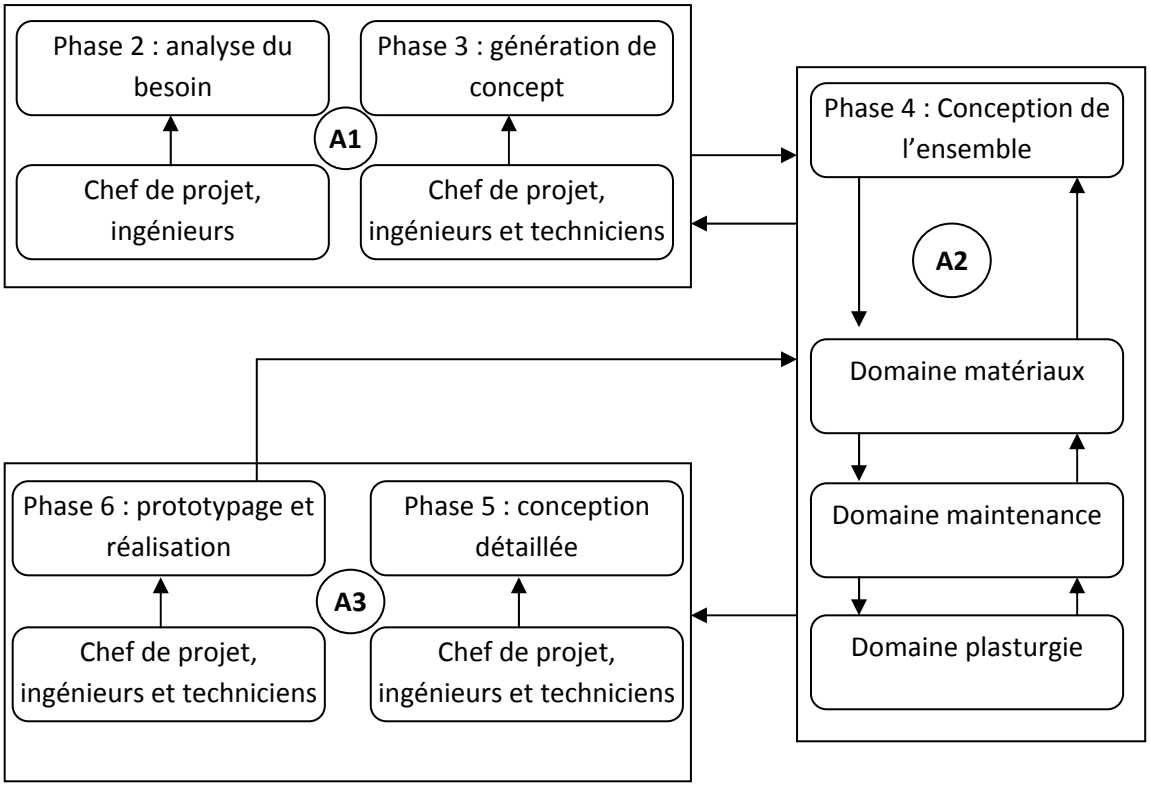


Figure IV. 29 : 05 phases, 04 domaines et 03 activités pour réaliser un processus de conception.

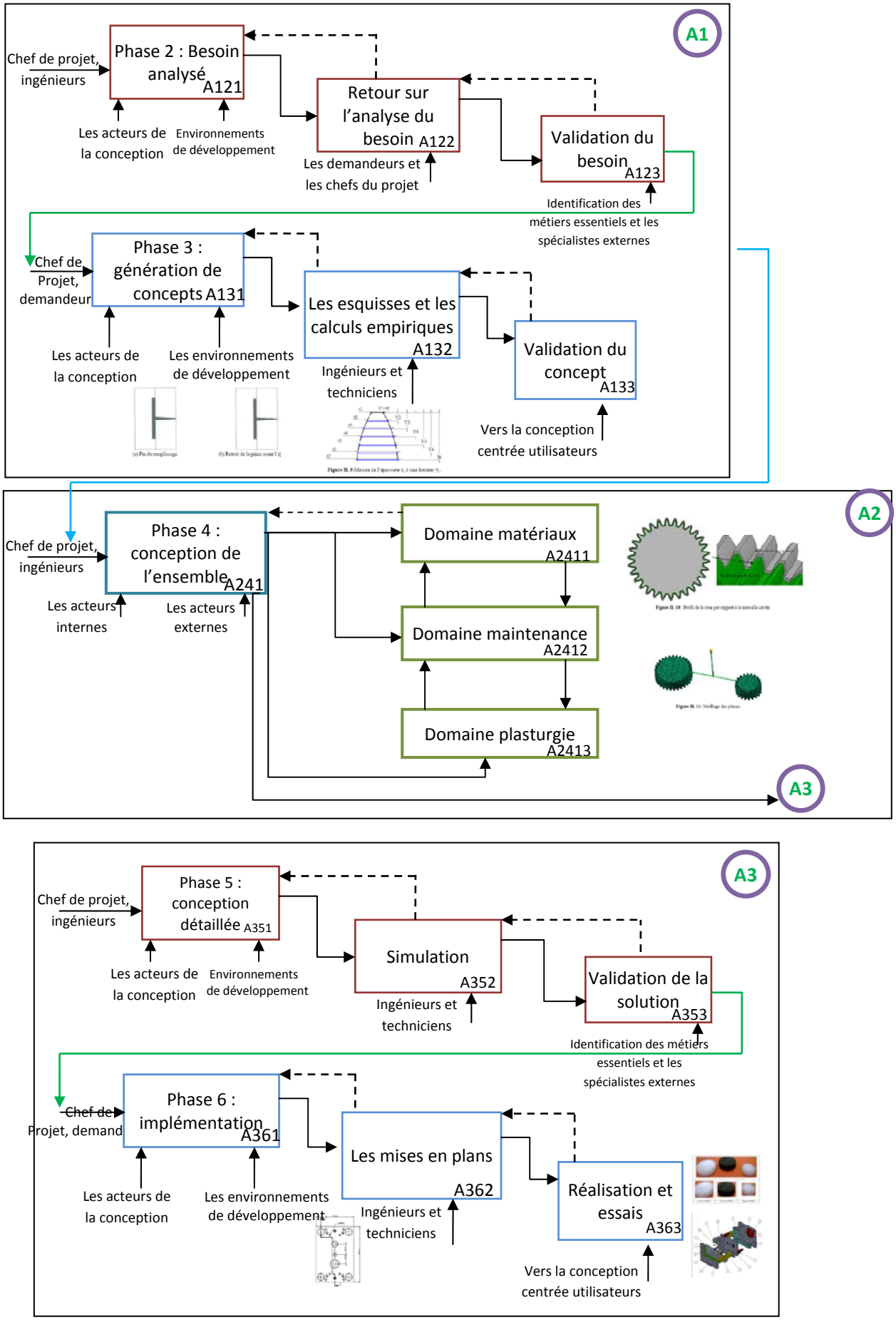


Figure IV. 30 : Un processus de conception pour le développement du produit – Processus II en détaille.

IV. 2. 5. 3 Résultats & discussion

Notre problématique de recherche est : **Comment optimiser le choix d'un processus de conception soumis à un environnement contraint ?** Afin de répondre à cette problématique, nous avons au cours de cette première expérimentation formaliser le développement de deux produits par la sélection d'un processus de conception à partir d'une carte de classement et d'adapter selon la nature du produit. Ce travail nous a permis de valider les apports suivant :

- L'analyse de l'activité de conception au sein de l'entité E à travers le développement des produits nous a permis d'identifier les points faibles de cette entité. Cette identification est caractérisée par la nécessité d'acquérir un processus de conception pour le développement des produits tout en projetant les ressources et en suscitant des collaborations.
- Le développement de la dimension « produit » de la carte sémantique tridimensionnelle à montrer l'importance de la phase amont de conception pour créer un produit innovant. Cette notion sera la clé de réussite qui nécessitera plus d'avantage de développement.
- Le développement de la dimension processus de conception nous a permis d'adapter et d'explorer des processus de conception où la finalité est d'avoir un processus de conception sur mesure et pour un produit donné. La généralisation du processus identifié est l'objectif de la deuxième expérimentation.
- L'analyse du cycle de développement du produit soit avec la carte où son la carte, nous à faciliter le développement de la troisième dimension de notre carte à travers l'identification des outils, des méthodes et des métiers essentiels liés à chaque phase de développement du produit.

L'expérimentation a pour objectif de valider la première hypothèse qui est : ***Guider le choix des concepteurs à travers une approche d'adaptation (consulter la carte de classement des processus de conception)***. En effet, afin de valider le choix d'un processus de conception, nous faisons l'hypothèse d'adapter un processus de conception similaire existant. Ainsi l'objectif est de développer une carte de classement des processus de conception qui facilitera l'identification des processus similaire au développement des produits. Cette identification considère la phase amont du processus de conception, ainsi :

- Positionnement n°1 par rapport à H1 : nous validons ici le fait de développer la phase amont de conception sous la notion « dimension produit » facilitera l'identification d'un processus de conception
- Positionnement n°2 par rapport à H1 : plus que la dimension produit de la carte est bien préparée, l'identification pour l'adaptation à travers la deuxième dimension est facile en appuyant sur les notions d'aide à la décision
- Positionnement n°3 par rapport à H1 : la collaboration entre acteurs et secteurs de conception est un facteur important caractérisé par la conception centrée utilisateur et la conception collaborative entre domaines.

Cette première expérimentation nous a permis également de conforter notre positionnement par rapport à la bibliographie réalisée dans le cadre de l'état de l'art et de l'outil.

- Par rapport aux travaux de **(Scaravetti, 2004)** et **(Howard, 2008)** : nous soulignons la nécessité de créer des catégories de classement par rapport aux finalités des produits. Intégrer un processus de conception sur la carte de classement est conditionné par les objectifs tracés par l'entreprise.

- Par rapport aux travaux de **(Wynn, 2007)** : les itérations sont en fonction des résultats des étapes et phases du processus de conception. Une bonne architecture selon une distribution de tâche d'un processus de conception rend les itérations de décision plus simple.
- Par rapport à la diversité des modèles pour les produits orthopédique et les produits transmission de puissance, les figures ci-dessous illustres le processus de conception des deux produits « prothèse de genou » et « moule pour engrenage plastique » qui sont désignés successivement par Processus I et Processus II. les itérations sont identifiées pendant le développement du produit.

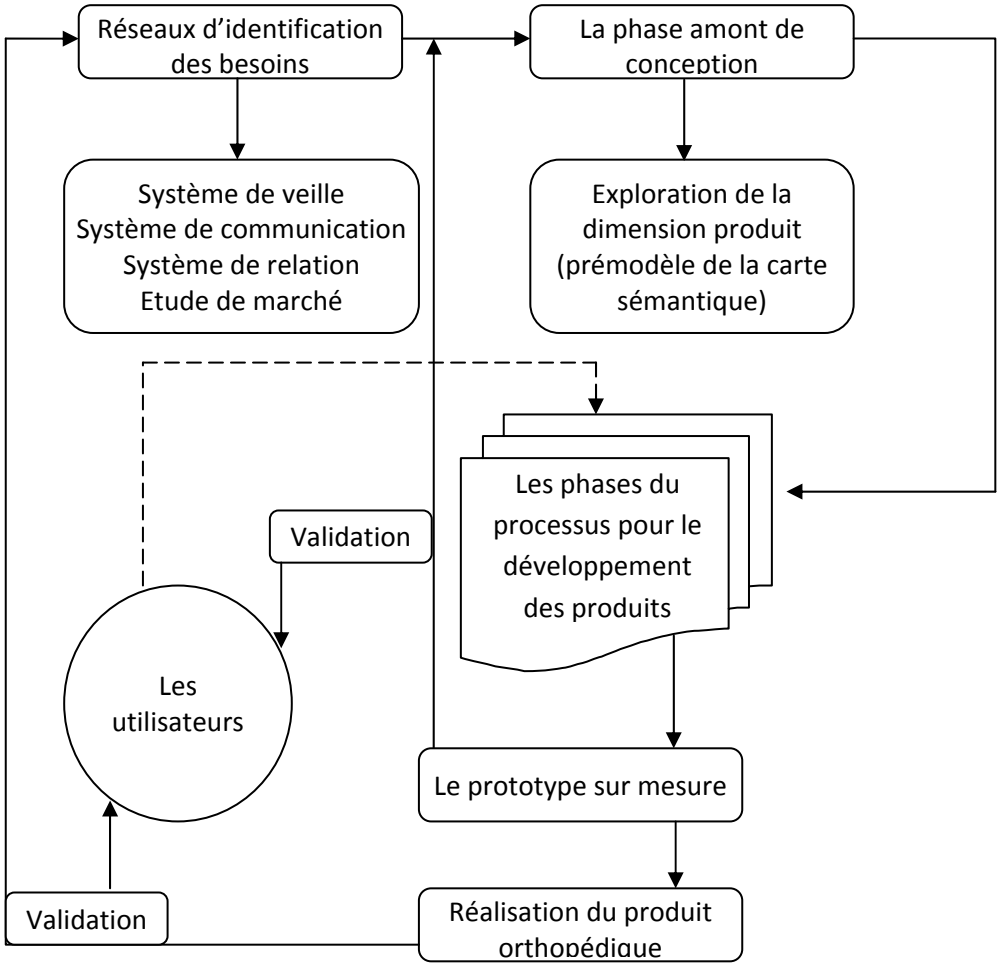


Figure IV. 31: Processus de conception des produits orthopédiques élaboré par l'entité E, Processus I

Le but de cet outil « dimension produit » est d'être à la fois méthodologique et évolutif pour se rapprocher et préparer le plus possible la phase amont du processus de conception (le cas des entreprises qui ont besoin d'un processus de conception) et d'élaborer une solution innovante. L'idée est que si les éléments nécessaires aux concepteurs leur sont plus accessibles, cela réduit les délais de conception et donne des préconcepts favorables. L'idée est que la dimension produit peut aider à l'intégration et l'appropriation de nouveau fonctionnement par l'accès aux connaissances adaptées en s'appuyant sur les ressources disponibles.

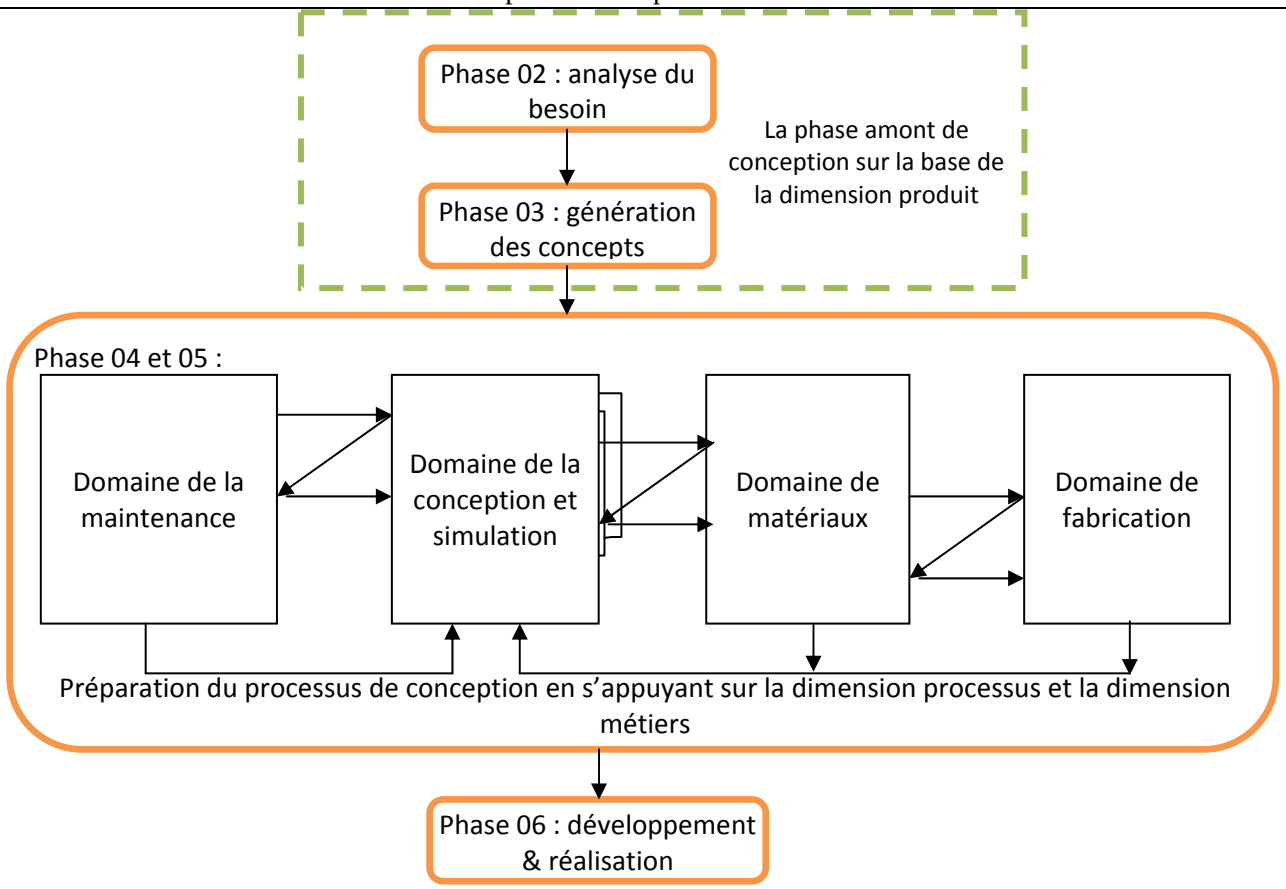


Figure IV. 32 : Le processus de conception pour le produit « moule pour engrenages plastiques » Processus II

Pour clarifier aussi ce que peut-être cette dimension, nous indiquons ici ses deux fonctions principales : Fonction principale 1 : Permettre au responsable de conception d'analyser le besoin et de préparer un CDCF détaillé. Fonction principale 2 : Permettre au concepteur de bien préparer les concepts par la préparation de la phase amont. Un tel outil offre au chef de projet de conception et de développement un support d'aide à la décision et une vision sur les ressources disponibles.

Le besoin, analyse de besoin, aide à la décision et l'analyse de la décision sont les éléments principaux de la dimension « produit ». La projection de cette dimension sur des produits réalisés par l'équipe de conception a montré l'efficacité à travers un gain du temps de conception et les concepts proposés. Un autre avantage est la réduction des taux des échecs de la conception. Cette réduction est liée à l'adaptation d'une intégration et une identification des métiers et des utilisateurs liées aux produits dès la première étape. Cette identification complètera les lacunes de l'équipe de conception et contribue à la réussite du produit. On a remarqué que les méthodes appliquées au produit sont directement liées à la définition du produit auquel elles apportent une valeur ajoutée. Ce sont des méthodes attachées à la résolution d'un problème de fond. La tendance de cet outil et d'enrichir les méthodes actuelles d'identification et d'analyse du besoin à fin de préparer la fabrication des produits sans échecs.

IV. 2. 5. 4 Conclusion

Le cadre de la première expérimentation est l'Analyse des équipes de conception avant et après l'utilisation de la carte sémantique. L'objectif principal de cette expérimentation est de valider les hypothèses de modélisation et de répondre à la problématique de recherche. L'objectif secondaire est de validé notre outil « la carte sémantique tridimensionnelle » développée suite aux constats issus de l'état de l'art.

Effectivement, grâce au développement de 2 produits cette expérimentation a permis d'installer deux processus de conception issus d'une adaptation d'un processus localisé sur la carte sémantique de classement des processus développée suite aux résultats des modèles explorés pendant la réalisation de l'état de l'art. Cette installation valide l'hypothèse de l'adaptation et l'amélioration du modèle adapté valide l'hypothèse de génération. Notre objectif principal est atteint a travers cette expérimentation.

La validation de l'outil par des utilisateurs est basée sur les résultats obtenus. L'explication de fonctionnement de l'outil est une étape clé de notre intervention, le reste du travail est réalisé par les équipes de conception. Les retours sur les pratiques et les activités sont exploitées afin de créer une base de données qui englobe les métiers, les outils et les méthodes employées par les équipes de conception, que ce soit pour le développement du produit ou pour la réalisation du processus et l'identification des ressources.

Un tel outil est indispensable auprès des chefs de projets qui souhaitent installer et réaliser un processus de conception et d'inviter l'ensemble des équipes de conception pour réaliser des innovations à travers l'exploitation des outils et méthodes ignorées pendant le cycle de développement du produit. C'est une réponse aux recommandations des auteurs **(Ullman, 2003) (Tomiyama, 2009) (Lahonde, 2010)**.

Cette réalisation de processus de conception I et II (Figure IV. 31 & Figure IV. 31) sur la base d'utilisation de la carte sémantique tridimensionnelle est une contribution dans l'axe de recherche LCPI « optimisation du processus de conception » et au même temps une réponse pour la problématique « **Comment optimiser le choix d'un processus de conception soumis à un environnement contraint ? ».**

Pour continuer sur cet aspect l'exploration d'autres produits par d'autres équipes de conception est nécessaire, c'est l'objectif de la deuxième expérimentation qui validera d'avantage nos hypothèses.

IV. 3 Cadre de la deuxième expérimentation : développement des produits avec la carte et une autre équipe de conception - Validation des processus réalisés dans la 1ereexpérimentation -

La validation de la première hypothèse est réalisée par la première expérimentation, où nous sommes arrivées à l'adaptation des processus de conception pour des produits. L'objectif de cette expérimentation est de valider les processus réalisés durant la première expérimentation d'une part et valider une partie de la deuxième hypothèse d'autre part.

Après avoir développé deux produits dans les deux expérimentations précédentes sans et avec la carte sémantique tridimensionnelle, l'objectif de cette expérimentation et de développer des produits en appuyant sur les pratiques des équipes au sein de la deuxième expérimentation. Les équipes de conception sont différentes de la première expérimentation, les chefs de projets et animateurs gardent leurs fonctions.

L'utilisation des Processus I et II (Figure IV. 31 & Figure IV. 31) de la première expérimentation pour développer des produits similaires afin de mesurer l'efficacité et la multidisciplinarité des processus réalisés, ainsi que le comportement des équipes de conception vers la dimension métier de la carte sémantique.

IV. 3. 1 Les produits à développer et l'utilisation de l'outil développé

Le développement des produits et les résultats obtenus sur plusieurs plans ont donnés pour l'entité E des possibilités de développement d'autres produits sur la base des résultats des premiers produits.

L'utilisation de la carte sémantique tridimensionnelle par le chef de projet et les équipes de conception a permis d'identifier un processus de conception à suivre pour le développement du produit. L'exploration des différentes dimensions de la carte et l'adaptation des processus I et II permettent la réalisation d'une conception innovante, créative et robuste.

Les résultats de cette expérimentation valident d'avantage les hypothèses et l'outil développé, afin de donner un aspect général d'exploitation.

Dans la suite de développement des produits l'équipe de conception va utiliser les processus de conception identifiés et améliorés pendant la première expérimentation. Les paramètres à explorer d'avantage par cette équipe de conception sont :

- La phase amont de conception de chaque produit
- Les métiers liés à chaque produit
- L'Identification d'une stratégie de développement pour l'entité basée sur le processus de conception des moules à engrenages plastiques

Donc, l'ensemble des produits est divisé en deux familles :

- Famille 1 : des produits orthopédique
- Famille 2 : des produits de transmission de puissance

IV. 3. 1. 1 Développement des produits orthopédiques sur la base du processus I

La notion sur mesure est présente toujours pour cette famille de produit, ce qui change c'est la mission de chaque produit. Dans cette optique, l'équipe de conception est en mesure de développer les produits suivant :

- Des orthèses d'amélioration de la marche (passive et dynamique)
- Des prothèses de la hanche (une PTH sur mesure, une PTH standard)

IV. 3. 1. 1. 1 Processus de conception des orthèses

L'équipe de conception est invitée à utiliser l'architecture du processus de conception de la figure IV. 31. Sur la base de cette configuration l'équipe de conception a commencé à réaliser les tâches suivantes :

a. Identification du besoin

L'équipe de conception est basée sur un questionnaire pour connaître les origines du besoin, la nature de produits, les utilisateurs, la situation du marché, les entreprises de développement, ….

En présence de cette situation, la dimension produit de la carte sémantique tridimensionnelle est l'enceinte pour réaliser cette enquête et préparer en parallèle la phase amont de conception.

b. La dimension produit de la carte pour étudier les orthèses du pied

Le besoin :

1- Expression fonctionnelle du besoin

Le besoin préliminaire est : de réaliser des orthèses de pied pour une population bien déterminée.

Cette expression pousse l'équipe de conception à adapter la méthode de subdivision en sous besoins du besoin global afin de créer des tâches de conception bien structurées, ce qui peut augmenter les chances de réussite du produit.

2- Connaissance sur le produit

Dans ce stade l'entité E à un savoir faire sur le développement des produits orthopédiques (résultats de la première expérimentation). La seule variable pour ce produit est la fonction ainsi que le mode opératoire.

Quatre besoins ont été identifiés pour le produit.

Code	Besoins
B1	Un produit sur mesure : une orthèse passive et une orthèse dynamique
B2	Réduire le cycle de réalisation
B3	Une population bien déterminée (pied spastique, hémiplégie)
B4	Introduire les chirurgiens dans le processus de développement

Tableau IV. 15 : liste des besoins pour le produit

L'identification des sous besoins est basée sur des séances de brainstorming entre les concepteurs et les chirurgiens. Le tableau IV.15, indique la nécessité de développer deux produits pour deux cas pathologiques. Le tableau des sous besoins aide les concepteurs dans le choix des outils et méthodes nécessaires pour développer un produit innovant, de qualité et dans un délai minimum.

Après avoir analysé le besoin, l'équipe de conception à réaliser une étude sur la méthode classique de réalisation des orthèses afin d'apporter une contribution innovante en adaptant le Processus I développer pendant la première expérimentation.

Analyse du cahier des charges

Une analyse du cahier des charges nécessite l'identification des tâches (ou activités) de conception (Figure IV. 33). En s'appuyant sur la carte sémantique nous avons utilisé l'analyse fonctionnelle pour décomposer les tâches et les fonctions du produit.

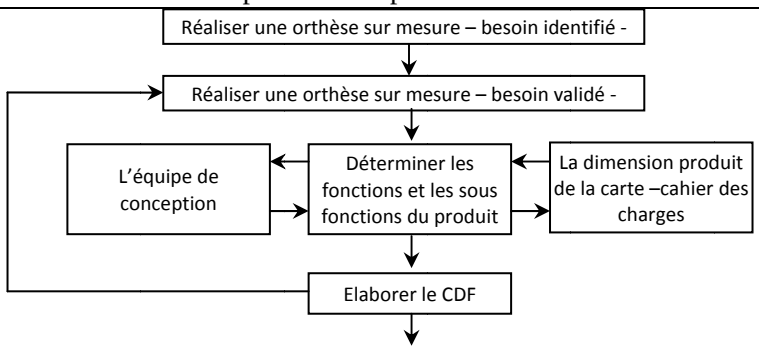


Figure IV. 33 : réaliser le CDF par l'équipe de conception

Pendant les séances de brainstorming pour la génération des idées, le cahier des charges sur le besoin est finalisé. La figure suivante donne un aperçu sur les fonctions principales du produit.

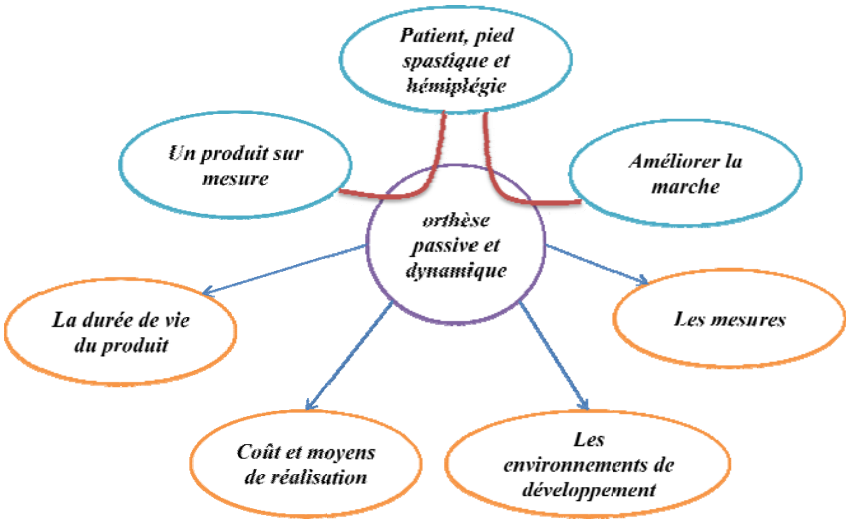


Figure IV. 34: premier modèle de CDCF du produit

Analyse de la méthode traditionnelle de développement

Comme indiqué sur la figure IV. 35, le processus classique de conception des orthèses du pied. La projection des pratiques sur un axe linéaire des phases de processus de conception, marque immédiatement les limites du processus traditionnel pour la qualité du produit final, le temps réservé par les chirurgiens et techniciens pour la réalisation du produit, les quantités des matériaux employés pour réaliser des prototypes, …

Identification de l'environnement de développement

L'utilisation de l'environnement CAO est favorisé par la majorité de l'équipe de conception. Ce choix est basé sur les connaissances des équipes de conception, les ressources disponibles, algorithmes développées pour le premier produit ainsi que les séances de créativités entre les utilisateurs et les concepteurs.

Dans cet environnement les ingénieurs utilisent les données anatomiques du tissu extérieur des patients issues des images DICOM sous forme d'un nuage de points. Ainsi les ingénieurs préparent le terrain pour créer des séances de créativités au profit des chirurgiens afin de réaliser des esquisses pour chaque patient. Les esquisses réaliser sont exploitées par les ingénieurs afin de déterminer et de réaliser des produits sur mesure.

La figure ci-dessous présente l'ensemble du processus de conception pour réaliser des orthèses sur mesure. Ce processus est réaliser sur la bases du Processus I. l'ensemble des phases et les itérations réalisées sont à la base de développement du processus.

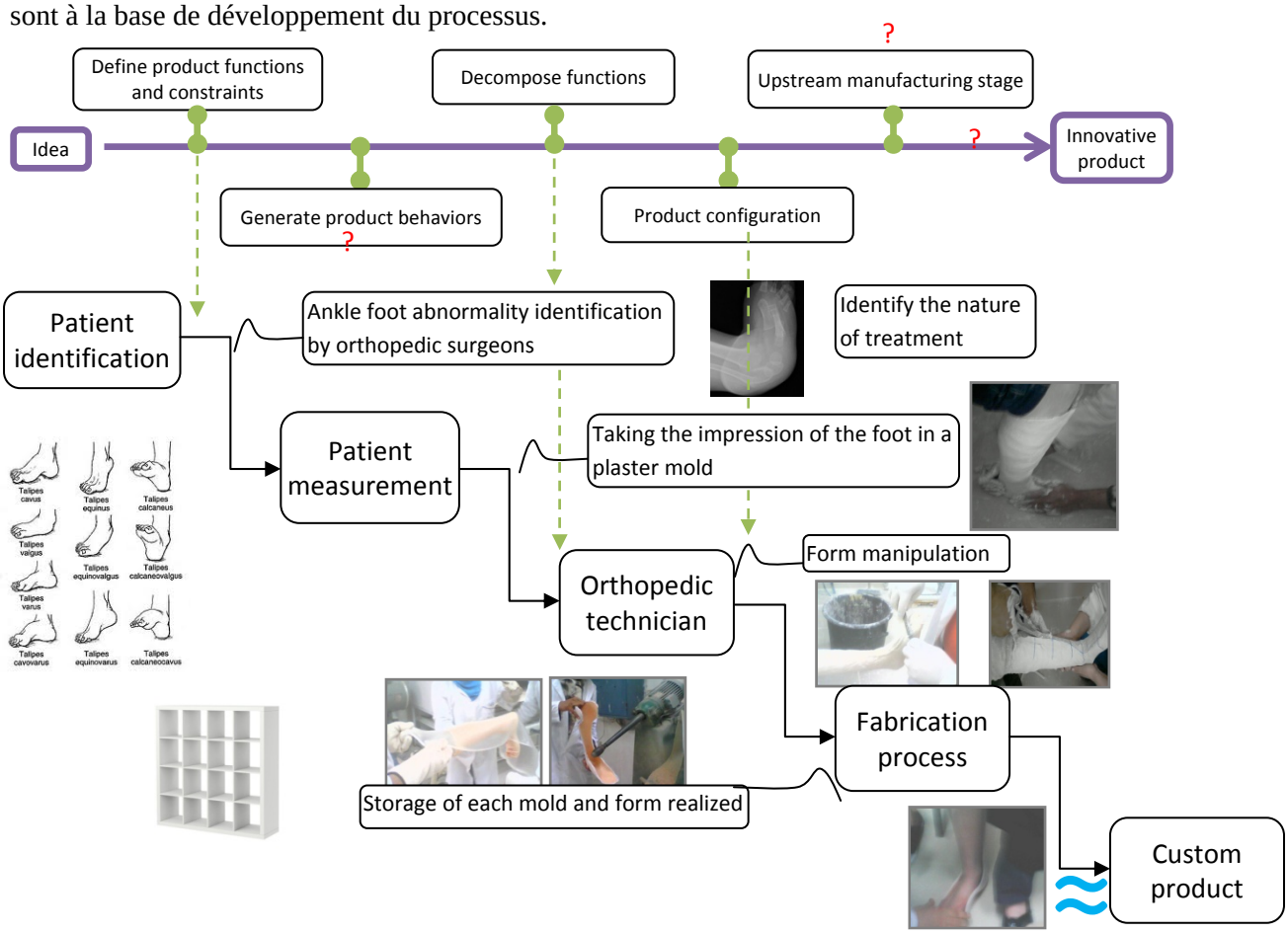


Figure IV. 35: Traditional process for custom AFO.

Le nouveau processus est le fruit du processus I, avec des outils innovants et une plus grande traçabilité dans un environnement CAO par l'intégration des différents acteurs dans le but de créer un produit personnalisé. Comme indiqué dans l'introduction, la réussite des entreprises dépendent de leur capacité à gérer la complexité de leur environnement de conception, ce qui nécessite le soutien d'une conception de produit dans un environnement CAO. En d'autres termes, ils doivent être en mesure de créer un design de produit unique en utilisant plusieurs applications de CAO dans un environnement de gestion de données. Sur la base de la conception du produit sous environnement CAO, les fabricants peuvent définir une mesure unique de produits en dépit de la complexité des environnements de conception hétérogène.

Les systèmes de CAO sont indispensables pour gérer la complexité du produit dans les applications médicales. Dans le procédé illustré à la Figure IV. 36, l'objectif est l'intégration des utilisateurs afin de changer et de créer un environnement innovant et de collaboration pour réaliser un produit personnalisé pour chaque patient. Chaque concept doit être logé dans toute représentation et le présent processus décrit les différents outils et procédures pour trouver la solution de différents cas. Les idées contenues dans ce processus s'appuient sur l'hypothèse que les différents concepts d'un objet dépendent de différents contextes fonctionnels. Ainsi, la représentation des propriétés fonctionnelles des objets de design est à la base sous-jacente à la formation de différents concepts sur mesure.

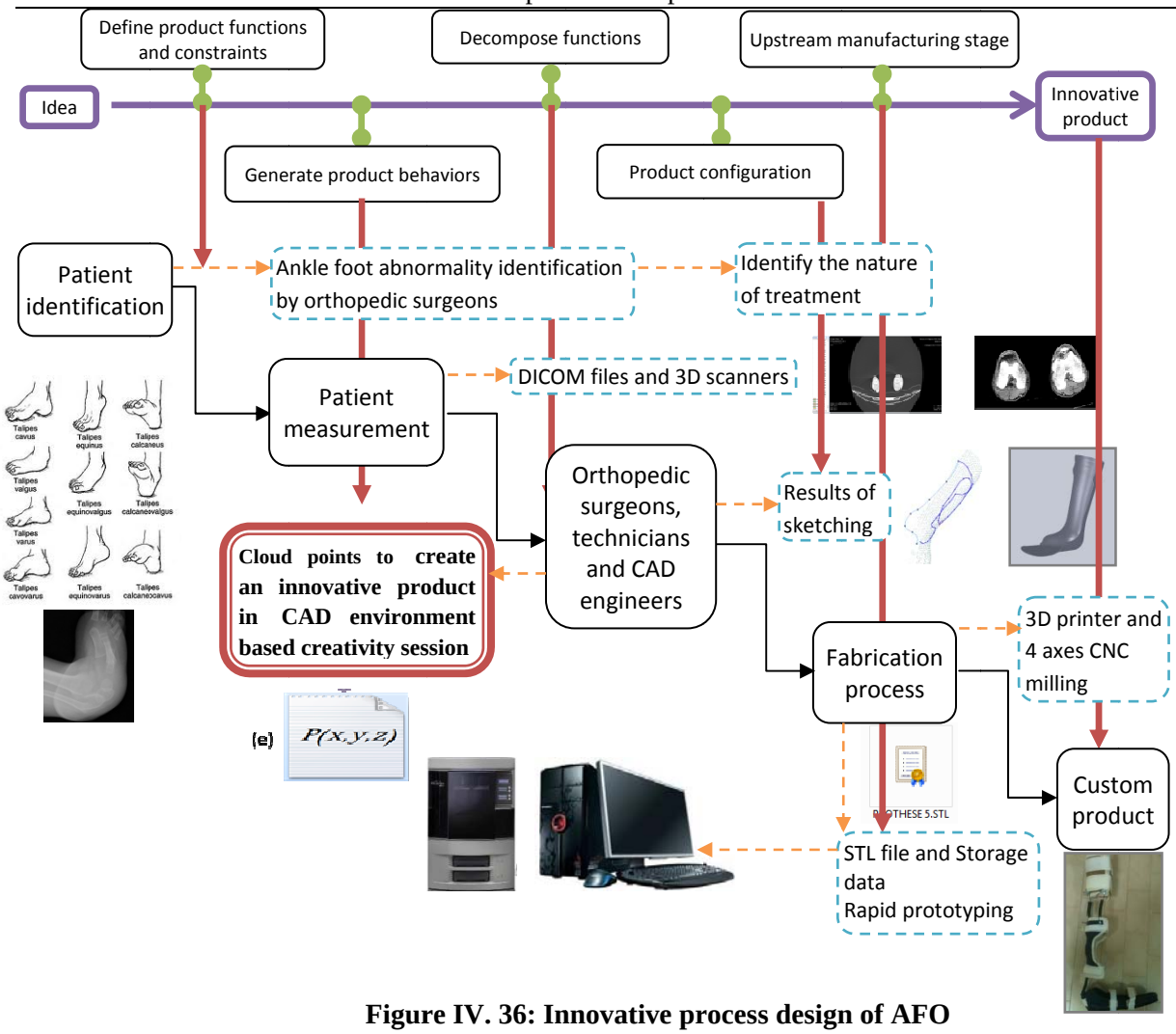


Figure IV. 36: Innovative process design of AFO

Résultats et discussion

Dans le processus de conception, il est nécessaire de définir et d'adapter un modèle tel que représenté dans la figure IV. 35 et Figure IV. 36, qui est complète et conducteur de conception innovante, ce qui représente des informations de conception du produit pour décrire l'ensemble du processus de conception. Mettre en ordre le processus de fabrication en phase amont et l'un des objectifs du processus. Dans cette expérimentation, lancez les utilisateurs en fonction des besoins et l'idée novatrice à travers les métiers identifiés et jugés utiles pour le développement et la conception.

Les différents modèles de conception de produits obtenus dans cette étude sont le fruit d'une collaboration entre plusieurs participants. Le lien entre eux est le processus de conception qui permet l'organisation et l'évaluation des environnements d'échanges tout au long du processus de développement du produit. Identification des métiers et des pratiques en phase différente du processus de conception nous a permis de gagner du temps et d'améliorer le produit. Organiser des séances de créativité auprès des spécialistes pour intégrer l'utilisateur. Cette approche nous permet de consolider notre vision d'adopter un processus de conception pour créer un produit innovant. Plusieurs paramètres sont mesurés lors de cette étude.

Par conséquent, cette étude développe l'intégration des connaissances et le mécanisme de partage pour la conception de dispositifs orthopédiques.

L'environnement de CAO et la collecte de données, au niveau de la conception amont en utilisant des techniques de reverse engineering aident au développement des connaissances et les résultats qui contribue de manière significative au produit innovant.

Les résultats obtenus par les techniques de reverse engineering sont des nuages de points. L'exploitation de cet aspect dans le processus de conception est une tendance croissante dans la structure du processus de conception assistée par ordinateur et la pratique du design, causée principalement par la disponibilité du puissants algorithmes développé, et qui sont en mesure de générer les points a partir des fichiers DICOM. Cet outil est la première contribution de ce travail afin d'enrichir les étapes du processus de conception. Grâce au nuage de points qui a été mis en œuvre pour développer des produits innovants avec succès dans un environnement de CAO soutenu par l'environnement de créativité en utilisant esquisses à main levée. Les Expériences de séances de créativités ont mené à réaliser une base de données des esquisses à main levée des différents participants, ce qui est la deuxième contribution de ce travail.

Les Esquisses réalisés par différents participant en séance de créativité sont mieux placées pour proposer différentes idées novatrices. Les Esquisses 3D dans les nuages de points sont finalisées par les ingénieurs, après la collecte des données. Ces esquisses 3D sont préparées dans les étapes de conception en amont. La préparation de l’évaluation du processus par prototypage rapide selon le modèle CAO 3D obtenue pour le produit dans l'environnement de CAO.

Le produit obtenu et son influence dans l'amélioration de la marche des patients est la contribution et l'intérêt du nouveau processus de conception. Le retour d’expérience obtenu à partir de nos patients est positif et leur cycle de marche est amélioré.

Performances entre le processus traditionnel et le processus adapté

La prestation complète du processus de conception, dans ce travail, est d'obtenir un produit innovant en peu de temps avec une approche collaborative. Les ingénieurs développent le produit final, en utilisant des esquisses, élaborées par les participants à des séances de créativité comme le point de départ. Également dans ce processus, plusieurs méthodes alternatives et des outils de conception peuvent être utilisés. Le modèle de processus offre des fonctions différentes de produit, de durabilité, d'assemblage et de production. Après, les informations de base gérée et les données recueillies dans les premiers stades du processus de conception du produit personnalisé est élaboré par l'intégration de différents participants en phase amont de conception par l’exploitation des techniques de créativité.

Idées générées, le temps et le type de produit

Un nombre considérable de ce travail a porté sur une approche descriptive pour comprendre l'activité de conception et de la cognition à travers la génération des esquisses en séances de créativité et observation des pratiques des participants. Notre Protocole expérimental se concentre sur la sortie des résultats comme base de produits innovants, et implique l'observation des chirurgiens et techniciens par les ingénieurs. Utilisation de l'environnement de CAO nous a permis de produire de grandes quantités d'idées dans un court laps de temps. Le grand avantage de cet environnement est le résultat du travail du protocole expérimental par l'intervention des ingénieurs pour modifier les esquisses générer pour créer un produit final. Par contre le premier environnement qui est basé sur l'animation de la séance de créativité avec du papier et un crayon et de transformer les résultats dans l'environnement CAO est un travail qui nécessite de longues étapes de traitement intermédiaires.

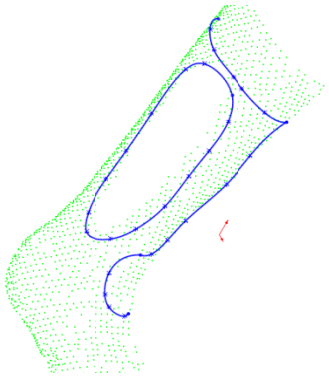


Figure IV. 37 : Esquisses réalisées dans l'environnement CAO

Comme indiqué sur la figure IV. 37, une esquisse générée par les participants pour donner les grands lignes du futur produit.

IV. 3. 1. 1. 2. Processus de conception des prothèses de la hanche

Sur la base du processus I, l'équipe de conception développe un nouveau produit orthopédique. Ce produit est caractérisé par son fonctionnement, c'est une prothèse totale de la hanche. La projection des résultats pour les différentes tâches de conception est présentée par la figure suivante

Figure IV. 38 : développement d'une prothèse totale de la hanche

a. Préparation de la phase amont de la conception par l'exploration de la dimension produit de la carte sémantique

Comme l'entité E à une expérience des processus de conception des produits orthopédiques à travers les produits développés pendant la première expérimentation, Le chef du projet propose l'application du processus I en commençant par l'exploration de la phase amont, c.-à-d., la dimension produit de la carte sémantique.

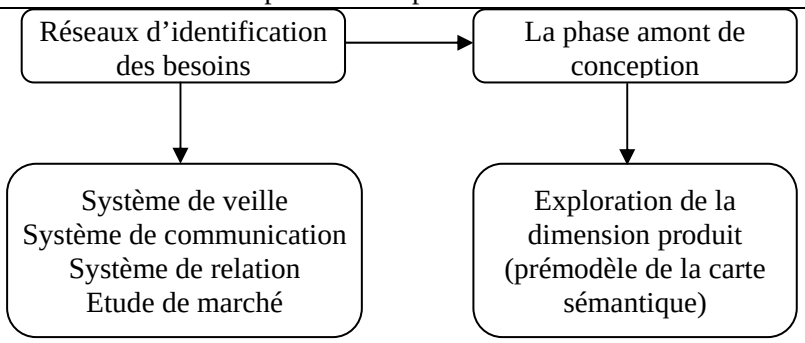


Figure IV. 39 : la première étape du processus I-Explorer la phase amont-

Les résultats de cette phase sont résumés sur figure IV. 40. L'identification des métiers et les outils utilisés pendant l'analyse de cette phase est basée sur les pratiques et les activités pendant cette expérimentation et les expérimentations précédentes. Cette identification est plus rapide, ainsi la qualité du travail et les séances de créativité, de brainstorming ainsi que les analyses du CDC, la quantité des échanges et de collaboration

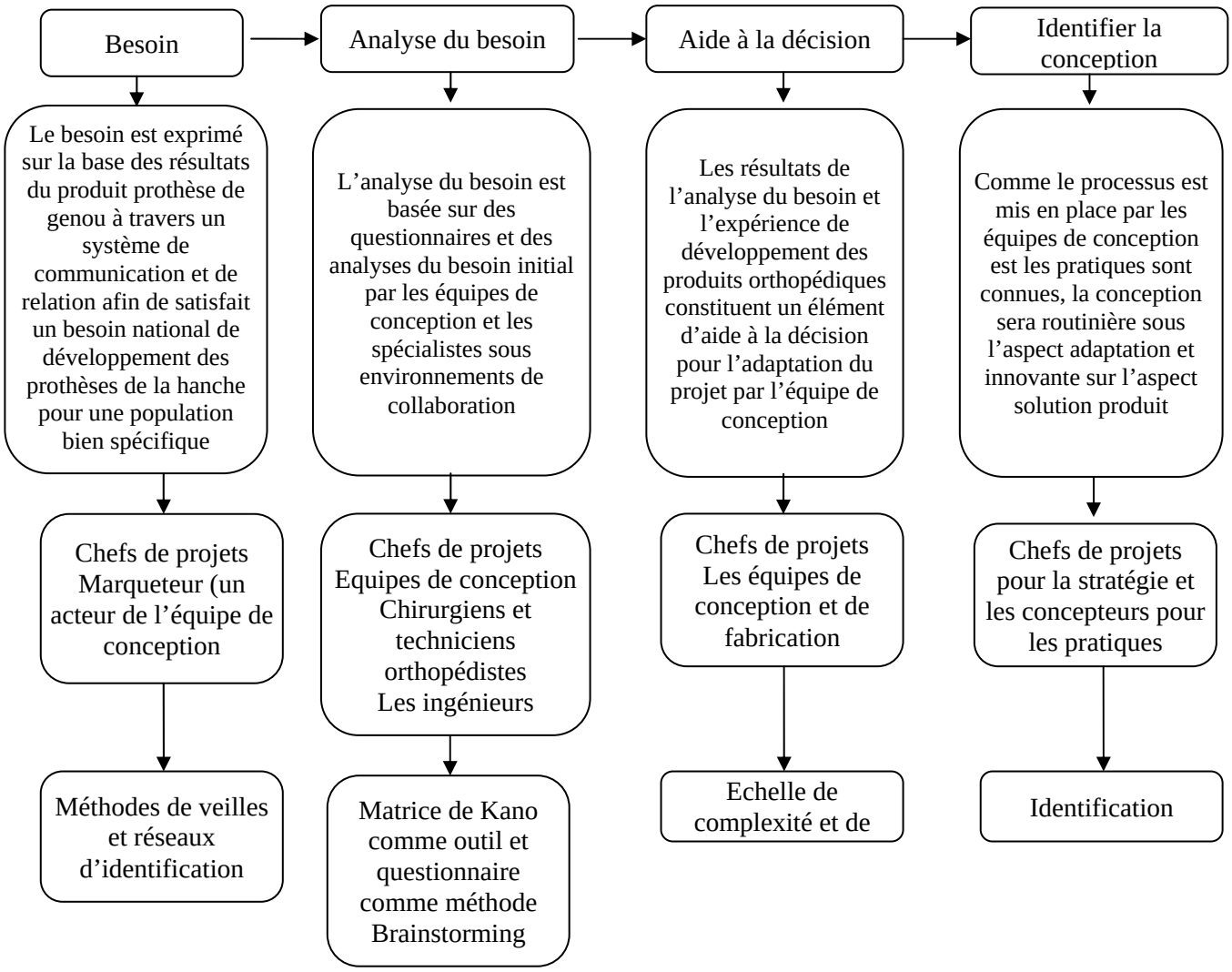


Figure IV. 40 : Exploration de la phase amont de la carte sémantique

b. Adaptation du processus I pour le développement du produit

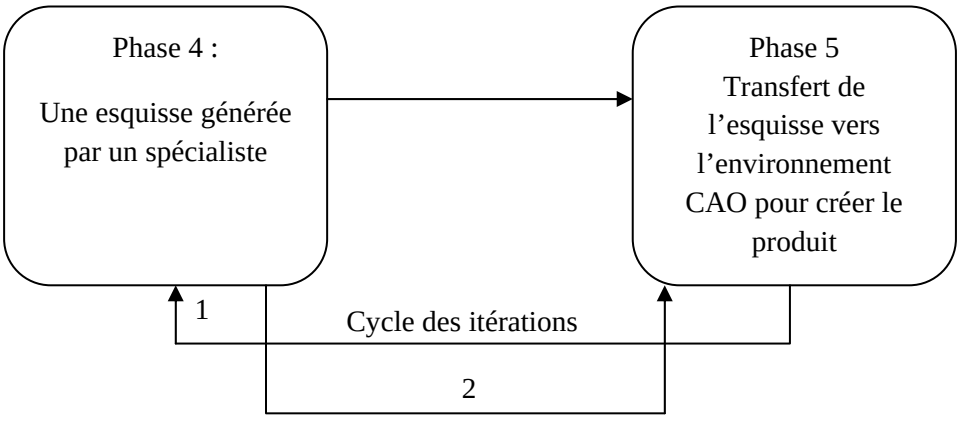
Comme est identifiés pendant les cas précédents, la dimension produit prépare la phase amont de conception. Par rapport au processus de conception, cette dimension est limitée aux deux phases identification et analyse du besoin. Dans cette partie nous commençons l'exploration à partir de la phase 03 du processus de conception. Le tableau suivant résume les activités de conception pour le développement de la prothèse de la hanche.

	Les activités	Les métiers	Les méthodes et outils
Phase 3	Conception générale du produit par des équipes de conception en appuyant sur la notion de la conception centrée utilisateurs. L'objectif est de créer une base de données	Les équipes de conception constituées par des ingénieurs de conception et de dimensionnement. Les spécialistes sont des chirurgiens et techniciens orthopédistes et des radiologues de l'imagerie	Nous avons utilisé deux environnements de conception. Un panel de méthodes et d'outils sont employés pour réaliser cette activité, les esquisses 2D et 3D, enquête d'évaluation, questionnaires, …
Phase 4	La génération des concepts : un échange basé sur les spécialistes de l'utilisation du produit et les équipes de conception. Cette activité est supportée par la complexité du produit et les détailles qu'il faut explorer pour les intégrer dans le produit. Les esquisses générées sont classées.		Un environnement est utilisé avec l'ensemble des méthodes et outils liés.
Phase 5	La conception détaillée est basée sur les résultats des phases 3 et 4	Les concepteurs	Environnement de conception et de simulation CAO (ensemble de méthodes, outils et techniques)
Phase 6	Prototypage	Ingénieurs et spécialistes produits pour l'évaluation	Environnement CAO, FAO

Tableau IV. 16 ensemble de phase explorées pour réaliser le produit « prothèse de la hanche »

Les itérations :

Les itérations sont réalisées autour de deux phases afin d'évaluer le résultat soit à l'entrée ou à la sortie.



Changement par rapport au processus I

Sur la base de développement des deux produits et en s'appuyant sur le processus de conception I et les dimensions de la carte sémantique tridimensionnelle, la réalisation du processus de conception pour les deux produit est effectué. Les résultats sont prometteurs pour l'entité E, le temps de développement et la qualité des produits sont excellents. L'analyse de la figure IV. 41 « processus de conception I », en remarque que les changements pour le développement du produit et pour l'adaptation du processus de conception sont localisés au niveau « phases du processus de conception ». Cette localisation et changement reviennent aux pratiques des équipes de conception et les acquis sur la nature de conception des produit.

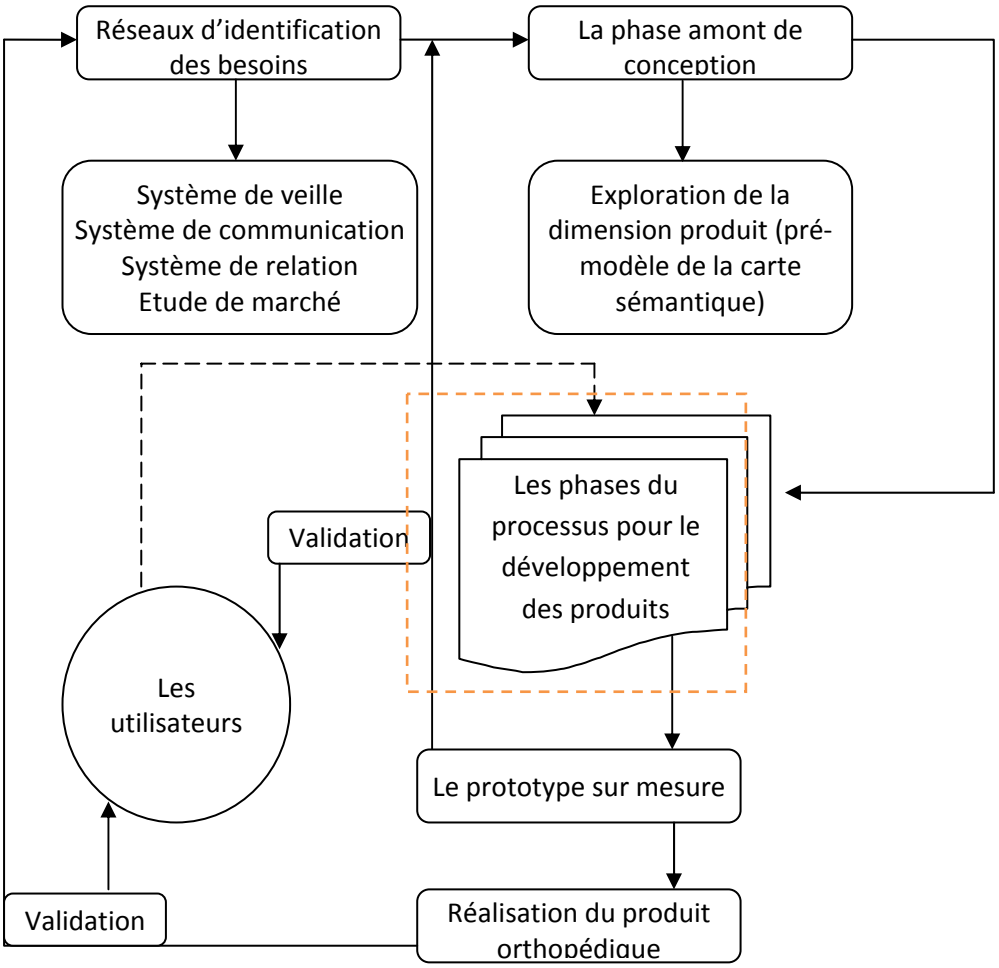


Figure IV. 41 : Les changements sur le processus I

La carte sémantique tridimensionnelle constitue un support d'aide au choix, d'adaptation et de génération d'un processus de conception à travers la sélection des outils et méthodes de conception d'une part, l'identification des métiers et les environnements de développement de l'autre part, en fonction des ressources disponibles dans l'entité où l'entreprise. Cet outil nécessite d'autres pratiques pour d'autres produits afin d'identifiés l'ensemble des lacunes et le finaliser, c'est une perspective de notre travail.

IV. 3. 2. Développement des produits transmission de puissance sur la base du processus II

Les résultats des travaux réalisés par les équipes de conception pendant la première expérimentation, le chef d'équipe de conception à changé la stratégie de réalisation des produits de transmission de puissance « les engrenages plastiques »

L'analyse des sous besoins du Tableau IV. 13, « utiliser les moyens disponibles », de la première expérimentation, et sur la base des avis des spécialistes (ingénieur matériaux) dans le domaine matériaux ainsi que les recommandations des équipes de maintenance ; le chef de projet et avec une autre équipe de conception changent la stratégie adoptée pour la première expérimentation. C.-à-d., passer de la réalisation des moules à injection pour la fabrication des engrenages plastiques vers la fabrication directe des engrenages plastiques. Cette seconde vision est basée sur la disponibilité des matériaux constituant l'engrenage plastique sous forme des brutes.

L'équipe de conception adoptera le processus II pour réaliser le produit. Pendant cette expérimentation, la consultation des phases de conception du processus II, l'équipe de conception explore la notion de la conception routinière sous l'angle de la conception robuste. En effet, pendant l'état de l'art nous avons constaté et considéré que la conception robuste pourra intervenir sur l'ensemble des classes de conception (créative, routine et innovante).

IV. 3. 2. 1. Analyse des tâches de conception sur la base du processus II

Après la réalisation des moules et les cavités pour plusieurs modèles d'engrenages le chef du projet a constaté la limite de cette solution pour des fins de la maintenance sur l'échelle interne. La réussite de la première solution est un acquis pour l'ensemble de l'équipe de conception et l'entité E. l'amélioration et la réponse rapide aux exigences ont poussé vers une ré-analyse du processus final pour ce type de produit.

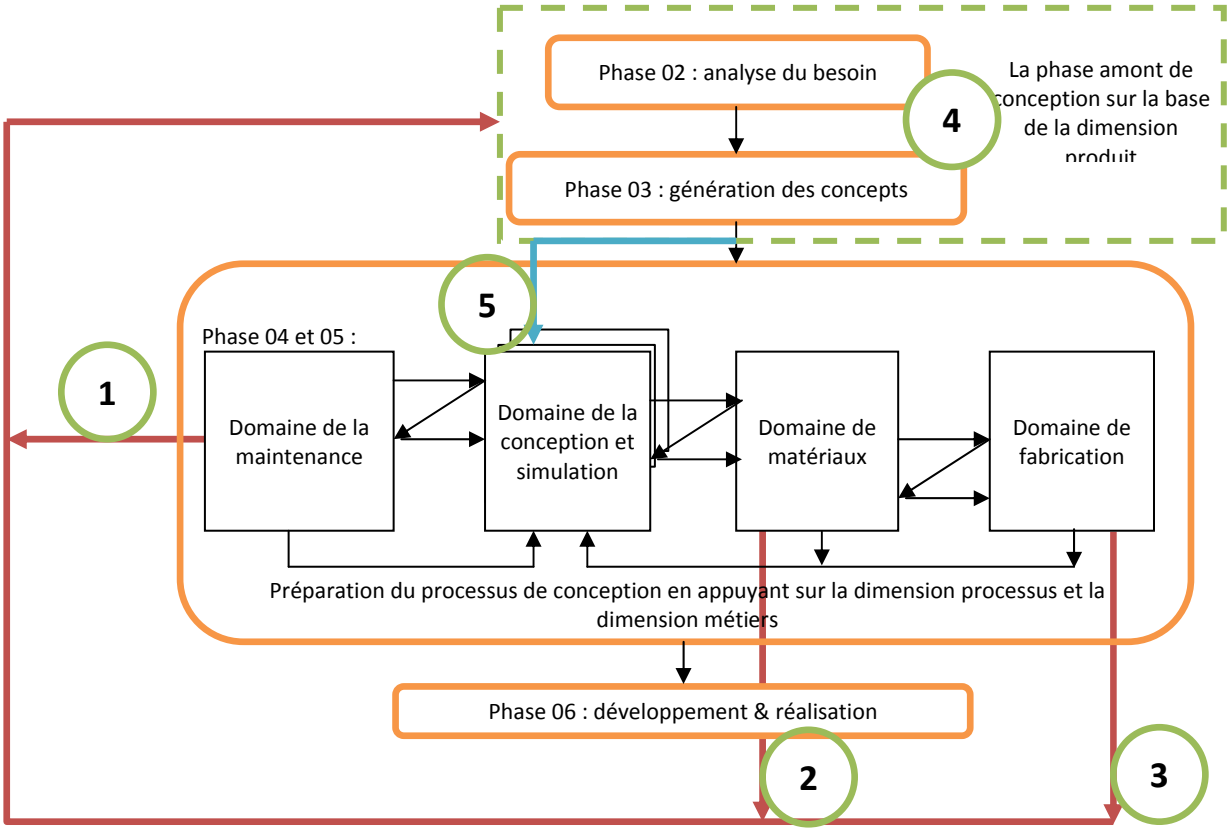


Figure IV. 42 : identification des nouvelles tâches de conception en appuyant sur le processus II.

Comme indiqué sur la figure IV.42, les différents points identifiés pour améliorer la nature de conception pour ce type de produit sont :

Point 1 : l'utilisation limitée des produits réalisés, dans le cadre de la première expérimentation par les équipes de maintenance a donné le premier élément de changement de la stratégie de conception.

Point 2 : les spécialistes du domaine matériaux indiquent la disponibilité et la facilité de la mise en œuvre des matériaux polymères sous formes brute (barres rectangulaire, circulaire, tube, plaque, …).

Point 3 : les spécialistes du domaine fabrication indiquent le coût de réalisation des produits en petite série et le nombre de machines engagées pour la réalisation.

Point 4 : reformuler le besoin.

Point 5 : réaliser les tâches de conception par les équipes de conception

Reformuler le besoin : Expression fonctionnelle du besoin

La validation du besoin permet de vérifier que celui-ci est clairement identifié et correctement formulé, ainsi que d'apprécier sa stabilité dans le temps.

Le besoin préliminaire est : réaliser des engrenages en polymère.

La première réflexion de l'équipe de conception : réaliser des moules à injection plastique

Les contraintes des points 1, 2 et 3 changent la stratégie de réalisation

Le besoin reformuler comme suit :

« Réaliser des engrenages plastiques en s'appuyant sur la notion unitaire »

La notion unitaire nécessitera une nouvelle exploration de la dimension produit de la carte sémantique tridimensionnelle. Cette exploration est basée sur l'adaptation du procédé conventionnel de réalisation des engrenages en acier aux engrenages plastiques, donc l'utilisation des moyens de l'entité E.

Nous sommes en face de réaliser une conception robuste basée sur les plans d'expérience pour déterminer les conditions idéales de réalisation, tout en conservant les recommandations des différentes points identifiées dans le Processus II.

Comme est indiqué sur la figure ci-dessous, la notion robustesse et la notion de matériaux sont identifiées par l'analyse de la dimension produit de notre carte sémantique. L'influence de ce changement sera réalisée par le domaine de conception, les autres domaines seront dans une situation d'arbitrage et de validation.

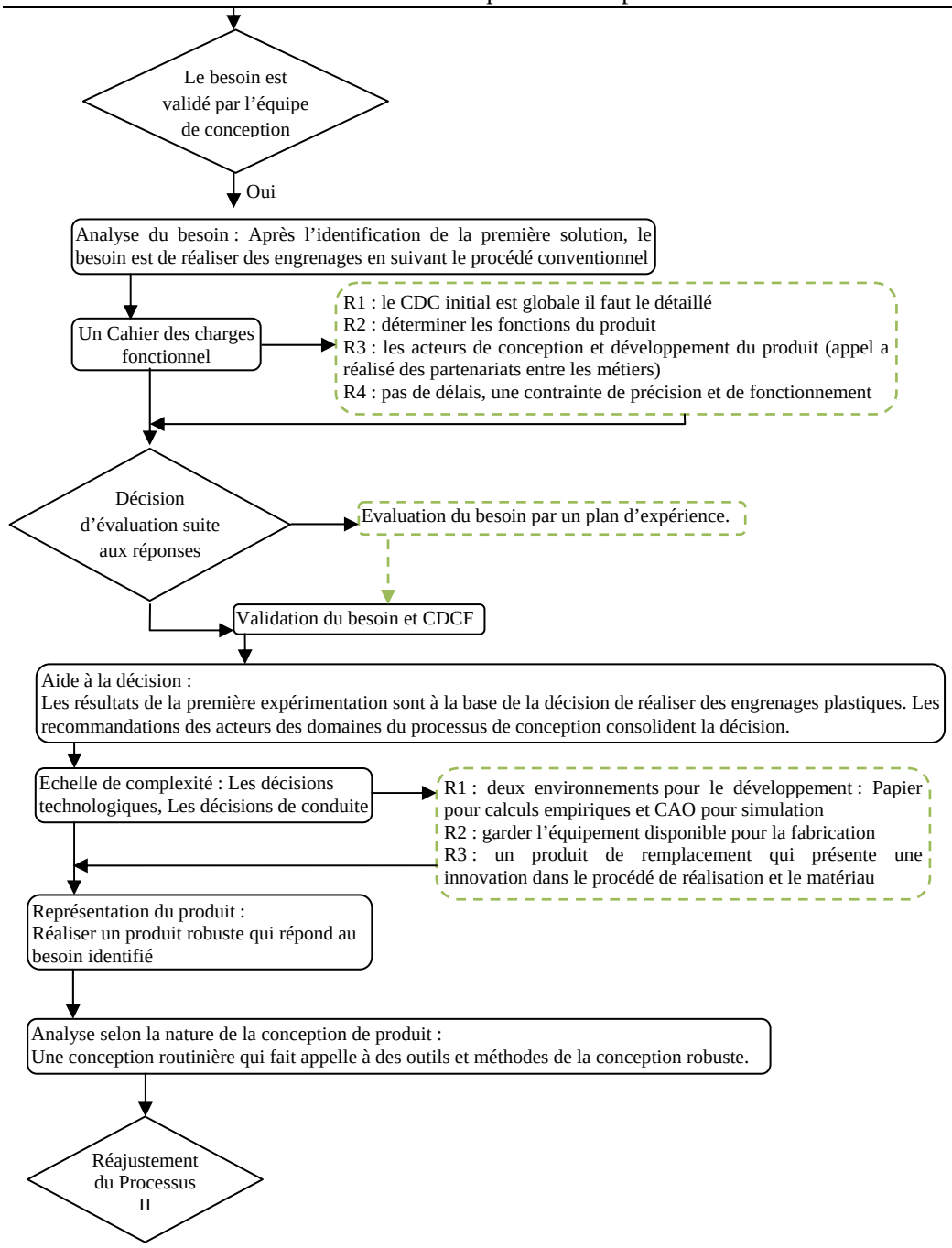


Figure IV. 43 : l'analyse du besoin et l'identification de la nature de conception par la dimension produit

La conception robuste des engrenages plastiques sur la base d'analyse du besoin – Point 5-

Dans tout problème de conception robuste, trois ensembles sont dissociés : l'ensemble des variables de conception, l'ensemble des paramètres de conception environnementaux et l'ensemble des fonctions « performances ».

La formulation du problème de conception robuste de réalisation des engrenages plastiques par l'équipe de conception est comme suit :

Le réglage des paramètres d'usinage, la nature du matériau sont le signal et la température résultante de la coupe est la fonction performance. Le système a ici une seule fonction performance : la température résultante de la coupe, car La température extérieure est un paramètre de conception du système puisque on ne peut pas la

contrôlée par le concepteur. A l'inverse, le type de la machine, les vitesses de rotation et les outils sont des variables de conception puisque leur valeur peut être contrôlée par le concepteur.

Afin de rendre le système robuste, le concepteur doit ainsi calculer les valeurs nominales des variables de conception. Concrètement il doit minimiser la variation de la température du matériau afin d'avoir la forme souhaité et éviter la déformation du matériau.

Dans la consultation de la dimension métiers essentiels pour la conception robuste, l'approche de Taguchi est la plus connue, elle est basée sur les plans d'expériences.

L'objectif c'est d'élaborer un plan d'expérience Taguchi afin d'assurer la qualité des produits et maîtriser le processus de conception des engrenages plastique selon le mode conventionnel de fabrication. Le plan d'expériences peut aider à la conception et à l'industrialisation du produit, ainsi qu'a la résolution de problèmes complexes d'optimisation (réglages) lors de la production. Il s'intègre parfaitement pour notre cas car il s'agit d'un produit sur mesure et éviter la réalisation d'un moule à injection.

L'équipe de conception à réalisée les tâches suivantes :

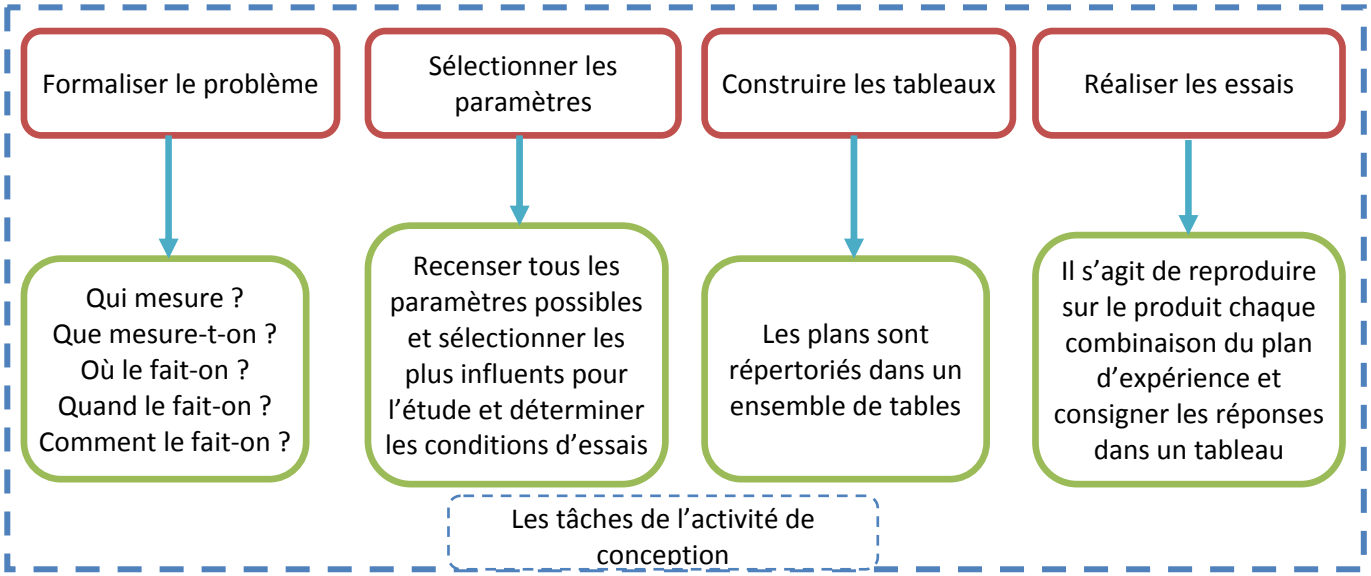


Figure IV. 44 : Adaptation des plans d'expériences pour réaliser la conception robuste.

Le plan d'expérience influe sur les phases du domaine de conception et simulation, les autres domaines sont en situation de validation de la décision.

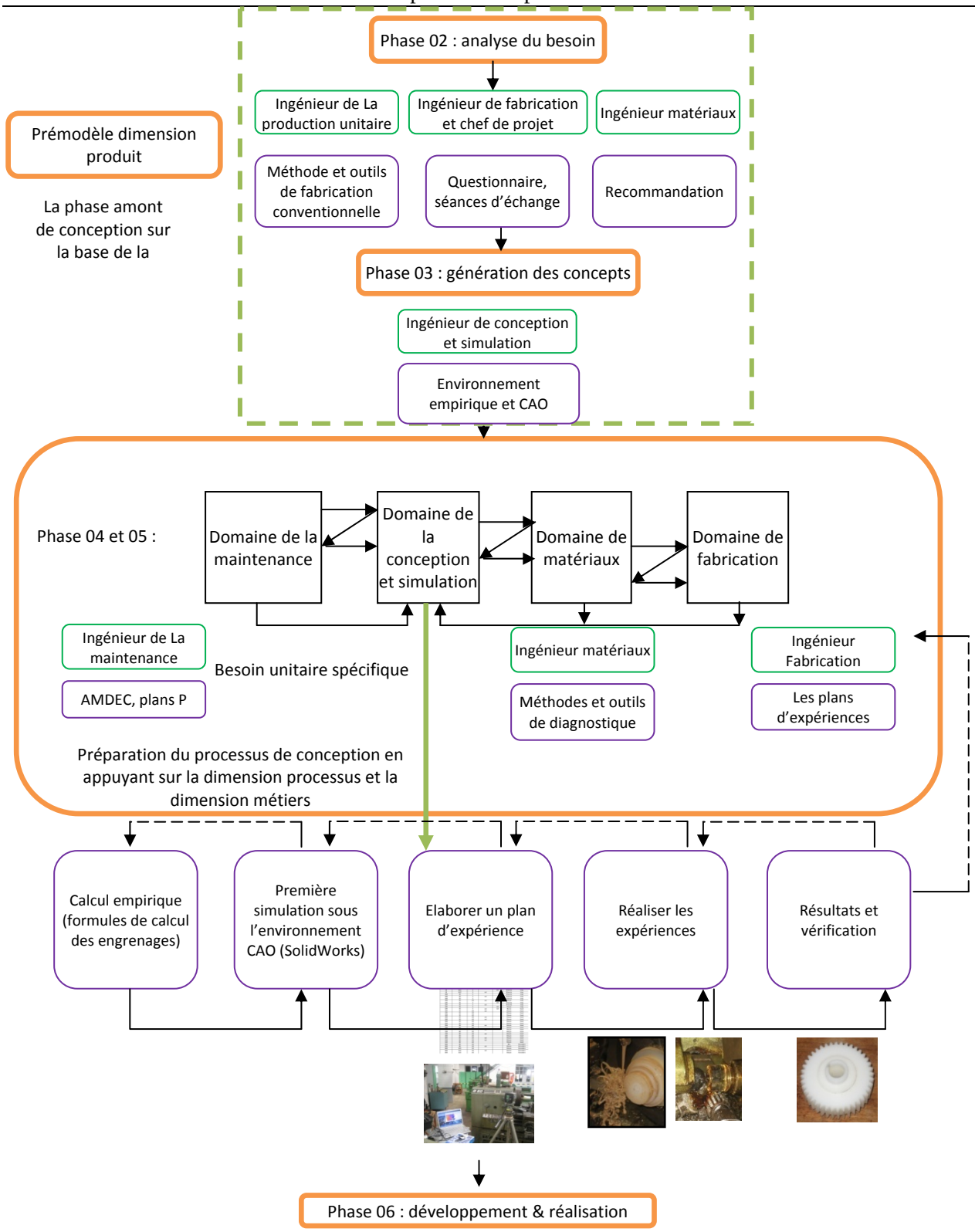


Figure IV. 45 : la génération d'un processus de conception pour engrenages plastiques sur la base du processus de conception II

IV. 3. 4 Résultats & Synthèse

Phase d'utilisation

L'utilisation de la carte sémantique tridimensionnelle à donnée aux équipes de conception un outil multitâches de réalisation d'une activité de conception innovante et robuste. Cet outil permet à travers ses dimensions, l'exploration de la phase amont, l'adaptation d'un processus de conception, l'identification des métiers essentiels, la sélection des outils et méthodes liées aux phases du processus de conception et de générer un processus de conception sur mesure.

Phase d'adaptation

L'adaptation des processus de conception, réalisées pendant la première expérimentation, est validée pendant cette deuxième expérimentation. En effet, cette adaptation permet d'avoir une vision claire sur les étapes de développement du produit a travers l'identification des métiers essentiels, les méthodes et les outils. Cette phase d'adaptation a limité les itérations de conception et a intégré des utilisateurs potentiels pour le développement du produit.

Phase de génération

L'adaptation des processus I, II et les projetés sur des cas similaires a permis la génération des processus de conception, le changement est remarqué à l'intérieurs des phases et pendant les itérations. Les métiers sollicités sont différents sur l'échelle microscopique et dans la totalité sont identiques. En synthèse, cette expérimentation nous a permis d'apporter en plus des éléments de réponse à notre problématique de recherche, et valider d'avantage la première hypothèse et une partie de la deuxième hypothèse.

Nous avons défendu l'adaptation d'un processus de conception par entité de recherche pour améliorer le produit. Cette adaptation est soumise à des contraintes d'amélioration (nos exigences pour l'ouverture des processus pour d'avantage d'amélioration). Enfin, nous affirmons qu'il est possible de réaliser une adaptation du processus de conception à partir de la carte de classement des processus de conception, suivie d'une réadaptation selon la nature, les environnements et les ressources disponibles au sein de l'entité. Cette adaptation est considérée comme une génération (une partie de la deuxième hypothèse).

Nous avons montré au cours de cette expérimentation :

- que la réutilisation du processus de conception I et II facilite la tâche de conception pour le chef de projet et les équipes de conception.
- que la dimension produit de la carte sémantique tridimensionnelle constitue une clé de réussite pour réaliser un produit, réaliser une innovation et explorer la phase amont de conception.
- que la phase amont de conception n'est pas limitée à des phases mais elle est plus loin dans l'ensemble du processus de conception.
- que l'intégration des utilisateurs dans la phase amont et sur l'ensemble des phases du processus de conception augmente la multidisciplinarité des activités de l'entité E.
- que la collaboration entre disciplines minimise et gouverne les itérations et les coûts de conception sur la base des décisions des spécialistes.

Ainsi, nous avons démontré a travers deux expérimentations et par le développement de 05 produits que la sélection et l'adaptation d'un processus de conception est capable de donner des éléments de réponse pour commencer à développer et générer un processus de conception soumis. Ce dernier évolue dans un

environnement contraint afin d'organiser une conception collaborative multidisciplinaire, ce qui valide notre hypothèse.

Cette expérimentation nous a permet de valider d'avantage la première hypothèse et une partie de la deuxième hypothèse. Notre objectif n'est pas seulement l'identification et le choix d'un processus de conception, mais l'adapter, le modifier ou le générer est notre finalité.

- positionnement par rapport à H1 : nous validons ici l'ouverture des phases du processus de conception pour la modification des activités et des tâches de conception. L'identification du processus de conception générer pendant la première expérimentation et l'ajouter à la carte de classement des processus de conception.
- position par rapport à H2 : nous confirmons que la génération d'un processus de conception est liée aux ressources de l'entité et l'ensemble des tâches et activités de conception. Les deux processus adaptés de la première expérimentation prouve que la génération est basée sur l'identification des métiers essentiels, les méthodes et les outils liés aux phases du processus de conception.

Comme conclusion de cette expérimentation, la carte sémantique tridimensionnelle est validée par d'autres produits et équipes de conception. Les résultats obtenus sont encourageants, sur le plan produit, la conception est réalisée sans échecs et avec un minimum d'itérations. Sur le plan processus, l'exploration de la phase amont sous l'angle produit à facilitée la réalisation d'un processus de conception par une procédure d'adaptation.

IV. 3. 5 Conclusion

L'approche d'adaptation validée par la première expérimentation nous à permis de générer deux processus de conception pour deux disciplines. L'exploitation de ces processus par d'autres utilisateurs et pour des produits appartenant aux mêmes disciplines valide d'avantage les deux sous hypothèse : l'hypothèse d'adaptation et l'hypothèse de génération.

La carte sémantique tridimensionnelle est validée par les résultats obtenus. Les lacunes remarquées pendant l'exploitation et l'exploration de cette carte servent comme points d'amélioration aux futurs travaux. Les métiers utilisés pour le développement des produits sont classés comme métiers essentiels afin d'enrichir les ressources disponibles et d'identifier les dimensions de la coopération en créant des partenariats.

La dimension produit nous a permis d'explorer d'avantage la phase amont du processus de conception. Cette dimension s'appuie majoritairement sur des questions d'identification. Les réponses sont utilisées par la suite afin de numériser l'outil développer et de proposer une interface graphique qui repose sur le pré-modèle produit de la carte tridimensionnelle.

IV. 4 Cadre de la 3ème expérimentation : Identification des METIERS ESSENTIELS & EVALUATION & GENERATION PAR SIMULATION d'un processus de conception

IV. 4. 1 Introduction

L'objectif de cette expérimentation est de montrer, en fonction des produits étudiés, quelles sont les métiers essentiels qui doivent contribuer au processus de conception identifié dans la 1ère et la 2ème expérimentation. En effet, la réussite d'un processus de conception ne se limite pas à l'identification où la réalisation d'un modèle de processus de conception mais il faut également réunir les métiers majeurs indispensables à la conception d'un produit donné. Nous sommes conscients que la réussite d'un processus de conception dépend également d'autres aspects quantitatifs ou qualitatifs, tels que l'organisation, les moyens technologiques (par exemple le prototypage) où des études diverses complémentaires (exemples : étude marketing ou étude de coûts globaux). Cependant, nous nous limitons, dans le cadre de notre recherche, à analyser uniquement l'aspect « métiers essentiels » qui doivent êtres identifiés et concourir au processus de conception.

L'outil que j'ai proposé à pour objectif de proposer par le biais de la troisième dimension, en fonction des caractéristiques de produit à concevoir, une première liste de métiers utiles. Cette liste sera confrontée à d'autres critères tels que le contexte local ou les ressources disponibles pour générer une nouvelle liste de métiers nécessaires. Une liste finale des métiers indispensables sera proposée à la suite d'une éventuelle révision des exigences du produit ou d'un arbitrage de l'équipe projet. Il est clair que cet outil apporte un appui méthodologique basé sur un retour d'expérience et ne peut être considéré comme un outil de prise de décisions d'où l'importance de la dimension humain dans le processus décisionnel.

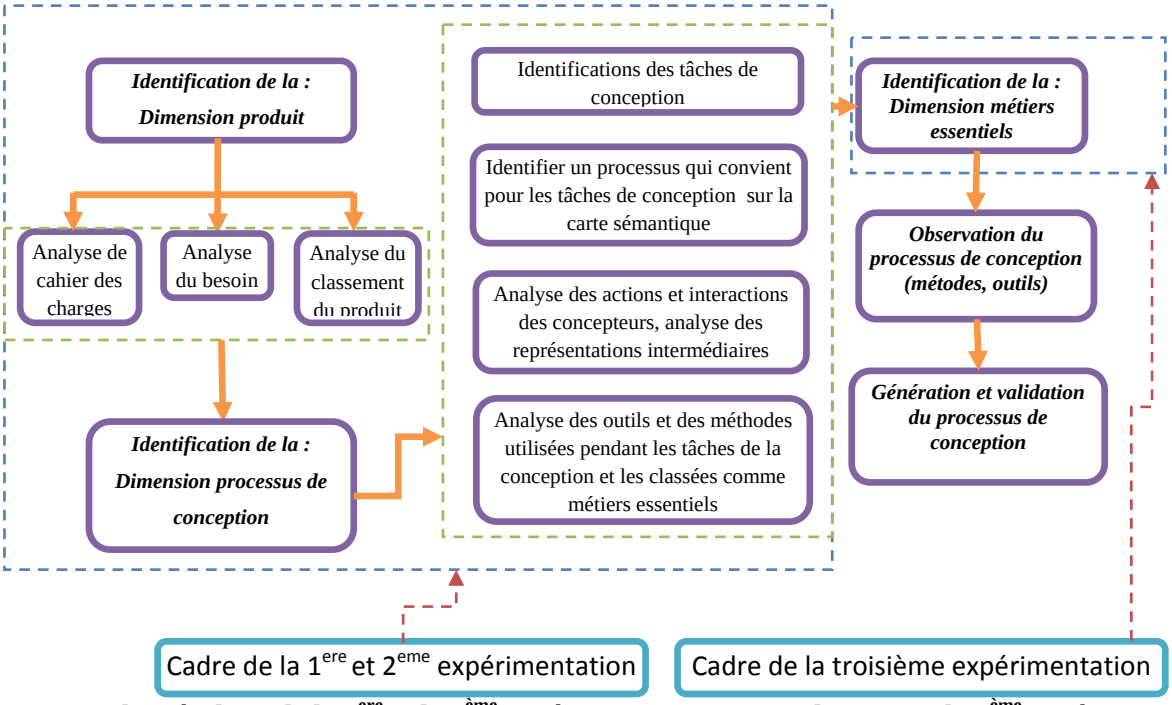


Figure IV. 46 : les résultats de la 1ere et la 2ème expérimentation comme base pour la 3ème expérimentation.

La figure IV. 46, donne un aperçu sur le passage vers la dimension métiers essentiels de la carte sémantique tridimensionnelle.

Sur la base des processus de conception I et II de la Figure IV. 31 et la Figure IV. 32, ainsi que les processus générer sur la base des deux processus pour la deuxième expérimentation, la sélection des métiers essentiels pour réaliser la conception des produits est divisée en deux grands axes :

- Le premier axe concerne les métiers et les activités liées à la phase amont de conception, c a d, les pratiques issues et identifiées pendant la réalisation de la première dimension de la carte sémantique tridimensionnelle,
- Par contre le deuxième axe concerne les métiers et les activités attachées aux phases et domaines des processus de conception.

Les deux axes sont consolides sur la notion de collaboration, de décision et de validation. Les acteurs des métiers pour chaque axe est un nœud d'aide à l'identification et l'aide à la décision.

Identifiées ces métiers et les projetés sur l'ensemble des processus de conception offre aux chefs d'entités ou d'entreprise un support d'aide pour la sélection du manque sur les ressources disponibles et créer un climat de collaboration avec des spécialistes d'autres entités.

IV. 4. 2 Identification des métiers sur la base des deux expérimentations

Les modèles I et II des processus de conception positionnent chaque métier dans un contexte organisationnel précis. Selon l'état de l'art, les entreprises et les organisations procurent une liste de connaissances contextualisées. Trouver une approche ou une méthode de classement est nécessaire et comme nous l'avons souligné auparavant notre vision est de créer une base de données de classement selon les phases du processus de conception, et d'identifier les itérations et relations entre les métiers.

IV. 4. 2. 1. Les métiers liés à La phase amont de la conception

Les résultats de la première expérimentation montrent l'intérêt d'intégration de nouveaux outils méthodologiques liés à la conception. Cette intégration est conditionnée par l'adaptation d'un processus de conception. Toutes au long de la première expérimentation nous avons identifié que la phase amont et les activités liées à cette phase présente la clé de réussite du processus, du produit et de l'organisme. Nous développons dans cette expérimentation les métiers essentiels liés à la phase amont du processus de conception.

Les résultats de la deuxième expérimentation confirment l'intérêt de la phase amont de conception à travers les identifications réalisées à travers cette phase. Les deux processus de conception I et II générés sont s'appuient sur une pléthore de méthode et outils ainsi que des métiers liés à la préparation du produit final. La clé de réussite est les métiers liés à la phase amont par la minimisation des itérations et les coûts dans la phase aval du processus de conception.

IV. 4. 2. 1. 1. Identification des métiers sur la base de la première dimension de la carte

L'analyse du pré-modèle « dimension produit », de la figure III.26 du chapitre outils, pour la réalisation des produits des deux expérimentations nous a permis de considérer la dimension produit comme une préparation de la phase amont de conception. Il est nécessaire d'identifier les métiers liés à cette dimension afin de faciliter la tâche de pérennisation d'un tel processus au sein d'une entité où une entreprise. Nous classons les premiers éléments de la phase amont de conception comme indiqué sur le tableau ci-dessous. L'objectif de ce classement est de placer les métiers incontournables pour réaliser les tâches de conception.

	Le besoin	Analyse du besoin	Validation du CDC	Aide à la décision	La nature de la conception
L'objectif	-identification, -sollicitation, -interprétation, -planification, -Veille,	-Les fonctions du produit, -Les marchés, -Le détail du CDC, -Aide à la décision,	-Séances d'échanges et de validation, -Les limites de développement, -Enquête de validation	-Echelle de complexité, -Les ressources de l'entité,	-Innovante, -Créative, -Routinière, -Robuste, -Combinée
Les métiers pour réaliser les objectifs	-Chef de projet, -Chef d'entité, -Equipe de suivi, -Responsable du marché, -Elément de l'équipe de conception	-Les ingénieurs de l'équipe de conception, -Expert du marché, -Le chef de l'équipe de conception	-Demandeurs de services, -Les ingénieurs de conception et fabrication, -Les spécialistes produits	-Les ingénieurs de conception et fabrication Le chef de projet Les spécialistes produits	-Les ingénieurs, -Les ergonomes -Les spécialistes produits
Les métiers pour la dimension produit du processus I	- Le besoin est identifié par le chef de l'entité - la sollicitation est réalisée par le chef d'organisme demandeur	Les fonctions du produit sont analysées par les des ingénieurs en conception mécaniques et les spécialistes du produits (chirurgiens orthopédistes) Une étude du marché est réalisée par un ingénieur membre de l'équipe de conception	La validation du cahier des charges dans une première étape entre les deux responsables, les ingénieurs de conception et fabrication détaillent le CDC.	Chef de projet réalise une enquête sur l'analyse du besoin auprès de l'équipe de conception pour prendre la décision Sur la base du besoin une sollicitation des spécialistes est réalisées (spécialiste de l'imagerie, orthopédistes, usinage 04 axes et 05 axes, …)	Sur la base de l'enquête et la nature du produit le chef du projet adapte une stratégie de réaliser une conception combinée (créative innovante)
Les métiers pour la dimension produit du processus II	Le besoin pour ces produits est interne et identifié par l'équipe maintenance	Les fonctions du produit sont analysées par les des ingénieurs en conception mécaniques et les spécialistes du produits (plasturgiste, ing en matériaux) Une étude du marché est réalisée par un ingénieur membre de l'équipe de conception sur la disponibilité du produit et de la matière première	Les ingénieurs développe et valide le CDC	Chef de projet réalise une enquête sur les possibilités de réalisation du produit avec les ressources disponibles et sur les recommandations des spécialistes	le chef de projet adapte une stratégie basée sur une conception routinière robuste

Tableau IV. 17 : les métiers de la phase amont de conception sur la base de la dimension produit

L'analyse du tableau IV. 17, nous donne les grandes familles des métiers pour les deux processus :

Famille 1 : les métiers des chefs d'entités ou d'entreprises

Famille 2 : les métiers des équipes de conception (ingénieurs, techniciens, …)

Famille 3 : les métiers liés à la nature du produit (spécialistes de l'utilisation, spécialistes de composition)

IV. 4. 2. 1. 2 Les métiers liés aux phases du processus de conception

Les résultats de la première expérimentation montrent l'intérêt d'intégrer des utilisateurs à l'ensemble des phases du processus de conception, nous avons employés la notion « conception centrée utilisateurs ». Cette intégration est conditionnée par l'identification des métiers et des spécialistes liés au produit. Toutes au long de la première expérimentation nous avons identifié que la collaboration entre les disciplines (conception multidisciplinaires) conduit les itérations vers une décision de validation du produit et du processus. Nous développons dans cette partie les métiers identifiés tout au long du processus de conception.

	Phase 01 Identification du besoin	**Phase 02 Analyse du besoin**	**Phase 03 Génération des concepts**	**Phase 04 Conception générale**	**Phase 05 Conception détaillée**	**Phase 06 implémentation**
L'objectif	Sur la base de la dimension produit de la carte sémantique		Génération des concepts par les membres de l'équipe de conception Validation des concepts avec les spécialistes	Tracer un chemin de la conception par les équipes de conception pour le concept sélectionné dans la phase 03	Valider le concept par une conception détaillée du produit	Fournir les plans de fabrication sur la base de validation du prototype par les spécialistes
Les métiers pour réaliser les objectifs			Les concepteurs Chef d'équipes Les spécialistes	Chef de projet et concepteurs	Les concepteurs	Les concepteurs et ingénieurs de fabrication ainsi que les spécialistes
Les métiers pour la dimension produit du processus I			spécialiste en esquisse 2D, un spécialiste en CAO, un spécialiste en RV, chirurgien et technicien orthopédistes	Ingénieur CAO, ingénieur matériaux, ingénieur imagerie médicale,	Ingénieur CAO	Ingénieur CAO, FAO et chirurgiens pour validation
Les métiers pour la dimension produit du processus II			Ingénieur de dimensionnement (métrologie)	Ingénieur CAO, ingénieur en plasturgie et en matériaux Ingénieur en simulation	Ingénieur CAO	Ingénieur FAO spécialiste en plan d'expérience

Tableau IV. 18 : Les métiers liés aux phases du processus de conception

A l'issue du classement des deux tableaux la notion de pluridisciplinarité de l'activité de conception est vérifiée. Elles regroupent des acteurs de divers profils. Nous justifions la forte représentation du métier « ingénieur » par le fait qu'il existe une grande différence entre les spécialités de l'ingénierie (mécanique, matériaux, automatique, informatique, …). D'autre part dans le cadre de la conception de produits nouveaux, les ingénieurs (plus que les acteurs des autres disciplines) sont appelés à être chef de projet. Or les chefs de projet font partie intégrante des utilisateurs cibles du système d'aide à la décision, l'identification et la sélection des méthodes de conception.

Le contexte varie considérablement entre le processus I et II, ainsi les acteurs intégrés dans ces processus peuvent être de différents profils selon le produit. La phase amont et les différentes phases du

processus de conception sont des organisations transversales constituées d'acteurs ayant des corps de métier différents et travaillant de manière collaborative afin de créer une dynamique d'innovation.

La première conséquence de ces processus est le côtoiement d'une grande diversité d'acteurs qui doivent simultanément concourir au même but. Ainsi, nous devons prendre en compte la diversité des informations et des connaissances utilisées. Ces informations sont contenues dans les documents, les plans du produit, … une information relative à un métier est apportée à un acteur spécialiste de ce métier et ensuite diffusée à l'ensemble des acteurs lors d'accomplissement d'une activité. L'intérêt du processus I et II est de créer un environnement de communication, d'exploitation et d'interprétation des activités de conception afin de suivre l'évolution des connaissances métiers toute au long des projets de conception. D'où, la collaboration entre les métiers dans les activités de conception qui est désormais essentielle pour la performance et la compétitivité des entreprises.

Le pré-modèle métiers essentiels de la carte sémantique offre aux acteurs de conception une stratégie qui permet de suivre l'évolution des connaissances métiers, cette stratégie consiste à attribuer aux phases du processus de conception les métiers jugés essentiels, et proposer une liste des outils et méthodes pour chaque phase. Garder la traçabilité après la finalisation d'une phase de conception facilitera les tâches d'autres métiers. En effet les résultats de cette phase permettent d'aborder les phases ultérieures ou de créer des itérations vers des phases antérieures.

Pendant la première étape de la première expérimentation, les équipes de conception s'appuient sur l'ensemble des connaissances issues des pratiques où du cycle de formation. Après la proposition de l'utilisation de la dimension métiers essentiels, chaque acteur réalise un choix d'outils et de méthodes qu'il juge utiles pour le développement du produit. Certains outils et méthodes identifiés pendant l'état de l'art et juger comme méthodes à fort potentiel sont écartées par certains acteurs. Des fiches explicatives accompagnant les méthodes et les outils ainsi que l'identification d'un environnement de transfert, redirigera vers l'adaptation de ces méthodes.

Les métiers identifiés pour les deux processus I et II sont considérés comme métiers essentiels, l'analyse des méthodes et outils liés aux métiers est l'objectif du paragraphe suivant afin de montrer l'utilité et la nécessité d'un outil de classement des outils et méthodes afin de donner une cartographie riche et de rappelle pour les acteurs de conception pour favoriser d'avantage l'innovation et éviter les échecs des produits. Le pré-modèle de la dimension métiers est ouvert pour des améliorations et des ajouts des méthodes non indexés sur le pré-modèle.

IV. 4. 2. 1. 3 Identification des méthodes et outils utilisés par les acteurs de la conception sur la base de la dimension métier de la carte

Les deux tableaux ci-dessus regroupent les métiers utilisés pour la réalisation des processus I et II. Et comme nous l'avons identifié, ces métiers sont classés en trois grandes familles.

L'objectif de cette partie est de décrire les méthodes et outils utilisés par ces métiers afin de valider d'avantages les processus de conception I et II dans le but de les intégrés sur la carte de classement des processus de conception réalisée à partir de l'état de l'art.

	Méthodes	Outils
l'identification du besoin	Veille concurrentielle Réseaux de relation Entretien	Etude du marché Mise à jour des ressources Enquêtes de prospection
l'analyse du besoin	Questionnaire Stratégie focus groupe Analyse fonctionnelle Brainstorming Brainwriting	Questionnaire Observation Le cahier des charges La matrice de Kano Tableaux de réponse
l'aide à la décision	Analyse multicritère L'analyse du besoin Analyse de l'existant Analyse des brevets	Les Vecteurs fonctionnel, dysfonctionnel et inverses Les retours des itérations Les bases de données
la nature de la conception	Questionnaire	Questionnaire
la phase 03 « génération des concepts »	Les méthodes de créativité Les méthodes d'innovation La conception centrée utilisateurs	Les esquisses 2D et croquis Mapping Sémantique
la phase 04 « conception générale »	Les méthodes de créativité Les méthodes d'innovation La conception centrée utilisateurs	Les esquisses 2D et 3D Matrices de contradiction de TRIZ Les logiciels de CAO Les mappings
la phase 05 « conception détaillée »	Les plans d'expérience Les méthodes de CAO Reverse engineering	Les tableaux de Taguchi Les logiciels CAO Les scanners
la phase 06 « implémentation »	Retroconception Les méthodes FAO Méthode d'évaluation La conception centrée utilisateurs	Reverse engineering Technique de prototypage rapide Logiciels de fabrication assistée par ordinateur Les gammes d'usinage Les testes et maquettage

Tableau IV. 19 : outils et méthodes utilisés par les deux processus I et II.

a) Les méthodes d'identification du besoin:

Veille concurrentielle : consiste en une surveillance régulière, organisée et stratégiques des concurrents de même secteur d'activités ; elle consiste à surveiller plusieurs cibles afin de recueillir des informations utiles à l'entreprise qui les exploitera pour des fins de concurrence. Cette méthode est employée par des équipes de conception du Processus II.

Marketing : basé sur l'étude du marché

Réseaux de relation : c'est une pratique efficace qui utilise les réseaux personnels et fonctionnels pour identifier un besoin. Généralement sont des retours basés sur le cycle de formation où de prestation de service. Les réseaux de relation sont identifiés sous deux catégories, les réseaux externes et les réseaux internes.

b) Les méthodes de la phase d'analyse du besoin :

Pendant les expérimentations nous avons identifié quatre grandes familles d'analyse du besoin. Et quelques outils pour l'utilisation de ces méthodes sont aussi identifiés.

Le questionnaire : les questionnaires sont une des méthodes les plus utilisées et les moins coûteuses pour évaluer les besoins ; et comme nous l'avons constaté sur l'ensemble des expérimentations, ils permettent de récolter des données de manière efficace et peu coûteuse sur le plan financier.

Les tables rondes où « Focus Groups » : les groupes de discussion consistent à rassembler autour d'une table un certain panel de collaborateurs (chef d'équipe de conception, spécialistes, …) afin de réaliser un brainstorming par rapport à une problématique spécifique. Comme nous l'avons identifiez cette méthode nous à permis de créer un environnement d'échange et d'application entre les demandeurs et les concepteurs et susciter ainsi une collaboration.

Les analyses des tâches : le chef de projet réalise un inventaire de tâche pour chaque membre de l'équipe de conception en interne, et les tâches des intervenants (spécialistes) externes. Cette méthodes permet une identification des ressources potentielles de l'équipe de conception ainsi que l'identification du besoin de développement et de formation des collaborateurs.

Les observations : les observations peuvent être liées à l'évaluation de compétences techniques ou comportementales. Elle nous permet de produire des données issues du mode réel afin de compléter un manque au profit des équipes de conception.

La matrice de Kano : la matrice de Kano est identifiée comme outil d'analyse du besoin et des sous besoin. La réalisation de cette matrice exige une enquête par le responsable de l'équipe de conception afin de clarifier la cible du besoin et la nature de développement.

Analyse fonctionnelle : l'analyse fonctionnelle est une démarche structurée pour l'expression du besoin en termes de fonction et de rédaction du cahier des charges fonctionnel.

Le cahier de charge détaillé : comme outil de validation du besoin initial par l'équipe de conception avec les demandeurs sur la base des résultats de focus groups.

c) Les méthodes d'aide à la décision

Les méthodes d'aide à la décision permettent non seulement de fournir l'information mais de choisir plusieurs propositions, en fonction de critères établis.

L'analyse du besoin : l'analyse du besoin sous forme de questionnaire d'aide à l'identification, et dans notre cas sous forme matricielle « matrice de Kano » est un moyen efficace pour l'aide à la décision dans les phases amont de conception.

Le retour : les résultats d'une étape constituent un ensemble de données pour l'évaluation basée sur une décision de continuité où d'un retour sur les activités de l'étape précédente et les pratiques réalisées à cette étape. Généralement c'est la méthode la plus efficace pour prendre une décision.

Analyse multicritères : est un outil d'aide à la décision permettant d'effectuer un choix en fonction de critères préalablement définis : choisir un sujet, une solution, une action, un problème à traiter, lorsque le nombre de possibilités est important et de hiérarchiser les idées ou des solutions.

d) Les méthodes de la phase génération de concepts

Les méthodes de créativité : Les techniques en créativité nous aident à offrir un meilleur stimulant à l'imagination, des conditions favorables au détour créatif et un parcours commun pour mieux fonctionner avec la pensée créative en équipe. Pendant la réalisation des expérimentations nous avons identifiés les outils tels que : le brainstorming, le brainwriting, le questionnaire, ….

Les esquisses : sont utilisées sous différentes configurations et environnements, des esquisses à main levée, sous environnement CAO.

Les méthodes d'innovation : La méthode TRIZ

Des ingénieurs ayant été formés à la méthode, ont fait appel à TRIZ en tant qu'outil de créativité s'inscrivant dans une démarche d'analyse de la valeur. Ayant identifié le problème à résoudre, après des séances d'analyse fonctionnelle, l'utilisation de TRIZ et de son logiciel support pour la visualisation des effets semblait approprié. Il s'est avéré que TRIZ ne fournissait pas la solution au problème, mais par le biais de son utilisation, les concepteurs devaient faire preuve de créativité et cela à deux reprises. D'abord au moment de la formulation du problème. La difficulté venait du fait qu'il s'agissait de transformer un problème spécifique, bien défini dans un contexte donné, en un problème générique, déjà énoncé à l'avance et dont il existait une hypothétique solution, tout aussi générique. Cette tâche était d'autant plus rude lorsque le problème générique formulé abordait des connaissances scientifiques non maîtrisé par les concepteurs.

La deuxième difficulté apparaissait au moment d'interpréter la solution. S'agissant d'une solution générique, elle nécessitait un tel degré d'abstraction qu'elle paraissait plutôt floue, voire non pertinente. L'objectif initial de TRIZ étant de rompre l'inertie psychologique qui empêche le concepteur de détecter des voies de solutions dans d'autres domaines de connaissance que le sien.

Cependant en voulant entraîner ce dernier loin de son problème de départ, il lui devient par la suite difficile de concrétiser les propositions trop abstraites émises par cet outil.

e) Les méthodes de la phase conception détaillée et la phase implémentation

L'ensemble des méthodes et outils de conceptions utilisés pour les 03 premières phases ont pour objectif la préparation du terrain pour les méthodes et outils de la phase de conception détaillée. L'ensemble des méthodes identifiées pour les premières phases du processus de conception pourront être classifiées comme méthodes et outils communs à l'ensemble des produits développés dans cette thèse. A partir de la quatrième phase du processus de conception, on remarque un changement sur les techniques et les outils utilisés pour le développement des produits.

La conception centrée utilisateurs

Les plans d'expérience

Les méthodes de reverse engineering

Les méthodes et outils CAO pour la conception détaillée

Les méthodes et outils de prototypage pour l'implémentation

IV. 4. 2. 2 Validation de l'approche de sélection des métiers, méthodes et outils selon la dimension métiers essentiels

Grâce à l'architecture des processus I et II, le pré-modèle métiers essentiels de la figure IIV.33, et la validation et l'identification des métiers essentiels, nous pouvons dresser la configuration suivante :

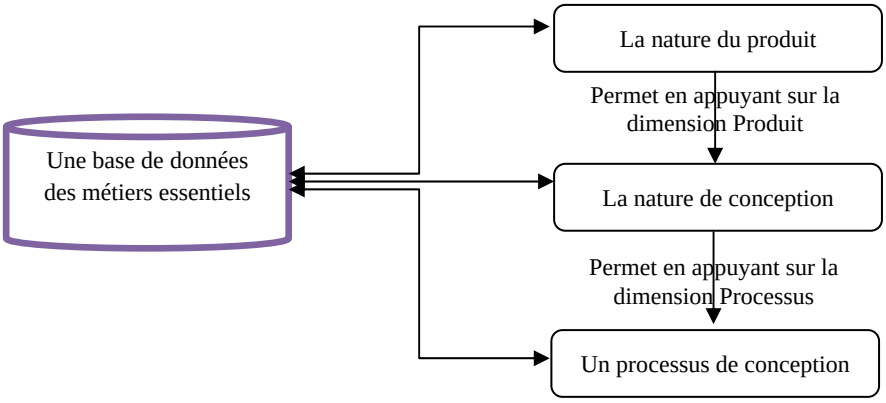


Figure IV. 47 : schémas globale de sélection des métiers pour un processus de conception

Cette validation est disponible en deux versions :

- La première version est un support papier sous forme des tableaux et des fiches descriptives des métiers, leurs rôles sur le développement du produit. Cette forme de présentation facilitera l'identification des ressources non disponibles afin de créer des partenariats et des collaborations pour réaliser la conception du produit.
- La deuxième version est un support numérique accompagnant l'interface graphique de génération d'un processus de conception, sont objectif est d'optimisée le temps de recherche, de sélection ainsi que de validation.

IV. 4. 2. 3 Synthèse et discussion

L'objectif de cette expérimentation est de valider la troisième dimension de la carte sémantique tridimensionnelle et la problématique de la recherche sous l'angle environnement contraint. Effectivement pendant le déroulement de la première et deuxième expérimentation nous nous sommes concentrés sur l'aspect 'quel acteur pour quelle tâche' et par quels moyens. Toutes ces contraintes de l'environnement de développement sont explorées tout au long de cette expérimentation.

La dimension « métiers essentiels » joue un rôle principal dans le choix des méthodes et outils par les acteurs métiers. En effet, en premier lieu (première expérimentation) les concepteurs font avant tout référence à leur expériences et formation pour la sélection des méthodes et outils d'une part, le chef de projets sollicite des métiers de situation actuelle pour résoudre le problème. Ce résultat conditionne la suite du projet. Cette situation est résolue par l'adaptation de la dimension métiers. Ainsi, on retiendra pour cette troisième dimension la notion des ressources disponibles comme un noyau où le premier cercle des métiers essentiels. Les frontières du cercle constituent les voisinages des ressources à solliciter. Ce deuxième cercle est l'ensemble des métiers liés au produit non disponibles dans l'entité. Et en fin un troisième cercle qui regroupe les métiers des spécialistes liés aux utilisateurs des produits. Ce troisième cercle constitue un environnement d'échange entre les acteurs de la conception et les utilisateurs du produit. Ainsi nous retenons pour cette dimension, les ressources disponibles comme entrée dont dispose le chef de projet en début de développement. Sur la nature du produit, certains métiers peuvent être imposés. Les équipes de conception font référence à cette dimension afin de consulter les outils et les méthodes liées aux phases du processus de conception.

L'obtention d'un ensemble de métiers, de méthodes et d'outils sur les cas d'études des produits de la deuxième partie de la première expérimentation et la deuxième expérimentation par rapport aux méthodes et outils de la première partie de la première expérimentation, n'est pas surprenant au vu de l'adaptation et l'exploration de la dimension métiers essentiels de la carte tridimensionnelle. En effet, pour mener à bien un projet de développement de produits nouveaux, le chef de projet entreprend des actions qui font appel à des ressources externes et les concepteurs de leur part font appel à des méthodes diverses et variées sous forme de métiers essentiels pour le produit. Ainsi l'objectif de la troisième dimension de la carte.

Certaines méthodes sont utilisées pour la premières fois par les équipes de conception. Il s'agit des méthodes d'innovation (méthode TRIZ) et les méthodes de créativité basées sur la conception centrée utilisateurs. L'emploi de ces méthodes a pour objectif de réaliser des produits innovant et elles ne sont pas utilisées pendant la première partie de la première expérimentation car l'équipe de conception manquait de formation sur ces méthodes.

IV. 4. 3 Evaluation de l'outil :

IV. 4. 3.1. Evaluation de la version papier

L'évaluation de l'outil version papier est basée sur deux aspects :

1- Les résultats des expérimentations précédentes
2- L'enquête d'évaluation auprès des spécialistes sous forme de questionnaire.

IV. 4. 3. 1. 1 Evaluation sur la base des expérimentations

Nos expérimentations sont localisées et réalisées sur un terrain donné pour valider un nouvel outil. Notre évaluation sera appréciée en fonction des résultats de l'outil, sur les produits et sur l'entité de recherche afin de se lancer dans une procédure de généralisation de l'outil.

La méthode utilisée dans notre approche est basée sur « observation de la situation ». Observer la situation des bénéficiaires de l'outil et la comparer avec ce qui serait passé pour ces mêmes bénéficiaires en l'absence de l'outil. Nous utiliserons la même approche pour la première et la deuxième expérimentation. Nous évaluerons en sortie du système plusieurs paramètres.

La réalisation et la validation de processus de conception pour chaque produit est obtenue en fonction de l'outil « carte sémantique tridimensionnelle ». La réalisation des innovations aux niveaux produits grâce à l'insertion et la proposition des outils et des méthodes de conception identifiées en fonction de la dimension métiers essentiels. La phase amont de conception comme clés de réussite pour arriver à des produits innovants est identifiée par l'exploration de la dimension produit de l'outil et les échanges entre concepteurs et utilisateurs « la conception centrée utilisateurs » à travers les séances de créativités est une activité à implanter auprès des équipes de conception..

	Concepteur 1		Concepteur 2		Concepteur 3	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
Les outils de conception	Sur la base des activités	Sur la base de la dimension métiers (RE)	Sur la base des activités de conception	Sur la base de la littérature (RE et RV)	Sur la base des activités	Sur la base de la dimension métiers (les esquisses)
La nature de la conception	routinière	Routinière, innovante (robuste)	Routinière innovante	Routinière, créative et innovant (robuste)	routinière	Routinière robuste
Les méthodes de la conception	Connaissances de base	Les méthodes d'innovation(TRIZ)	Les méthodes d'innovation	Les méthodes de créativités et analyse de besoin	Connaissances de base	Les plans de Taguchi
La relation avec les autres concepteurs	Echange basé sur l'exploitation	Collaboration sur l'analyse et aide à la décision	Animation, coordination et échange	Collaboration sur l'analyse et aide à la décision	Echange basé sur l'exploitation	Collaboration sur l'analyse et aide à la décision
Les outils d'aide à la décision	Analyse sur une base de connaissances	Subdivision du besoin (matrice Kano)	Critères d'aides à la décision	Subdivision du besoin (matrice Kano), retour des séances d'animation	Analyse sur une base de connaissances	Subdivision du besoin (matrice Kano)

Tableau IV. 20 : quelques améliorations de l'équipe de conception après l'adaptation de la carte sémantique tridimensionnelle pour le développement des produits.

IV. 4. 3. 1. 2 Evaluation par des spécialistes de science de conception

Pendant les 02 expérimentations, les utilisateurs de l'outil sont des acteurs de génie mécanique (chefs de projets et équipes de conception), l'utilisation de l'outil par les équipes de conception est sous la direction de développeur de cet outil.

Pour évaluer l'outil par d'autres acteurs nous avons réalisé une enquête auprès des spécialistes de différents champs disciplinaires de science de conception (différentes disciplines de génie industriel). Cette enquête, sous forme d'un questionnaire, élaborée autour d'un besoin accompagnée d'une fiche explicative de l'outil afin de donner un aspect « apprentissage » pour l'outil (augmenter le champ d'utilisation en autoaprentissage). Pour collecter les réponses, nous avons privilégié le questionnaire papier avec un échange sur les différentes dimensions de l'outil.

La procédure de l'évaluation

La procédure de l'évaluation est basée sur l'analyse d'un besoin générale divisé en sous-besoins autour de l'outil développé. La fiche explicative et les tableaux de réponse sont en annexe.

Cinq sous besoins ont été identifiés pour l'intérêt de l'outil. Dix participants dans l'évaluation (des membres du Laboratoire Conception de produits et Innovation). Ainsi les matrices fonctionnelles et dysfonctionnelles sont de dimension (10 X 5).

Liste des besoins pour un outil d'aide au choix d'un processus de conception

Besoin global : Aide au choix d'un processus de conception

Codification	Sous-Besoins
BO 1	Un outil d'aide au choix d'un processus de conception
BO 2	Un outil de réalisation (génération) d'un processus de conception
BO 3	Le nom Carte sémantique 3D
BO 4	Modéliser le processus de conception par une carte sémantique 3D
BO 5	La nécessité d'un processus de conception

Tableau IV. 21 : liste des besoins pour l'outil

Les sous-besoins sont issus des activités liées aux sciences de conception exercées au sein des deux laboratoires, le sous-besoin est un élément nécessaire dans la généralisation de l'outil dans la communauté scientifique (exploitation) pour générer un processus de conception.

La diversité des champs disciplinaires des différents acteurs pour l'évaluation de l'outil à pour objectif la manipulation et l'utilisation de l'outil par les acteurs de la conception.

Participant	Champ de compétences	Outils et méthodes	Métiers
01	Synthèse organique et inorganique	Plan d'expériences, plan de mélange, analyse statistique	Management de l'innovation
02	Eco-conception	Analyse de cycle de vie, analyse de l'impact environnemental, conception centrée utilisateur, kansei engineering	Eco-conception (doctorant)
03	Design produit	Conception, sélection des matériaux, eco-design	Enseignant chercheur (design produit)-Brésil
04	Conception des produits	Méthode de conception, méthodes d'innovation (TRIZ)	Ingénieur innovation
05	Génie mécanique	Design produit Design de l'interaction	Doctorant design-interaction
06	Ergonomie et conception	Observation, analyse de discours, créativité, benchmarking, analyse fonctionnelle	Doctorant ergonomiste
07	Traitement de signal	Méthode de conception amont, inspiration, OI, méthodes qualitatives et quantitatives	Ingénieur, designer
08	Créativité, graphisme, communication, travail du designer	Dessin, CAO, DAO, RV	Design industriel, mesure de l'expérience et des émotions, réalité virtuelle
09	Systèmes virtuels	TRIZ, CK, CAO, RV, réalité augmenté	Mécanique, électronique, robotique
10	Création des entreprises	Creativity tools, porter's 5 forces, swot, marketing mix	Engineering & management

Tableau IV. 22 : les acteurs de l'évaluation de l'outil

En cours de cette enquête, il est demandé aux différents acteurs de donner leurs visions du processus de conception afin de créer une liaison entre les métiers, les méthodes employées et le métier de l'intervenant. Le tableau suivant indique les recommandations de chaque intervenant.

Participant	**Procédure de réaliser un processus de conception**
01	- Analyse des pratiques observées dans le même secteur d'activité - Comparaison avec les modèles déployés dans d'autres secteurs - Evaluation des apports/contraintes des spécificités de chaque processus de conception - Adaptation du modèle de processus de conception déjà en place par ajout de composantes

	adaptées aux problématiques rencontrées
02	Personnellement je vais apporter une attention particulière aux éléments suivants : 1- L'activité de l'entreprise : ses produits, son positionnement par rapport au marché, ses cibles de consommateurs 2- Le positionnement de l'activité de l'entreprise par rapport au processus de conception, car cela peut concerner une ou plusieurs étapes en même temps, ou seulement une partie du processus (planning, conceptual design, detailled design, prototyping, production/industrialisation, commercialisation, retour d'expérience, …) 3- Les métiers mis en contribution par l'entreprise et les autres domaines associés 4- L'adéquation du processus de conception par rapport au domaine où aux métiers de l'entreprise en termes de langages et d'étapes (aéronautiques, ferroviaire, électroménager, …) 5- Les connaissances mise en œuvre : savoir faire interne où sous traitante externe 6- La politique de l'entreprise : - ses objectifs stratégiques - sa politique environnementale - sa politique d'innovation 7- les normes, les contraintes et les réglementations.
03	Je suivre habituellement les références bibliographiques avec les étapes bien définies qui comprennent des séances de créativités pour un bon développement du produit. Je suis designer, les aspects d'utilisabilité (ergonomie) et les fonctionnalités (systèmes et mécanismes) sont toujours prioritaires.
04	- Identification des types des produits et le processus de réalisation - Identifier les contraintes de l'équipe de conception - Identifier le processus idéal - Identifier les avantages et inconvénients de chaque méthode
05	Etablir un rétro-planning dans Excel où il est nécessaire de : - Définir les tâches /activités (à partir des modèles et projets antécédents) - Définir les différents acteurs - Définir la durée de chaque tâche - Prévoir des temps « buffer » - Prévoir des moments d'échange (communication, discussion, créativité, …)
06	Premièrement je mets à plat le processus classique de conception : Idée----------Produit Puis dans un second temps je vais programmer les outils que je compte utiliser : 1- Observation 2- Questionnaire 3- Analyse fonctionnelle 4- Prototypage 5- Tests utilisateurs Selon le type de demande, les informations disponibles et les équipes de conception, d'autres outils

	peuvent être déployées (benchmark, créativité, …). Cependant, je me base sur mes connaissances personnelles pour programmer le processus. Il serait intéressant de pouvoir compter sur un outil d'aide au choix des étapes et des outils pour nous faciliter la tâche.
07	- Comprendre les besoins de l'entreprise - Sollicité d'autres processus qui répondent aux mêmes besoins - Soit utiliser un processus déjà testé, si ne donne pas la réponse améliorer les étapes pour arriver au résultat - Tester vite les processus pour voir si ça marche pour moi - Si oui Ok, si non Itération
08	1- Identification de l'objet de conception 2- Identification des ressources 3- Détermination du problème de conception et de la méthode pour y arriver - Attribution des ressources à la résolution des problèmes - Recherche des ressources nouvelles - Recherches de méthodes existantes 4- Développement de la méthode identifiée
09	Sous forme séquentielle avec des itérations entre chaque phase du processus de conception.
10	Je l'imagine comme un circuit où tout est connecté et l'information est partagée entre tous les acteurs.

Tableau IV. 23 : Vision des utilisateurs pour réaliser des processus de conception

La matrice Kano: Les résultats de cette enquête sont exprimés sur la figure IV. 48.

$$X_{ij} = \begin{array}{c} \\ C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \\ C5 \\ C6 \\ C7 \\ C8 \\ C9 \\ C10 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} BO1 & BO2 & BO3 & BO4 & BO\ 5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} +1 & +2 & 0 & +1 & +2 \\ +2 & +2 & +2 & +1 & +2 \\ +1 & +2 & +1 & +2 & +1 \\ +2 & +2 & 0 & +1 & +2 \\ +2 & +2 & 0 & +1 & +2 \\ +2 & +2 & 0 & +2 & +2 \\ +1 & +1 & +2 & +1 & +2 \\ +0 & +1 & -2 & +2 & +2 \\ +0 & +0 & +0 & +0 & +2 \\ +2 & +2 & 0 & +1 & +2 \end{pmatrix} \end{array} \qquad Y_{ij} = \begin{array}{c} \\ C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \\ C5 \\ C6 \\ C7 \\ C8 \\ C9 \\ C10 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} BO1 & BO2 & BO3 & BO4 & BO5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} -1 & -1 & 0 & -1 & -1 \\ -2 & -1 & 0 & -1 & -2 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & -2 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & -2 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 \\ 0 & +2 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \end{array}$$

Figure IV. 48 : la matrice fonctionnelle et dysfonctionnelle des besoins identifiés pour le produit

Les scores fonctionnels et dysfonctionnels, ainsi que le score RI ont été calculés, ce qui donne les valeurs suivantes :

	B 1	B2	B3	B4	B5
FI =	(0.65	0.8	0.25	0.6	0.95)
DI =	(0.4	0.3	0.1	0.15	0.7)
RI =	(0	0	0	0	0)

Tableau IV. 24 : Vecteurs fonctionnel, dysfonctionnel et inverse pour les concepteurs

L'indicateur des réponses inverse RI est nul et les valeurs importantes pour les vecteurs fonctionnel et dysfonctionnel sont 0.95 et 0.7. La première concerne le sous besoin B5 la nécessité d'un processus de conception, l'ensemble des intervenant jugent l'intérêt d'un processus pour le développement des produits dans leurs environnement de travail. Cette indication nous amène à valider d'avantage le développement de la carte sémantique tridimensionnelle pour la génération d'un processus de conception.

La deuxième valeur concerne une valeur dysfonctionnelle du sous besoin B5, qui est la nécessité d'un processus de conception, en effet l'ensemble des intervenants juge la disponibilité d'un processus de conception comme une aide et un suivi de l'évolution de développement des produits et le cycle de conception.

Les deux valeurs sont liées au même sous-besoin, cette liaison est une réponse par la population de l'évaluation sur l'importance de la problématique des processus de conception et comment trouver un outil où une solution pour l'identification, l'adaptation, la génération et la réalisation d'un processus de conception. C'est une thématique actuelle de recherche au sein des sciences de conception.

L'analyse du besoin sous forme matricielle de réponse fonctionnelle et dysfonctionnelle nous offre des éléments de réponse pour l'adaptation de l'approche proposée d'un coté et de l'autre de la valider par des spécialistes de la conception.

IV. 4. 3. 2 Synthèse & discussion

Pour collecter les avis des participants sur l'outil développé, nous avons privilégié le questionnaire papier avec une séance de table ronde (stratégie identifiée des métiers essentiels). Nous avons effectué des tests auprès des spécialistes de la conception comme le montre le tableau en ci-dessus. Les questionnaires ont été réalisés autour d'un besoin global de validation de l'outil divisé en sous besoin pour que les intervenants évaluent d'avantage l'outil.

Pour le traitement des données, le calcul des indexes et les scores d'évaluation est réalisé. Le choix des participants à l'évaluation a été réalisé selon les critères suivants :

- L'utilisation des notions de sciences de conception
- Le développement des produits sur la base d'un processus de conception
- La diversité des métiers des intervenants
- L'appartenance à une équipe de conception multidisciplinaire
- Le développement des produits innovants

Cette expérimentation a été réalisée en collaboration avec un groupe multidisciplinaire du Laboratoire Conception de Produits et Innovation. Le pôle de compétitivité de cette équipe s'appuie sur l'optimisation du processus de conception des produits innovants. Cette équipe est responsable de grands projets européens et internationaux.

En plus des résultats de la première et deuxième expérimentation, les résultats obtenus de cette évaluation sont un argument de validation, pour la mise en œuvre finale de l'approche développée « la carte sémantique tridimensionnelle pour générer un processus de conception ».

Cette méthode d'évaluation issue de la littérature est ainsi efficace pour l'analyse du besoin à plusieurs échelles (micro & macroscopique), elle est classée comme méthode dans la vision et outil pour l'application **(Ben rejeb, 2008)**.

Les propositions de réalisation d'un processus de conception sur la base des recommandations des intervenants sont intégrées dans la finalisation de l'outil, pour cela une dernière partie du questionnaire invite les intervenants à proposer une approche de réalisation du processus en s'appuyant sur leurs expériences dans le domaine de développement des produits innovants ainsi que comme éléments dans des équipes de conception internationales.

Une évaluation par la lecture de la fiche explicative de la méthode et de l'outil d'aide au choix d'un processus de conception est un apport pour l'outil proposé du fait que l'ensemble des participants n'ont pas posés des question sur le fond où la forme de l'outil par contre leurs intérêt est focalisé sur l'exploitation de l'outil, donc c'est un appui pour la généralisation de la méthode dans plusieurs domaines selon les recommandations de **(Tomiyama, 2009) (Lahonde, 2010)**.

Comme conclusion, l'évaluation d'un nouvel outil par des spécialistes développant des produits innovants pour des différentes entreprises et à des échelles différents est une contribution dans l'optimisation du processus de conception. A travers la proposition des pistes d'amélioration par les acteurs et les utilisateurs de l'outil, en appuyant sur leurs expériences acquises pendant la réalisation des projets et des produits, des améliorations sont à réaliser.

IV. 4. 4. Génération par simulation

La simulation numérique joue un rôle important dans l'identification des solutions optimales pour une problématique où une situation. Réaliser cette simulation nécessite une préparation et une identification des entrées et les sorties, ainsi que le passage est réalisé par la simulation en développant une méthode ou algorithme d'optimisation (une boite noire).

L'objectif de cette partie est de générer un processus de conception en s'appuyant sur la simulation numérique (adaptation des algorithmes génétiques) et les dimensions de la carte sémantique tridimensionnelle. Pour réaliser notre simulation, l'algorithme suivant, élaboré à travers l'état de l'art sera utilisé comme repère :

Début

1. ***Générer une population aléatoire de n chromosomes.***
2. ***Evaluer la fitness des chromosomes avec la fonction fitness = Σ ressources (E)***
3. ***Répéter***
4. ***appliquer l'opération de sélection***
5. ***Appliquer l'opération de mutation avec une probabilité pm***
6. ***Ajouter les nouveaux chromosomes à la nouvelle population***
7. ***Calculer la fonction fitness f(x), pour tout chromosome x***
8. ***appliquer l'opération de remplacement***
9. ***Jusqu'à la génération du processus de conception***

FIN

IV. 4. 4. 1. La génération par simulation d'une population initiale de n chromosomes des processus de conception

L'objectif de cette simulation est de vérifier la complexité et de déterminer une population des processus de conception. Le processus de conception global est codé comme suit :

Chromosome = Σ gènes

Gène1			Gène2						Gène3				Gène4				Gène5					
Nature de conception			Nombre de phases						Méthodes de conception pour chaque phase				Outils de conception pour chaque phase				Itération entre phases du processus					
0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1

Tableau IV. 25 : codage de la solution.

Le gène 5 sera écarté de la chaine du chromosome, cette élimination est justifiée par les résultats d'identification réalisés soit à travers l'état de l'art où bien pendant les expérimentations, que les itérations entre les phases du processus de conception où bien entre les activités sont réalisées après l'utilisation d'une méthode où outil, donc l'intervention du gène 5 sera réalisée après la génération du processus de conception des 04 gènes.

Notre chromosome devient :

Nature de conception			Nombre de phases						Méthodes de conception pour chaque phase				Outils de conception pour chaque phase			
0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0

Tableau IV. 26: recodage de la solution pour générer une population initiale.

Avant de passer à la simulation et au codage binaire un codage simple sera élaboré. Le nombre de méthodes et outils est limité pour chaque phase à 05.

Nature de conception	Nombre de phases						Méthodes de conception pour chaque phase						Outils de conception pour chaque phase					
Conception routinière CR	CR-A	CR-B	CR-C	CR-D	CR-E	CR-F	CR-AM1	CR-BM1	CR-CM1	CR-DM1	CR-EM1	CR-FM1	CR-AO1	CR-BO1	CR-CO1	CR-DO1	CR-EO1	CR-FO1
							CR-AM2	CR-BM2	CR-CM2	CR-DM2	CR-EM2	CR-FM2	CR-AO2	CR-BO2	CR-CO2	CR-DO2	CR-EO2	CR-FO2
							CR-AM3	CR-BM3	CR-CM3	CR-DM3	CR-EM3	CR-FM3	CR-AO3	CR-BO3	CR-CO3	CR-DO3	CR-EO3	CR-FO3
							CR-AM4	CR-BM4	CR-CM4	CR-DM4	CR-EM4	CR-FM4	CR-AO4	CR-BO4	CR-CO4	CR-DO4	CR-EO4	CR-FO4
							CR-AM5	CR-BM5	CR-CM5	CR-DM5	CR-EM5	CR-FM5	CR-AO5	CR-BO5	CR-CO5	CR-DO5	CR-EO5	CR-FO5
Conception créative CV	CR-A	CR-B	CR-C	CR-D	CR-E	CR-F	CV-AM1	CV-BM1	CV-CM1	CV-DM1	CV-EM1	CV-FM1	CV-AO1	CV-BO1	CV-CO1	CV-DO1	CV-EO1	CV-FO1
							CV-AM2	CV-BM2	CV-CM2	CV-DM2	CV-EM2	CV-FM2	CV-AO2	CV-BO2	CV-CO2	CV-DO2	CV-EO2	CV-FO2
							CV-AM3	CV-BM3	CV-CM3	CV-DM3	CV-EM3	CV-FM3	CV-AO3	CV-BO3	CV-CO3	CV-DO3	CV-EO3	CV-FO3
							CV-AM4	CV-BM4	CV-CM4	CV-DM4	CV-EM4	CV-FM4	CV-AO4	CV-BO4	CV-CO4	CV-DO4	CV-EO4	CV-FO4
							CV-AM5	CV-BM5	CV-CM5	CV-DM5	CV-EM5	CV-FM5	CV-AO5	CV-BO5	CV-CO5	CV-DO5	CV-EO5	CV-FO5
Conception innovante CI	CR-A	CR-B	CR-C	CR-D	CR-E	CR-F	CI-AM1	CI-BM1	CI-CM1	CI-DM1	CI-EM1	CI-FM1	CI-AO1	CI-BO1	CI-CO1	CI-DO1	CV-EO1	CI-FO1
							CI-AM2	CI-BM2	CI-CM2	CI-DM2	CI-EM2	CI-FM2	CI-AO2	CI-BO2	CI-CO2	CI-DO2	CI-EO2	CI-FO2
							CI-AM3	CI-BM3	CI-CM3	CI-DM3	CI-EM3	CI-FM3	CI-AO3	CI-BO3	CI-CO3	CI-DO3	CI-EO3	CI-FO3
							CI-AM4	CI-BM4	CI-CM4	CI-DM4	CI-EM4	CI-FM4	CI-AO4	CI-BO4	CI-CO4	CI-DO4	CI-EO4	CI-FO4
							CI-AM5	CI-BM5	CI-CM5	CI-DM5	CI-EM5	CI-FM5	CI-AO5	CI-BO5	CI-CO5	CI-DO5	CI-EO5	CI-FO5

Tableau IV. 27 : codage simplifié de la configuration des processus de conception.

Afin de trouver une loi pour la génération aléatoire d'un processus de conception, nous commençons par l'étude de la conception routinière et la solution sera généralisée pour les autres cas de configuration. La configuration matricielle est conseillée pour la résolution des problèmes aléatoires, pour notre cas on aura deux matrices :

Matrice des méthodes MM

CR-AM1	CR-BM1	CR-CM1	CR-DM1	CR-EM1	CR-FM1
CR-AM2	CR-BM2	CR-CM2	CR-DM2	CR-EM2	CR-FM2
CR-AM3	CR-BM3	CR-CM3	CR-DM3	CR-EM3	CR-FM3
CR-AM4	CR-BM4	CR-CM4	CR-DM4	CR-EM4	CR-FM4
CR-AM5	CR-BM5	CR-CM5	CR-DM5	CR-EM5	CR-FM5

Matrice des outils MO

CR-AO1	CR-BO1	CR-CO1	CR-DO1	CR-EO1	CR-FO1
CR-AO2	CR-BO2	CR-CO2	CR-DO2	CR-EO2	CR-FO2
CR-AO3	CR-BO3	CR-CO3	CR-DO3	CR-EO3	CR-FO3
CR-AO4	CR-BO4	CR-CO4	CR-DO4	CR-EO4	CR-FO4
CR-AO5	CR-BO5	CR-CO5	CR-DO5	CR-EO5	CR-FO5

A
B
C
D
E
F

Vecteur des phases VPH

Notre génération est basée sur la relation suivante (MM+MO) x (VPH) = une population

CR-AM1+ CR-AO1	CR-BM1+ CR-BO1	CR-CM1+ CR-CO1	CR-DM1+ CR-DO1	CR-EM1+ CR-EO1	CR-FM1+ CR-FO1
CR-AM2+ CR-AO2	CR-BM2+ CR-BO2	CR-CM2+ CR-CO2	CR-DM2+ CR-DO2	CR-EM2+ CR-EO2	CR-FM2+ CR-FO2
CR-AM3+ CR-AO3	CR-BM3+ CR-BO3	CR-CM3+ CR-CO3	CR-DM3+ CR-DO3	CR-EM3+ CR-EO3	CR-FM3+ CR-FO3
CR-AM4+ CR-AO4	CR-BM4+ CR-BO4	CR-CM4+ CR-CO4	CR-DM4+ CR-DO4	CR-EM4+ CR-EO4	CR-FM4+ CR-FO4
CR-AM5+ CR-AO5	CR-BM5+ CR-BO5	CR-CM5+ CR-CO5	CR-DM5+ CR-DO5	CR-EM5+ CR-EO5	CR-FM5+ CR-FO5

x

A
B
C
D
E
F

=

(CR-AM1+CR-AO1) A+ (CR-BM1+CR-BO1) B+(CR-CM1+CR-CO1) C+(CR-DM1+CR-DO1) D+(CR-EM1+CR-EO1) E+(CR-FM1+CR-FO1) F

(CR-AM2+CR-AO2) A+ (CR-BM2+CR-BO2) B+(CR-CM2+CR-CO2) C+(CR-DM2+CR-DO2) D+(CR-EM2+CR-EO2) E+(CR-FM2+CR-FO2) F

(CR-AM3+CR-AO3) A+ (CR-BM3+CR-BO3) B+(CR-CM3+CR-CO3) C+(CR-DM3+CR-DO3) D+(CR-EM3+CR-EO3) E+(CR-FM3+CR-FO3) F

(CR-AM4+CR-AO4) A+ (CR-BM4+CR-BO4) B+(CR-CM4+CR-CO4) C+(CR-DM4+CR-DO4) D+(CR-EM4+CR-EO4) E+(CR-FM4+CR-FO4) F

(CR-AM5+CR-AO5) A+ (CR-BM5+CR-BO5) B+(CR-CM5+CR-CO5) C+(CR-DM5+CR-DO5) D+(CR-EM5+CR-EO5) E+(CR-FM5+CR-FO5) F

(CR-AM6+CR-AO6) A+ (CR-BM6+CR-BO6) B+(CR-CM6+CR-CO6) C+(CR-DM6+CR-DO6) D+(CR-EM6+CR-EO6) E+(CR-FM6+CR-FO6) F

Comme résultat 06 chromosomes constituant une population initiale globale de la configuration des processus de conception. Ces chromosomes sont pour une nature de conception et comme on a 3 types on aura 18 configurations simples pour la représentation des processus de conception.

Ces 18 configurations simples ne présentent pas la totalité des configurations possibles et afin de présenter l'ensemble des cas, la simulation est notre choix. Afin de générer une population initiale, nous nous sommes appuyés sur la configuration précédentes et à l'aide d'un programme « premier élément de l'algorithme génétique », la génération de la première population est effectuée.

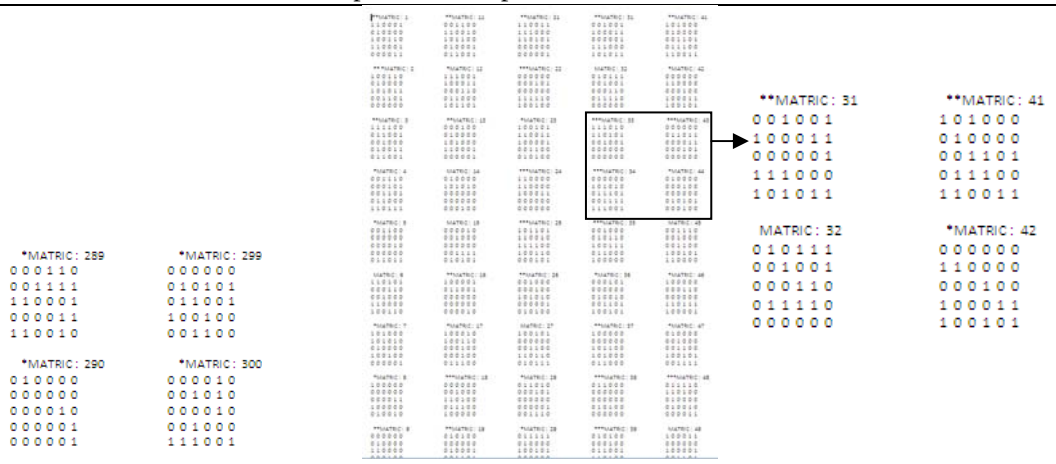


Figure IV. 49 : La population initiale de 300 individus « chromosomes »

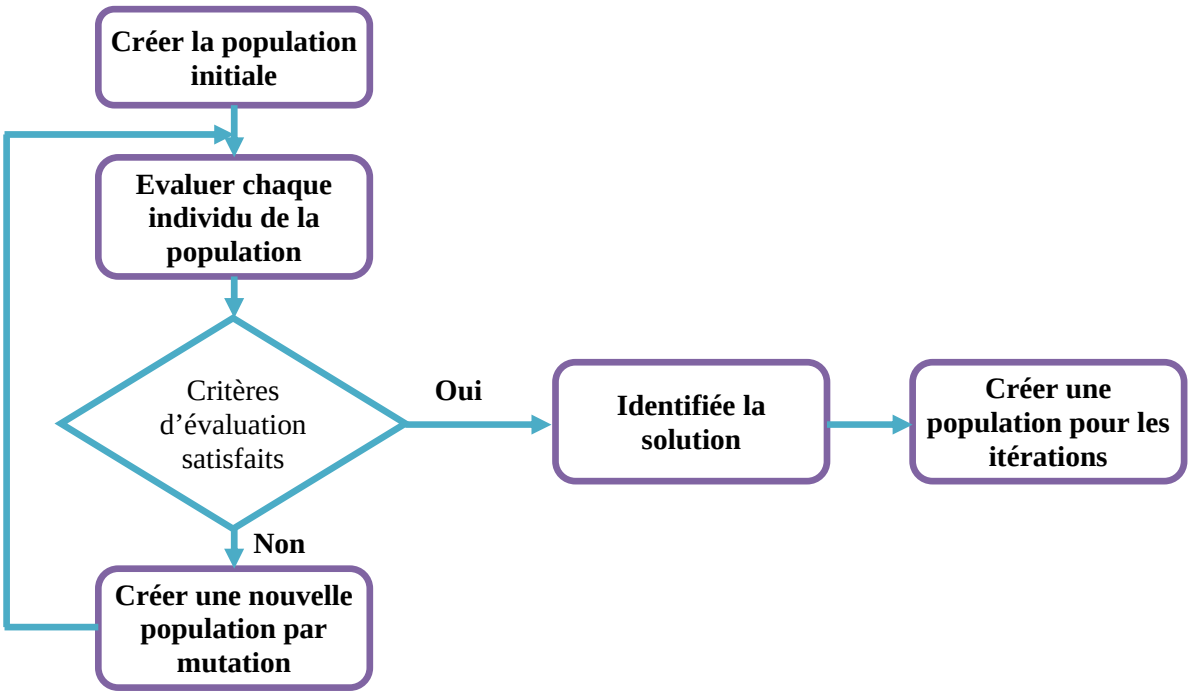


Figure IV. 50 : La stratégie pour la génération du processus de conception sur la base des algorithmes génétiques

IV. 4. 4. 2. Evaluer la fitness des chromosomes : Les métiers essentiels comme Fonction fitness

Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre Outils, § III. 7. 5. Conception détaillée, la fonction fitness est un élément essentiel pour la détermination des individus potentiels au sein d'une population. L'identification des métiers avec l'ensemble des méthodes et outils de conception au sein d'une entité facilitera la génération d'un processus de conception. A partir de cette finalité nous considérons l'ensemble des métiers, méthodes et outils comme fonction fitness et d'ajustement pour la génération d'un processus de conception.

L'objectif c'est de garder les meilleurs chromosomes

F*obj* = *f* (MTHD, OTL, NACNPT, NPHP, IPC)

Les itérations sont éliminées pour le moment.

La première évaluation consiste que les configurations à éliminées à l'exclusion de l'insertion de la fonction fitness sont dans l'ordre :

Phase 1, 2, 3, 4, 5, 6 = 0 ; Phase 1, 2, 3, 4, 5 = 0 ; Phase 3, 4, 5 = 0

La deuxième évaluation est :

La première fitness consiste à identifier la nature de la conception *f1= NACNPT = NC (x).*

La deuxième fitness consiste à identifier le nombre de phases *f2* = $NPhP = \sum_{i=1}^{i=6} Ph_i - (\sum R + \sum P)$

La troisième fitness consiste à identifier les ressources disponibles sur les matrices *f3 = Σ ressources (E)*

L'application des fonctions *f1, f2 et f3* sur la population de la figure V, évalue la fitness des chromosomes ainsi l'élimination des solutions insuffisantes.

La première fitness consiste à identifiée la nature de la conception *f1= NACNPT = NC (x)*

L'analyse effectuée dans le chapitre état de l'art (60 modèles de processus de conception) et les études de développement des produits (expérimentation 1 & 2), nous donne l'élément d'identification de cette fonction c'est le besoin et l'analyse du besoin.

Des réponses de la première dimension de la carte donnes la nature de conception (voir chapitre outils).

L'application de cette fonction sur la population initiale permettra une sélection des meilleurs individus.

La deuxième fitness consiste à identifiée le nombre de phases *f2* = $\boldsymbol{NPhP = \sum_{i=1}^{i=6} Ph_i - (\sum R + \sum P)}$

Pour la conception routinière l'absence de la phase besoin et analyse du besoin est remarquée sur les modèles, par contre pour la conception créative et innovante l'une des phases où les phases ensemble est nécessaire pour le processus de conception.

La phase 6 est indispensable pour la conception routinière et elle pourra être absente pour les 02 autres cas. Une autre remarque, il n'y a pas un processus de conception de deux phases seulement, donc toutes combinaisons proposées contiennent seulement les deux phases sera écartée.

Conception routinière	**0** **x**	**0** **X**	**x**	**x**	**x**	**1**
Conception créative	1 x	1 X	x	x	x	x
Conception innovante	1 x	1 X	x	x	x	x

Tableau IV. 29: les phases nécessaires pour chaque types de conception.

La troisième fitness consiste à identifiée les ressources disponibles sur les matrices *f3 = Σ ressources (E)*

L'objectif de la troisième dimension de la carte sémantique tridimensionnelle est d'identifié les métiers essentiels disponibles au sein de l'entité et de proposée des outils et méthodes de conception.

La projection de la fonction fitness *f3* sur la population sélectionnée

L'objectif de cette étape est de mesuré le poids de chaque chromosome en fonction des ressources disponibles afin d'identifier le premier coût de l'ensemble des chromosomes pour réaliser une sélection des individus qui ont la chance d'être adaptés.

Soit le tableau suivant qui décrit l'ensemble des ressources (Méthodes & Outils) disponibles au sein d'une entité :

La phase du processus	Les méthodes	Les outils
Phase 01	**0**	**1**
	0	**0**
	1	**0**
	1	**0**
	0	**1**
Phase 02	**0**	**0**
	0	**0**
	0	**0**
	0	**0**
	0	**0**
Phase 03	**0**	**0**
	0	**0**
	0	**0**
	1	**0**
	1	**1**
Phase 04	**1**	**1**
	1	**1**
	1	**1**
	1	**0**
	0	**0**
Phase 05	**1**	**1**
	1	**1**
	1	**1**
	1	**1**
	1	**1**
Phase 06	**1**	**1**
	0	**0**
	0	**0**
	1	**0**
	1	**1**

Tableau IV. 30 : les ressources disponibles au sein de l'entité identifiées.

IV. 4. 4. 3. L'interface graphique

La première interface graphique à comme objectif la récupération d'un maximum d'information. Ce maximum est réalisé à partir de la première dimension de la carte « dimension produit ».

La réalisation d'une interface graphique pour la récupération automatique des informations et les classées selon une approche de codage afin de les exploitées par une approche d'optimisation basée sur les algorithmes génétiques.

Les 02 autres dimensions de la carte sémantique tridimensionnelle sont au cœur de l'interface graphique. Cette intégration facilite la génération avec succès du processus de conception. Cette architecture est basée sur des notions d'utilisation par les acteurs de conception.

L'architecture de notre interface et comme suite :

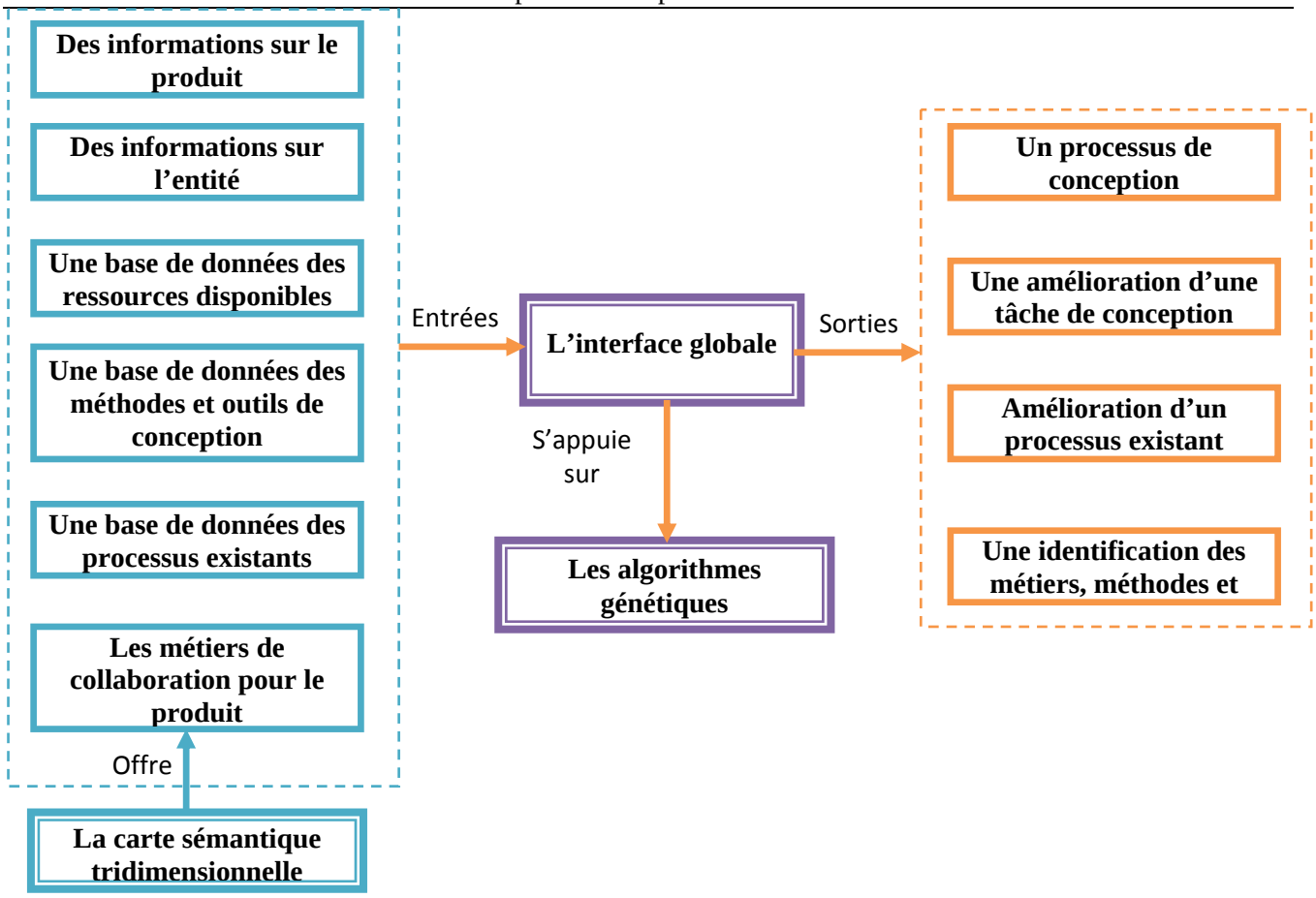


Figure IV. 51: L'architecture de l'interface graphique

IV. 4. 4. 4. Simulation et résultats

L'interface graphique nous donne comme résultats pour la réalisation d'un processus de conception un ensemble de méthodes, outils et métiers de conception. Une représentation sous forme matricielle nous facilite l'identification et l'optimisation.

```
39          }
40          System.out.println();
41      }
42
43  // fonction permettant de générer une matrice générale des processus de conception
44  public void generateurEtape (){
45          int k,h;
46          for ( int i = 0; i < nLignes; i++ ) {
47              k= (int) (Math.random() * nColonnes);
48              for ( int j = 0; j < k; j++ ) {
49                  h= (int) (Math.random() * nColonnes);
50                  element[i][h] = 1;
51              }
52          }
53
54      }
55
56  //fonction permettant de déterminer le taux de ressources
57
58      public double tauxUns (){
59          int k=0;
60          for ( int i = 0; i < nLignes; i++ ) {
61              for ( int j = 0; j < nColonnes; j++ ) {
62                  if (element[i][j] == 1)  k ++;
63              }
64          }
65          return ((double) (k*100)/(nLignes*nColonnes));
66      }
67  // fonction permettant de déterminer le taux de similarité par rapport aux ressources
```

Figure IV. 52: Extrait d'un programme de génération des processus de conception

Matrice parfaite pour un processus de conception :

1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1

La matrice parfaite du processus de conception considère que l'entreprise a des ressources pour chaque phase du processus, c'est le cas idéal. Dans ce cas on n'est pas besoin de réaliser un processus, mais seulement d'organiser les ressources et les distribuer selon un modèle depuis la carte de classement ou par génération.

Matrice générer par l'interface graphique qui représente les ressources de l'entité :

0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0

La matrice générer par l'interface graphique donne les ressources disponible a l'entreprise et leurs classement par rapport a un modèle idéal du processus de conception. Cette présentation nous facilite la tâche d'identification d'un réseau de partenariat ou de collaboration pour compléter le manque. C'est une première représentation pour identifier un processus sur la carte de classement qui va gérer de mieux les ressources. Un autre avantage de cette présentation du modèle du processus est l'optimisation de la conception.

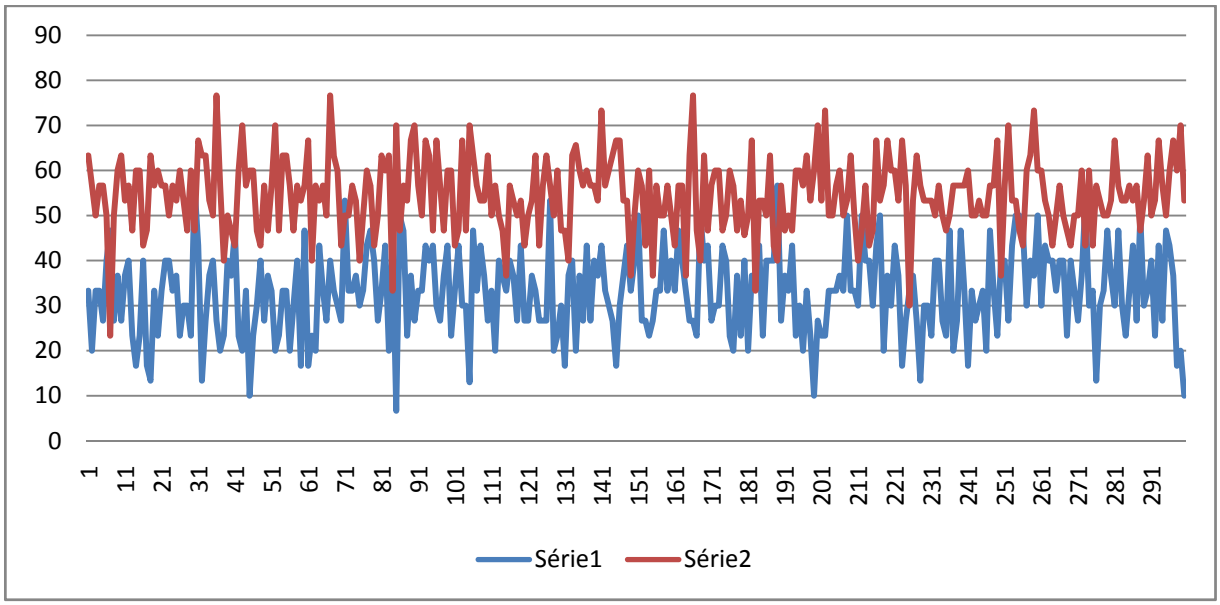


Figure IV. 53: Résultats de génération des processus de conception par simulation

Sur la figure IV. 53, La série 1 caractérise des calculs de population par rapport a l'absence totale des ressources dans l'entreprise, par contre la deuxième série concerne les calculs par rapport à une situation idéale de ressource. Cette figure aide à l'identification des chromosome mieux classés afin de les sélectionnés et les adaptés pour une entité ou une entreprise.

C'est calcul optimal basé sur les algorithmes génétique pour le génération et des critères d'aides où choix pour l'adoption des chromosomes classés sur le diagramme de la figure IV. 53.

C'est un autre pas dans l'optimisation du processus de conception, il reste à contribuer des ressources complémentaires par la proposition d'une liste des métiers, outils et méthodes de conception.

IV. 4. 4. 5 Synthèse et discussion

La simulation joue un rôle important dans l'optimisation des démarches de conception par des modélisations basées sur des approches et des algorithmes d'optimisation.

Dans notre cas et pour rester toujours dans nos axes de recherche et afin d'apporter des contribution dans le domaines des sciences des conception pour l'étude des processus de conception, nous sommes basés sur une approche d'optimisation basée sur les algorithmes génétiques afin de générer, sélectionner, améliorer et réaliser un processus de conception.

L'architecture de cette optimisation est basée sur l'outil développé et valider par des expérimentations et par des spécialistes « carte sémantique tridimensionnelle ». Les trois dimensions de l'outil constituent des variables et des données nécessaires pour la simulation.

La population initiale générer sous forme d'un ensemble de chromosomes est obtenue à partir de l'architecture adaptée qui est basée sur la notion des phases. Cette configuration facilite l'identification des individus les plus favorables pour l'adaptation. L'application de la fonction fitness permis le choix des individus et l'élimination des faibles. Le croisement et la mutation sur l'ordre de classement dans une phase du processus de conception donne une nouvelle population qui elles même subissent une évaluation par la fonction fitness.

Comme résultat des processus de conception qui réponds aux critères de l'entité. C'est une génération basée sur la simulation. Cette génération contribue dans l'optimisation du processus de conception et offre aux concepteurs un avantage d'identification rapide des méthodes et outils de conception ainsi que la collaboration à réaliser pour développer le produit dans les plus brefs délais et garder la compétitivité.

La réalisation d'une interface graphique est une solution qui reflète la démarche de l'algorithme d'optimisation d'un coté et de l'autre la création des bases de données des différentes ressources disponibles afin de les exploitées par l'algorithme d'optimisation. Cette interface offre une aide sur l'ensemble des outils et méthodes ainsi que l'architecture des processus de conception par des fiches explicatives consultables à partir de l'interface. Cette interface offre la possibilité d'amélioration d'un processus existant, donc c'est un environnement de génération et d'amélioration.

Comme conclusion, la simulation sur la base des algorithmes heuristiques pour la réalisation d'un processus de conception est une contribution pour l'optimisation de la démarche de conception, c'est une approche efficace et qui intègre l'ensemble des contraintes liées aux produits, l'environnement de conception, les concepteurs, les métiers et les méthodes de conception ainsi que l'identification des collaborations.

Le point non traité et qui est très important sont les itérations entre les phases du processus de conception et entres les résultats des méthodes et outils, c'est une perspectives des futurs travaux de notre recherche afin de finaliser l'outil et son interface graphique.

IV. 5 Cadre de la quatrième expérimentation : exploration d'un processus numérique pour le développement des produits

IV. 5. 1 Introduction

Notre recherche porte sur le choix, l'adaptation et la génération d'un processus de conception. La deuxième étape consiste à l'identification des métiers, outils et méthodes liées au processus de conception.

Suite à l'état de l'art réaliser nous somme arrivés à identifier un environnement non exploité par les expérimentations précédentes, c'est l'environnement virtuel. Dans l'objectif d'explorer cet environnement et déterminer les résultats sur la réalisation des produits innovant ainsi que les métiers liés et son rôle pour renforcer un processus de conception est inscrite cette expérimentation.

Notre expérimentation explore ainsi les enjeux de la réalité virtuelle dans les phases du processus de conception. Pour cela nous appuyons sur un processus de conception intégrant cette notion, ce processus est identifié sur la carte sémantique de classement des processus réalisé suite à l'état de l'art. L'exploration du modèle nous permettra la validation de l'environnement virtuel et la proposition d'un processus de conception basé sur le processus identifié est adapté à l'entité ou l'entreprise.

A travers cette expérimentation, nous cherchons à valider d'avantage nos hypothèses de modélisation (adaptation et génération) sur les processus de conception.

IV. 5. 2 Identification d'un processus de conception

L'analyse de la carte sémantique de classement des processus de conception nous a permis d'identifié un modèle de processus de conception intégrant l'environnement virtuel dans la stratégie de développement des produits, c'est le modèle proposé par **(Richir, 2004)**. C'est un modèle numérique de processus de conception.

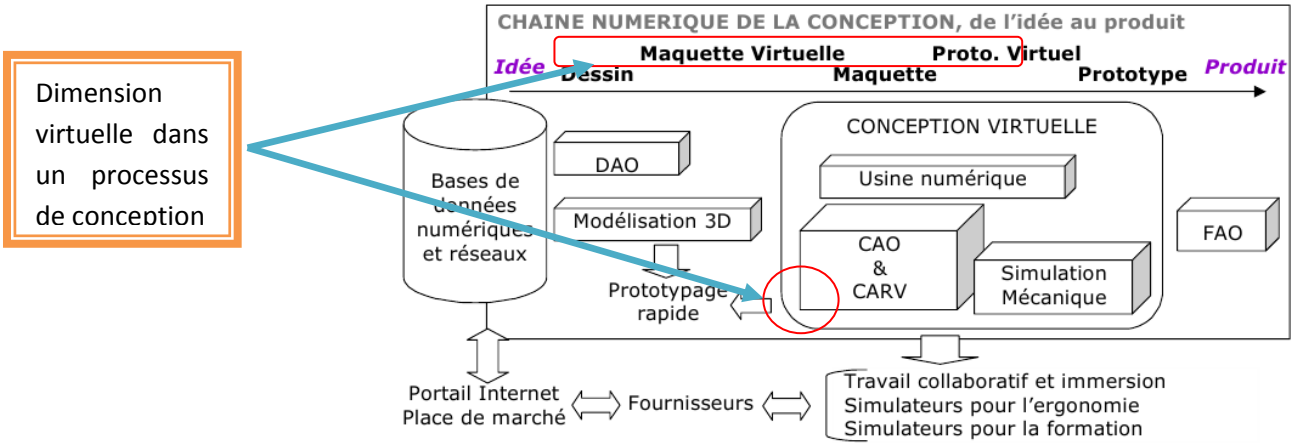


Figure IV. 54 : Chaine numérique du processus de conception identifiée sur la carte sémantique de classement proposé par (Richir, 2004) amélioré par (Kadri, 2007)

L'utilisation de la RV en conception de produits est la tendance actuellement poussée par le développement de la Chaîne Numérique de la Conception (Figure IV. 54). Cette chaîne numérique de la conception permet de passer de l'abstrait au concret, d'une idée du produit au produit prêt à être commercialisé, en utilisant différentes représentations intermédiaires. Des représentations intermédiaires physiques ou traditionnelles, que nous avons présenté précédemment (esquisse à main levée, esquisse sous CAO, maquette CAO, maquette de prototypage rapide, …), mais aussi des représentations intermédiaires virtuelles, telles que la

maquette virtuelle et le prototype virtuel. Cependant, l'idée de base de l'utilisation de la RV en conception de produits est de remplacer les représentations intermédiaires physiques par des représentations intermédiaires virtuelles plus rapides à réaliser et moins coûteuses.

On retrouve l'utilisation de la RV tout au long du processus de conception pour la vérification ergonomique, l'évaluation de performance, la simulation fonctionnelle, les tests de faisabilité et la démonstration pré commerciale. La RV peut aussi être utilisée pour effectuer des tests utilisateurs en Environnement Virtuel (EV). Par ce biais, il est possible de valider des concepts et permettre, au plus tôt, de confirmer ou réorienter les choix de conception. De plus, La RV favorise l'interaction entre les différents acteurs **(Kadri, 2007)**. Donc une autre dimension à vérifier par l'environnement virtuel est la dimension conception centrée utilisateur, c a d, intégrer les spécialistes de développement et des utilisateurs d'un produit.

IV. 5. 3 Protocole expérimental

Contexte et objectif

Parmi les difficultés relatives à la conception d'un nouveau produit, les délais et les coûts de conception occupent une place importante. Ces problèmes se posent non seulement dans les grandes industries, mais également dans les petites et moyennes entreprises. Ils peuvent être attribués en partie à la nécessité de multiples itérations de réalisation et d'évaluation de représentations intermédiaires physiques et d'environnements de tests réels. Nous avons vu dans l'état de l'art que les maquettes sont fréquemment utilisées par les concepteurs pour percevoir les propriétés visuelles du futur produit. En plus de cette possibilité d'évaluer visuellement le produit, les maquettes permettent de confronter les points de vue des différents membres de l'équipe de conception.

Cette expérimentation a été réalisée dans le cadre d'une collaboration avec le LCPI, spécialisé dans la conception innovante et en particulier avec l'équipe réalité virtuelle. Elle a pour but de comparer les résultats des environnements développés pendant les deux premières expérimentations (produit sur la base des esquisses à main levée et des esquisses CAO) et d'identifier le comportement des utilisateurs. Nous voulons aussi par cette expérimentation, la vérification de la maquette virtuelle par rapport à la maquette physique.

Nature des produits

Afin de valider le processus de conception et de le comparer avec les deux premières expérimentations, les produits à développés sont les mêmes, une prothèse de genou et une orthèse.

Le protocole expérimental de la figure IV 54, regroupe les entrée et les sortie du processus de conception a exploré et a validé, c'est un protocole basé sur une stratégie d'exploitation des ressources disponibles dans un premier niveau (données et maquettes de CAO, les moyens et techniques de reverse engineering, ...) et dans un deuxième niveau de faire appel a des experts et spécialistes pour le développement des produits.

L'objectif est de réaliser une base données des esquisses réaliser par des experts et spécialistes afin de préparer la phase de la conception détaillée dans d'autres environnements.

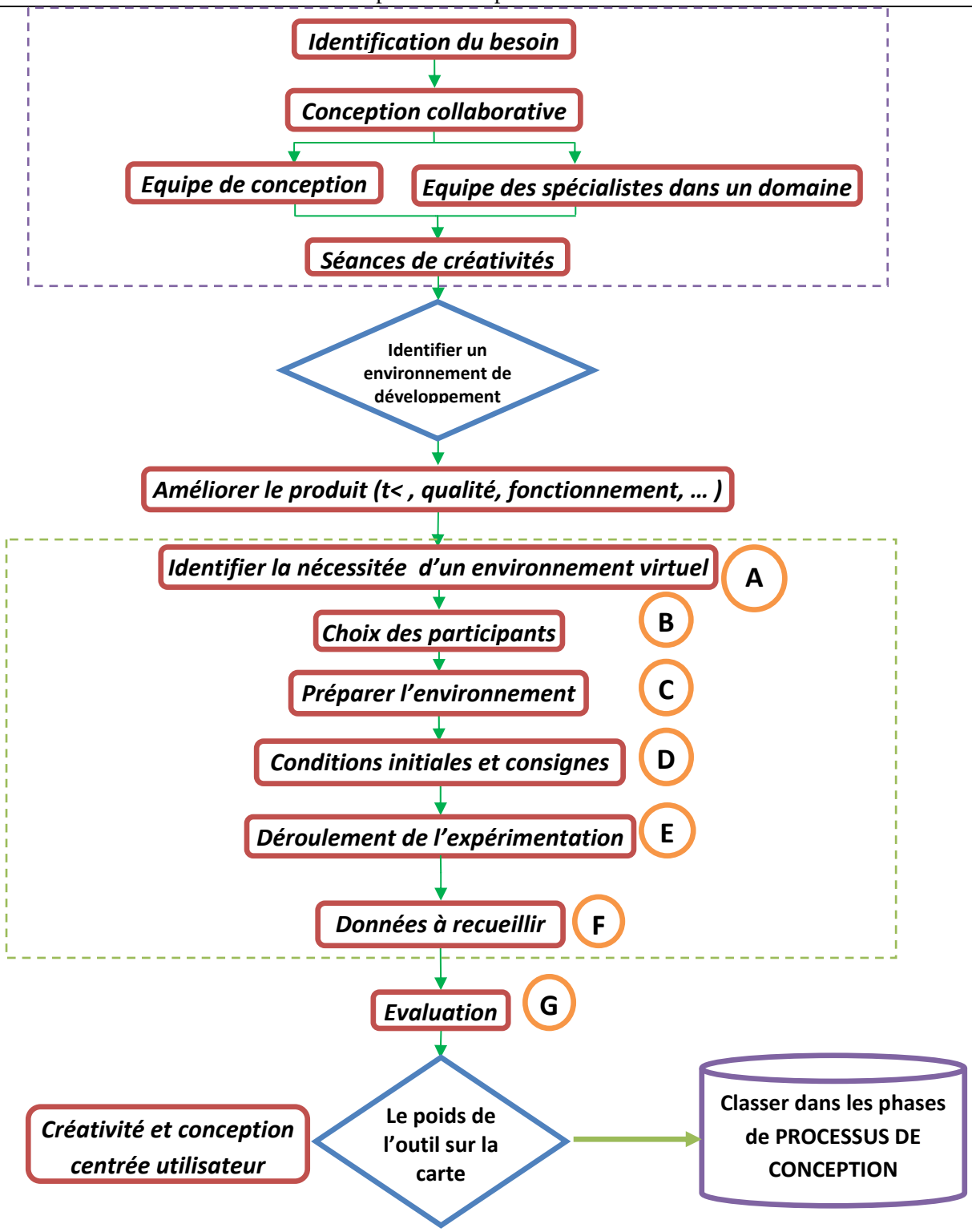


Figure IV. 55: Identification des activités de conception et les métiers essentiels pour réaliser la conception détaillée du produit – Esquisse en RV + outils de CAO -

A- Identifier la nécessitée d'un environnement virtuel

La réussite d'un processus de conception ne se limite pas à l'identification d'un modèle de conception mais il faut également réunir les métiers majeurs indispensables à la conception d'un produit donné. Nous sommes conscients que la réussite d'un processus de conception dépend également d'autres aspects quantitatifs ou qualitatifs, tels que l'organisation, les moyens technologiques (par exemple le prototypage) où des études diverses complémentaires (exemples : étude marketing ou étude de coûts globaux). Cependant, nous nous

limitons, dans le cadre de notre recherche, à analyser uniquement l'aspect « métiers essentiels » qui doivent êtres identifiés et concourir au processus de conception. Après avoir étudié le prototypage sous un environnement CAO et identifier les métiers liés à cette expérimentation, la réalisation d'un prototypage virtuelle est l'objectif de cette expérimentation afin de comparer et de sélectionner les métiers essentiels et l'impact sur un processus de conception ainsi que sur l'innovation.

B- Choix des participants

En premier lieu cette étude fait appelle à des participants volontaires (hommes & femmes) d'âge différents. En deuxième lieu l'intervention des spécialistes pour le développement des esquisses est nécessaire pour juger l'efficacité de la méthode et de l'outil.

Participants	Nombre
Spécialistes de conception	06 (4 M et 2 F)
Spécialistes des produits	01 Spécialiste

C- Préparer l'environnement

L'environnement virtuel de l'expérimentation doit permettre une tâche de réalisation des esquisses 2D et 3D. La conception d'un environnement simple pour des tâches d'apprentissage initiales sera la première étape. Dans une deuxième étape les fichiers CAO 3D sont exploités sous cet environnement pour créer des esquisses par les utilisateurs.

Notre expérimentation vise à comparer l'interaction des outils de l'environnement virtuel avec d'autre environnement dans le but de développer un produit innovant.

D- Conditions initiales et consignes

Les conditions initiales sont de répondre à un questionnaire et réaliser des esquisses 2D et 3D. Les participants commencent par une phase d'apprentissage qui permet de comprendre les modalités d'interaction avec les périphériques employés ainsi de se familiariser avec la tâche à réaliser. La durée d'entrainement est limitée à quelques minutes pour la manipulation des outils.

La position de l'utilisateur et l'espace de réalisation des esquisses est bien étudier.

Il est demandé aux participants de réaliser des esquisses pour le futur produit en fonction de leurs expériences et suivant le cas présent (un produit sur mesure)

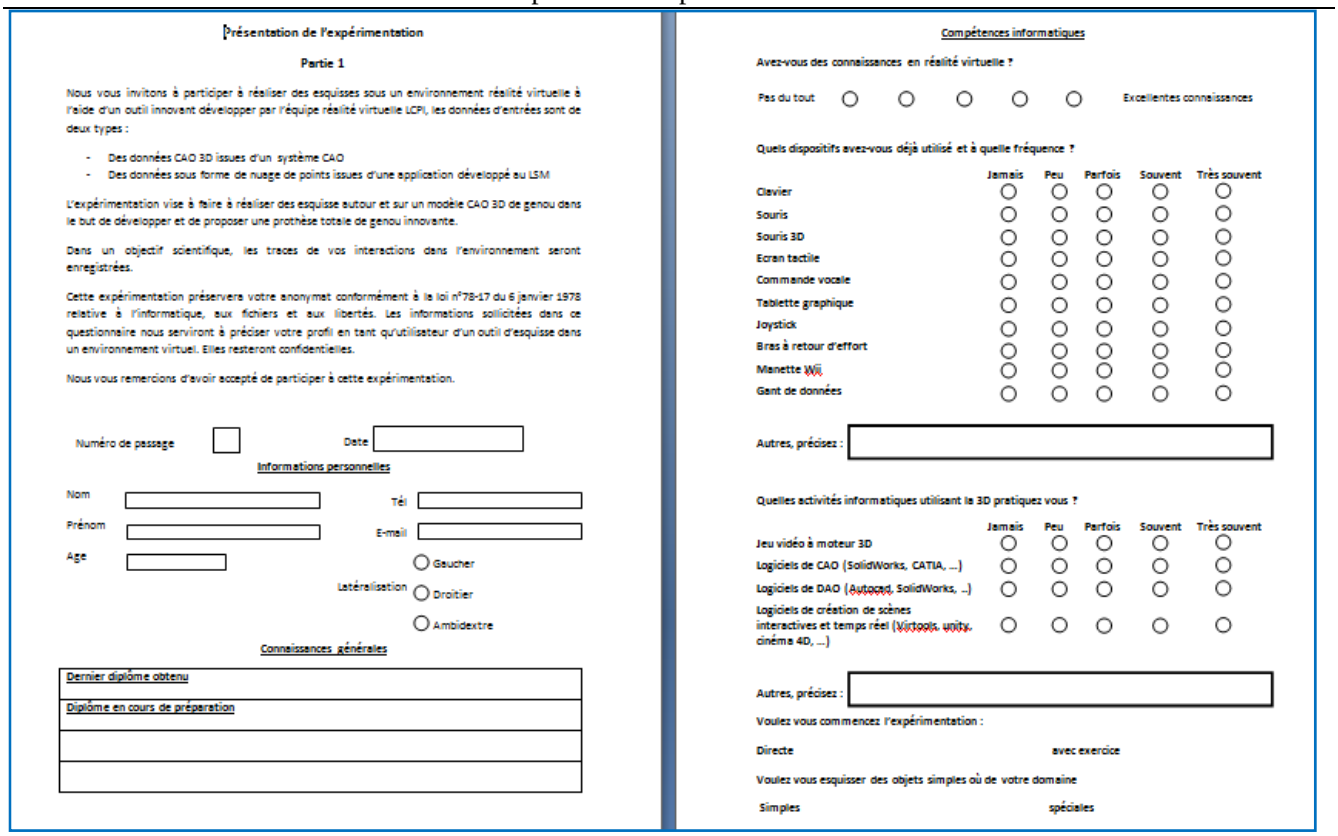
E- Déroulement de l'expérimentation

En premier lieu, le participant commence à remplir un questionnaire d'identification qui nous permet de recueillir les informations générales le concernant ainsi que les informations spécifiques.

Ensuite, l'utilisateur se voit présenter l'expérimentation et les enjeux de celle-ci. Une explication écrite est donnée à chaque participant.

Une manipulation libre sous l'environnement virtuelle est envisagée afin de ce familiarisé avec les outils et de concentrer par la suite sur l'ensemble de la manipulation.

Une tâche similaire au produit à développer est expliquée aux participants afin de donner un aperçu sur le développement. A partir de cette tâche il est demandé aux participants de réaliser des esquisses autour des modèles proposés.



Présentation de l'expérimentation

Partie 1

Nous vous invitons à participer à réaliser des esquisses sous un environnement réalité virtuelle à l'aide d'un outil innovant développer par l'équipe réalité virtuelle LCPI, les données d'entrées sont de deux types :

- Des données CAO 3D issues d'un système CAO
- Des données sous forme de nuage de points issues d'une application développé au LSM

L'expérimentation vise à faire à réaliser des esquisse autour et sur un modèle CAO 3D de genou dans le but de développer et de proposer une prothèse totale de genou innovante.

Dans un objectif scientifique, les traces de vos interactions dans l'environnement seront enregistrées.

Cette expérimentation préservera votre anonymat conformément à la loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés. Les informations sollicitées dans ce questionnaire nous serviront à préciser votre profil en tant qu'utilisateur d'un outil d'esquisse dans un environnement virtuel. Elles resteront confidentielles.

Nous vous remercions d'avoir accepté de participer à cette expérimentation.

Numéro de passage | Date

Informations personnelles

Nom | Tél

Prénom | E-mail

Age

Latéralisation: Gaucher, Droitier, Ambidextre

Connaissances générales

Dernier diplôme obtenu
Diplôme en cours de préparation

Compétences informatiques

Avez-vous des connaissances en réalité virtuelle ?

Pas du tout ○ ○ ○ ○ ○ Excellentes connaissances

Quels dispositifs avez-vous déjà utilisé et à quelle fréquence ?

	Jamais	Peu	Parfois	Souvent	Très souvent
Clavier	○	○	○	○	○
Souris	○	○	○	○	○
Souris 3D	○	○	○	○	○
Ecran tactile	○	○	○	○	○
Commande vocale	○	○	○	○	○
Tablette graphique	○	○	○	○	○
Joystick	○	○	○	○	○
Bras à retour d'effort	○	○	○	○	○
Manette Wii	○	○	○	○	○
Gant de données	○	○	○	○	○

Autres, précisez :

Quelles activités informatiques utilisant la 3D pratiquez vous ?

	Jamais	Peu	Parfois	Souvent	Très souvent
Jeu vidéo à moteur 3D	○	○	○	○	○
Logiciels de CAO (SolidWorks, CATIA, ...)	○	○	○	○	○
Logiciels de DAO (Autocad, SolidWorks, ..)	○	○	○	○	○
Logiciels de création de scènes interactives et temps réel (Virtools, unity, cinéma 4D, ...)	○	○	○	○	○

Autres, précisez :

Voulez vous commencez l'expérimentation :

Directe avec exercice

Voulez vous esquisser des objets simples où de votre domaine

Simples spéciales

Figure IV. 56 : la première partie du questionnaire

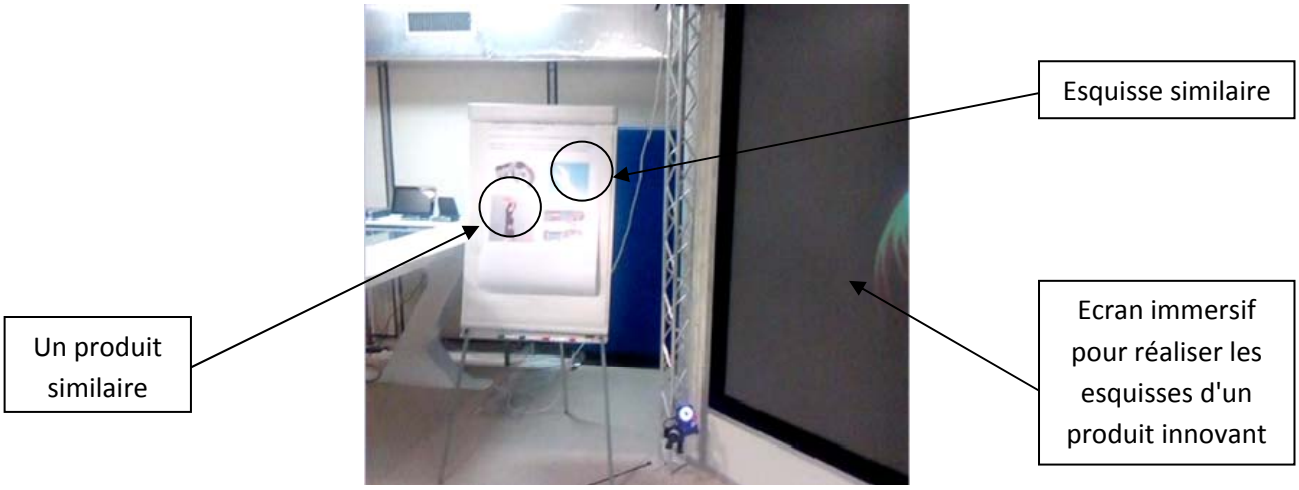


Figure IV. 57 : Explication d'une tâche similaire par des esquisses et des photos

L'objectif cette première partie du questionnaire est d'identifiée les moyens utilisés par les participants, les environnements de travail et de développement. C'est un indicateur de classement en fonction des exploitations des outils afin d'analyser les résultats des expérimentations et d'identifier l'influence de l'interaction entre l'utilisateur, l'environnement et les outils.

Les réponses au questionnaire par les intervenants sont comme suit :

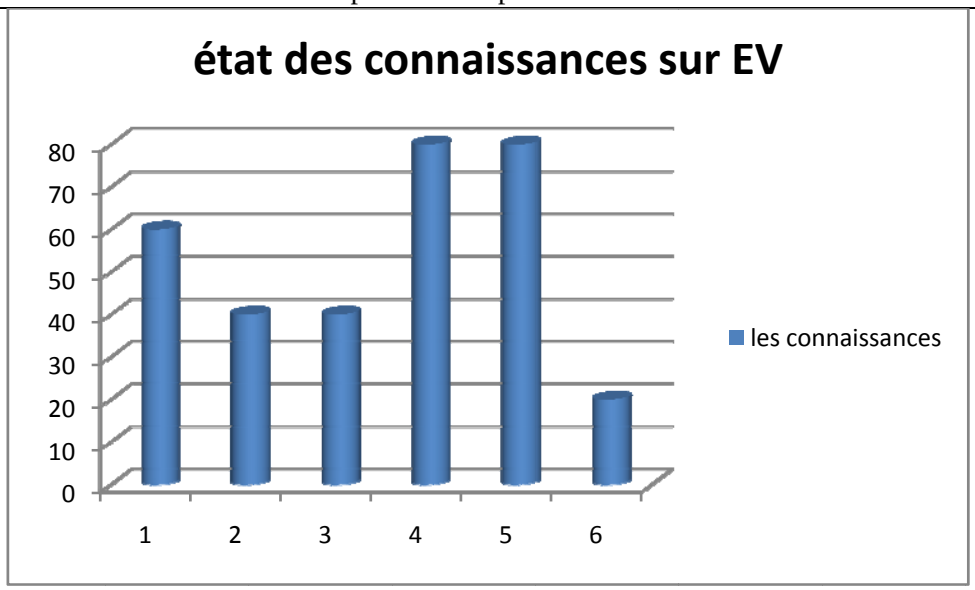


Figure IV. 58: Réponses sur l'utilisation de l'environnement virtuel

L'utilisation de l'environnement virtuelle a fait l'objet de développement de certains produits par des participants et pour d'autre cet environnement n'est pas exploité suffisamment dans leurs travaux. C'est une occasion d'explorer cet environnement à travers la réalisation des esquisses et de vivre l'interaction avec un tel environnement.

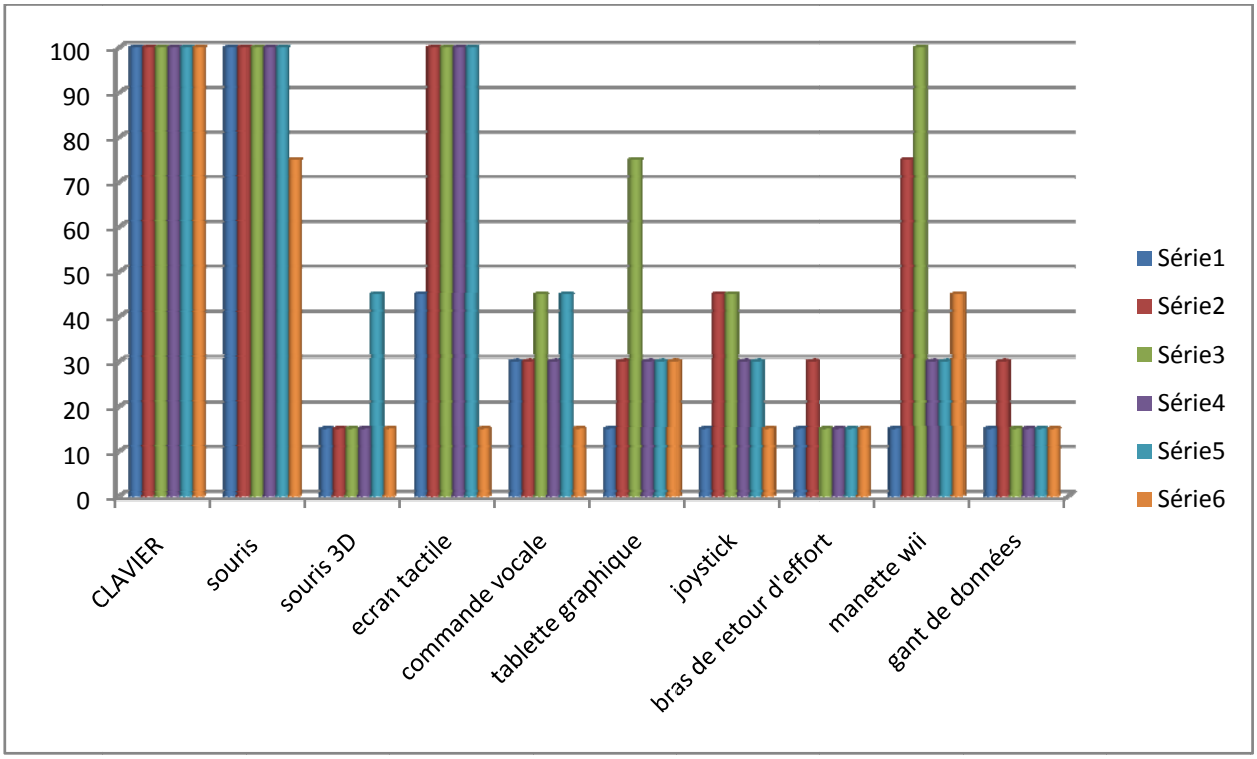


Figure IV. 59 : l'utilisation des différents dispositifs de manipulation

Comme est attendu, l'ensemble des participants et comme la majorité des concepteurs, les outils employés sont le clavier et la souris.

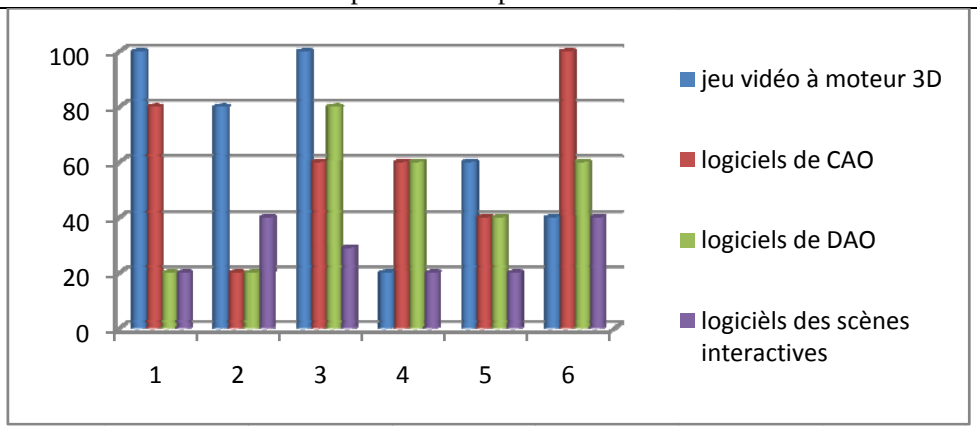


Figure IV. 60 : catégories des logiciels utilisés par les participants

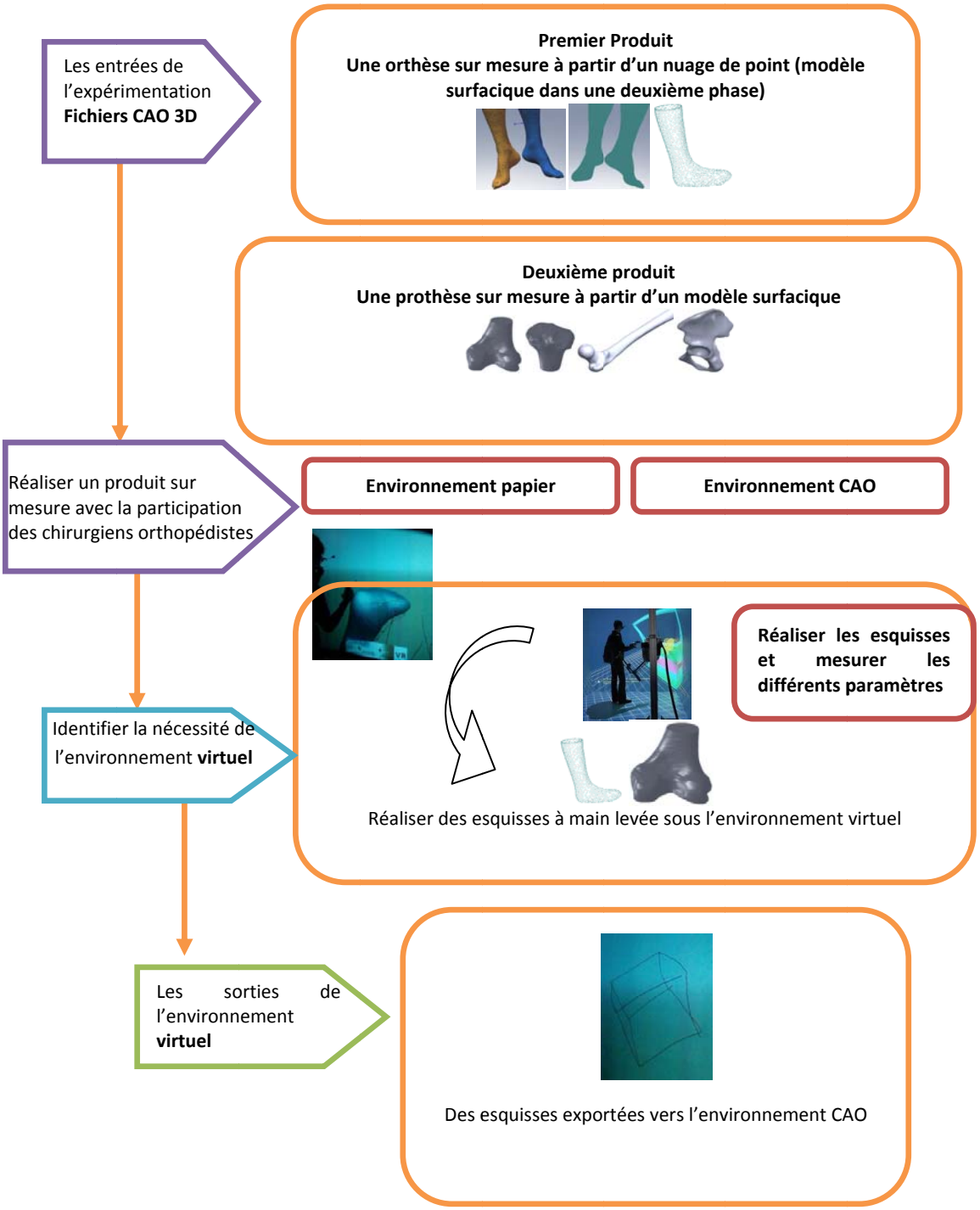


Figure IV. 61: Architecture du protocole de réalisation des produits sous l'environnement virtuel

Les logiciels de conception et de dessin assisté par ordinateurs sont utilisés par les participants et en revanche les logiciels à caractères interactives sont mal consultés. Cette expérimentation donne aux participants un environnement d'essai pour manipuler des scènes et des scénarios virtuels d'un produit. Le rendu visuel est réalisé sur un écran immersif et l'objectif des participants à l'expérimentation est de réaliser des esquisses sur la maquette virtuelle.

F- Données à recueillir

Un ensemble des données sera recueilli afin de comparer avec d'autres environnements de développement.

Les données sur l'environnement virtuel sont collectées sous forme d'un questionnaire remis à chaque participant. Par contre les données techniques sont collectées sous forme d'un fichier texte pour l'exploité dans un autre environnement.

Les travaux de cette expérimentation constituent une contribution à la validation des processus de conception et la carte de classement des processus de conception. Plus particulièrement, nous avons proposé de valider et d'explorer un modèle d'un processus de conception identifié sur la carte sémantique de classement. Nous sommes partis du constat que l'adaptation d'un processus existant est une solution parmi d'autre pour réaliser un processus de conception. Le processus sélectionné implique de nombreux acteurs de la conception et des techniques de prototypage et d'exploration de la phase amont de la conception moins coûteuses pour l'entreprise.

Le processus numérique de **(Richir, 2004)** qui a permis l'obtention des résultats dans l'environnement virtuelle. Pour chacune des phases, nous précisons quels acteurs et outils de conception sont impliqués. Donc, nous sommes appuyés sur un ensemble de métiers, méthodes et outils pour chaque phase du processus de conception.

G- Evaluation & discussion

Dans le cadre de nos observations, nous notons que le temps d'utilisation des moyens de la RV devrait être bien défini. Les membres de l'équipe de conception présentent des signes de fatigue des les 30 minutes d'utilisation et de manipulation dans l'environnement.

Pour le temps de réalisation des esquisse c'est une révolution par rapport aux environnements traditionnels. Sur le plan qualité les grands lignes des esquisses sont acceptables, par contre pour les détaille cela demande un travail supplémentaire de finition pour avoir la forme exacte.

Le volume de la base de données augmente rapidement ce qui offre une variété importante des représentation intermédiaire sous forme esquisse du future produit.

Dans le cadre d'une convergence application et intégration de métiers, la réalité virtuelle apporte un soutien à l'évaluation, la réalisation et la simulation du produit par une équipe pluri-métiers. La flexibilité du modèle 3D soit nuage de point où modèle surfacique ainsi que l'espace de manipulation, permettent de mettre le concepteur ou l'expert en position confortable pour réaliser les esquisses, tout en faisant varier des données (Taille, éclairage, texture, ...)

IV. 6 Synthèses des apports expérimentaux & conclusion

Les résultats obtenus dans le cadre de cette thèse sont utiles pour les exploités par des concepteurs et des chefs de projets, qui sont les utilisateurs finaux de notre outil. En effet, nous considérons que ce résultat est un résultat de recherche ouvrant la porte à de nouvelles perspectives et à des applications opérationnelles auprès d'autres structures qui cherchent à implémenter une stratégie de génération de processus de conception..

IV. 6. 1 Synthèse de la démarche expérimentale

Notre démarche repose sur quatre expérimentations réalisées avec des équipes de conception des deux laboratoires LSM et LCPI. Elle vise à générer un processus de conception qui guide le développement du produit, de l'identification du besoin jusqu'à l'implémentation, avec la génération d'un processus de conception, et en particulier l'exploitation de l'outil développé.

La première expérimentation repose sur l'analyse des équipes de conception avant et après l'utilisation de l'outil développé ; elle a permis de valider la notion adaptation du processus de conception pour réaliser des produits robustes et réduire les cycles des itérations, donc minimisé les échecs.

La deuxième expérimentation consiste à générer des processus de conception sur la base des résultats de la première expérimentation, elle a permis de caractériser d'avantage les processus de conception sur la base des familles de produits similaires aux premiers.

La troisième expérimentation est le fruit des deux premières, elle regroupe et analyse les travaux effectués par les équipes de conception afin de les classés comme métiers essentiels. Cette classification est exploitée plus loin par nos algorithmes sous la notion « fonction fitness ». L'identification des métiers essentiels donne un périmètre de développement propre à l'entité et réalise les points de collaboration et d'intégration des ressources. Une évaluation de l'outil par des experts de conception est effectuée sous la notion « analyse de besoin par l'approche de Kano ». Optimiser le processus de conception est la dernière étape de cette expérimentation, elle vise le développement d'une approche basée sur les algorithmes heuristiques d'optimisation « génétique », dans l'objectif est la numérisation de l'outil.

La quatrième expérimentation vise à étudier un processus de conception afin de créer une liaison entre les trois environnements de développement localisés pendant l'état de l'art.

Les quatre expérimentations sont complémentaires et les résultats sont échangeables où l'objectif la est validation des hypothèses et répondre à la problématique de la recherche.

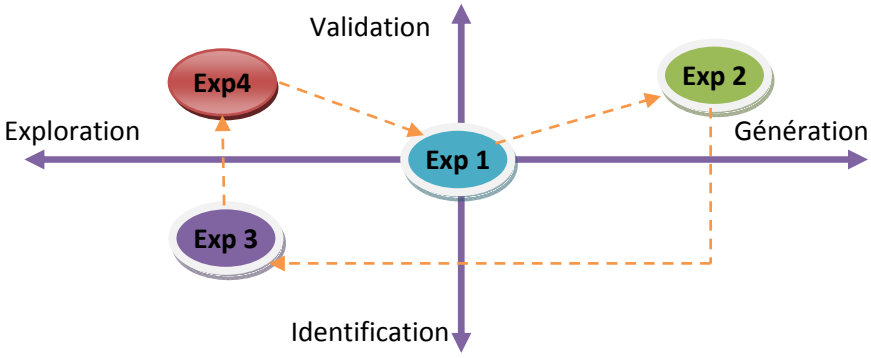


Figure IV. 62 : Cheminement des expérimentations afin de valider les hypothèses

IV. 6. 2 Première expérimentation

La première expérimentation dans sa première partie avait pour objectif d'analyser les pratiques, les outils et les méthodes utilisées par les équipes de conception pour le développement du produit sans l'utilisation de l'outil que nous avons développé. Une stratégie basée sur l'observation « focus group » pour l'analyse est adaptée. Deux produits de deux secteurs différents sont développés avec deux équipes de conception.

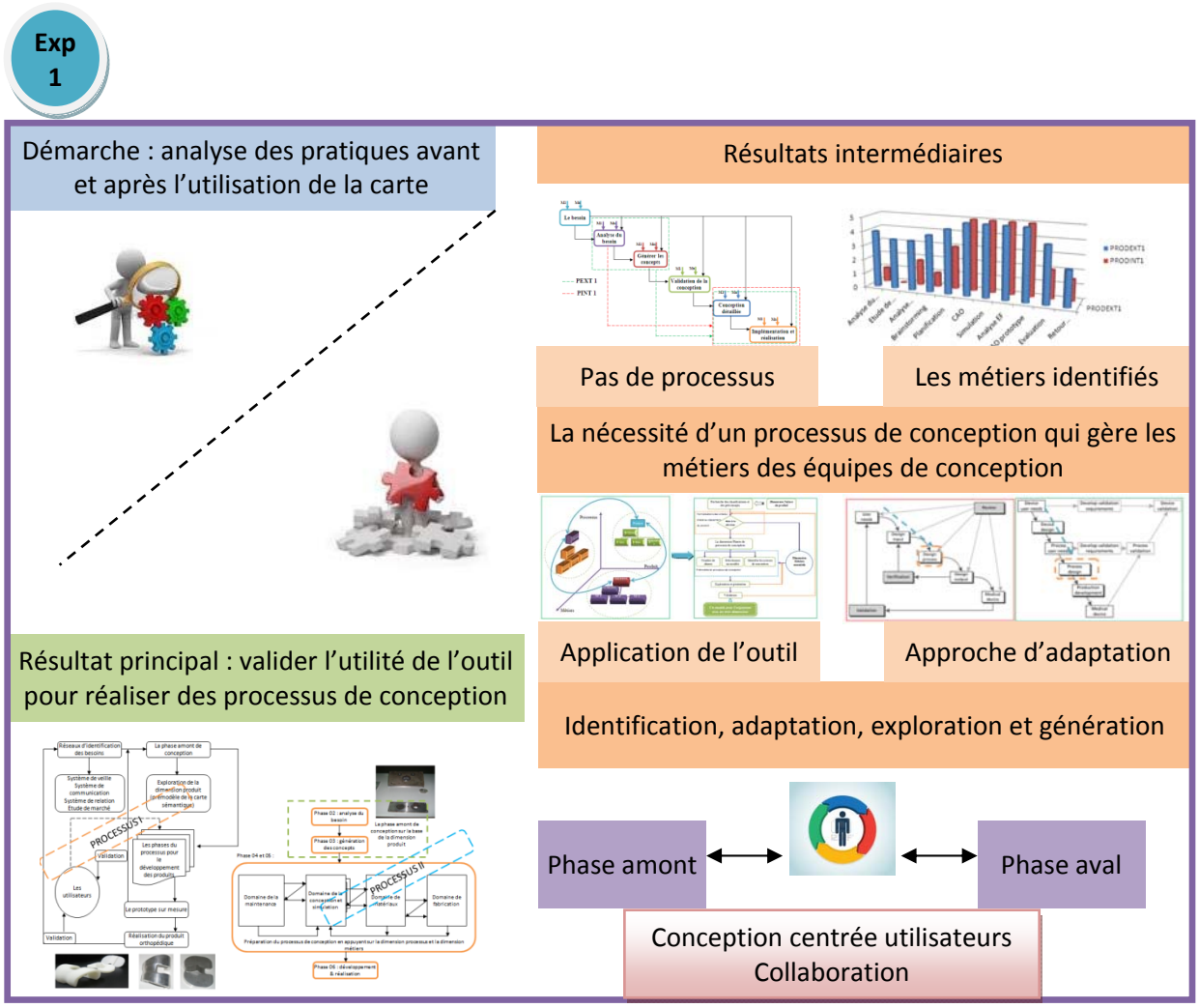


Figure IV. 63 : Synthèse des apports de la première expérimentation

Par contre la deuxième partie de cette expérimentation est guidée par un animateur est basée sur l'exploitation des dimensions de l'outil afin de réaliser la conception des produits. Cette expérimentation à permis d'identifier les lacunes des équipes de conception et de déterminer les éléments de réponse à notre problématique.

Cette expérimentation a également permis l'adaptation et l'exploration de deux processus de conception. Cette stratégie basée sur l'intégration des utilisateurs dans les phases amont du processus de conception a pour objectif la réussite de la phase aval.

IV. 6. 3 Deuxième expérimentation

Dans la deuxième expérimentation, nous avons cherché à approfondir l'utilisation de l'outil en élargissant les familles des produits à développer ; la première expérimentation a montré que l'adaptation d'un processus de conception et entamer une procédure d'exploration permet la réalisation d'un processus de conception, nous avons donc voulu à travers cette deuxième expérimentation d'ancrer les deux processus développés dans la première expérimentation par l'outil sur la carte de classement.

Pour cela, nous avons mis en place un protocole expérimental avec une autre équipe de conception et d'autre produit, les membres de l'équipe de conception étaient invités à développer les produits sur la base des Processus I et II et les différentes dimensions de la carte sémantique.

Les résultats montrent que cette stratégie est très efficace sur plusieurs plans : minimisation des itérations entre les phases du processus de conception, intégrer des méthodes de conception oubliées par les concepteurs, réaliser des produits innovants, …

Comme la première expérimentation, nous nous sommes appuyés sur un ensemble de spécialistes pour réaliser la conception en les intégrants dés les phases amont du processus de conception, c'est une pratique supportée par l'équipe de collaboration.

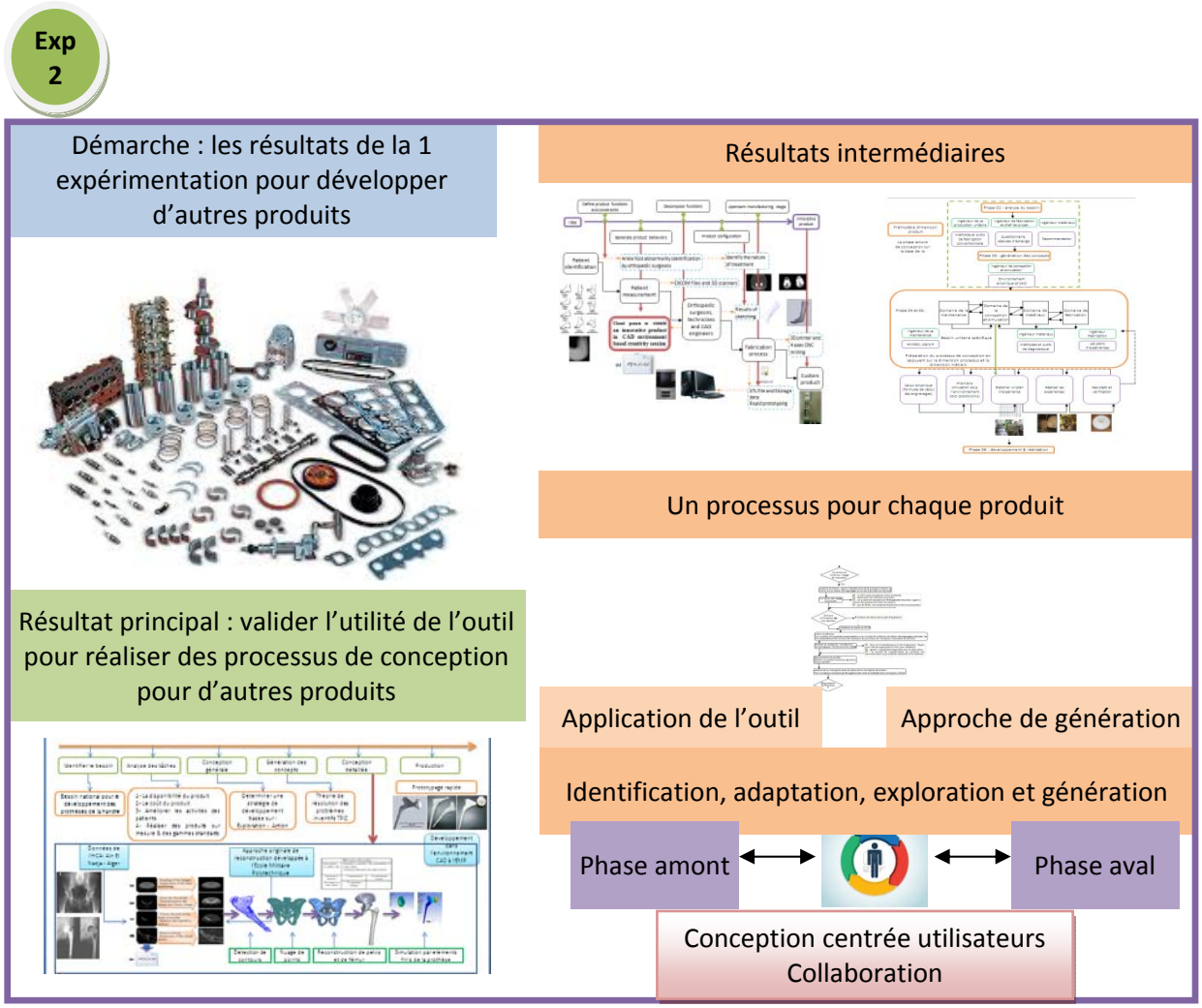


Figure IV. 64 : Synthèse des apports de la deuxième expérimentation

IV. 6. 4 Troisième expérimentation

L'outil que j'ai proposé e développé à pour objectif de proposer par le biais de la troisième dimension, en fonction des caractéristiques de produit à concevoir, une première liste de métiers utiles. Cette liste sera confrontée à d'autres critères tels que le contexte local ou les ressources disponibles pour générer une nouvelle liste de métiers nécessaires.

Le premier objectif de cette expérimentation est de montrer, en fonction des produits étudiés, quelles sont les métiers essentiels qui doivent contribuer au processus de conception identifié dans la 1ère et la 2ème expérimentation. Cependant, nous nous limitons, dans le cadre de notre recherche, à analyser uniquement l'aspect « métiers essentiels » qui doivent êtres identifiés et concourir au processus de conception.

Le deuxième objectif est l'évaluation de l'outil par des spécialistes des différents champs des sciences de la conception afin de généraliser l'utilisation de l'outil et d'améliorer les lacunes identifiées par les spécialistes.

Le troisième objectif est la validation de l'algorithme proposé dans le chapitre outils par la génération des populations, les évaluer par la fonction fitness afin de générer un processus de conception. L'ensemble du travail repose sur les trois dimensions de l'outil.

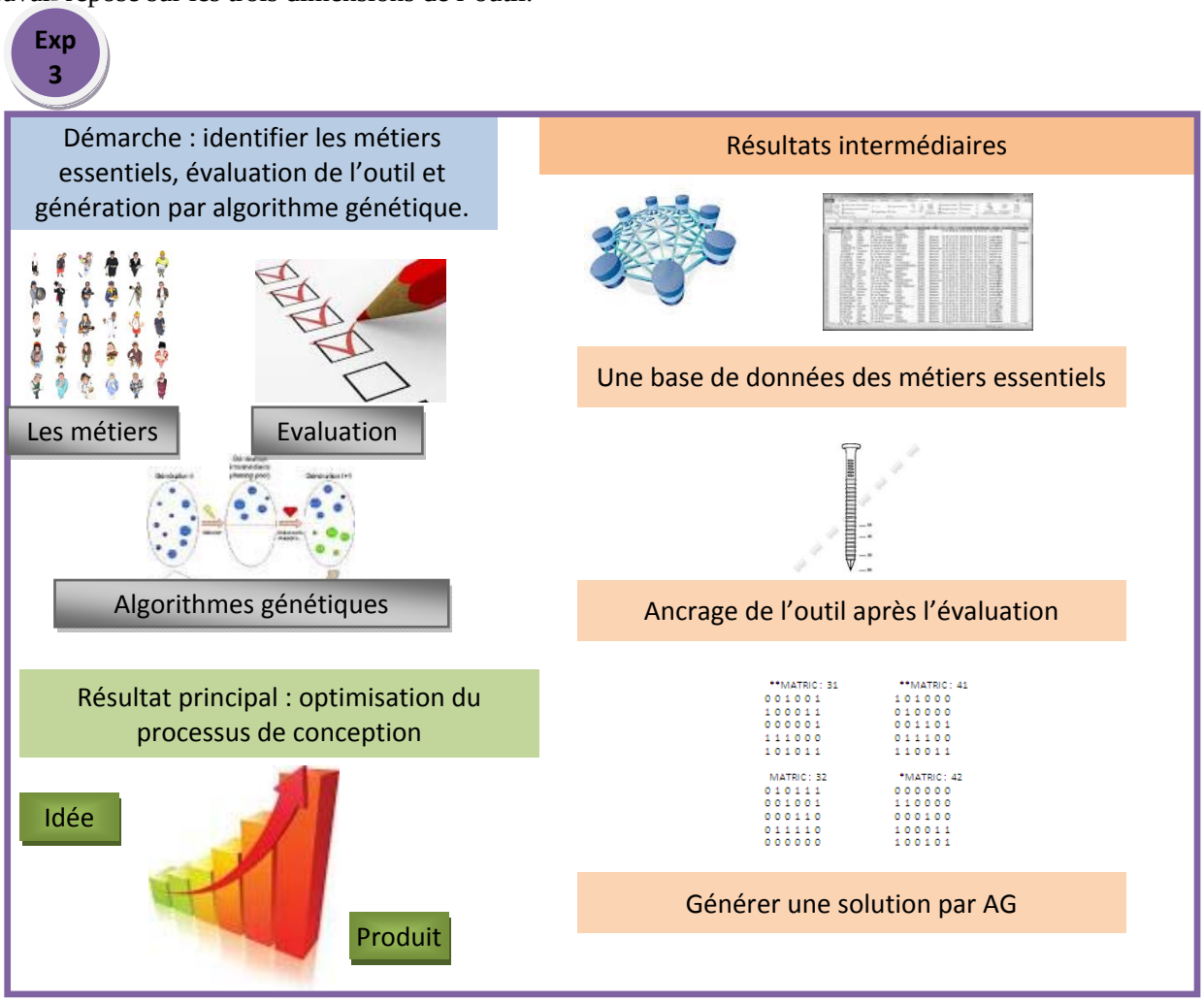


Figure IV. 65 : Synthèse des apports de la troisième expérimentation

IV. 6. 5 Quatrième expérimentation

L'exploration du modèle nous permettra la validation de l'environnement virtuel et la proposition d'un processus de conception basé sur le processus identifié est adapté à l'entité ou l'entreprise.

Notre expérimentation explore ainsi les enjeux de la réalité virtuelle dans les phases du processus de conception.

Cette expérimentation a été réalisée dans le cadre d'une collaboration avec le LCPI, spécialisé dans la conception innovante et en particulier avec l'équipe réalité virtuelle. Elle a pour but de comparer les résultats des environnements développés pendant les deux premières expérimentations (produit sur la base des esquisses à main levée et des esquisses CAO) et d'identifier le comportement des utilisateurs. Nous voulons aussi par cette expérimentation, la vérification de la maquette virtuelle par rapport à la maquette physique.

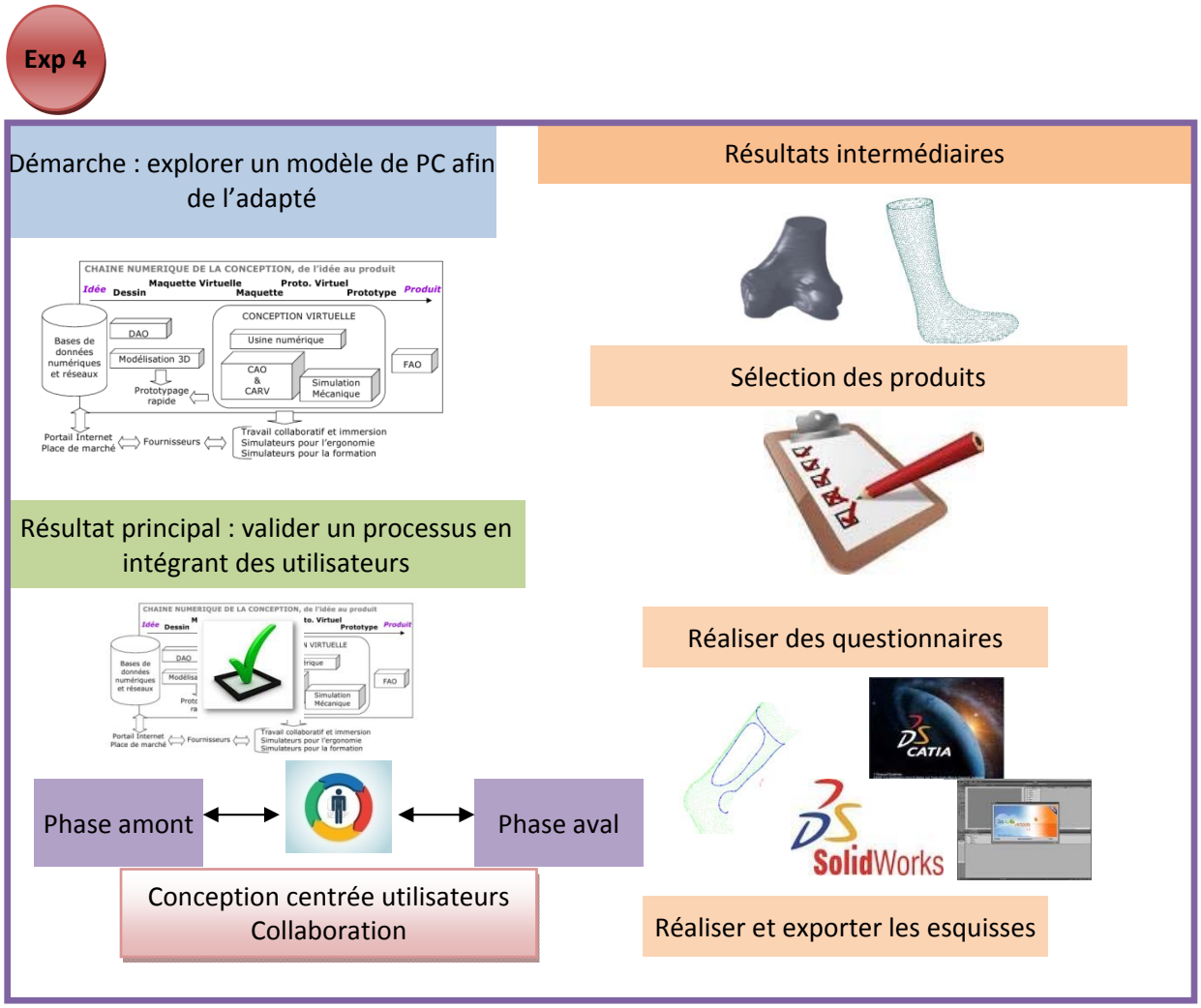


Figure IV. 66 : Synthèse des apports de la quatrième expérimentation

IV. 6. 6 Validation des hypothèses

Les expérimentations réalisées dans le cadre de cette thèse sont articulées autour de la problématique de choix d'un processus de conception pour une entité soumise à un environnement contraint. La première expérimentation s'est fortement appuyée sur le modèle de classement généré par l'état de l'art pour identifier un processus de conception, l'adapter et le générer par l'outil que nous avons développé. Le protocole de l'expérimentation 2 a ensuite été construit en utilisant les processus produits de la première expérimentation. L'optimisation du processus de conception et l'intégration des nouvelles ressources est l'objectif de la troisième et quatrième expérimentation.

Les expérimentations s'enchainent donc les unes aux autres et viennent répondre aux hypothèses.

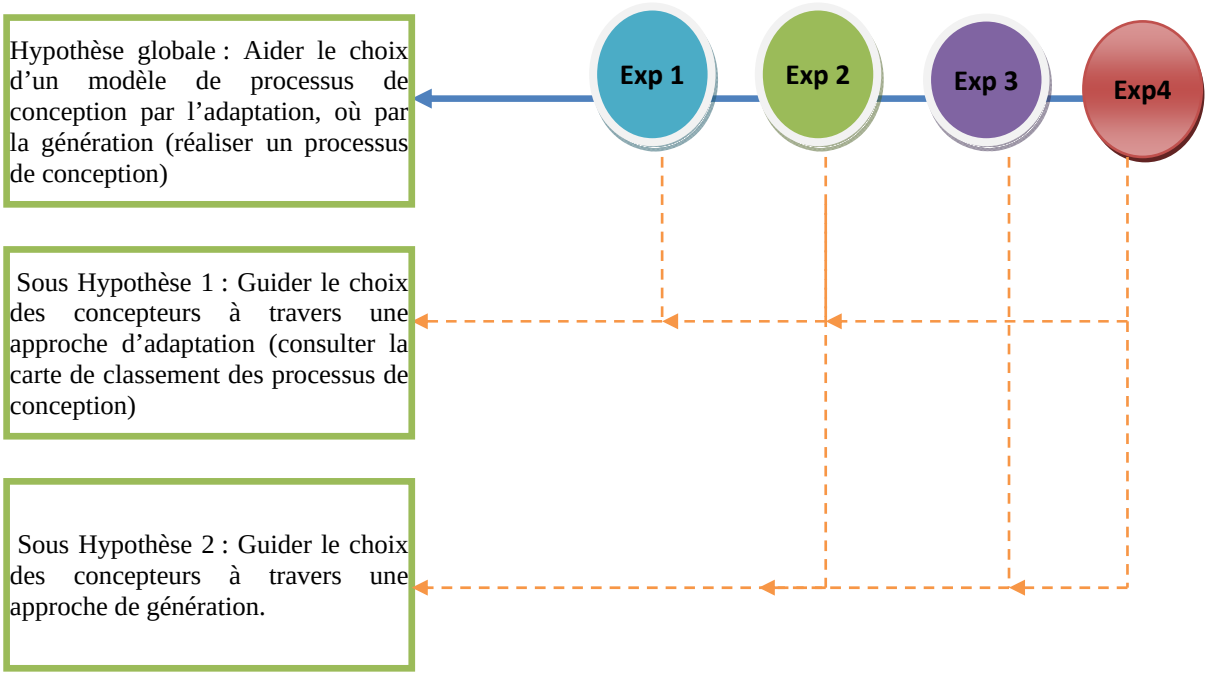


Figure IV. 67: Synthèse des liens entre hypothèses et expérimentations

Les expérimentations 1 et 2 ont montré que l'adaptation suivie d'une génération d'un processus de conception est une solution pour le choix d'un processus de conception. Optimiser le choix par des interfaces et identifier les métiers essentiels liés aux processus de conception sont effectué à travers l'expérimentation 3. Prendre en compte les développements actuels des solutions informatiques au profit de la conception est l'objectif de la 4eme expérimentation qui valide l'hypothèse globale.

La sollicitation de l'outil développé par des concepteurs pendant le déroulement des expérimentations constitue une validation des hypothèses afin de générer un processus de conception.

IV. 6. 7 Conclusion

L'originalité de notre approche se trouve dans le développement d'un outil d'aide au choix d'un processus de conception. C'est un travail qui a permis de préparer l'association entre nos besoins pour réaliser une conception sans échecs d'une part, et les possibilités d'organiser les méthodes et outils de conception sous forme d'un processus accompagnant le développement du produit. D'où, les questions suivantes : quels sont nos besoins en outils et méthodes de conception, et quelles sont les processus liés aux différentes conceptions. Il serait ambitieux de notre part de prétendre apporter des réponses complètes dans le cadre de notre thèse.

Dans un premier temps, nous avons initié notre réflexion à partir des axes de recherche du laboratoire d'accueil LCPI, regroupés sous le thème fédérateur « Optimisation des processus de conception et innovation ». Cette optimisation est un choix pour la réussite et la proposition d'un produit innovant. L'idée était d'étudier la faisabilité d'un outil sous forme d'une carte sémantique, qui assisterait le concepteur ou le chef d'un projet de conception, dans toutes les phases du processus de conception. Donc nous somme en face d'un outil d'aide au choix, ce qui constitue notre hypothèse de départ. Cependant, avant d'approfondir cette idée, un positionnement par rapport à la recherche scientifique et les axes des deux laboratoires, est nécessaire.

La validation de l'outil est l'objectif des expérimentations. L'exploration des dimensions de cet outil par des équipes de conception est effectuée avec réussite, cela est conforté par les résultats des produits et la satisfaction des équipes de conception et chefs de projets.

Les produits réalisés sont issus d'un besoin réel, la réponse à ce besoin nous a amené vers l'identification d'un autre besoin qui est un processus de conception. En s'appuyant sur l'outil, les produits réalisés par les équipes de conception présentent des innovations et une diminution des cycles de conception.

Les entreprises où entités de recherche ignorent souvent l'existence des nouveaux outils et méthodes, qui pourraient leur apporter beaucoup. Ce manque d'informations est nuisible à la créativité et à l'innovation. Nous rechercherons des modèles et des moyens permettant de préciser à quel moment particulier du processus, l'utilisation des outils et ressources est la plus pertinente. Comment pourrait se faire cette intégration ? Différents modes d'intégration sont possibles :

- faciliter le bon choix de l'organisme par rapport à ses objectifs et contraintes,
- étudier la faisabilité de l'intégration : vérifier par un test, l'adaptation de l'outil au problème posé,
- définir une stratégie d'implantation de la nouvelle ressource,
- faciliter l'utilisation des outils, proposer des guides ou une assistance,
- former les acteurs,
- intégrer une personne déjà experte, représentant un métier à intégrer.
- créer un environnement de transfert

Dans les nouveaux modes de travail, orientés essentiellement par les objectifs, la performance tient à la capacité de coordination entre toutes les tâches et ne mobilise pas nécessairement des qualifications précises, mais fait appel beaucoup plus à l'expérience et au savoir-faire. Les entreprises ont besoin de se reposer sur leurs savoir-faire propres pour mieux comprendre la complexité de l'environnement, pour être plus réactives et même proactive. Dans ce sens, l'adaptation d'un outil par l'entreprise pour améliorer ces compétences et de déterminer un pré-modèle de processus de conception et d'intérêt majeur pour la stratégie d'innovation.

Les expérimentations réalisées dans le cadre de cette thèse sont articulées autour de validation des hypothèses de modélisation, de l'outil tridimensionnelles développés, de génération, d'adaptation et de réalisation d'un processus de conception. Ainsi que l'identification des méthodes et outils liées aux différentes phases du processus et de déterminer les métiers essentiels accompagnants le développement du produit.

Dans cette optique, la première partie de la première expérimentation nous nous sommes appuyés sur la stratégie «focus groups » pour l'analyse des activités de développement des produits. Cette méthode nous a permis de réaliser une identification d'un besoin au sein de l'entité pour adapter où réaliser un processus de conception. Cette expérimentation, fondée sur une approche descriptive, à base d'observation, montre que les activités de conception au sein de l'entité E, nécessitent un travail de collaboration avec des acteurs externes et une redistribution des ressources internes disponibles au sein de l'entité. De cette expérimentation est apparue l'idée de réaliser un outil d'aide au choix d'un processus de conception. Le protocole expérimental de la deuxième partie de la première expérimentation est basé sur cet outil pour le développement des produits.

La validation par le développement d'autres produits est réalisée au cours de la deuxième expérimentation. Effectivement les résultats obtenus reflètent l'importance de l'outil sur le comportement des équipes de conception et la qualité de conception et des produits réalisés.

L'identification des métiers essentiels employés pendant les expérimentations est nécessaire afin de réaliser une base de donner disponible au sein de l'entité et d'identifié les métiers qui nécessitent une coopération pour le développement où la réalisation d'un processus de conception.

Conclusion générale & Perspectives

Conclusion générale & Perspectives

Cette thèse a été réalisée dans le cadre d'une cotutelle entre deux laboratoires, elle porte sur le développement d'une stratégie de réalisation d'un outil d'aide au choix des processus de conception afin d'arriver à des innovations et éviter les cycles long de la conception.

Notre recherche, positionnée en sciences de la conception, porte sur le sujet de la conception des produits innovants, basée sur l'exploration des processus de conception par l'analyse de scénarios et la conception centrée utilisateurs en vue de réaliser un processus de conception et d'intégrer des informations relatives à l'usager et à l'usage du produit à différentes phases des processus de conception.

Nous partions du constat suivant : les processus de conception disponibles (carte sémantique de classement de 60 processus au chapitre état de l'art) nécessitent d'avantage un travail d'exploration des phases, des méthodes et des outils utilisés afin de les adaptés. Pour faciliter cette tâche, le développement d'un outil d'aide au choix et de génération de processus de conception est effectué. Cette recherche s'est donc focalisée sur la modélisation des phases et des architectures des processus de conception à travers cet outil « carte sémantique tridimensionnelle pour générer un processus de conception ». Pour explorer et valider cet outil, nous avons mis en place une démarche expérimentale avec la participation des équipes de conception, de spécialistes de différents domaines et des produits différents. Une stratégie basée sur la méthode « focus group » est adaptée pour analyser les activités de conception avant et après l'adaptation de l'outil, et mesurer ainsi l'impact sur les produits, les comportements et l'installation d'un processus de conception.

Identification & solution

C'est une recherche qui répond à un besoin d'installer une approche de réalisation des processus de conception des produits afin d'innover et d'éviter les échecs liées aux pratiques des activités de conception.

Nous avons souhaité confronter notre approche avec une démarche d'un laboratoire de conception, adoptée naturellement par un groupe de concepteurs multi-métiers. Cette expérience a été menée pour la conception et la validation d'une carte sémantique tridimensionnelle pour la réalisation des processus de conception. C'est un fruit d'une collaboration entre deux laboratoires.

Nous avons constaté que les concepteurs ont été amenés à prendre des décisions déterminantes. Malgré cela, la recherche d'une architecture valide a nécessité un nombre important d'itérations sur des produits et des pratiques. De plus, la solution proposée pouvait être améliorée pour minimiser les indicateurs de performance et d'identification pour chaque phase du processus de conception.

Les **améliorations** qui ont pu être constatées en utilisant le système d'aide à la sélection (la carte sémantique tridimensionnelle) sont les suivantes :

- obtentions des solutions optimales par rapport aux objectifs et méthodes classiques (la solution sélectionnée minimise de performance par rapport à la solution obtenue par la démarche "classique");
- choix du concept le plus performant; en employant une pléthore de méthodes de conception ;
- obtention d'architectures-solutions validées et d'éléments dimensionnels pour poursuivre en conception détaillée; grâce à l'exploration de la phase amont de conception ;
- suppression des itérations engendrées par le processus essai-erreur, ce qui génère un gain de temps ;
- la génération d'un processus de conception pour l'entité.

L'aide à la décision en conception dans la phase amont que nous proposons facilite donc les actions suivantes :

- le choix du concept de solution parmi plusieurs solutions pertinents; l'intégration des utilisateurs ;
- la détermination pour chaque action des outils et des méthodes de conception;
- explorer les dimensions de la carte par les équipes de conception.

Certes cette approche nécessite un temps d'analyse et de modélisation mais elle produit une capitalisation et exploitation de connaissances sous forme d'un processus de conception.

Nous avons soulevé une approche originale dans les résultats à la phase amont du processus de conception d'un produit innovant constituent une base pour le processus. L'originalité de cette approche est soulignée par des hypothèses de résolution et d'optimisation, l'interaction entre la théorie (par ex : Esquisse et les outils réalité virtuelle RV) et la pratique de ces outils. Cette recherche s'est focalisée sur la modélisation des phases amont et aval des processus Conception.

Effectivement, la première dimension « Dimension produit » permet de réaliser une exploration de la phase amont du processus de conception a travers une identification de la nature de conception et l'analyse du besoin et les sous besoin pour réaliser un cahiers des charges détaillée du produit pour éviter les itérations dans les phases aval du processus de conception (objectif des expérimentations 1 et 2).

Par contre la deuxième dimension « Dimension processus » offre aux chefs du projet un panel des processus disponibles afin de sélectionner un processus et l'adapter pour le produit, dans le cas échéant une génération est nécessaire pour réaliser un processus de conception.

La réalisation de ces deux dimensions ne sera pas complet c'est l'ajout d'une troisième dimension n'est pas intégré, c'est la dimension « métiers essentiels ». Cette dimension offre aux concepteurs les méthodes est les outils liés aux phases du processus de conception. La visualisation des outils et méthodes disponibles est très important parce que la première étape de la première expérimentation montre que les concepteurs ignores certaines méthodes dans l'apport est important sur le développement des produits. L'identification d'un manque nécessite une coopération où une mise à jour des ressources disponibles au sein de l'entité.

Pour réussir l'innovation, les méthodes intégrant les informations relatives à l'utilisateur sont explorées le plus en amont possible, ces méthodes et l'approche proposée sont en cours de développement dans le domaine des sciences de la conception et les domaines industriels, et sont appliquées dans ce cadre à plusieurs sortes de produits.

La validation de l'outil par des expérimentations et des cas concrets constitue une solution pour notre problématique de recherche. Cette solution devra être généralisée pour selon les recommandations des auteurs (**Gero, 1990) (Tomiyama, 2009) (Lahonde, 2010),** pour augmenter le champ d'application et de préparation du futur produit.

Apport de la recherche

Nous proposons dans cette recherche 03 apports. Le premier concerne la proposition d'un modèle d'une carte sémantique de classement des processus de conception, c'est une solution basée sur une recherche bibliographique autour des processus et les classés en fonction des critères de conception du produit. C'est le premier modèle d'aide à l'adaptation d'un processus de conception.

Le deuxième concerne une solution générale sous le nom « carte sémantique tridimensionnelle pour la génération des processus de conception », c'est une solution basée sur trois dimensions pour localisé les activités, les méthodes et les outils liés aux développements du produit afin d'installer une stratégie de conception au sein d'une entité. Cette stratégie est un processus de conception.

Le troisième apport concerne la proposition d'une approche basée sur les algorithmes d'optimisation afin de proposer un support numérique de l'outil développé. Le support numérique est une version améliorée de l'outil afin de faciliter la réalisation d'un processus de conception.

Nous avons testé la première étape de la démarche sur des produits orthopédiques et des produits transmission de puissance. Le choix de ces produits est basé sur l'apport des processus de conception qui sont à l'origine complexes sur l'innovation et la réalisation d'une conception des produits sans échecs. Ainsi, en exigeant l'intégration des usagers en adaptant les méthodologies de conception centrée utilisateur, notre démarche nécessite la combinaison de nombreuses connaissances issues de divers domaines. L'utilisation de la carte sémantique dans un premier stade à comme objectif le support et l'identification d'un processus de conception, pour que l'équipe de conception optimise la conception et créent des environnements d'échanges avec les utilisateurs.

Cette utilisation a permis une génération de deux processus de conception I et II, et dans une deuxième phase l'exploitation de ces deux processus pour le développement d'autres produits. C'est une validation de l'approche et des hypothèses de modélisation et une réponse pour la problématique d'aide au choix d'un processus de conception soumis à un environnement contraint.

La RV est de plus en plus utilisée en conception. Les avantages de cette nouvelle technologie sont incontestables. La réalité virtuelle est utilisée tout au long du processus de conception, mais elle est particulièrement utile dans les phases d'évaluation du produit, comme outil d'aide à la décision. Elle permet ainsi d'évaluer l'esthétique, l'ergonomie, la performance, les fonctionnalités et la faisabilité du nouveau produit. C'est l'objectif de la quatrième expérimentation pour l'exploration de cet environnement afin d'enrichir d'avantage l'outil développé et de proposé des pistes de solutions multiples pour les utilisateurs.

La sollicitation de l'environnement RV est basée sur l'identification réaliser pendant l'état de l'art ainsi que les résultats obtenus pour les environnements CAO et 2D papier. Les pratiques réalisées sous les environnements de développement sont appuyées sur un ensemble d'outils et de méthodes dans la pièce maîtresse des pratiques est la réalisation des esquisses soit par les équipes de conception où bien par des utilisateurs ou des spécialistes d'un produit. Les intervenants réalisent des esquisses afin d'améliorer le produit, trouver un moyen d'améliorer la qualité des esquisses est une autre contrainte. Il faut trouver une solution pour ce dilemme. La réalisation des esquisses sous l'environnement virtuel et les transférer vers l'environnement CAO est une alternative de solution validée par la quatrième expérimentation.

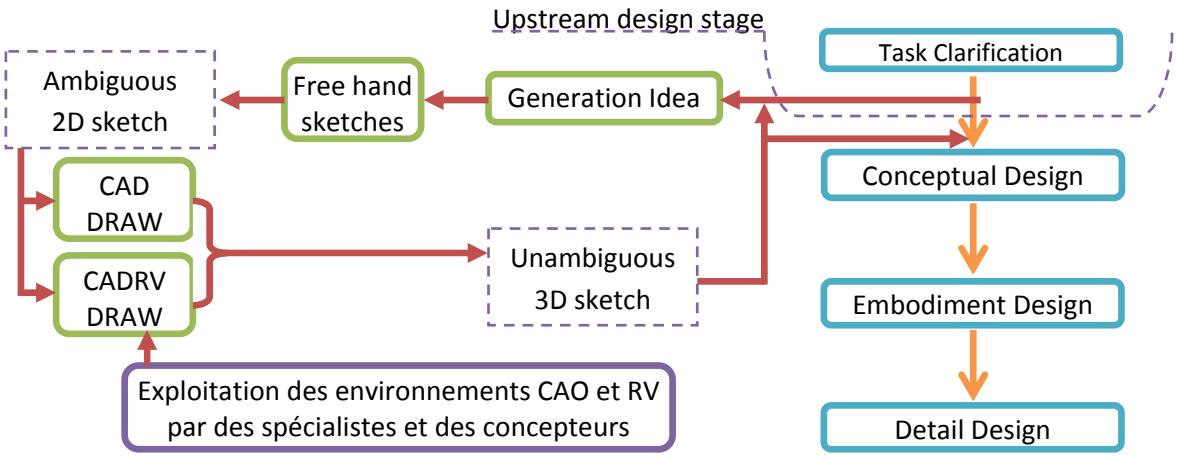


Figure C.1. Réaliser les esquisses sous trois environnements différents afin de réaliser un produit innovant en intégrant les spécialistes et les utilisateurs.

L'identification des métiers sollicités pendant la thèse pour développer les produits et validé les scénarios de modélisation nous a permis de les classés comme métiers essentiels pour l'entité où l'entreprise. L'ensemble de ces métiers est le minimum pour développer les produits et de leurs parts sollicitent un panel d'outils et de méthodes de conception. Nous avons remarqué le changement en adaptant des outils oubliés où ignorés par des concepteurs tels que les outils de créativité (Matrice de TRIZ), de l'analyse de besoin (Matrice de Kano), la conception robuste (Matrice de Taguchi), …

La sollicitation des spécialistes de conception pour l'évaluation de l'outil constitue un apport très important pour la recherche. En effet, l'enquête d'évaluation est réalisée auprès d'une population variée de spécialistes (designer, ergonome, marqueteur, …). Cette variété donne un aspect d'adaptation de l'outil pour différents domaines de la conception.

Trouver une méthode d'optimisation des processus de conception reste toujours un objectif des laboratoires de recherches et des entreprises. L'utilisation des algorithmes génétiques pour la modélisation de l'outil proposé est une solution d'optimisation et au même temps une originalité de notre travail de recherche.

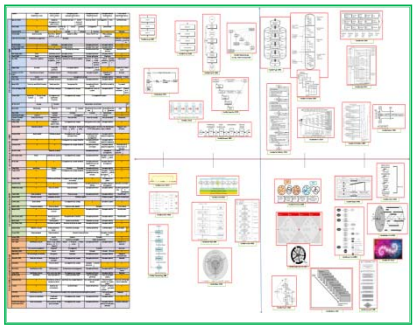
Apports personnels

Nos travaux de thèse, nous ont permis d'acquérir, de développer et de consolider de nouvelles compétences sur le terrain de la recherche scientifique et sur le développement des produits innovants. Nous avons approfondi nos connaissances, dans les domaines : du travail collaboratif, de la modélisation, du management de projet industriel, des sciences de la conception, des sciences de la connaissance, notamment l'exploitation des algorithmes génétique. L'exploration des méthodes et outils de conception à contribuer dans l'enrichissement du savoir faire et l'augmentation des champs de capitalisation des ressources pour réaliser une conception robuste et innovante.

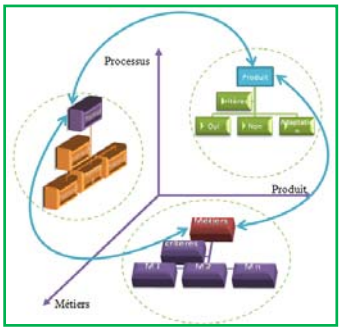
En approfondissant ces thématiques, nous avons découvert d'autres pratiques en conception de produits. La rencontre des deux domaines « ingénierie de conception » et « ingénierie de connaissances » a permis de confronter nos points de vue et de nous enrichir personnellement.

En étant plusieurs fois acteur dans des groupes de travail pluridisciplinaire, dans le cadre de projets de coopération, j'ai développé des compétences dans le domaine des relations humaines et du management de projet.

Un des principaux enrichissements acquis au cours de ces années de thèse, c'est l'ouverture d'esprit et le recul que je pense avoir aujourd'hui dans le cadre d'une action en ingénierie de conception. Certains points de la démarche et des outils doivent néanmoins faire l'objet de travaux supplémentaires.



a) carte sémantique de classement des processus



b) carte sémantique tridimensionnelle pour le choix et la génération

Figure C. 2. Apports de la thèse : deux outils pour la réalisation d'un processus de conception

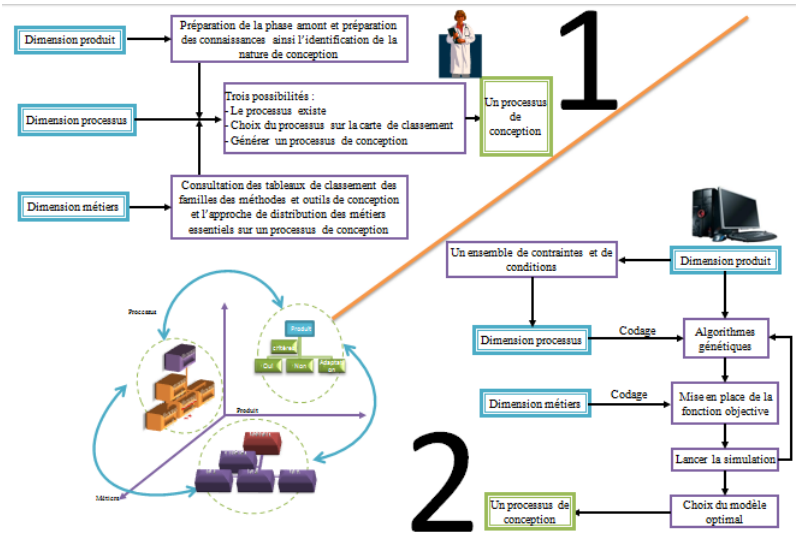


Figure C. 3. Apports de la thèse ; Forme de l'exploitation de l'outil : version papier & version numérique

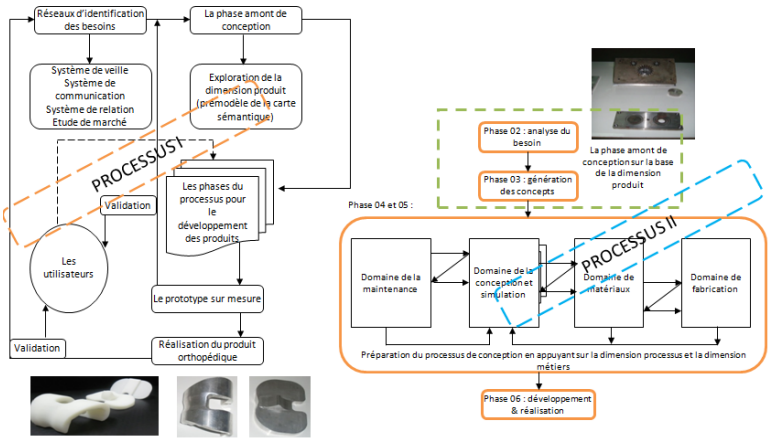


Figure C. 4. Apports de la thèse ; un échantillon des résultats : adaptation et génération de deux processus de conception pour deux produits différents, processus I et II

Perspectives

L'outil développé dans le cadre de cette recherche correspond à une première version test du modèle d'aide à la génération des processus de conception. Sur la base des évaluations réalisées, quatre perspectives de développement se dessinent pour la suite.

1- **Publique plus large**

Une des perspectives envisagée, suggérée à la fois dans la littérature mais que aussi dans les expérimentations, est l'ouverture de l'outil développé à d'autres cibles utilisateurs. En effet, la réalisation et la génération des deux processus pour deux familles de produits est réalisé avec succès. Or, des besoins existent sur d'autres familles de produits nécessitent l'utilisation de l'outil par des concepteurs et chefs de projets.

La version papier de l'outil nécessite une formation auprès des étudiants, des chercheurs et les acteurs de conception au sein d'une entreprise.

Les résultats des expérimentations et de simulation sur la base des algorithmes génétiques constituent une base de données riche pour rédiger des articles et des communications. L'ensemble des papiers représente une vitrine et une invitation pour la communauté scientifique à l'utilisation et l'enseignement de la méthode.

2- **Finaliser l'interface graphique**

Dans le cadre d'un élargissement de la cible d'utilisateurs, il est souhaitable de réaliser un logiciel de l'outil développé avec une interface graphique. Cette interface sera l'enceinte des trois dimensions de l'outil développé. Cette interface aura une liaison directe avec l'approche de modélisation basée sur les algorithmes génétiques pour optimiser le choix du processus de conception.

Dans un premier lieu cette interface sera exploitée par les différents projets en cours avant de la proposer comme logiciel final.

3- **Exploration des méthodes et outils**

Les méthodes et les outils utilisés dans les expérimentations sont explorées par les membres des équipes de conception, à chaque méthode et outil explorés son impact sur le produit et le comportement des concepteurs est mesuré. Dans l'ordre d'augmenter le champ d'exploration d'autres méthodes et outils, un travail sera lancé pour créer un mapping intégrant d'autres méthodes et outil à exploré. Ces méthodes et outils sont issus des travaux de l'équipe de conception LCPI et notamment des différents travaux de recherches, Kansei et Skippi (Blanchard, 2013), ergonomie (Barre, 2013), modèles de maintenance (Guirec, 2013), motifs et textures (Emmral, 2013) ….

Les méthodes explorées sont indexées dans l'objectif d'attribuer à chaque méthode un poids et une catégorie de classement, c'est une stratégie d'amélioration basée sur l'exploration.

4- **Coût de cycle de vie et maintenance**

Les résultats des analyses des deux expérimentations soulevées pendant la première et la deuxième année à travers l'approche proposée sont excellents pour la première partie qui concerne l'insertion de la carte sémantique auprès des équipes de conception. La finalisation de l'outil d'aide au choix, basé sur la carte sémantique et des critères d'optimisation ainsi des données d'entrée et de sortie,

est l'objectif des futurs travaux, d'autre part l'insertion des cycles de vie et des paramètres de maintenance des produits et déterminer leurs caractéristiques à chaque étape et phase du processus et l'objectif d'une autre thèse. Cette thèse s'appuie sur l'outil développé et propose une amélioration en fonction des coûts des cycles de vie.

La préparation des environnements et des questionnaires ainsi que le choix des équipes de conception pour compléter les analyses des expérimentations ainsi sera amélioré par l'intégration des approches de maintenance. Les résultats de cette thèse constituent un appui solide pour valider une approche originale au sein des sciences de conception, dans cette optique des articles sont communiqués pour des journaux afin de publier cette approche.

Ainsi, nous espérons avoir contribué au développement d'une approche originale au sein des sciences de conception, particulièrement l'outil qui porte le nom « carte sémantique tridimensionnelles pour la génération des processus de conception ». Cette contribution ouvre des voies de recherche pour améliorer d'avantage l'approche développée et participe à l'optimisation du processus de conception.

Références bibliographiques

A

(Adler, 2004) Adler, T. and Carlson, A. (2004). Integrating Robust Design in a Product Development Process, (Master's Thesis). Gothenburg: Chalmers University of Technology – Department of Quality Science.

(Ahmed, 2001) S. Ahmed, .Understanding the use and reuse of experience in engineering design., Thèse de doctorat, Cambridge University Engineering Department, 2001.

(Akgunduz, 2002) A. Akgunduz, D. Zetu, P. Banerjee*, D. Liang, Evaluation of sub-component alternatives in product design processes, Robotics and Computer Integrated Manufacturing 18 (2002) 69–81

(Allen, 1982) T. Allen, "Managing the flow of technology", Boston, M.I.T. Press, 1982.

(Alles, 2013) Michael G. Alles, Alexander Kogan , Miklos A. Vasarhelyi, Collaborative design research: Lessons from continuous auditing, International Journal of Accounting Information Systems 14 (2013) 104–112

(ANDREASEN et HEIN 1987) Andreasen, M.M. and Hein, L., "Integrated Product Development", Springer Verlag, 1987.

(Andersson, 1996) Andersson Peder (1996). A Process Approach to Robust Design in Early Engineering Design Phases, Department of Machine Design, Lund Institute of Technology

(Aoussat, 1990) AOUSSAT, A. (1990) La Pertinence en Innovation: Nécessité d'une Approche Plurielle. Laboratoire Conception de Produits et Innovation. Thesis (PhD). Paris, ENSAM.

(Antony, 2000) Antony, J. and Kaye, M. (2000). Experimental Quality: A Strategic Approach to Achieve and Improve Quality. Kluwer Academic Publishers, 1st edition

(Aoussat, 1996) AOUSSAT, A. (1996) Contribution à la Modélisation du Processus de Conception de Produits Industriels. Laboratoire Conception de Produits et Innovation. Thesis (HDR). Paris, ENSAM.

(Aoussat, 2000) AOUSSAT, A., CHRISTOFOL, H. & LE COQ, M. (2000) The New Product Design: A Transverse Approach. Journal ofEngineering Design, 11 (4)**,** 399-417.

B

(Beier, 1995) K. P. Beier, "Virtual reality-advanced design and manufacturing", ESD Technol, 56(1), pp. 22-30, 1995.

(BELLOY, 2001) P. BELLOY, E. FOUCARD, B. EYNARD, P. LAFON, L. ROUCOULES. "Prise en compte des connaissances, savoir et savoir faire dans la conception de produits mécaniques : application à la conception d'une liaison pivot", Dynamique des connaissances en conception: acquisition, capitalisation et réutilisation, AIP-PRIMECA, Grenoble, mai 2001.

(Benabid, 2013 a) BENABID Y, CHETTIBI T, BENFRIHA K, AOUSSAT A, "new approach based semantic map in order to select and generate a design process", CPI 2013

(Benabid, 2013 b) BENABID Y, CHETTIBI T, BENFRIHA K, AOUSSAT A, " la phase amont du processus de conception et la dimension produit, projection sur un produit de transmission de puissance ", CPI 2013

(Benfriha, 2005) Benfriha K, 2005, « AIDE AU CHOIX DES METHODES ET OUTILS DE CONCEPTION : APPROCHE NEURONALE » thèse LCPI, Arts et Métiers ParisTech, Paris.

(Ben rejeb, 2008) Helmi BEN REJEB, « Phases amont de l'innovation: proposition d'une démarche d'analyse de besoins et d'évaluation de l'acceptabilité d'un produit » Thèse de doctorat INP de Lorraine, 2008.

(Bentley, 1979) Bentley, J.L. & Ottmann, T.A, (1979) “Algorithms for reporting and counting geometric intersections”, IEEE Transaction on Computers 28 (9): 643-647.

(Beth, 2002) M. Beth, "Virtual Tune-Up simulated design and upkeep for a fighterjet engine", DigitalCAD, 2002.

(Bézier, 1977) Bézier, P. (1977) “Essai de définition numérique des courbes et des surfaces expérimentales”, Thèse d’Etat, Université Paris 6.

(Birkhofer et al., 2001) Birkhofer H., Lindemann U., Albers A., Meier M., Product development as a structured and interactive network of knowledge – a revolutionary approach, Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED01, Glasgow, 2001

(Blessing, 1996) Blessing L., « Comparison of design models proposed in prescriptive literature », proceedings of the COSTA3/A4 Int. Res. Workshop on The role of design in the shaping of technology, 187-212, Lyon, 1996.

(Blessing & Chakrabarti, 2009) BLESSING, L. T. M. & CHAKRABARTI, A. (2009) DRM, a Design Research Methodology, London, Springer.

(Blinn, 1982) Blinn, J. F; (1982) “ A generalization of algebraic surface drawing”, ACM Transactions on Graphics 1 (3):235-256.

(BOCQUET, 1998) Jean-Claude BOCQUET. "Ingéniérie simultannée, conception intégrée", in Conception de produits mécaniques – Méthodes, modèles et outils, Michel TOLLENAERE (Dir.), Editions Hermès, Paris, 1998.

(Bluntzer, 2009) Bluntzer jean-Bernard, « Intégration des savoir-faire métier produit-process pour une amélioration de la productivité en développement de produits de style », Thèse de doctorat UFC, Belfort Montbéliard (2009)

(Bouchard, 2005) Bouchard, C., R. Camous and A. Aoussat (2005). “Nature and role of intermediate representations (IR) in the design process: case studies in car design”. International Journal of Vehicle Design 38 (1):1.

(Bourgianni, 2013) Yuri Borgianni, Gaetano Cascini, Francesco Pucillo, Federico Rotini, Supporting product design by anticipating the success chances of new value profiles, Computers in Industry 64 (2013) 421–435

(BOYER, 2007) Luc Boyer, « Innovation et lancement de nouveaux produits », Septembre 2007.

(Bocquet, 1996) Jean-Claude BOCQUET. "Product/manufacture a systemic approach for simultaneous engineering", Proceedings of Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, Nantes, avril 1996.

(BRAUN & LINDEMANN, 2003) BRAUN, T. & LINDEMANN, U. (2003) Supporting the Selection, Adaptation and Application of Methods in Product Development. ICED'03, 14th International Conference on Engineering Design. 19-21 August, Stockholm, Sweden.

(Bresenham, 1965) Bresenham, J. (1965) "Algorithm for computer control of a digital plotter", IBM System Journal 4:25-30.

(BRISSAUD, 1998) Daniel BRISSAUD, Olivier GARRO. "Conception distribuée, émergente", in Conception de produits mécaniques – Méthodes, modèles et outils, Michel TOLLENAERE (Dir.), Editions Hermès, Paris, 1998.

(Brown et al., 1985) D. C. Brown, B. Chandrasekaran, .Expert systems for a class of mechanical design activity., in J. S. Gero (ed.), Knowledge Engineering in Computer-Aided Design, North-Holland, Amsterdam, 1985.

(Brown, 1998) Brown D., C., « Defining Configuring, Artificial Intelligent for Engineering Design, Analysis and Manufacturing ». Special Issue: Configuration Design, vol. 12(4), pp. 301-306, 1998.

(Bucciarelli, 1988) L. Bucciarelli, .An ethnographic perspective on engineering design., Design Studies, vol. 9, no.3, pages 159-168, 1988.

(Bullinger, 1999) H. J. Bullinger, R. Breining, et W. Bauer, "Virtual Prototyping - State of the Art in Product Design", 26th International Conference on Computers & Industrial Engineering, 1999.

(Buur, 1989) J. Buur et M. M. Andreasen, "Design models in mechatronic product development", Design Studies, Vol. 10, pp. 155-162, 1989.

C

(Chakrabarti, 1992) Amaresh CHAKRABARTI, Thomas P. BLIGH, Tony HOLDEN. "Towards a decisionsupport framework for the embodiment phase of mechanical design", Artificial Intelligence in Engineering, n°7, 1992.

(Chan, 2011) S.L. Chan , W.H. Ip, A dynamic decision support system to predict the value of customer for new product development, Decision Support Systems 52 (2011) 178–188

(Champciaux, 1997) Champciaux, L. (1997) « Declarative modelling : speeding up the generation », International Conference on Imaging Science, Systems and Technology.

(Chedmail, 2001) P. Chedmail, B. Maille, et E. Ramstein, "Etat de l'art sur l'accessibilité en réalité virtuelle, application à l'étude de l'ergonomie", Colloque Pimeca, La Plagne, 2-5 avril, 2001.

(CHANDRASEKARAN, 1990) B. CHANDRASEKARAN. "Design Problem Solving: A task analysis", AI Magazine, 1990.

(CHAPMAN, 1999) C.B. CHAPMAN, M. PINFOLD. "Design engineering- a need to rethink the solution using knowledge based engineering", Knowledge-Based Systems, n°12, march 1999.

(CHEN, 2002) Li-Chieh CHEN, Li LIN. "Optimization of products configuration design using functional requirements and constraints", Research in Engineering Design, n°13, 2002.

(Chen, 2012) Yong Chen, Ze-Lin Liu, You-Bai Xie, A knowledge-based framework for creative conceptual design of multi-disciplinary systems, Computer-Aided Design 44 (2012) 146–153

(Chou, 2012) Jyh-Rong Chou, A linguistic evaluation approach for universal design, Information Sciences 190 (2012) 76–94

(Clausing, 2004) Clausing, Don (2004). Effective Innovation: The Development of Successful Engineering Technologies. ASME Press, New York, USA

(Colin et al., 1997) Colin, C., Desmontils, E., Martin, J. & Mounier, J. (1997) « Working modes with a declarative modeler », CompuGraphics'97.

(Company, 2009) Pedro Company, Manuel Contero, Peter Varley, Nuria Aleixos, Ferran Naya, Computer-aided sketching as a tool to promote innovation in the new product development process, Computers in Industry 60 (2009) 592–603

D

(Dai, 1994) F. Dai et M. Göbel, "Virtual Prototyping - An Approach Using VR-Techniques", *Computers in Engineering - 1994, Vol. 1, ASME*, 1994.

(Dai, 1998) F. Dai, "Virtual Reality for Industrial Applications", *Berlin, Springer*, 1998.

(Darses, 1997) Darse, F. L'ingénierie concourante : un modèle en meilleure adéquation avec les processus cognitifs de conception. Ingénierie concourante : de la technique au social. C. Chanchevrier and P. Leclair. Paris, Economica : 39-55, 1997

(Darses, 2000) Françoise DARSES. "Que sait on des processus cognitifs de conception ?", Cours de DEA CPN, ENSAM, Paris, 2000.

(Darses, 2004) Darses F., (2004) « Processus psychologiques de résolution collective des problèmes de conception : contribution de la psychologie ergonomique », *Document de synthèse en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches*. Université de Paris V – René Descartes, Paris.

(Dehnad, 1988) Dehnad, Khosrow (1988). Quality Control, Robust Design, and the Taguchi Method, Wadsworth & Brooks/Cole.

(Deneux, 2002) Deneux D, 2002 « méthodes et modèles pour la conception concourante», Rapport HDR, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis

(Derrick, 1996) Tate D., Nordlund M., "A Design Process Roadmap as a General Tool for Structuring and Supporting Design Activities", *Proceedings of the Second World Conference on Integrated Design and Process Technology (IDPT-Vol. 3)*, Society for Design and Process Science, Austin, TX, pp. 97- 104, Dec. 1-4, 1996.

(Dixon, 1988) Dixon J., R., Duffey M., R., Irani R., K., Meunier K., L., Orelup M., F., «A proposed taxonomy of mechanical design problems ». *Proceedings of the ASME Computers in Engineering Conference*, American Society of Mechanical Engineers,San Francisco, 1988.

(Dupinet, 1991) Dupinet E., Contribution à l'étude d'un système informatique d'aide à la conception de produits mécaniques par la prise en compte des relations fonctionnelles, Thèse Ecole Centrale de Paris, 1991.

(Durand, 2007) Durand, J. (2007) Développement de passerelles entre des méthodes de conception et la démarche d'invention TRIZ. Laboratoire Mécatronique-Méthodes et Métiers. Thesis (DRT). Belfort-Montbéliard, UTBM.

E

(Edwin Layton, 1974) Edwin T. Layton, Jr. "technology as Knowledge", Technology & Culture Vol. 15, No. 1 January 1974, 31-4.

(Endrea, 2001) Endrea, "Nomenclature, ENDREA", *The Swedish Engineering Design Research and Education Agenda*, 2001.

(Ernzer *et al.*, 2002) Ernzer M., Birkhofer H., Selecting methods for life cycle design based on the needs of a company, Proceedings of the International Design Conference – Design 2002, Dubrovnik, Croatia, pp. 1305-1310

F

(Fowlkes, 1995) Fowlkes, Willam Y. and Creveling, Clyde M. (1995). Engineering Methods for Robust Design: Using Taguchi Methods in Technology and Product Development, Addison-Wesley

G

(Gero, 1990) J.S. Gero, .Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design., AI Magazine, vol. 11, no. 4, pages 26-36, 1990.

(Gero, 2001) « Mass customization of creative designs ». , *International Conference on Engineering Design ICED'01*, Glasgow, 2001.

(Germani, 2012) Michele Germani , Maura Mengoni, Margherita Peruzzini, A QFD-based method to support SMEs in benchmarking co-design tools, Computers in Industry 63 (2012) 12–29

(Girod, 2000) Girod M., Elliot A.C., Wright I.C. and Burns N.D., « Activities in collaborative concept selection processes for engineering design », *Proceedings of ASMEDETC-DTM*-14548, Baltimore, 2000.

(GONÇALVES, 2010) Manuel GONÇALVES, Formalisation des transferts de spécifications projet dans le cycle de conception de produits manufacturés : application à un environnement de type Produit-Processus-Organisation, thèse université de Bordeaux 2010

(Guidat, 1996) Guidat C, « Génie des systèmes industriels : présentation de la discipline de recherche », annexes du compte rendu de l'assemblée générale du 10 juillet 1996 de la FSSPI, ENSGSI, INPL, 1996.

H

(Hajji, 2003) Omessaad HAJJI, Contribution au développement de méthodes d'optimisation stochastiques. Application a la conception des dispositifs électrotechnique, doctorat délivré conjointement par l'école centrale de Lille et l'université des sciences et technologies de Lille, 2003

(Hamri, 2010) Okba Hamri , J-Claude Léon , Franca Giannini , Bianca Falcidieno, Software environment for CAD/CAE integration, Advances in Engineering Software 41 (2010) 1211–1222

(Hansen, 2003) Hansen C.T. and Andreasen M.M., "A proposal for an enhanced design concept understanding", *Proceedings of ICED03*, Stockholm, 2003

(Harani, 1997) Harani Y., Une approche multi-modèles pour la capitalisation des connaissances dans le domaine de la conception, Thèse Institut National Polytechnique Grenoble, 1997

(Hertel et Mehlhorn, 1983) Hertel, S. & Mehlhorn, K. (1983) "Fast triangulation of simple polygons", Lecture Notes in Computer Science 158:207-218.

(Hoinard, 2009) Claude Hoinard, les méthodes d'optimisation, cours et énoncés d'exercices, Faculté des sciences pharmaceutiques de Tours, 2009

(Howards, 2008) Howards T J, 2008; "Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature" Design Studies Vol 29 No. 2 March 2008

(Hu, 2000) X. Hu, J. Pang, Y. Pang, M. Atwood, W. Sun, W.C. Regli, .A survey on design rationale: representation, capture and retrieval., ASME Design Engineering Technical Conferences, DETC2000/DFM-14008, Baltimore, Maryland, septembre 10-13, 2000.

(Hubka et al, 1987) Hubka, V. and W. Ernst Eder (1987). " A scientific approach to engineering design". Dessign Studies 8(3): 123-137

(Hubka, 1988) Vladimir HUBKA, Myrup ANDREASEN, Ernst EDER. "Pratical Studies in systematic design", Butterworths, London, 1988.

(Hubka, 2001) Vladimir HUBKA, Ernst EDER. "Design Science", Edited for the web by Filippo A. SALUSTRI, 2001.

(Hug, 2009) Charlotte Hug, Agnès Front, Dominique Rieu, Brian Henderson-Sellers, A method to build information systems engineering process metamodels, The Journal of Systems and Software 82 (2009) 1730–1742

(Hüsig, 2009) Stefan Hüsig, Stefan Kohn, « Computer aided innovation-state of the art from a new product development perspective", Computers in industry 60 (2009) 551-562

I

(INSEE, 2011) Institut national de la statistique et des études économiques, définitions et méthodes, http://www.insee.fr/, 2011

J

(JEANTET, 1998) Alain JEANTET. "Les objets intermédiaires dans la conception. Eléments pour une sociologie des processus de conception", Sociologie du travail, n°3, 1998

(Jones, 1971) Jones J.C., Design Methods- seeds of human future, John Wiley, 1971.

K

(Kan, 2002) H. Y. Kan, V. G. Duffy, et C. J. Su, "An Internet virtual reality collaborative environment for effective product design", *Comput Ind, 45(2)*, pp. 197-213, 2002.

(Killander, 2001) Killander, A. J, Why design methodologies are difficult to implement. International Journal of Technology Management, 21 (3), 271-276, 2001

(Kline & Rosenberg, 1986) Kline, S.J. & N. Rosenberg (1986), "An overview of innovation." In R. Landau & N. Rosenberg (eds.), *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth.* Washington, D.C.: National Academy Press, pp. 275–305.

(Klocke, 2000) F. Klocke, M. FallboK hmer, A. Kopner, G. Trommer, Methods and tools supporting modular process design, Robotics and Computer Integrated Manufacturing 16 (2000) 411}423

(Kim, 2011) Jieun KIM, « Modeling cognitive and affective processes of designers in the early stages of design: Mental categorization of information processing », Thèse de doctorat, LCPI, Arts et Métiers ParisTech 2011.

(Kota et Ward, 1991) S. Kota, A.C. Ward, .Functions, structures and constraints in conceptual design., Design laboratory, Dept of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, University of Michigan, Ann Arbor, 1991.

(Kroes, 2002) *Peter Kroes, Design methodology and the nature of technical artefacts,* Design Studies Vol 23 No. 3 May 2002

(Kyng, 1995) Kyng, M., « Creating context for design » in J. Carrol Edition, « scenario-based design for human-computer interaction» Wiley, New York, pp. 85-107. 1995.

L

(La Greca, 2005) La Greca, R. (2005) « Approche déclarative de la modélisation de surfaces », Thèse de doctorat

(Lahonde, 2010) Nathalie LAHANDE, « Optimisation du processus de conception : Proposition d'un modèle de sélection des méthodes pour l'aide à la décision », thèse LCPI, Arts et Métiers ParisTech, 2010.

(Laprie, 1996) Laprie, J.C. (1996) "guide de la sûrté de fonctionnement » CEPADUES Editions, Toulouse, ISBN 2.85428.382.1, 369p

(Lattuf, 2006) José Antonio LATTUF, « Aide au pilotage d'une démarche d'innovation en conception de produits : vers un cahier des charges « AUGMENTE » », Thèse de doctorat, LCPI, ENSAM 2006.

(Larsson, 2005) T Larsson, A Larsson and E Kassfeldt, "INNOVATIONS FOR LIFE: DESIGN FOR WELLBEING", 2005

(LCPI, 2009) Dossier unique de demande de reconnaissance par le Ministère et éventuellement d'association aux EPST ou EPIC d'une unité de recherche, Chercheurs du LCPI, 2009.

(LeCoq, 1992) Le Coq Marc, "Approche intégrative en conception de produits" Thèse ENSAM, 1992.

(León-Rovira, 2005) León-Rovira, J. Ovtcharova, « trends in computer aided innovation, in 1st IFIP working conference on computer aided innovation, 14-15 Nov, 2005, Ulm, Germany 2005.

(Li, 2012) Yuliang Li, Wei Zhao, Xinyu Shao, A process simulation based method for scheduling product design change propagation, Advanced Engineering Informatics 26 (2012) 529–538

(Lucas et Desmontils, 1995) M. Lucas, E. Desmontils, « Les modeleurs déclaratifs », Revue Internationale de CFAO et d'informatique graphique, Hermès, Vol. 10, n°6, 1995, pp.

(Lombardo, 1996) J. S. Lombardo, E. Mihalak, et S. R. Osborne, "Collaborative Virtual Prototyping", *Johns Hopkins APL Technical Digest, volume 17, number 3*, 1996.

(Loubet, 2002) Cécile Loubet et al, Information, management et évolution sociétale : une approche par la méthode TRIZ, Université d'Aix-Marseille III.

M

(Mantelet, 2006) F. Mantelet, prise en compte de la perception émotionnelle du consommateur dans le processus de conception de produits, thèse LCPI, arts et métiers ParisTech, 2006

(Marsot, 2002) Marsot, J. (2002) « Conception et Ergonomie : Méthodes et outils pour intégrer l'ergonomie dans le cycle de conception des outils à mains », INRS, Note scientifique et technique n°219.

(Matthews, 2002) P.C. MATTHEWS, L.T.M BLESSING, K.M. WALLACE « The introduction of a design heuristics extraction method", Advanced Engineering Informatics, vol. 16, 2002.

(Mayer, 1989) Mayer R., E., « Human nonadversary problem solving, Human and machine problem solving ». *Plenum*, New York, 1989

(MAYER, 2007) Jean-Sébastien Klein Mayer & al, « optimisation et robustesse pour la prise de décision dans un contexte de conception intégrée et collaborative », 18ème CFM, Grenoble, 27-31 août 2007.

(Micaelli, 2002) Micaelli J.P., " Institutionnalisme, évolutionnisme : le défi de la conception ", *actes des Journées d'étude Institutionnalismes et Évolutionnismes-Confrontations autour de perspectives empiriques*, Lyon, 2002.

(Minneman, 1991) Tang, Minneman, Videodraw: a video interface for collaborative drawing , 1991

(Mougenot, 2008) Céline Mougenot, « Modélisation de la phase d'exploration du processus de conception de produits, pour une créativité augmentée » thèse LCPI, Arts et Métiers ParisTech, Paris.

(MOUGIN, 2004) Yvon MOUGIN, « Processus : les outils d'optimisation de la performance », Editions d'organisation, 2004, ISBN : 2-708163022-6.

.

(Monticolo, 2008) Davy MONTICOLO, Une approche organisationnelle pour la conception d'un système de gestion des connaissances fondé sur le paradigme agent, thèse de doctorat Université de Technologie de Belfort Montbéliard et Université de Franche Comté 2008.

(MtopiFosto, 2006) Blaise Eugène MTOPI FOTSO, Contribution à une Méthodologie de Conception Modulaire : Modélisation de la Diversité dans les Familles de Produits, thèse de L'UFR des Sciences et Techniquesde l'Université de Franche-Comté 2006

(Mulet *et al.*, 2001) Mulet E., Vidal R., Classification and effectiveness of different creative methods in design problems, Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED01, Glasgow 2001, pp. 363-370.

(Mun, 2009) Duhwan Mun, Jinsang Hwang, Soonhung Han, Protection of intellectual property based on a skeleton model in product design collaboration, Computer-Aided Design 41 (2009) 641_648

N

(Neelamkavil, 1987) F. Neelamkavil, "Computer Simulation and Modelling", *Chichester, Wiley*, 1987.

(Nidamarthi *et al.*, 2001) Nidamarthi S., Chakrabarti A., Bligh T.P., « Improving requirement satisfaction ability of the designer », International conference on engineering design ICED 01, Glasgow (UK), 21-23 Août 2001, p. 237 – 244

(Noon, 2012) Christian Noon , Ruqin Zhang, Eliot Winer, James Oliver, Brian Gilmore , Jerry Duncan, A system for rapid creation and assessment of conceptual large vehicle designs using immersive virtual reality, Computers in Industry 63 (2012) 500–512

(Nonaka, 1990) I. Nonaka, "Redundant, Overlapping Organization : A Japanese Approach to Managing the Innovation Process", *California Management Review*, 1990.

(Nunes, 2009) Vanessa Tavares Nunes, Flávia Maria Santoro , Marcos R.S. Borges, A context-based model for Knowledge Management embodied in work processes, Information Sciences 179 (2009) 2538–2554

O

(O'Leary, 2009) O'Leary D. The impact of Gartner's maturity curve, adoption curve, strategic technologies on information systems research, with applications to artificial intelligence, ERP, BPM, and RFID. J Emerg Technol Account 2009;6:45–66.

(Ozer, 2005) Muammer Ozer, Factors which influence decision making in new product evaluation, European Journal of Operational Research 163 (2005) 784–801

P

(Pahl et al. 2007) Pahl, G., W. Beitz, J. Feldhusen and K. H. Grote (2007). Engineering Design- A systematic approach. Londers, Springer.

(Pahl, 1996) G. PAHL, W. BEITZ. "Engineering design – A systematic approach", 2nd edition, Springer-Verlag, Londres , 1996.

(Pahl & Beitz, 1996) G. Pahl, W. Beitz, .Engineering Design: A systematic approach., Springer-Verlag, 1996.

(Pärttö, 2012) Minna Pärttö, Pertti Saariluoma, Explaining failures in innovative thought processes in engineering design, Procedia - Social and Behavioral Sciences 41 (2012) 442 – 449

(Perrin, 2005) Flore PERRIN-BRUNEAU, “Proposition d’une démarche d’intégration de nouvelles méthodes en conception: Eléments pour la définition du rôle de l’intégrateur « méthodes ». thèse de doctorat ENSAM 2005.

(Potteck, 2001) Potteck S., 2001, « Elans de conception- La conception de systèmes spatiaux », Tome 2, editions du Schèmectif

(Pugh, 1990) Pugh S (1990) Total Design. Addison-Wesley, Reading, MA

(Purcell, 1994) Purcell T., Gero J., Edwards H. and Matka E., « Design fixation and intelligent design aids », Gero J.S. and Sudweeks F. (ed.), *Artificial Intelligence in Design*, Kluwer, 1994.

Q

(QUARANTE, 1996) Danielle QUARANTE. "Eléments de design industriel", 2ème édition, Editions Polytechnica, Paris, 1994. Michael J. SCOTT, Erik K. ANTONSSON. "Formalisms for negotiation in engineering design", 8th International Conference on Design Theory and Methodology ASME, Irvine USA, august 1996

R

(Reich, 1994) REICH, Y. (1994) Layered Models of Research Methodologies. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis, and Manufacturing*, 8 (4)**,** 263-274.

(Regli, 2000) W. C. Regli, X. Hu, M. Atwood3 and W. Sun, A Survey of Design Rationale Systems: Approaches, Representation, Capture and Retrieval Engineering with Computers (2000) 16: 209–235

(Reymen, 2001) Reymen, I. (2001) « Improving design process through structures reflxion - a domain-independent approach », Phd thesis, Eindhoven, The Netherlands

(Richir, 2003) S. Richir, "Les technologies de la réalité virtuelle pour la conception de produits", *Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université d'Angers*, 2003.

(Rodenacker, 1970) Rodenacker WG., (1970), Methodisches Konstruieren, Heidelberg, Berlin (seconde édition, springer, New york 1976) cité par Pahl et Beitz, Engineering design, Springer-Verlag, 1988 p :10.

(Rogers, 2003) Rogers E. *Diffusion of Innovations.* New York: Free Press; 2003.

(Roozenburg, 1995) N.F.M. ROOZENBURG, J. EEKELS. "Product Design: Fundamentals and methods", John Wiley & Sons, Chichester UK, 1995.

S

(Saariluoma, 2011) Saariluoma P, Hautamäki A, Väyrynen S, Pärttö M, Kannisto E.(2011) Microinnovations among the paradigms of innovation research - what are the common ground issues, *Global Journal of Computer Science and Technology* 2011:12.

(Sagot et al., 2003) Sagot, J.C., Gouin, V. & Gomes, S. (2003) « Ergonomics in product design: a safety factor", Safety Science International Journal, vol. 41, no. 2-3, pp. 137-154.

(Salomone, 1995) T. Salomone, "What every engineer should know about Concurrent Engineering", *Marcel Dekker, New York*, 1995.

(Sandoval-correa, 2006) Alejandro SANDOVAL-CORREA, apport méthodologique a la conception et mise en œuvre des projets: application aux projets d'établissement d'une entreprise a l'étranger, de l'Institut National Polytechnique de Toulouse- 2006.

(SAWADA, 2001) Hiroyuki SAWADA. "Constraint-based computer support for insightful multidisciplinary engineering design", Ph.D Thesis, University of Strathclyde, Glasgow, march 2001.

(Sarbacker, 1997) Shawn D. Sarbacker, Kosuke Ishii "A FRAMEWORK FOR EVALUATING RISK IN INNOVATIVE PRODUCT DEVELOPMENT » Proceedings of the ASME DETC`97: ASME Design Engineering Technical Conference September14-17, 1997, Sacramento, CA.

(Saucier, 1997) Saucier A., Un modèle multi-vues du produit pour le développement et l'utilisation de systèmes d'aide à la conception en ingénierie mécanique, Thèse Ecole Normale Supérieure de Cachan, 1997.

(Scaravetti, 2004) Dominique SCARAVETTI, Formalisation préalable d'un problème de conception, pour l'aide a la décision en conception préliminaire, Thèse ENSAM 2004.

(Schön, 1983) Schön, D. A, The reflective practitioner: Howprofessional Think in action, London, Temple Smith 1993.

(SCOTT, 1996) Michael J. SCOTT, Erik K. ANTONSSON. "Formalisms for negotiation in engineering design", 8th International Conference on Design Theory and Methodology ASME, Irvine USA, august 1996.

(Segonds, 2011) Segonds F, 2011; "contribution à l'intégration d'un environnement collaboratif en conception amont de produits ", thèse LCPI, Arts et Métiers ParisTech, Paris.

(Sellgren, 1998) U. Sellgren et R. Drogou, "A system and process approach to behavior modeling in mechanical engineering", *Royal Institute of Technology - KTH, Stokholm*, 1998.

(Sellini, 1999) Sellini F., « Contribution à la représentation et à la vérification des modèles de connaissances en ingénierie d'ensembles mécaniques », Thèse Ecole Centrale de Paris, 1999.

(Sharma, 2002) Sharma P. (2002) Teaching Creativity: A Systemic Point of view. UNITEC Institute of Technology, Auckland, New Zealand. Short Paper.

(Shyamsunder, 2002) N. Shyamsundar et R. Gadh, "Collaborative virtual prototyping of product assemblies over the Internet", *Computer-Aided Design, 34(10)*, pp. 755-768, 2002.

(Smith et al., 1993) Smith G., F., Browne G., J., « Conceptual foundations of design problem solving». *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 23 (5), pp. 1209-1219,1993.

(Simon, 1969) Simon H.A. (1969) The Science of the artificial. Cambridge (Mass.). London : MIT Press, 123 pages

(Simon, 1973) Simon H., « The structure of ill-structured problems », *Artificial intelligence*, 4, 181-20, 1973.

(Simon, 1981) Simon H., *The Sciences of the Artificial*, MIT Press, 1981

(Snider, 2013) Snider, C. M., et al., Analysing creative behaviour in the later stage design process, Design Studies (2013), http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2013.03.001

(Snider, 2013) Snider, C. M., et al., Analysing creative behaviour in the later stage design process, Design Studies (2013)

(Söderman, 1998) M. Söderman, "Product Representations: Understanding the product in the Design Process", *Licentiate Thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg*, 1998.

(Sriram et al., 1989) Sriram D., Stephanopoulos G., Logcher R., Gossard D., « *knowledge based system: application in engineering design* ». *AI Magazine*, vol. 10 (3), pp. 79-95, 1989.

(Stempfle et Badke-Schaub, 2002) Stempfle, J and Badke-Schaub, P: 2002, Thinking in design teams – an analysis of team communication. *Design Studies* **23**: 473-496.

(SUH, 1990) Suh N., P., « *The Principles of Design* ». New York Oxford, Oxford UniversityPress, 1990.

(SUH, 2001) Suh, N. P. Axiomatic design: advances and applications. Oxford (2001), Oxford University Press.

(Sun, 2013) Huichao Sun, Rémy Houssin, Mickael Gardoni, François de Bauvrond, Integration of user behaviour and product behaviour during the design phase: Software for behavioural design approach, International Journal of Industrial Ergonomics 43 (2013) 100e114

T

(Takeda, 1990) *Hideaki Takeda, Paul Veerkamp, Tetsuo Tomiyama, and Hiroyuki Yoshikawa*, Modeling Design Processes, AI Magazine Volume 11 Number 4 (1990) (© AAAI)

(TATE, 1996) Derrick TATE, Mats NORDLUND. "A design process roadmap as a general tool for structuring and supporting design activities", Proceedings of the 2nd world conference on integrated design and process technology, Austin, 1996.

(Techno-Science.net, 2011), http://www. Techno-Science.net/définition

(THEODOSIOU, 2003) Gabriel THEODOSIOU, Nickolas S. SAPIDIS. "Information models of layout constraints for product life-cycle management: a solid-modelling approach", Computer- Aided Design, Available online 2 September 2003.

(THIBAULT, 2008) Alexandre THIBAULT, « contribution à l'intégration produit-processus de fabrication, application au domaine de la forge », thèse de doctorat ENSAM, CER de Metz, 2008.

(Thomas, 2010) Thomas A, 2010;" Models for concurrent product and process design"European Journal of Operational Research 203 (2010)

(Thouvenin, 2002) THOUVENIN, E. (2002) Modélisation des Processus de Conception de Produits et Développement de la Capacité d'Innovation: Application au Cas des PME-PM. *Laboratoire Conception de Produits et Innovation.* Thesis (PhD). Paris, ENSAM.

(Tichkiewitch, 1996) Tichkiewitch, S. (1996) "Specification on integrated design methodology using a multi-view product model", ESDA Proceedings of the 1996 ASME, System Design and Analysis Conference, PD-Vol. 80, pp. 101-108.

(Tichkiewitch, 1997) S. Tichkiewitch, "Relecture de l'estampage à la lumière de la mécanique", *Connaissances et savoir-faire en entreprise, Hermes*, 1997.

(Tollenaere, 1998) Tollenaere, M., A. Aoussat and M. Le Coq. Conception de produits mécaniques- methods, modèles et outils, Hermes (1988).

(TOMIYAMA, 2009) TOMIYAMA, T., GU, P., JIN, Y., LUTTERS, D., KIND, C. & KIMURA, F. (2009) Design Methodologies: Industrial and Educational Applications. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58 (2)**,** 543-565.

U

(Uduma, 2007) Letitia Uduma, Gary R. Morrison, How do instructional designers use automated instructional design tool? Computers in Human Behavior 23 (2007) 536–553

(Ulrich & Eppinger, 2000) Ulrich K.T. and Eppinger S.D., *Product design and development*, Second edition, McGraw Hill International editions, 2000.

(Ullman, 2002) Ullman D.G., *The mechanical design process*, Mc Graw Hill, 3ème éd., 2002.

(Ullman, 2003) D.G. Ullman, Mechanical Design Process, third ed., McGraw-Hill, New York, 2003.

(Ulmer, 2011) Jean-Stéphane ULMER, Approche générique pour la modélisation et l'implémentation des processus, thèse de doctorat Université de Toulouse 2011.

(Umeda, 1990) Yasushi UMEDA, H. TAKEDA, Tetsuo TOMIYAMA et H. YOSHIKAWA, "*Function, behavior and structure*", Applications of Artificial Intelligent in Engineering, Springer-Verlag, Berlin, 1990.

V

(VanAken, 2005) VanAken J E, 2005; "Valid knowledge for the professional design of large and complex design processes"Design Studies Vol 26 No. 4 July 2005

(VIDAL, 1998) Florence VIDAL,« Méthodes de créativité », article Technique d'ingénieur A5 210, 1998.

(Visser, 2006) Visser, W. (2006). *The cognitive artifacts of designing*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

(Vadcard, 1996) VADCARD, P. (1996) Aide à la Programmation de l'Utilisation des Outils en Conception de Produit. *Laboratoire Conception de Produits et Innovation.* Thesis (PhD). Paris, ENSAM.

(Vargas, 1995) Vargas C., Modélisation du processus de conception en ingénierie des systèmes mécaniques. Application à la conception d'une culasse automobile. Thèse de l'ENS Cachan, 1995.

(Vélez, 1999) G. Vélez, "Realidad Virtual en Arquitectura - Actualidad y Futuro", *Congreso Iberoamericano de Gráfico Digital SIGRADI, Montevideo*, pp. 79-82, 1999.

WXYZ

(Weber, 2002) Weber C., Werner H. and Deubel T., « A Different View on PDM and its Future Potentials », *proceedings of DESIGN'02*, Dubrovnik, 2002.

(Wood, 2001) Kristin L. WOOD, James L. GREER. "Function-based synthesis methods in engineering design", in "Formal engineering design synthesis", Erik K. ANTONSSON and Jonathan CAGAN Editors, Cambridge University Press, 2001.

(Yang, 2010) Maria C.Yang, Consensus and single leader decision-making in teams using structured design methods, Design Studies Vol 31 No. 4 July 2010

(Yang, 2012) H.Z. Yang, J.F. Chen, N. Ma, D.Y. Wang, Implementation of knowledge-based engineering methodology in ship structural design, Computer-Aided Design 44 (2012) 196–202

(Yannou, 2001) Bernard YANNOU. "Préconception de produits", Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, INPG , juin 2001.

(Yannou, 2002) Yannou B. et Limayem F., « Les méthodes de comparaison par paires, Intérêt fondamental, Méthodes pratiques, Avancées scientifiques, Logiciel », *La Valeur des produits, procédés et services*, 92, 15-18 (partie I) et 93, 15-18 (partie II), 2002.

(Yerrapathruni, 2003) S. Yerrapathruni, "Using 4D CAD and immersive virtual environments to improve construction planning", *M.S. Thesis, The Pennsylvania State University, University Park, PA*, 2003.

(WELP, 1999) E.G. WELP, P. BRAUN. "Knowledge processing as a solution and decision-making aid in early phases of embodiment design", Proceedings of International Conference on Engineering Design, Munich, august 1999.

(Wynn, 2007) David C. Wynn, Claudia M. Eckert and P. John Clarkson, MODELLING ITERATION IN ENGINEERING DESIGN, INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, ICED'07

Index des figures

Figure 1: carte 3D pour la recherche des concepts méthodologiques (Alles & al, 2013) 03
Figure 2: Méthodologie de recherche en conception (Blessing & Chakrabarti, 2009)(Lahonde, 2010) 06
Figure I. 1 : Positionnement de notre recherche par rapport à d'autre discipline, adapté de (Hubka et al, 1987) 13
Figure I. 2 : La différence entre la recherche méthodologique et la conception méthodologique (Kroes, 2002) 13
Figure I. 3 : Le processus de conception : une concrétisation croissante, de l'idée au produit (Mougenot, 2008) 14
Figure I. 4 : Intégrer la conception centrée utilisateur dans la phase amont des processus de conception des produits. 15

Figure II. 1 : Architecture de l'état de l'art. 20
Figure II. 2 : Typologie des modèles en Ingénierie Système (Benfriha, 2005) 21
Figure II. 3 : Module d'une activité de conception 24
Figure II. 4 : Types de conception et nature des produits 27
Figure II. 5 : Espace des solutions de conception routinière, innovante et créative 27
Figure II. 6 : Schéma global de conception (Kota et Ward, 1991) 27
Figure II. 7 : Tendances principales pour l'industrie de fabrication (Bullinger, 1999) 32
Figure II. 8 : Chaîne Numérique de la Conception (Richir, 2003) 32
Figure II. 9 : les esquisses sont la première formalisation par les designers (Mougenot, 2008) 33
Figure II. 10 : Esquisse dans la phase amont de la conception et l'intégration des outils innovantes (Benabid, 2013) 34
Figure II. 11 : l'évolution du terme produit 35
Figure II. 12 : Positionnement relatif du processus de conception 38
Figure II.13 : Les six phases du processus de conception, (Ulrich, 2000) 40
Figure II. 14 : Le modèle du processus de conception, (Ullman, 2002) 40
Figure II. 15 : Le noyau du processus de conception, (Pugh, 1990) 41
Figure II. 16 : Les quatre domaines de la conception, (SUH, 2001) 43
Figure II. 17 Les domaines de la conception 44
Figure II. 18 : Le modèle FBS, (Gero, 1990) 44
Figure II. 19: Boucles de retour dans le processus de conception (Scaravetti, 2004) 46
Figure II. 20 : le modèle de collaboration en conception 47
Figure II. 21 : Exemple processus métier. 49
Figure II. 22 : Une démarche globale et d'une base de données associée (Thouvenin, 2002) 50
Figure II. 23: position de la conception amont (Segonds, 2011). 52
Figure II. 24: phase de cycle de vie d'un produit 53
Figure II. 25 : Cycle de vie d'un processus de conception 55
Figure II. 26 : Feuille de route d'un processus de conception (Derrick, 1996) 57
Figure II. 27 : Planification des phases et intégration du produit dans le processus de conception (Klocke, 2000) 58
Figure II. 28 : Une interface sous forme de phase (Uduma, 2007) 59
Figure II. 29 : Partie opérationnelle pour réaliser un processus (Hug, 2009) 59
Figure II. 30 : processus de conception pour réaliser un moteur de moto réaliser par (Li, 2012) 60
Figure II. 31 : les dimensions collaboratives dans un processus de conception (Germani, 2012) 61
Figure II.32 : approche de conception comportementale et une interface graphique (Sun, 2013) 62
Figure 33 : Taxinomie des éléments méthodologiques en conception de produit (Vadcard, 1996) 63
Figure II. 34 : un modèle spécifique pour une entreprise basé sur une méthode de conception (Perrin, 2005) 64
II. 35 : Modèle simplifié d'un processus de conception (Benfriha, 2005) 64

Figure II. 36 : la sélection des méthodes pour un processus de conception, DesignManager (Lahonde, 2010) 65
Figure II. 37 : proposition d'un modèle de spécification d'une méthode agile de développement prescriptif d'un environnement de travail collaboratif amont centré sur les représentations intermédiaires prenant en compte les contraintes métiers (Segonds, 2011). 66
Figure II. 38 : Synthèse sur la problématique et les hypothèses 71
Figure II. 39 : Pré-modèle d'aide au choix d'un processus de conception et la validation de l'hypothèse de modélisation. 72

Figure III-1 : Contribution de la carte sémantique à la génération d'un processus de conception 75
Figure III-2 : Pré-modèle d'aide à la sélection d'un processus de conception 76
Figure III. 3 : vecteurs amont et aval de l'activité de conception 76
Figure III. 4: Elargissement de l'espace des solutions de conception (Scaravetti, 2004). 79
Figure III. 5: Six perspectives pour les itérations (Wynn, 2007) 81
Figure III. 6 : Coût d'un produit durant sa conception (Salomone, 1995) 82
Figure III. 7 : classification des représentations intermédiaires (Bouchard et al, 2005) 84
Figure III. 8 : Les trois valeurs d'un produit 85
Figure III. 9 : les connaissances pour un processus de conception (Yang, 2012) 86
Figure III. 10 : Arbre tâches/méthodes (Vargas, 1995) 88
Figure III. 11 : Graphe du processus de conception. 89
Figure III. 12 : Les types d'activités en fonction de leurs dépendances 90
Figure III.13 : Divergence et convergence dans le processus de conception, d'après les directives VDI. 91
Figure III.14 : mode de développement basé sur le modèle d'intégration (Huang, 2006) 93
Figure III.15 : intégrer l'architecture de développement du produit sur la base du modèle de couplage (Huang, 2006) 94
Figure III. 16 : le processus de validation des règles métier (Bluntzer, 2009) 94
Figure III.17 : Processus de conception selon le modèle en V(Aloui, 2007). 96
Figure III.18 : Cartographie des méthodes et techniques associées au processus de conception (Aloui, 2007) 97
Figure III. 19 : Facteurs influençant la décision dans l'évolution du produit innovant 99
Figure III. 20 : Cycle de formulation et de correction des hypothèses de conception. 100
Figure III. 21: Liaisons entre les dimensions de notre approche 103
Figure III. 22: Des activités couplées 103
Figure III. 23: L'exécution d'activités couplées 104
Figure III. 24: Itérations et degré de décomposition du processus de conception 104
Figure III. 25 : l'exploitation de la carte sémantique pour générer un processus de conception pour l'organisme selon la nature du produit 105
Figure III. 26. Pré-modèle de la dimension produit 107
Figure III. 27. Matrice fonctionnelle et dysfonctionnelle 111
Figure III. 28: Le système de conduite et le système technologique (Girard, 2001) 113
Figure III. 29 : pré-modèle processus de conception 114
Figure III. 30: pré-modèle de la dimension métiers essentiels 117
Figure III. 31: Classement des méthodes et outils de conception 118
Figure III. 32: Démarche adapté par (Perrin, 2005) pour la classification des méthodes et outils de conception. 120
Figure III. 33 : Démarche adapté par Lahonde pour la classification des méthodes et outils de conception. 120
Figure III. 34: Fréquence d'utilisation des méthodes de conception sur un échantillon de 22 projets (Lahonde, 2010) 121
Figure III. 35: Génération du processus de conception sur la base des pré-modèles 123
Figure III. 36: outil de génération et optimisation du processus de conception 126
Figure III. 37. Méthodes d'optimisation déterministes 127

Figure III. 38. Méthodes d'optimisation stochastiques 127
Figure III. 39 : Digramme de base pour la simulation du choix du processus de conception 129
Figure III. 40 : Réseau global de sélection d'un processus de conception 130
Figure III. 41: La décision de sélection de la nature de conception 130
Figure III. 42 : première génération du processus de conception 133
Figure III. 43 : La configuration du processus de conception sur la base des réponses et des préférences. 134
Figure III. 44 : identification des méthodes et outils de conception par rapport au processus de conception 135
Figure III. 45: Les itérations entre méthodes et phases 136

Figure IV. 1: besoin d'un outil d'aide au choix et d'identification des métiers et des processus de conception 144
Figure IV. 2: répartition des connaissances sur les deux produits. 156
Figure IV. 3 : Projection des activités de l'équipe de conception sur les phases du processus de conception 156
Figure IV. 4 : le choix des méthodes et outils selon les acteurs des équipes de conception 157
Figure IV. 5 : flux d'information dans le développement des deux produits 158
Figure IV. 6 : Difficultés rencontrées pendant la conception des deux produits 158
Figure IV. 7: passage de l'aspect tridimensionnelle de la carte vers l'identification des outils et des méthodes pour chaque phase de la conception 159
Figure IV. 8 : exploitation de la première dimension par l'équipe de conception 160
Figure IV. 9 : la matrice fonctionnelle et dysfonctionnelle des besoins identifiés pour le produit 162
Figure IV. 10: Vecteurs fonctionnel, dysfonctionnel et inverse pour les concepteurs 163
Figure IV. 11 : réaliser le CDF par l'équipe de conception 164
Figure IV. 12: premier modèle de CDCF du produit 164
Figure IV. 13 : la démarche pour identifier la dimension processus de conception 167
Figure IV. 14 : la sélection d'un processus de conception via le prémodèle « Dimension Processus » 167
Figure IV. 15 : Les différents schémas d'exécution des activités et tâches de conception 169
Figure IV. 16 : Processus de conception itératif selon le point de vue 'Axiomatic Design' (Scaravetti, 2004) 170
Figure IV. 17 : carte de classement des processus de conception 171
Figure IV. 18 : deux modèles pour la conception des produits de santé. 171
Figure IV. 19: sélection des outils et méthodes de conception pour chaque phase. 173
Figure IV. 20: un extrait des résultats après l'adaptation d'un processus de conception 176
Figure IV.21 : Première projection sur la dimension produit 177
Figure IV. 22 : Projection du prémodèle produit sur un cas de moule pour des engrenages plastiques 178
Figure IV. 23. Cahier de charges préliminaires du produit 179
Figure IV.24 : la matrice fonctionnelle et dysfonctionnelle des besoins 179
Figure IV. 25 : Vecteurs fonctionnel, dysfonctionnel et inverse pour les concepteurs 180
Figure IV.26 : La première étape du pré-modèle processus de conception pour la sélection 180
Figure IV. 27 : L'aide à la décision pour la sélection d'un processus de conception 181
Figure. IV. 28 : Sélection d'un modèle de processus de conception sur la carte de classement pour le développement du PINT1 181
Figure IV. 29 : 05 phases, 04 domaines et 03 activités pour réaliser un processus de conception. 182
Figure IV. 30 : Un processus de conception pour le développement du produit – Processus II en détaille. 183
Figure IV. 31: Processus de conception des produits orthopédiques élaboré par l'entité E, Processus I 185
Figure IV. 32 : Le processus de conception pour le produit « moule pour engrenages plastiques » Processus II 186
Figure IV. 33 : réaliser le CDF par l'équipe de conception 190
Figure IV. 34: premier modèle de CDCF du produit 190
Figure IV. 35: Traditional process for custom AFO. 191

Figure IV. 36: Innovative process design of AFO 192
Figure IV. 37 : Esquisses réalisées dans l'environnement CAO 194
Figure IV. 38 : développement d'une prothèse totale de la hanche 194
Figure IV. 39 : la première étape du processus I-Explorer la phase amont- 195
Figure IV. 40 : Exploration de la phase amont de la carte sémantique 195
Figure IV. 41 : Les changements sur le processus I 197
Figure IV. 42 : identification des nouvelles tâches de conception en appuyant sur le processus II. 198
Figure IV. 43 : l'analyse du besoin et l'identification de la nature de conception par la dimension produit 200
Figure IV. 44 : Adaptation des plans d'expériences pour réaliser la conception robuste. 201
Figure IV. 45 : la génération d'un processus de conception pour engrenages plastiques sur la base du processus de conception II 202
Figure IV. 46 : les résultats de la 1ere et la 2ème expérimentation comme base pour la 3ème expérimentation. 205
Figure IV. 47 : schémas globale de sélection des métiers pour un processus de conception 213
Figure IV. 48 : la matrice fonctionnelle et dysfonctionnelle des besoins identifiés pour le produit 218
Figure IV. 49 : La population initiale de 300 individus « chromosomes » 223
Figure IV. 50 : La stratégie pour la génération du processus de conception sur la base des algorithmes génétiques 223
Figure IV. 51: L'architecture de l'interface graphique 226
Figure IV. 52: Extrait d'un programme de génération des processus de conception 226
Figure IV. 53: Résultats de génération des processus de conception par simulation 227
Figure IV. 54 : Chaine numérique du processus de conception identifiée sur la carte sémantique de classement proposé par (Richir, 2004) amélioré par (Kadri, 2007) 229
Figure IV. 55: Identification des activités de conception et les métiers essentiels pour réaliser la conception détaillée du produit – Esquisse en RV + outils de CAO - 231
Figure IV. 56 : la première partie du questionnaire 233
Figure IV. 57 : Explication d'une tâche similaire par des esquisses et des photos 233
Figure IV. 58: Réponses sur l'utilisation de l'environnement virtuel 234
Figure IV. 59 : l'utilisation des différents dispositifs de manipulation 234
Figure IV. 60 : catégories des logiciels utilisés par les participants 235
Figure IV. 61: Architecture du protocole de réalisation des produits sous l'environnement virtuel 235
Figure IV. 62 : Cheminement des expérimentations afin de valider les hypothèses 237
Figure IV. 63 : Synthèse des apports de la première expérimentation 238
Figure IV. 64 : Synthèse des apports de la deuxième expérimentation 239
Figure IV. 65 : Synthèse des apports de la troisième expérimentation 240
Figure IV. 66 : Synthèse des apports de la quatrième expérimentation 241
Figure IV. 67: Synthèse des liens entre hypothèses et expérimentations 242

Figure C.1. Réaliser les esquisses sous trois environnements différents afin de réaliser un produit innovant en intégrant les spécialistes et les utilisateurs. 249
Figure C. 2. Apports de la thèse : deux outils pour la réalisation d'un processus de conception 250
Figure C. 3. Apports de la thèse ; Forme de l'exploitation de l'outil : version papier & version numérique 250
Figure C. 4. Apports de la thèse ; un échantillon des résultats : adaptation et génération de deux processus de conception pour deux produits différents, processus I et II 250

Index des tableaux

Tableau III. 1 l'objectif des entrées et sorties des activités de conception 77
Tableau III. 2 : Familles de mots-clés (Benfriha, 2005). 78
Tableau III. 3 : Catégories des méthodes de conception (Vadcard, 1995) 95
Tableau III. 4. Proposition des réponses au questionnaire de Kano et leur notation (Benrjeb, 2009) 111
Tableau III. 5 : familles d'outils de conception de produit 119
Tableau III. 6: Structure des tâches pour la conception 122
Tableau III. 7 : Indexation des phases de processus de conception 131
Tableau III. 8 : Combinaisons possible selon la carte de classement des processus de conception 131
Tableau III. 9: Autres combinaisons pour le nombre de phases 132
Tableau III. 10: Nombre de combinaison exacte pour le nombre de phases 132
Tableau III. 11: Les préférences liées aux étapes de la carte sémantique. 132
Tableau III. 12 : attribution des poids (coûts) pour les outils et méthodes en fonction de la nature de conception 135
Tableau III. 13 : Longueur de la population, le modèle général. 137
Tableau III. 14 : codage de la solution selon les critères de l'exemple 1. 137
Tableau III. 15 : la configuration de la population sur la base du chromosome du tableau III. 14 139
Tableau III. 16 : les grandes lignes de l'algorithme de génération du processus de conception 140
Tableau IV. 1 : caractéristiques de l'équipe de conception dans l'organisme A 147
Tableau IV. 2 : caractéristiques de la deuxième équipe de conception dans l'organisme A 148
Tableau IV. 3 : les outils et les méthodes employées pour développer le produit 150
Tableau IV. 4 : les outils et les méthodes employées pour la réalisation d'une prothèse sur mesure par une équipe de conception –sans carte sémantique- 152
Tableau IV. 5 : les outils et les méthodes employées pour développer le produit 154
Tableau IV. 6 : les outils et les méthodes employées pour la réalisation d'un engrenage plastique –sans carte sémantique- 155
Tableau IV. 7 : Première étape de la dimension produit 161
Tableau IV. 8 : Analyse du besoin par un questionnaire 161
Tableau IV. 9 : liste des besoins pour le produit 162
Tableau IV. 10 : les environnements identifiées pour la conception du produit PEXT1 165
Tableau IV. 11 : représentation du produit (déterminer les limites) 166
Tableau IV. 12: Conception du produit « prothèse totale de genou » par l'application de la carte sémantique 175
Tableau IV. 13. Le besoin global et les sous besoins pour réaliser un engrenage plastique 179
Tableau. IV. 14. L'apport des domaines pour l'équipe de conception pour créer un produit. 182
Tableau IV. 15 : liste des besoins pour le produit 189
Tableau IV. 16 ensemble de phase explorées pour réaliser le produit « prothèse de la hanche » 196
Tableau IV. 17 : les métiers de la phase amont de conception sur la base de la dimension produit 207
Tableau IV. 18 : Les métiers liés aux phases du processus de conception 208
Tableau IV. 19 : outils et méthodes utilisés par les deux processus I et II. 210
Tableau IV. 20 : quelques améliorations de l'équipe de conception après l'adaptation de la carte sémantique tridimensionnelle pour le développement des produits. 215
Tableau IV. 21 : liste des besoins pour l'outil 215
Tableau IV. 22 : les acteurs de l'évaluation de l'outil 216
Tableau IV. 23 : Vision des utilisateurs pour réaliser des processus de conception 218
Tableau IV. 24 : Vecteurs fonctionnel, dysfonctionnel et inverse pour les concepteurs 218

Tableau IV. 25 : codage de la solution. 221
Tableau IV. 26: recodage de la solution pour générer une population initiale. 221
Tableau IV. 27 : codage simplifié de la configuration des processus de conception. 221
Tableau IV. 29: les phases nécessaires pour chaque types de conception. 224
Tableau IV. 30 : les ressources disponibles au sein de l'entité identifiées. 225

ANNEXES

ANNEXE 1 : Description de quelques processus de conception

Modèle de Hales

Pour concevoir un objet plusieurs domaines sont nécessaires. Des concepteurs avec expertises différentes seront confrontés pour que le produit voie le jour. Une des premières études qui utilise la technique de recherche-action a été réalisée par Hales. L'auteur a passé trois années dans une entreprise pour étudier l'application de la méthodologie de conception proposée par Pahl & Beitz. L'objectif de Hales était d'introduire une approche systématique pour la conduite de projets de conception.

Modèle Asimov

L'ingénierie de conception est une activité utile orientée vers la satisfaction de besoins humains, en particulier ceux qui peuvent être associés aux aspects technologiques de notre culture… Elle est aussi menée par la prise de décisions face à l'incertitude, avec une pénalité élevée en cas d'erreur (la prise de risques d'après notre interprétation).

Le passage d'une phase à l'autre se fait par la formalisation du résultat d'une convergence, qui sert de point de départ à la divergence suivante. C'est ainsi qu'il est possible de passer d'une formalisation intermédiaire a une autre pour avancer dans le processus de conception. Nous notons Fi les formalisations considérées :

- F0 : Besoins

- F1 : Fonctions

- F2 : Solutions conceptuelles
- F3 : Solutions détaillées
- F4 : Produits

On pourra noter qu'en début de projet, les divergences et les convergences peuvent être d'une forte amplitude, mais que celles-ci diminuent au cours du processus de conception afin d'atteindre une formalisation finale unique.

La phase de préparation, similaire a la phase de transformation d'Asimov, aura par exemple pour enjeu de mettre en évidence l'ensemble des éléments nécessaires à la réalisation de la convergence multidisciplinaire. C'est durant cette phase qu'il est indispensable que tous les concepteurs concernes par la convergence qui va suivre se comprennent. Cela passe par des Formalisations Intermédiaires communes, ou par des systèmes de traduction ou de réinterprétation des propositions de chacun. La difficulté principale qui existe lors de cette phase réside dans le fait qu'un grand nombre de propositions peuvent être apportées, et que l'état de conceptualisation n'est pas le même d'une de ces propositions a l'autre, et d'un métier a l'autre. D'autre part, les formalisations ne sont pas toujours les mêmes, ce qui peut créer des difficultés de compréhension.

Des que la préparation se termine, la phase de réalisation de la convergence commence. Durant cette phase, des confrontations d'idées, de concepts, et plus globalement de démarches spécifiques à chaque métier sont opérées. La difficulté prévisible lors de cette phase est que chacun des métiers aura tendance a défendre ses propres solutions, ainsi que les enjeux relatifs a son approche.

Modèle Zeisel

Le modèle de Zeisel, tend à trouver l'énoncé convenable à un problème de conception mal défini en analysant plusieurs solutions inspirées et proposées, Zeisel s'intéresse davantage aux relations s'établissant entre les deux types d'information du processus de conception architecturale. Il démontre le rôle fondamental de l'information nécessaire et transmise par l'image, dans les situations de formulation de problèmes (concevoir une image) et les situations de formulation de solutions (la mettre à l'épreuve/évaluation). Toutefois, la signification de l'expression « formulation de problèmes » est bien différente de la façon dont les modèles systématiques précédents la définissent.

Zeisel décrit le processus de conception architecturale comme un système d'apprentissage « autour duquel se construit une œuvre et s'acquiert une expérience » dont l'organisation s'élabore autour de nombreuses caractéristiques. D'une part le processus s'articule à partir de trois activités primitives autour desquelles s'établissent l'émergence de l'idée et la constitution de l'objet architectural.

Modèle Aoussat

Le client doit exprimer ses **critères de pertinence de la conception**. Ce sont ces critères qui vont lui permettre de qualifier la conception proposée.

Aoussat parle de critères de tri, qui sont exprimés dans la phase de traduction du besoin, et qui permettent en phase finale d'effectuer le tri et le choix de concepts.

Le client de la conception peut être :

- Le client final du produit à concevoir; auquel cas certains critères et fonctions internes ne le concernent pas et ne font pas partie de ses critères de qualification;
- Un service de l'entreprise, un donneur d'ordre, un prescripteur, un organisme vérificateur : il peut être intéressé par des critères liés à des fonctions internes, des critères permettant d'évaluer le comportement physique attendu par le client final, qui seront exprimés au cours des étapes suivantes de la démarche.

Il défendait la nécessité d'une approche plurielle et de la collaboration inter disciplinaire.

Améziane AOUSSAT **(Aoussat, 2000)** décline une démarche de conception en quatre phases, où il définit les étapes de conception de produit, les acteurs, et les outils adéquats pour chaque étape. Cette démarche peut être utilisée à partir de l'identification du besoin jusqu'à la fabrication d'un prototype reproductible industriellement. Nous retrouvons dans cette démarche l'aspect itératif, intégratif, organisationnel et simultané des phases de conception, qui sont : Phase 1, concerne la traduction du besoin de l'entreprise. Phase 2 : interprétation du besoin. Phase 3 : définition du produit. Phase 4 : validation du produit.

Modèle Roozenburg

Les processus dits linéaires proposent une séquentialité des actions depuis la recherche fondamentale de l'idée jusqu'à la mise au point d'un produit final commercialisé. Ils sont définis comme étant des processus mécaniques de type opérationnel qui partent de l'activité de recherche, à l'activité de développement, puis à l'activité de fabrication. Modèle détaille les interactions et les itérations qui mènent vers l'objectif final qui est d'innover **(Kline & Rosenberg, 1986)**. Dans leur modèle, ils établissent les liens entre les domaines de l'innovation d'une part, des connaissances et de la recherche d'autre part. Le processus d'innovation non linéaire ainsi décrit est structuré autour de cinq « chemins » particuliers ; La conception est essentielle selon eux, pour initier l'innovation technique, et les reconceptions sont essentielles pour aboutir au succès. Le processus central de l'innovation n'est pas la science mais la conception **(Kline & Rosenberg, 1986)**. Ce processus de conception se divise lui-même en diverses étapes :

- la conception détaillée et les essais,
- l'invention et la conception analytique,
- la conception finale,
- la production,
- la mise sur le marché de l'innovation.

Modèle Benfriha

Benfriha place le choix d'outils comme un évènement clé avant de démarrer le processus de conception de produits. L'auteur parle d'un instant t-1. Puis illustre-le processus même avec l'utilisation distribuée (suivant une démarche établie) des différentes méthodes et outils associés aux interventions des acteurs-métier impliqués, le tout à partir d'un instant t0. En nous appuyant sur cette description, nous pourrons avancer que le processus de conception démarre par l'utilisation (de manière consciente ou non) d'un outil de conception. L'idée-force défendue dans ce modèle était celle du besoin de numérisation du processus de conception de produits.

Modèle Tomiyama

D'après Tomiyama, les industries estiment que ces derniers sont mal préparés au travail de conception dans l'industrie. Dans leur article, les auteurs précisent que les étudiants sont formés à des théories et méthodologies qui n'ont pas d'échos dans le monde de l'entreprise. Aussi, aider les étudiants à sélectionner les méthodes les plus adaptées à leur projet leur permettrait d'être force de proposition en matière de méthodologies de conception et d'innovation dans leur entreprise d'accueil. Le modèle proposé par Tomiyama, aborde la conception fonctionnelle sous un angle très général. C'est-à-dire modéliser la décomposition fonctionnelle résultante de l'interprétation du cahier des charges du produit. La conception fonctionnelle n'est plus considérée comme un schéma figé.

Modèle LCPI

Le Laboratoire Conception de Produits et Innovation (LCPI) mène une recherche en génie industriel sur les processus de conception et d'innovation. Cette recherche vise l'amélioration du processus de conception considéré au niveau de ses étapes amont et Considère les aspects : formalisation d'outils pour la conception innovante, modélisation de l'intégration des métiers sous-jacents, modélisation pour l'optimisation de cette conception. Il lui correspond un positionnement original dans la communauté de la conception de produit, cette thématique restant peu revendiquée au niveau académique.

Les activités menées impliquent une compétence pluridisciplinaire à l'intersection des sciences humaines et des sciences pour l'ingénieur (ergonomie, design,..., couplés au savoir-faire en mécanique et informatique).

Modèle Richir

La méthode I²I, comme d'autres modèles de conception du génie industriel (par ex., [Aoussat, 1996]), détaillent les phases de réalisation proprement dites (par ex., programmation, prototype) et éludent les premières phases du processus de conception (identification et analyse des besoins).

Initialement, la méthode I²I est une version révisée de la méthode I². La méthode I² guide le concepteur dans la prise en compte des caractéristiques cognitives et sensori-motrices de l'utilisateur pour la conception d'interfaces de réalité virtuelle. Richir a complété la méthode I² en intégrant certains outils méthodologiques des ingénieurs industriels, comme la veille technologique ou des documents normalisés, par exemple le cahier des charges fonctionnel (CDCF). La méthode I²I est construite sur trois niveaux d'abstraction décrivant l'immersion et l'interaction de l'utilisateur, depuis l'interfaçage entre l'homme et le monde virtuel au niveau des sens et des réponses motrices jusqu'aux activités à accomplir dans le monde virtuel. Dans la méthode I²I, les auteurs prévoient la mise en place d'une veille technologique et concurrentielle et d'une action de propriété industrielle (étape 1). L'étape suivante (étape 2) concerne l'identification et la validation pour le démarrage de la conception du système ; elle débouche sur la rédaction du Cahier des Charges Fonctionnel (CDCF) et la détermination des I²f (étape 3). Le choix des Processus Cognitifs (PC), au niveau I²c, et des interfaces comportementales au niveau I²sm, se voit enrichi de méthodes de créativité (par ex., TRIZ) pour favoriser l'élaboration de nouvelles interfaces physiques (étape 6).

Modèle de Takeda

Takeda s'appui sur la notion de cycle. Un cycle de conception se compose de cinq sous-processus: (1) prise de conscience du problème: pour ramasser un problème en comparant l'objet considéré aux spécifications; (2) suggestion: de proposer des concepts clés nécessaires pour résoudre le problème, (3) le développement: la construction candidats pour le problème des concepts clés utilisant différents types de connaissances en conception (lors de l'élaboration d'un candidat, si quelque chose non résolu est trouvée, elle devient un nouveau problème qui devrait être résolu d'une autre conception cycle), (4) l'évaluation: pour évaluer les candidats de différentes manières, telles que le calcul de structure, simulation du comportement et évaluation des coûts (si un problème est détecté à la suite de l' évaluation, il devient un nouveau problème à résolu dans un autre cycle de conception) et (5) conclusion: de décider quel candidat à adopter, modifier les descriptions de l'objet.
Énoncés dans les données de protocole sont classés dans ces sous-processus, puis un cycle de conception est composée de ces sous-processus. Fondamentalement, un cycle de conception unique permet de résoudre un seul problème, et parfois de nouveaux problèmes qui doivent être résolu dans les cycles de conception d'autres survenir au cours de la suggestion et de l'évaluation sous-processus **(Takeda, 1990)**.

Modèle de Robert

Robert utilise la notion de «**Processus discontinu de développement de nouveaux produits** ». Bien que l'étude révèle que, pour la plupart, le développement de ces produits n'était pas discontinus géré à l'aide d'un processus formel et très structuré, ce n'est pas de suggérer qu'il n'y avait pas de processus ou progression logique dans la façon dont ces projets ont été gérés. En outre, le processus qui a été observé pour le développement de ces processus discontinu de nouveaux produits très différents quant du processus de développement de nouveaux produits tel qu'il est habituellement décrite.
Les analyses sont une partie essentielle de la phase précoce du processus discontinu de développement de nouveaux produits. Les développements discontinus de produits impliquent la formulation de la technologie dans

une application pour les nouveaux produits. Avant d'entreprendre des analyses pour évaluer le marché ou l'opportunité de la réalisation, un certain sens de l'application du produit doit être acquise en vue d'établir une direction produit et d'identifier la pertinence (potentiel) des groupes de clients.

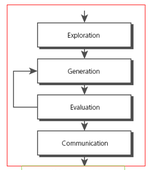
Modèle d'Alexander

La philosophie générale de la validation est appliquée à un dispositif ou son processus de fabrication (Alexander et al., 2001). Pour un dispositif, validation est finalement obtenue en montrant que le dispositif final répond aux besoins de l'utilisateur d'origine et à l'usage prévu. Pour un processus, la validation est réalisée on montrant que l'équipement de traitement répond à ses besoins originaux et destinés, en examinant à la fois la conception de l'équipement et le processus correspondant développement de la production. La clé du succès de la vérification et de validation réside dans la définition précoce des exigences de validation. Cela permet de s'assurer que la conception émerge qui est non seulement adapté à l'usage, mais il peut être prouvé à l'être. Problèmes qui se posent lors de la validation inévitablement à un certain niveau d'itération de conception et validation supplémentaire.

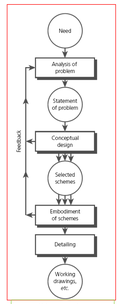
ANNEXE 2 : La carte de classement des processus de conception

	Modèles	Besoin (Establishing a need) 1	Analyse du besoin (Analysis of task) 2	Conception générale (Conceptual design phase) 3	Conception préliminaire (Embodiment design) 4	Conception détaillée (Detailed phase) 5	Mise en œuvre (Implementation phase) 6
23 modèles proposés par Howard 2008	Booz et al (1967)	X	Stratégie de développement d'un produit innovant	Génération des idées : Examen (analyse) & évaluation	Analyse de marché	Développement : Tests	Commercialisation
	Archer (1968)	X	Programmation : Collection des données	Analyse : Synthèse	Développement	Communication	X
	Svensson (1974)	Besoin	X	Concepts : Vérification : Décisions		X	Fabrication
	Wilson (1980)	Besoin de société	Reconnait & formaliser : Contraintes	Idéation & création	Analyse : test ET / OU	Produit, prototype, processus	X
	Urban and Hauser (1980)	Identification des opportunités	Conception	Test			Introduction (lancement) : Management cycle de vie
	VDI-2222 (1982)	X	Planification	Conception générale	Conception préliminaire	Conception détaillée	X
	Hubka and Eder (1982)	X	X	Conception générale	Conception mise en plan	Conception détaillée	X
	Crawford (1984)	X	Planification stratégique	Génération des concepts	Evaluation pré-technique	Développement technique	Commercialisation
	Pahl & Beitz (1984)	Tâche	Clarification de tâche	Conception générale	Conception préliminaire	Conception détaillée	X
	French (1985)	Besoin	Analyse du problème	Conception générale	Schémas préliminaire	Détaillaient	X
	Ray (1985)	Reconnaitre le problème	Exploration du problème : Définition du problème	Recherche des alternatives proposées	Prévoir les résultats : Tester d'autres alternatives possibles	Jugé les alternatives possibles : Solution spécifique	Implémentation
	Cooper (1986)	Des idées	Investigation préliminaire	Investigation détaillée	Développement : Tests & validation	X	Full production & market launch
	Andereasen and Hein (1987)	Reconnaissance du besoin	Investigation du besoin	Principe du produit	Conception du produit	Préparation de la production	Exécution
	Pugh (1991)	Marché	Spécification	Conception des concepts		Conception détaillée	Fabrication : Vendre
	Hales (1993)	Idée, besoin, proposition	Clarification des tâches	Conception générale	Conception préliminaire	Conception détaillée	X
	Baxter (1995)	Evaluer les possibilités d'innovation	Produits possibles	Concepts possible	Conception préliminaire possible	Possibilités de détaillée	New produit
	Ulrich and Eppinger (1995)	X	Planification stratégique	Développement de concepts	Conception des niveaux du système	Conception détaillée	Testes & amélioration : Production en cadence
	Ullman (1997)	Identification du besoin : Plan pour le proc. conpt	Développement des spécifications d'ingénierie	Développement des concepts	Développement du produit		X
	BS 7000 (1997)	Concepts	Faisabilité	Implémentation (où réalisation)			Fin
	Black (1999)	Bref concepts	Etat de l'art	Synthèse : Inspiration	Expérimentation : Analyses/reflet	Synthèse : Décision & contraintes	Sortie : X
	Cross (2000)	X	Exploration	Génération	Evaluation	Communication	X
	Design Council (2006)	Découvrir	Définition	Développement		Délivrer	X
	Industrial Innovation Process (2006)	Enoncé de la mission	Recherche sur le marché	Phase des idées	Phase des concepts	Phase de faisabilité	Pré-production
11 modèles par Scaravetti 2004	Hubka (1988)	X	Elaboration du problème affecté	Développement des concepts	Aménagement et mise en plan	Conception détaillée	X
	Aoussat (1990)	Traduction du Besoin	Besoin validé	Concepts d'usage : Concepts de techno. : Validés par stratég.	Définition du produit : recherche, choix d'architectures, AMDEC Produit, process, moyen et validation		Prototypes & test utilisateurs
	Fanchon (1994)	Besoin identifié	Définition du besoin	Développement des concepts (conceptualisation)	Conception préliminaire (avant projet/ pré-développement)	Conception détaillée (projet/développement)	X
	AFAV (1994)	X	X	Développement des concepts (faisabilité)	Conception préliminaire (avant projet)	Conception détaillée (projet/développement)	X
	Quarante (1994)	X	X	Développement des concepts (faisabilité)	Conception préliminaire (avant projet)	Conception détaillée (projet/développement)	Réalisation (prix de revient, moyens de fabrication)
	Cavallès (1995)	Expression du besoin			Conception préliminaire	Conception & développement	Dossier production
	Pahl & Beitz (1996)	Tâches	Clarification des exigences	Développement des concepts	Conception préliminaire	Conception détaillée : Dossier produit	X
	BNAE (1999)	X	X	Développement des concepts (faisabilité)	Conception préliminaire (approfondissement des concepts)	Conception détaillée & développement	X
	Dieter (2000)	Identification	Définition	Génération : Evaluation	Conception préliminaire	Conception détaillée	X
	Nadeau (2002)	X	CDCF0	Développement des concepts (faisabilité)	Conception préliminaire (approfondissement des concepts)	Conception détaillée & développement : Dossier définition	X
	Ullman (2003)	X	Définition et spécification	Développement des concepts (génération et évaluation)	X	Développement du produit	X
12 modèles selon Perrin 2005	Quarante (1984)	X	X	Etude de faisabilité	Conception préliminaire ou définition	Conception détaillée & développement	Réalisation & évaluation
	Petitdemange (1985)	X	Analyse du marché	Etude de faisabilité	Conception préliminaire	Conception détaillée	Industrialisation : Qualification & homologation
	Hubka (1988)	Etude de problème	Etude fonctionnelle	Etude de concept	Conception préliminaire	Conception détaillée	Industrialisation
	Aoussat (1990)	Traduction du besoin	Interprétation du besoin	Définition du produit		Validation du produit	Produit & industrialisation
	Ullman (1992)	Besoin identifié	X	Développement des concepts	X	Conception du produit	X
	Koelian (1993)	Management (stratégie)	Analyse du besoin	Exigences (coûts, objectifs)	Conception		Mise en œuvre
	Bocquet (1994)	X	Traduction fonctionnelle du besoin	X	Conception préliminaire	Conception détaillée	Industrialisation
	Ertas & Jones (1994)	X	Reconnaissance d'un besoin	Conceptualisation & créativité	Conception préliminaire	Conception détaillée	Industrialisation
	Bakker (1995)	X	Planning produit	Contexte et spécification	Elaboration de concept	Conception détaillée	X
	Pahl & Beitz (1996)	X	Clarification du problème	Recherche de principe de solution	Conception préliminaire	Conception détaillée	x
	Vadcard (1996)	Problème à résoudre	Pluridisciplinarité du besoin	Recherches de concepts	Définition préliminaire	Définition détaillé	Dossier produit : X
	Yannou (2002)	Espace perceptuel	Espace fonctionnel	Construire l'espace physique		Conception, évaluation et choix	X
15 modèles suivant l'état de l'art	Asimow (1962)	X	Analyse	Synthèse	Evaluation		X
	Zeisel (1984)	X	Fins de besoin	Qualité de la conception	Critères de performances		X
	Hein (1987)	Identification du besoin	Besoin basique : Type de produit : Process	Enquête : Principe de concep : Produit	Conception préliminaire	Conception détaillée	Adaptation de la production
	Takeda (1990)	Prise conscience du problème	Suggestion	Développement	Evaluation		Conclusion
	Roozenburg (1995)	X	Analyse	Synthèse	Simulation	Evaluation : Décision	X
	Robert (1998)	Veille technologique et marketing	Convergence	Formulation	Conception préliminaire	Conception détaillée	Prototype et commercialisation
	Alexander (2000)	Besoin des utilisateurs	Planification de la conception	Développement des concepts	Conception préliminaire	Conception détaillée	Production
	Gero (2003)	X	Analyse du besoin	Développement des concepts	Conception préliminaire : Structure	X	X
	Richir (2004)	Identification des idées	Veille et analyse	Environnements de développement	Conception préliminaire	Conception détaillée	Maquette physique et virtuelle
	Hales (2004)	Identification du besoin	Veille, analyse des tâches	Développement des concepts	Conception préliminaire	Conception détaillée	Production
	Benfriha (2005)	Identification	Analyse par mots-clés	Synthèse par matrice Poids	Outils de conception préliminaire	Outils de conception détaillée	X
	Tomiyama (2009)	X	Ensemble des entités de concepts est donnée	Spécification des concepts fonctionnels	Des solutions de conception trouvées	Passer de l'espace fonction vers l'espace attributs	Analyse de voisinage pour réaliser la production
	Li (2010)	X	Exigences des consommateurs	Solution principale	Structure fonctionnelles	Extension de la structure : Projet de conception	X
	LCPI (2012)	Identification des idées	Phase amont de la conception : Veille, analyse des tâches, sciences cognitives, créativité			Outils de conception détaillée	Prototypage
	Senthil (2013)	Exigences de modélisation	Modélisation fonctionnelles	Développement des concepts	Conception préliminaire	conception détaillée	X
	Medical devices bureau, Health Canada (2013)	Besoin consommateur	Analyse, données d'entrée pour la conception	Développement des concepts	Conception préliminaire	Conception détaillée, données de sortie pour la fabrication	Validation et fabrication

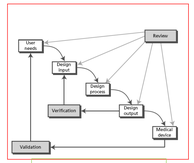
Modèle Jones 1994



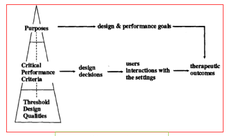
Modèle Cross 2000



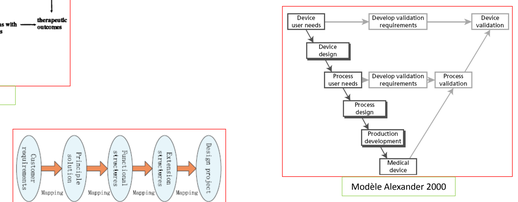
Modèle French 1985



Modèle Medical devices bureau, Health Canada 2013



Modèle Zeisel 1961



Modèle Alexander 2000

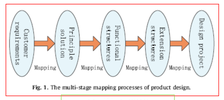
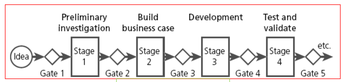
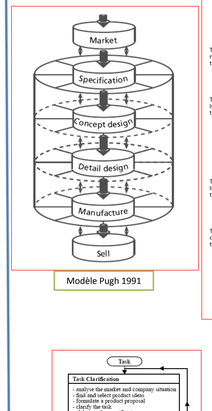


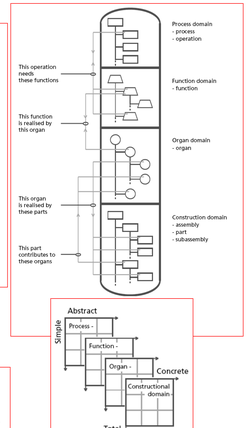
Fig. 1. The multi-stage mapping processes of product design.
Modèle Li 2010

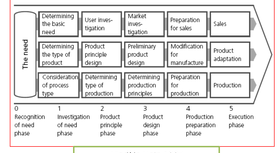


Modèle Cooper 1986

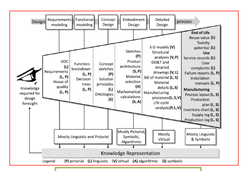


Modèle Pugh 1991

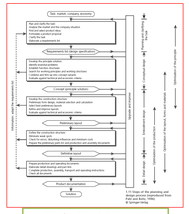




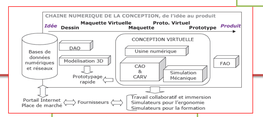
Modèle Hein 1987



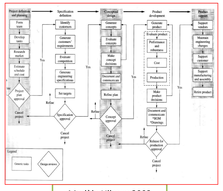
Modèle Senthil 2004



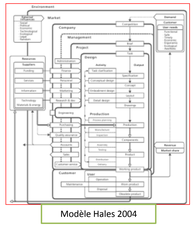
Modèle Pahl & Beitz 1996



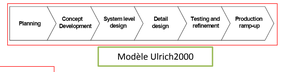
Modèle Richir 2003



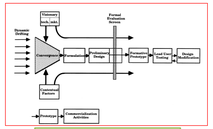
Modèle Ullman 2002



Modèle Hales 2004

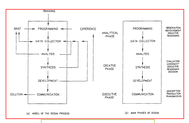


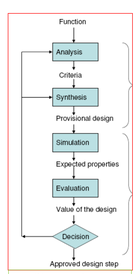
Modèle Ulrich2000



Modèle Robert 2004

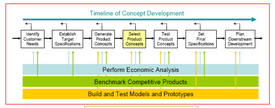
Modèle Asimov 1962


Modèle Archer 1968

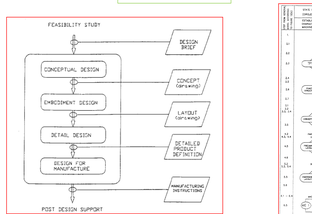


Modèle Roozenburg 1995

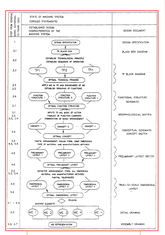
Modèle Suh 2001

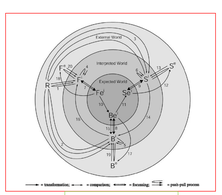


Modèle Ulrich1995

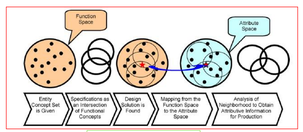


Modèle BS 7000 1997

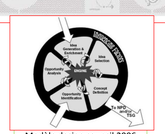

Modèle Hubka 1988



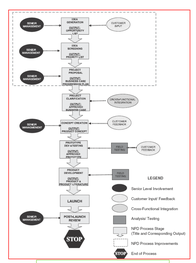
Modèle Gero 2003



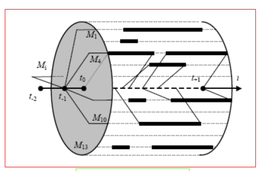
Modèle Tomiyama 2009



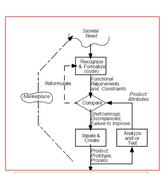
Modèle design council 2006



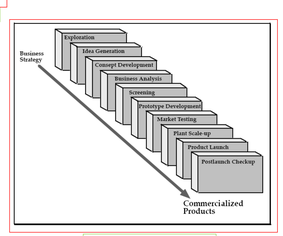
Modèle crawford1984



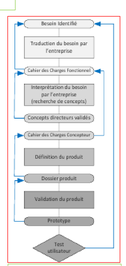
Modèle Benfriha 2005



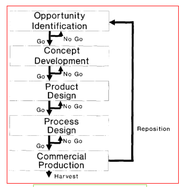
Modèle Wilson 1980



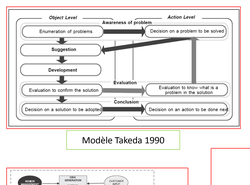
Modèle Booz 1967



Modèle Aoussat 1990



Modèle Urban 1980



Modèle Takeda 1990

ANNEXE 3 : les méthodes & outils liés aux phases du processus de conception

méthodes et outils de caractérisation du besoin		Poids – les attributs		
		Globale	locale	Nature de conception
Outils Marketing	- Etude de marché, - Audit Produit - Benchmarking, - La méthode BCG (Boston Consulting Group) - Brief marketing - L'approche organique - La grille Attraits/ Atouts			
Outils Design	- Graphe de différentiel sémantique - Méthode de constellation d'attributs			
Autres Outils	- Analyse Fonctionnelle - Méthode des Déperditions, - Cahier des Charges Qualitatif Design - Etude législation - Etude de propriété industrielle - Planche de Tendance - Première matrice QFD - FAST - Bloc Diagramme Fonctionnel - Veille Technologique			

méthodes et outils de créativité	Poids		
	Globale	locale	Nature de conception
- Le Brainstorming, - Le Concassage - Matrice de découverte, - Les scénarios, - L'approche analogique, - Les mots inducteurs, - La fiche idée, - La synectique, - La carte mentale, - La technique des 6 chapeaux, - La technique des 4 métiers, - Le rêve éveillé, - La p urge, - La b ionique, - Les 3 i, - L'inversion, - Le portrait en creux, - Le martien (ou l'enfant), - Le lipogramme, - L'identification, - Le brainwriting, - La baguette magique, - La roue libre, - Le portrait chinois, - Le mimodrame,			

- L'arbre de pertinence,
- Le jeu phonétique,
- La matec,
- Le troubetzkoï,
- La reformulation,
- L'avocat de l'ange,
- Le Tableau d'Evaluation Objective,
- L'analyse défectuologique,
- Méthode K J,
- Les formes inductives,
- L'arbre des voies technologiques,
- Méthode TRIZ
- L'analyse morphologique,
- La pensée latérale,
- Méthode A BCD
- La Clé de Sol,

méthodes et outils de définition de la solution et de suivi de la conception	**Poids**		
	globale	**locale**	Nature de conception
- **Outils du Design For Assembly (graphe de démontage),** - **L'architecture Produit,** - **Rapport technique d'avancement,** - **OTP (Organigramme technique du produit)** - **AMDEC,** - **Analyse d'incidents** - **Tableau d'analyse d'importance,** - **Méthode Alexander**			

méthodes et outils de gestion des coûts	**Poids**		
	Globale	**Locale**	Nature de conception
- **L'analyse de la Valeur (AVC- AV de la conception, AVA- AV administrative, AVF- AV Fabrication, AVP- AV Produit)** - **CCO (Conception pour un Coût Objectif) / Design to Cost, Redesign to cost,** - **CCG (Conception pour un Coût Global) / Design to Life Cycle Cost,** - **Loi de Pareto,** - **La Courbe du Juste Milieu,** - **L'Approche comptable** - **BBZ (Budget Base Zero)** - **L'Evaluation Paramétrique Prévisionnelle des Coûts,** - **L'Evaluation Analogique Prévisionnelle des Coûts,** - **L'Evaluation Analytique Prévisionnelle des Coûts,**			

méthodes et outils de gestion des informations	Poids		
	Globale	Locale	Nature de conception
- **Méthode Warnier,** - **La méthode Merise,** - **Le re-engineering,** - **SADT (Structured Analyses and Design Technique)** - **Analyse Fonctionnelle,** - **POO (Programmation Orientée Objet)**			

méthodes et outils de management de projet		Poids		
		Globale	locale	Nature de conception
Outils de planification et de gestion du projet	- WBS (Work breadown structure/ Organigramme Technique et des Taches du Produit : OTTP) - MOST (Mission, Objectifs, Stratégie, Tactique) - Fiche de tâches et de coût - PERT (Program Evaluation and Review Technic) - CPM (Critical Path Method) - PERL (Planification d'Ensemble par Réseau Linéaire) - Méthode des potentiels, - Le planning/ Méthode des antécédents (Precedence Diagram Method) - Les plannings/ Méthode du chemin de fer, - Planning aléatoire, - Le semainier, - Le planning GANTT, - Le planning Enveloppe, - La planification multi-projets. - La courbe Temps-Temps - L'ordonnancement, - La méthode OPT (outils de Planification et Conduite de Projets)			
Outils pour la gestion des ressources humaines et matérielles	- Plan de charge. - Fiche d'exigence			
Outils pour la gestion des flux	- MRP (Calcul de besoins Planifiés) - Gestion des stocks, - Le Juste à Temps, - Le Kanban, - La méthode Synchronisation - La gestion des Goulots, - L'arbre fa mille. - Le PERT - Le reengineering, - Standardisation			

méthodes et outils qualité	Poids		
	Globale	Locale	Nature de conception
- Analyse en composantes principales, - Analyse/ choix multicritères - Analyse de comparaison, - Analyse de la valeur, - Approche processus (Analyse Modulaire des Systèmes), - Arbre de défaillance, - Les plans d'expérience, - La méthode Tagushi, - Systèmes Poka Yoké - Arbre de Décision (Arbre de Pertinence), - Assurance qualité, - Axe de notation, - Analyse fonctionnelle, - CEDAC (Cause and Effect Diagram with the Addition of Cards) - CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support) - Coût du cycle de vie, - Cycle de l'action ou roue de Deming, - Démarche qualité, - Diagramme d 'Euler-Venn, - Diagramme de Pareto, - Enquête/ sondage, - Formulaire, - Graphe programmatique de processus de décision, - Ishikawa - QFD (Quality Function Deployment) - Tableau d'analyse d'importance, - Méthode K J, - PFA (Productivity Forces Anlaysis) - SPC (Contrôle Statistique des Procédés), - Profilogramme, - QQOQCPC (Quoi ? Qui ? Où ? Quand ? Comment ? Pourquoi ? Combien ?) - Méthode Qualité Totale / Globale, - Méthode Sûreté de Fonctionnement, - Tableau de décision, - Taguchi - Feuille de relevé, - Graphiques, - Histogrammes, - Diagramme Causes – Effets, - Diagramme de corrélation, - Carte de contrôle, - Diagramme des affinités, - Diagramme des relations, - Diagramme en arbre, - Diagramme matriciel, - Diagramme des alternatives, - Diagramme flèche, - Juste à temps, - Liste de contrôle,			

CONTRIBUTION AU PROCESSUS DE CONCEPTION DES PRODUITS INNOVANTS : OUTILS D'AIDE AU CHOIX D'UN PROCESSUS DE CONCEPTION

RESUME : L'optimisation des processus de conception est une activité de recherche en pleine évolution, soulignée dans de nombreuses références et pratiques des entreprises dans l'objectif l'amélioration et le développement de produits nouveaux. Notre démarche s'inscrit dans la continuité de ces activités qui prend comme point de départ la diversité des processus de conceptions existantes et la difficulté de réaliser un choix où une adaptation. D'ou notre problématique est résumée autour d'une question centrale que nous formulons de la manière suivante : comment optimiser le choix d'un processus de conception soumis à un environnement contraint ? La réponse à cette question est à travers la proposition d'un outil d'aide au choix qui converge vers l'installation d'un processus de conception. Cet outil est tridimensionnel, où la première dimension vise la préparation de la phase amont de conception, la deuxième dimension sélectionne un processus de conception sur une carte de classement et l'objectif de la troisième dimension est l'identification des métiers, outils et méthodes pour le développement des produits. La partie expérimentale de notre travail nous a conduit à valider l'outil développer et proposer comment l'exploiter par des concepteurs. L'optimisation est réalisée dans notre travail par la proposition de l'outil tridimensionnel d'un coté et de l'autre par l'exploitation des algorithmes d'optimisation pour la modélisation de l'outil. Des nouvelles pistes de recherche pour l'amélioration sont identifiées et proposées pour des futurs travaux.

Mots clés : processus de conception, outils et méthodes de conception, optimisation, outils d'aide au choix.

CONTRIBUTION TO THE DESIGN PROCESS OF INNOVATIVE PRODUCTS: SUPPORT TOOLS TO CHOICE A DESIGN PROCESS

ABSTRACT : The optimization of the design process is a research evolving highlighted in numerous references and business practices with the aim improving and developing new products. Our approach is a continuation of those activities that takes as its starting point the diversity of existing design processes and the difficulty to achieving a selection where adaptation. Hence our problem is summarized around a central question which we formulate as follows: how to optimize the choice of the design process subject to a constrained environment? The answer to this question is through the proposition of a tool Help in choosing which converges to the installation of a design process. This tool is three-dimensional, where the first dimension relates to the preparation of the upstream design phase, the second dimension selects a design process on a map classification and the objective of the third dimension is the identification of trades tools and methods for product development. The experimental part of our work has led us to validate the developed tool and propose how to use by designers. Optimization is achieved in our work by the proposal of a three-dimensional tool side and the other by the use of optimization algorithms for modeling tool. New avenues of research for improvement are identified and proposed for future work.

Keywords design process, design tools and methods, optimization, support tools to choice.

ARTS ET MÉTIERS ParisTech

ParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY