

PROPOSITION D'UNE DEMARCHE POUR CONSTRUIRE UN PROCESSUS D'INNOVATION EN PME

Dominique Millet*, Améziane Aoussat*, Eric Thouvenin*, Luc Vargas*

Résumé. – La complexité de mise en place d'un processus d'innovation pour une PME et la multitude d'outils et de méthodes potentiellement disponibles et utilisables dans un processus d'innovation nous amène, de façon *a priori* paradoxale, à proposer une nouvelle contribution méthodologique pour favoriser l'innovation en PME. L'originalité de notre proposition repose sur son objectif : elle vise à aider par une démarche structurée le chef de projet (ou d'entreprise) à concevoir son processus d'innovation. La démarche proposée présente deux caractéristiques essentielles : aider à la définition et à la constitution de l'équipe d'innovation et aider à la construction et à la programmation des actions du processus d'innovation : le processus d'innovation issu de cette démarche doit favoriser à la fois la prise en compte des critères de qualité, de coûts et de délais demandés, la prise en compte des ressources humaines, méthodologiques, technologiques, financières et temporelles disponibles dans la PME, et l'intégration de nouveaux métiers de la conception dans le processus d'innovation. Afin d'obtenir des résultats pertinents par rapport aux objectifs que nous nous sommes fixés, nous nous intéresserons tout d'abord aux divers aspects de la problématique soulevés par notre sujet : l'application du « Juste Nécessaire Méthodologique » aux PME, l'évolution du processus d'innovation, la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité en conception de produits. Nous analyserons ensuite les besoins en méthodologie de conception exprimés par les acteurs du processus d'innovation en PME. Ces travaux préliminaires nous permettront de dégager trois éléments essentiels d'une démarche pour aider les PME à concevoir leur processus d'innovation, démarche dont nous préciserons les quatre phases.

Mots-clés : Juste Nécessaire Méthodologique, PME, Innovation, Conception, Gestion de Projet.

* Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers de Paris, laboratoire de recherche « *Conception de Produits et Innovation* », 151 bd de l'Hôpital, 75013 Paris

1. Introduction

La façon de concevoir un produit industriel a beaucoup évolué depuis 50 ans (Caron, 1997), (Jagou, 1993), (Beltran, 1990). Par exemple, l'avènement de l'informatique a bouleversé les activités du bureau d'études et des unités de production. En retraçant l'histoire de la conception de produits, il est possible de retrouver différentes écoles de pensée à propos de la conception et des méthodologies de conception (Evbuomwan *et al.*, 1996).

L'ASME définit la méthodologie en conception de produit comme « une discipline traitant de la compréhension du processus et conduisant à des procédures organisées dans le but de créer, de restructurer et d'optimiser les artefacts et les systèmes » (Asme, 1986). Dans cette optique, de nombreux modèles pour la conception de produits ont été proposés. Nous citons ici les plus utilisés dans le milieu industriel : (Marples, 1960), (Jones & Thornley, 1962), (Watts, 1966), (French, 1971), (Archer, 1984), (Quarante, 1994), (VDI 2221, 1987), (Aoussat, 1990), (BS7000, 1990), (Pugh, 1990), (Cross, 1991), (Hubka, 1992), (Ertas & Jones, 1993), (Pahl & Beitz, 1996), (Bocquet, 1996)...

Lorsque l'on compare ces différentes démarches, on constate qu'elles s'appuient généralement sur un même schéma directeur. Elles se décomposent en plusieurs phases, de 3 à 6 selon les cas. Certaines de ces phases apparaissent de façon récurrente : l'analyse du besoin/étude de faisabilité, la recherche de concepts généraux, le développement du concept retenu, la validation du produit par des tests client, par prototypage puis par le lancement de la production. Certaines méthodes proposées comprennent plus de phases car soit elles sont plus détaillées, soit elles décrivent le processus de développement du produit jusqu'à un stade avancé de la production. De même, certaines méthodes apparaissent plus adaptées à des produits de grande consommation avec une place importante laissée à l'analyse du besoin (Pugh, 1990) alors que d'autres semblent plus adéquates pour la conception de produits destinés aux marchés industriels. D'autres méthodes de conception à objectif spécifique ont fait par ailleurs leur apparition dans les dernières décennies (Vadcard, 1996) :

- le *redesign to cost* dont le but est d'optimiser les coûts de production (Chauvet, 1996) et qui utilise souvent pour cela l'analyse de la valeur ;
- le *design for quality* (DFQ) ;
- la conception à objectif désigné (COD) ;
- le *design for environment* (DFE) (Millet, 1995) ;
- le *design for assembly* (DFA) (Lecoq, 1995), (Jeannes, 1986) ;
- la conception de produits « orientée client » (Singh *et al.*, 1997) qui met l'accent sur le marketing relationnel et utilise fréquemment des outils tels que le *Quality Function Deployment* ;

- le *design for manufacturing* (DFM).

Par ailleurs, des techniques émergentes comme l'intégration des fournisseurs dans le développement de produits innovants afin de réduire les coûts viennent enrichir la démarche de l'ingénierie simultanée (Ragatz *et al.*, 1997) en permettant un partage de connaissances et une harmonisation des stratégies commerciales entre l'entreprise et ses fournisseurs. Des pratiques comme la veille technologique, commerciale ou concurrentielle, depuis longtemps pratiquées au Japon – les entreprises y consacrent en moyenne 1,5% de leur chiffre d'affaires (Martinet, 1989) – commencent à être formalisées rigoureusement en Europe avec l'apparition du *benchmarking*, démarche de veille qui implique à la manière d'une démarche qualité toutes les structures de l'entreprise. Enfin, une pratique alternative à l'ingénierie simultanée connaît également quelques succès. Il s'agit du *re-engineering* qui, à l'instar de l'ingénierie simultanée, « reprend fondamentalement la nature du travail, remet en question les règles établies et fait évoluer tous les aspects de l'organisation vers une structure transversale des activités » (Bourdichon, 1994).

2. Les PME et l'innovation

La majorité des méthodes de management de projet existantes est issue de la recherche militaire ou des grands groupes industriels. Or, ces derniers possèdent une structure organisationnelle forte, un puissant potentiel humain et financier, ainsi qu'un important bassin technologique qu'ils exploitent pour faire aboutir leurs projets innovants. La plupart des méthodes de gestion de projet énumérées précédemment ne correspondent toutefois pas au monde des PME. Dans ce paragraphe, nous allons décrire l'environnement et les caractéristiques d'un projet de conception de produits en PME et nous en déduisons ensuite les besoins des chefs de projets innovants en PME.

2.1 L'importance des PME dans les pays industrialisés

De nombreuses études viennent confirmer le rôle prépondérant des PME dans le tissu socio-économique d'un pays comme la France. Par exemple, 97,6% des établissements industriels français (c'est-à-dire sans prendre en compte les entreprises unipersonnelles constituées par les artisans et les commerçants) comptent moins de 100 personnes, alors que, du point de vue économique, les PME françaises représentent environ 40% du chiffre d'affaires total de l'industrie française (Sessi, 1998). En France, une étude de la Direction Générale de l'Industrie et du Commissariat au Plan révèle que seulement 28% des PME de moins de 50 personnes déclarent avoir une activité de R&D, alors que le taux est de 57% pour les entreprises de 50 à 200 personnes. Au cours de la même enquête, 80% des PME sondées déclarent investir moins de 3% de leur chiffre d'affaires en R&D (Ministère de l'Industrie, 1995). Ainsi, et particulièrement en France, « l'importance de l'activité de R&D est inversement proportionnelle à la taille de l'entreprise » (Mercier, 1997). Pour réussir à modifier cette tendance, il apparaît

nécessaire de bien cerner les besoins des PME en méthodologie de conception, ce que nous nous proposons de faire dans le paragraphe suivant.

2.2 Les freins à l'innovation dans les PME

Les chefs de projet, qu'ils soient en PME ou dans une grande structure, rencontrent deux problèmes : une complexité intrinsèque du produit pluri-technologique et une complexité managériale de la gestion du groupe pluridisciplinaire (Aoussat, 1996). Les PME rencontrent par ailleurs des difficultés dues à leur manque de ressources. De même, malgré l'existence de dispositifs publics d'appui à l'innovation, l'insuffisance de fonds propres représente un véritable frein à l'innovation. R. Dussosoy classe les freins à l'innovation pour les PME en cinq catégories : l'insuffisance de fonds propres, la faiblesse des effectifs, le court terme qui prime sur le long terme, l'individualisme et la crainte de la concurrence (Dussosoy, 1997).

Compte tenu des difficultés potentielles liées à l'utilisation des méthodes et des outils de conception, il est compréhensible que les chefs de projets innovants en PME, bien qu'ils aient conscience des potentialités des méthodologies de conception, suivent plutôt une démarche de conception informelle et dictée par leur expérience issue des précédents projets innovants. Le problème réside en ce que « les exigences minimales induites par les méthodes actuelles de conception ne correspondent pas à la réalité d'une PME. La faiblesse des moyens humains, financiers et techniques réduit l'efficacité des méthodes » (Mercier, 1997). De fait, nombreux sont ceux qui pensent, à l'instar de Beaufils, qu'il faut « travailler à l'allègement des procédures car l'adaptation des méthodes correspond à un besoin réel » (Beaufils, 1996). Il s'agit par conséquent de proposer des solutions allant dans le sens de l'allègement, en guidant le chef de projet innovant en PME vers un panel d'outils de conception limité et adapté aux produits à développer et à l'entreprise concernée.

3. Eléments pour une démarche de conception du processus d'innovation en PME

L'état de l'art des méthodologies de conception de produits et l'analyse du contexte de l'innovation en PME nous ont permis d'identifier trois éléments essentiels pour l'élaboration d'une démarche visant à aider les PME à mieux concevoir leur processus d'innovation :

- la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité en conception de produits : l'équipe de conception peut accueillir des clients potentiels ou des personnes représentatives de la clientèle, un membre du service marketing et ventes, un ingénieur dans chaque domaine concerné (mécanique, électrique...), un membre du service R&D, un responsable de la production, un responsable des achats...

- le passage du séquentiel au simultané : en commençant la phase N+1 du projet avant l'achèvement total de la phase N ;
- le juste nécessaire méthodologique.

3.1 La pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité en conception de produits

En réponse à l'apparition de nouveaux besoins formulés par les consommateurs (Mermet, 1997), le processus de conception de produits industriels voit émerger de nouvelles disciplines telles que l'ergonomie (Roussel, 1997), la coloration de produits (Christofol, 1995), la sûreté de fonctionnement (Crauet, 1995), l'environnement (Millet, 1995)... Chacun de ces nouveaux métiers apporte ses acteurs, son vocabulaire, ses méthodes et ses outils spécifiques, nécessitant fréquemment des études rigoureuses et longues. Le processus d'innovation revêt alors un caractère fortement pluridisciplinaire et atteint un niveau de complexité difficile à gérer, obligeant le responsable de projet à agencer dans un temps et un budget impartis des activités sans cesse plus nombreuses et différentes. Afin de faciliter la communication entre ces différents métiers, il est intéressant d'utiliser la qualité « interdisciplinaire » de certains outils (c'est-à-dire des outils compréhensibles et utilisables par la majorité des intervenants dans la conception d'un produit) comme par exemple l'Analyse Fonctionnelle ou le *Structured Analysis and Design Technique*).

3.2 Du séquentiel au simultanée

L'ingénierie simultanée (Bocquet, 1996) fait partie des solutions méthodologiques élaborées pour réduire le temps de développement d'un produit en faisant se chevaucher dans le temps les différentes phases de la conception. Dans la mesure où il s'agit d'un concept applicable aux PME, il est intéressant d'en offrir une description plus détaillée. Nous basant principalement sur les travaux de (Smith, 1997), de (Skalak *et al.*, 1997) et de (Foulard, 1994), nous introduisons ici la notion d'ingénierie simultanée à travers l'exposé de ses objectifs et de ses conséquences sur l'organisation de l'entreprise.

Même si ce n'est qu'au cours des années 1990 que la notion de *time to market* apparaît essentielle pour la compétitivité des entreprises, le milieu industriel a depuis longtemps pris conscience de l'avance concurrentielle que peut procurer la réduction du temps de mise sur le marché. De nombreuses entreprises, y compris parmi les PME, mettent en pratique depuis longtemps mais de manière informelle certains préceptes de l'ingénierie simultanée. En ce qui concerne le cloisonnement des services, il a lui aussi été mis en évidence depuis longtemps : on a souvent accusé les concepteurs de rester dans leur tour d'ivoire et d'ignorer les nombreuses contraintes engendrées par le processus de fabrication.

Ces problèmes rencontrés dans la conception de produits ayant été répertoriés, de nombreuses ébauches de solutions ont été proposées depuis le début du siècle. Ainsi, dès 1904,

on tente de renforcer les relations entre le département des études et les manufactures (Burlingame, 1904). En 1921, un professeur du M.I.T. évoque une implication des contremaîtres des ateliers de fabrication et d'assemblage dans le développement des nouveaux produits. En 1941, on voit apparaître, en plus de la prise en compte des contraintes de fabrication, les notions de respect des coûts et de cycle de vie du produit dans l'article d'un professeur en ingénierie industrielle de l'Université de Columbia (Raustentrauch, 1941). En 1947, un dirigeant de la *Western Electric* insiste sur le fait que les contraintes de fabrication doivent être intégrées très en amont dans le développement d'un produit (Purdy, 1947). Enfin, dans les années 1950 et 1960, sans encore citer le terme d'ingénierie simultanée, plusieurs auteurs mentionnent la totalité des pratiques mises en œuvre par l'ingénierie simultanée (intégration de tous les métiers de l'entreprise du marketing à la fabrication, équipes pluridisciplinaires...), ceci dans le but de réduire les coûts et de respecter les délais (Karger, 1959).

Au cours des années 1980, l'industrie militaire tente les premières expériences d'introduction de l'ingénierie simultanée dans la conception de produits. En 1982, la DARPA (*Defense Advanced Research Project Agency*) met en œuvre la simultanée dans le développement de produits. En 1986, l'IDA (*Institute for Defense Analyses*) propose une première définition de l'ingénierie simultanée : « une approche systémique qui intègre le développement simultané des produits et des processus associés, incluant la fabrication et le soutien logistique. Cette approche prend en considération dès le démarrage, le cycle de vie du produit depuis sa conception jusqu'à son exploitation en incluant la qualité, les coûts, la planification et les besoins des utilisateurs. »

La mise en pratique de l'ingénierie simultanée se traduit surtout par des bouleversements structurels et organisationnels au sein de l'entreprise (Midler, 1995), passant par un décloisonnement des différents services de l'entreprise, une responsabilisation des membres de l'équipe projet, une motivation de l'équipe par des primes ou des avantages divers (Singh *et al.*, 1997). Le système décisionnel de l'entreprise change lui aussi. En effet, les membres de l'équipe projet doivent rendre compte de leur travail à la fois à leur chef de service et à leur chef de projet. La perte partielle de pouvoir des chefs de service représente d'ailleurs une barrière à l'application de l'ingénierie simultanée (Skalak *et al.*, 1997). L'information circule différemment entre les services : l'ingénierie simultanée n'est vraiment efficace que s'il existe une base de données commune à tous les membres de l'équipe projet. D'autre part, il est important que la communication entre départements se fasse par des contacts humains en plus des dessins, des spécifications et des échantillons. Enfin, l'ingénierie simultanée conduit à adopter une approche systémique de la conduite de projet et requiert par conséquent un moyen de capitaliser les connaissances recueillies au cours d'un projet.

3.3 Le Juste Nécessaire Méthodologique et les PME

Dès 1990, des auteurs (Aoussat, 1990), (Quarante, 1994) dégagèrent une démarche globale de conception intégrant l'ergonomie, le marketing, la qualité, le design, la sûreté de fonctionnement. Ces démarches ont depuis été validées sur de nombreux projets industriels et complétées avec de nouvelles disciplines telles que l'environnement (Millet, 1995) et l'architecture produit (Lecoq, 1995). Cependant, l'accroissement constant du nombre de méthodes et d'outils de conception conduit inévitablement à revoir cette tactique d'intégration cumulative des outils et des acteurs en conception pour tendre vers le Juste Nécessaire Méthodologique en conception de produits (Aoussat, 1996).

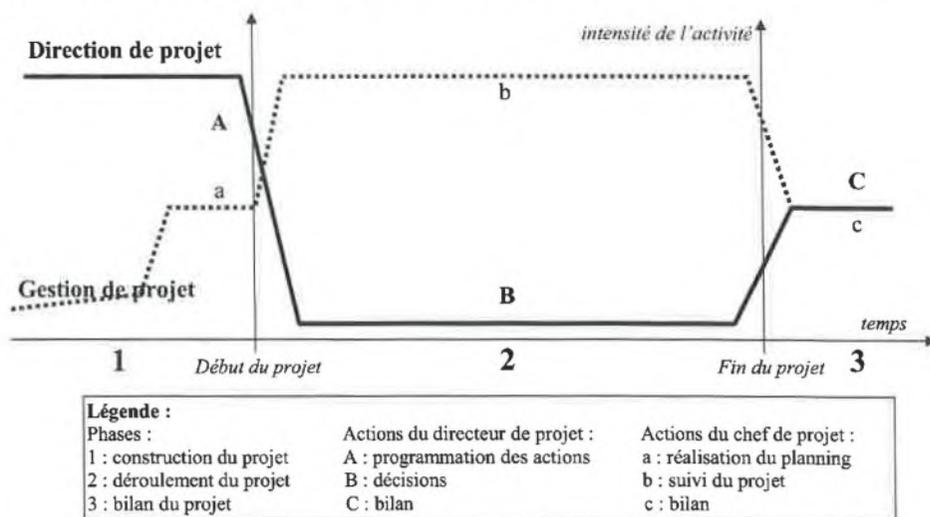


Figure 1 : La répartition temporelle des actions de management de projet en conception de produits.

L'application du Juste Nécessaire Méthodologique aux PME demande qu'on appréhende bien les spécificités de l'innovation en PME. Le développement d'un produit en PME n'a que peu de points communs avec l'innovation dans les grandes entreprises. D'une part, le monde des PME est fortement hétérogène (entreprises unipersonnelles, PME traditionnelles présentes sur des marchés locaux ou régionaux, PME high-tech maîtrisant une technologie de pointe et présentes sur des marchés internationaux, PME de sous-traitance travaillant pour un grand groupe industriel...). D'autre part, à l'inverse des grandes entreprises, une des principales caractéristiques de l'innovation en PME est le manque de ressources disponibles pour mener à bien un projet innovant. Un concepteur en PME aura plusieurs tâches à effectuer de front (par exemple l'étude de marché et la veille technologique) alors qu'une grande entreprise dispose fréquemment de services spécialisés dans chacune de ces activités. De même, le développement d'un produit faisant appel à une technologie de pointe posera plus de problèmes dans une PME car son bassin technologique et ses ressources financières sont moindres.

4. Proposition d'une démarche de conception du processus d'innovation en PME

Nous avons concentré principalement nos efforts sur la phase de préparation du projet, qui se situe en amont de la phase « Traduction du besoin ». Cette phase préliminaire à la conception du produit est définie notamment par (VDI 2221, 1987) et (Pahl & Beitz, 1996) comme la phase d'« identification du besoin et de planification des tâches ». C'est au cours de cette phase que le chef de projet programme les actions à effectuer et construit le projet (cf. Figure 1). Cette phase conditionne donc toute la suite du projet et revêt par conséquent une importance primordiale pour la réussite du projet. La phase « Identification du besoin et planification des tâches » consiste à définir les trois éléments suivants :

- les objectifs, plus particulièrement liés au produit, en termes de délais, de coûts et de qualité ;
- un programme technique dont le but est de définir les différentes actions à réaliser. Ces actions doivent mener à la détermination des valeurs d'usage, d'estime et d'échange du produit. Le programme technique définit donc la démarche globale de conception et les différents outils de conception à mettre en œuvre au cours du projet ;
- une équipe projet associée à ce programme technique, c'est-à-dire les personnes ayant les compétences requises et pouvant être affectées au projet.

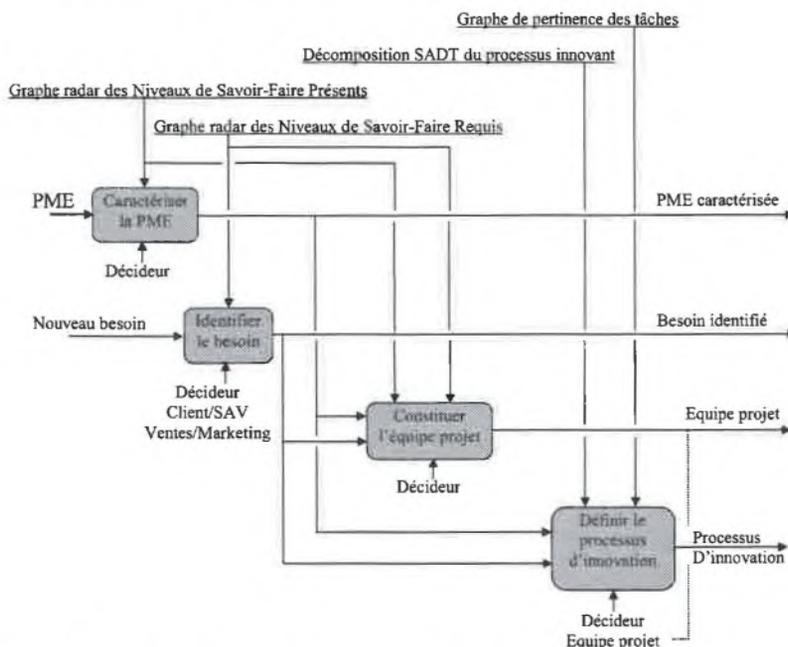


Figure 2 : La représentation SADT de niveau 1 de la démarche proposée.

Cependant, appliquer une telle démarche à un projet innovant en PME impose certaines contraintes. Ainsi, si le chef de projet en PME dispose potentiellement d'un grand nombre

d'outils de conception différents, il n'en est pas de même des ressources humaines. En effet, comme nous avons pu le constater notamment au cours de notre enquête, le concepteur en PME joue fréquemment plusieurs rôles dans la conception du produit. C'est pourquoi il est important, avant de définir les caractéristiques du futur produit, de déterminer tout d'abord les caractéristiques de l'entreprise afin de vérifier la cohérence entre ce que la PME peut faire et ce qu'elle veut faire. Ce problème se pose particulièrement dans le cas de PME dites traditionnelles qui ont peu de connaissances en innovation de produits. Représentée sous forme d'un actigramme SADT de niveau 1 (cf. Figure 2), la démarche que nous avons retenue pour la conception d'un processus d'innovation en PME se compose donc de quatre phases distinctes :

- **la caractérisation de la PME** qui désire se lancer dans un projet innovant, c'est-à-dire sa connaissance du processus de conception, les différentes disciplines de la conception qu'elle maîtrise, en bref, ce qu'elle sait faire en matière d'innovation ;
- **l'identification du besoin** émis par le client : s'agit-il d'une conception ou d'une reconception ; quels sont les objectifs prioritaires : le coût, la fiabilité du produit...
- **la constitution d'une équipe projet** à partir des acteurs métier déjà présents dans la PME, des besoins exprimés par le client et éventuellement avec l'intégration de nouvelles disciplines de la conception dans le processus innovant ;
- **la définition d'un processus d'innovation** adapté à la PME et au produit à concevoir, en affectant aux différentes étapes du processus innovant un panel d'outils de conception limité mais adéquat.

4.1 Première phase : la caractérisation de la PME

Cette première étape dans la définition d'un outil pour faciliter l'usage des méthodes et des outils de conception existants consiste à observer et à décrire la PME quant à son comportement en matière d'innovation. Avant toute chose, il faut déterminer des critères permettant d'établir une fiche d'identité de la PME. Le critère principal qui nous intéresse ici est le savoir-faire de l'entreprise en innovation. Ainsi, dans une entreprise, il est possible de trouver plusieurs acteurs métier spécialistes des disciplines suivantes :

Ventes/Marketing	<input type="checkbox"/> Achats
Bureau d'études	<input type="checkbox"/> Design
Recherche & Développement	<input type="checkbox"/> Ergonomie
Bureau des méthodes	<input type="checkbox"/> Qualité
Production/Fabrication	<input type="checkbox"/> Environnement
Service après vente	<input type="checkbox"/> Maintenance
Veille technologique	<input type="checkbox"/> Sécurité de fonctionnement ...

Selon la présence et le nombre de spécialistes qui se trouvent dans la PME, celle-ci possède une certaine connaissance dans chacun de ces domaines. Mercier définit ces connaissances

comme un Niveau de Savoir-Faire en Innovation (NSFI). Ce concept générique de NSFI (Mercier, 1997) « recouvre les notions d'expérience, de constitution de référentiel, d'organisation, d'aptitude à formaliser les connaissances et les compétences internes en outils ré-exploitable, de la capacité de l'entreprise à s'ouvrir sur son environnement pris en tant que fournisseur d'informations et de compétences externes, de son aptitude à sous-traiter une partie des travaux, de sa connaissance des aides à l'innovation et de son intégration au réseau de diffusion technologique ».

Nous décomposons ce niveau de savoir-faire en innovation selon les critères qui caractérisent un produit industriel. Le choix de ces critères, qui sont au nombre de six, s'est effectué à partir de recherches bibliographiques. On retrouve : la performance technologique, la fiabilité, le design, l'ergonomie, le coût, l'aspect normatif. Chacun de ces six critères possède quatre niveaux de connaissance :

Niveau 0 : La PME n'a aucune connaissance de la discipline concernée. Même si cette discipline est éventuellement connue de la PME, celle-ci ne possède pas de spécialiste de cette discipline, n'a jamais fait sous-traiter aucune étude concernant cette discipline, et n'a jamais pris en compte, même qualitativement, cet aspect dans le développement de ses produits.

Niveau 1 : La PME possède des connaissances de base dans la discipline concernée. Ceci signifie que la PME, même si elle ne dispose pas d'un spécialiste de la discipline dans ses effectifs, a déjà fait appel à des intervenants extérieurs relevant de cette discipline dans des études précédentes et prend en compte cet aspect dans le développement d'un nouveau produit.

Niveau 2 : La PME possède une bonne connaissance et une bonne expérience dans la discipline concernée. Elle dispose au sein de son effectif d'une personne compétente et formée à cette discipline. Cette personne, qui peut éventuellement intervenir dans d'autres domaines de compétence au cours du développement d'un produit, travaille cependant de façon régulière et constante dans le cadre de cette discipline et cet aspect du produit développé prend une grande importance dans les spécifications du cahier des charges. Malgré la bonne intégration de la discipline dans le processus de conception de la PME, celle-ci fait néanmoins appel à des intervenants extérieurs lorsque l'étude exige des connaissances pointues et des moyens techniques plus spécifiques.

Niveau 3 : La PME maîtrise parfaitement la discipline et possède de plus une grande expérience dans le domaine. Elle comprend dans ses effectifs une ou plusieurs personnes formées et travaillant à temps complet dans cette discipline. Elle est

capable de fournir une réponse experte dans ce domaine et l'impact de cette discipline sur les produits conçus est « mesurable ».

Pour chaque discipline de la conception, il est donc possible d'évaluer le niveau de savoir-faire de la PME. Le directeur du projet, à l'aide de la « technique des juges » (Degrange, 1993), peut donc caractériser la PME selon ces six aspects. Grâce à cette caractérisation, il peut représenter le savoir-faire en innovation de sa PME sous la forme d'un graphe radar des Niveaux de Savoir-Faire (cf. figure 4).

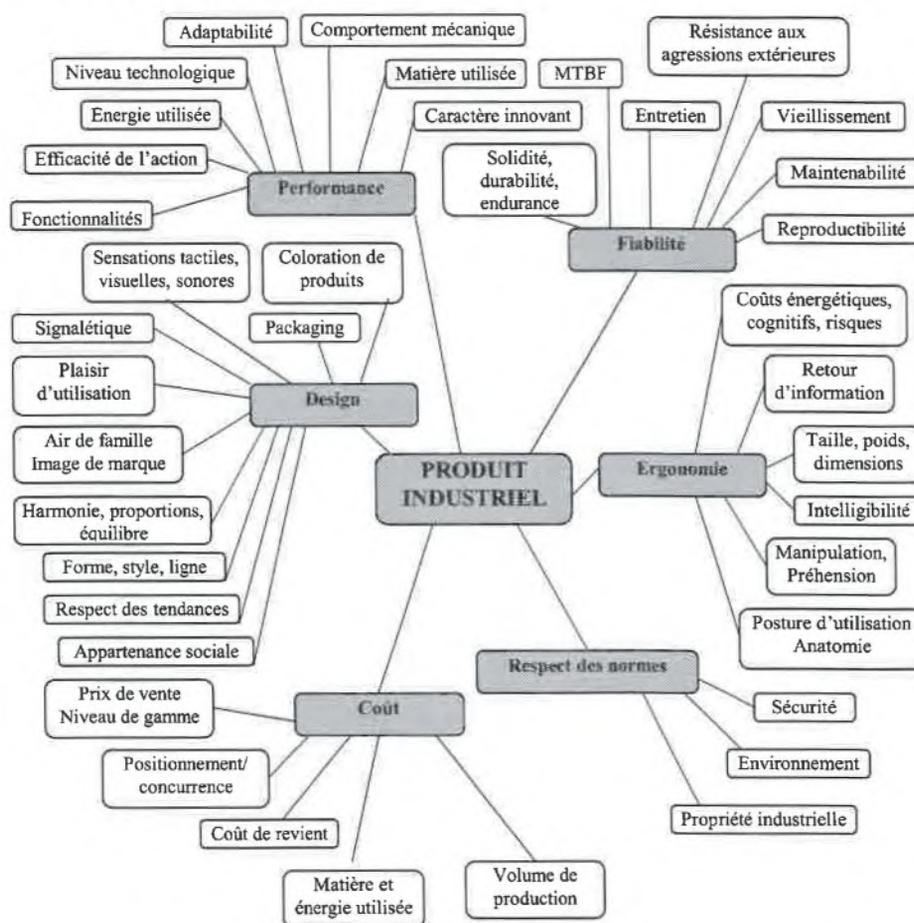


Figure 3 : Schéma heuristique d'un produit industriel.

4.2 Deuxième phase : l'identification du besoin

Après avoir caractérisé la PME, il est maintenant nécessaire d'identifier le besoin afin de comprendre le plus précisément possible les désirs du client. Cette phase, qui est antérieure à la définition fonctionnelle du produit, ne tend en aucun cas à remplacer celle-ci. Elle peut tout au plus servir d'ébauche à son élaboration. En fait, l'identification du besoin sert à guider le chef de projet en PME dans la constitution de son équipe projet et dans la définition de son processus d'innovation. Le produit peut lui aussi être caractérisé par les six aspects définis précédemment :

performance, fiabilité, design, ergonomie, coût, respect des normes. Ces six aspects d'un produit industriel regroupent chacun des notions différentes de ce que l'utilisateur attend du produit. Il est ainsi possible d'établir un schéma heuristique du produit industriel (cf. figure 3).

Chacun des six aspects du produit peut au même titre être caractérisé par un niveau de connaissances requises. Il est ainsi possible de définir quatre niveaux pour chacun des critères caractérisant un produit. Le chef de projet en PME, toujours à l'aide de la « technique des juges », peut ainsi caractériser les six critères selon le niveau de savoir-faire requis pour développer le produit. Il peut ainsi représenter le niveau de savoir-faire requis pour la conception du produit sous la forme d'un graphe radar des niveaux de savoir-faire requis.

4.3 Troisième étape : la constitution de l'équipe projet

Une fois la PME caractérisée et le besoin identifié, le chef de projet innovant en PME doit constituer son équipe projet. Pour cela, il dispose des deux graphes radar établis précédemment : le graphe radar des niveaux de savoir-faire présents dans la PME et le graphe radar des niveaux de savoir-faire requis pour développer le nouveau produit. Il peut ainsi, grâce au graphe radar des « niveaux de savoir-faire », mesurer pour chaque critère l'écart entre ce que la PME peut concevoir et ce qu'elle veut concevoir (cf. figure 4). Le chef de projet peut alors définir son équipe projet selon les compétences présentes dans son entreprise et celles qui sont apparues nécessaires par l'analyse des graphes radar des niveaux de savoir-faire. Nous voyons donc ici que l'analyse des graphes de niveaux de savoir-faire apporte des informations utiles pour la constitution de l'équipe projet. Cependant, le choix de l'équipe projet définitive reste du ressort du décideur. Ces graphes radar ne sont donc que des outils d'aide à la décision. Pratiquement, on peut en tirer quelques règles générales à respecter :

- un haut niveau de performance technologique (niveaux 2 ou 3) nécessite la présence dans la PME d'une personne spécialiste de(s) la technologie(s) utilisée(s) par le produit et d'une personne chargée de la veille technologique (le spécialiste de la technologie pouvant, selon les effectifs disponibles, s'occuper de la veille technologique dans son secteur) ;
- un haut niveau de fiabilité (niveaux 2 ou 3) nécessite la présence dans la PME d'une personne formée aux divers outils existants (analyse fonctionnelle, AMDEC...) ;
- un haut niveau de design/d'ergonomie (niveaux 2 ou 3) nécessite la présence dans la PME d'une personne formée au design /à l'ergonomie ;
- un haut niveau de coût (niveaux 2 ou 3) nécessite la présence dans la PME d'une personne formée aux divers outils existants (analyse de la valeur, analyse fonctionnelle interne...) ainsi qu'une forte implication du responsable des achats et des fournisseurs ;

- un haut niveau de normes (niveaux 2 ou 3) nécessite la présence dans l'équipe projet d'une personne chargée de la veille normative (plus éventuellement des problèmes de propriété industrielle).

D'autre part, l'innovation de produits est souvent une activité qui conditionne le futur de la PME. Par conséquent, l'enrichissement de son processus de conception doit se faire de façon progressive, en intégrant les différentes disciplines de la conception au fur et à mesure des projets et en restant en cohérence avec les ressources (surtout financières) de la PME. Ainsi, il est préférable pour une PME n'ayant pas beaucoup d'expérience en innovation de ne pas intégrer plus d'une discipline par projet.

Cela signifie pratiquement que si sur un projet, deux des six critères des graphes de niveau de savoir-faire nécessitent un saut de plus d'un niveau pour la PME, le décideur doit être conscient des risques qui pèsent sur le projet : l'intégration de deux disciplines de la conception au cours d'un même projet est un exercice périlleux surtout pour une PME.

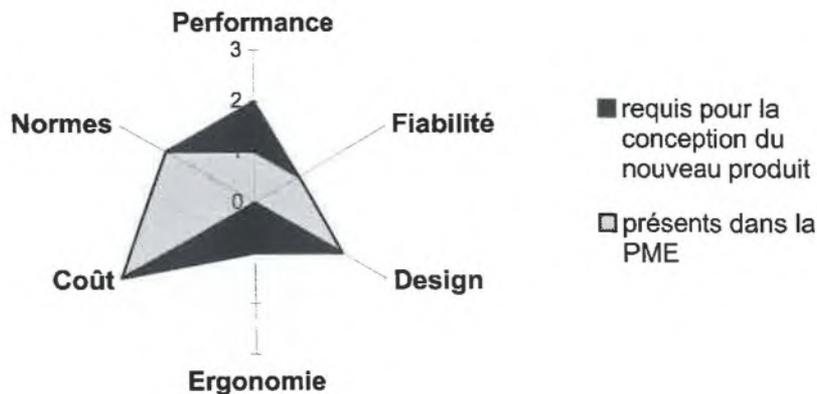


Figure 4 : Exemples de graphe de niveaux de savoir-faire.

4.4 Quatrième étape : le choix d'une démarche globale de conception

Cette quatrième étape a pour objectif d'aider le chef de projet à choisir, à partir des trois étapes précédentes, la démarche de conception la plus judicieuse et les outils de conception les plus adaptés à chacune des étapes de la conception du produit. Pour ce faire, nous exploitons un des outils les plus efficaces et les plus connus du milieu industriel pour formaliser un processus de conception : le SADT. Nous effectuons ainsi la décomposition SADT d'une démarche générique de conception, du niveau 0 jusqu'au troisième niveau (pour certaines des tâches). Cette décomposition SADT a plusieurs objectifs : (1) représenter la démarche actuelle et faire apparaître les outils et les disciplines pouvant intervenir à chacune des phases du processus de

conception, (2) être un outil de dialogue entre les différentes disciplines de la conception, (3) visualiser les ressources humaines, technologiques et méthodologiques associées à chaque opération, (4) offrir la possibilité d'un développement informatique d'une aide à l'application des méthodes et des outils de conception. La décomposition SADT du processus de conception nous permet d'établir une liste des tâches à effectuer pour concevoir un produit. Nous présentons cette liste dans le tableau 1.

Certaines de ces tâches constituent des passages obligés pour la conception d'un produit industriel quel qu'il soit. Ces étapes apparaissent grisées dans le tableau 1 (Expression et validation du besoin, rédaction du CdC fonctionnel, du CdC Concepteur, choix des concepts, rédaction des dossiers produit et fabrication, réalisation du process de fabrication). Par contre, l'importance des autres étapes dépend du type de produit à concevoir, c'est-à-dire du score obtenu par le produit sur les six branches du graphe radar. D'autre part, la pertinence de ces étapes dépend aussi du type de conception : s'agit-il pour la PME d'une conception ou d'une reconception de produits ou de gammes existantes ? En effet, dans le cas d'une reconception, il n'est pas toujours utile d'effectuer des tâches qui ont déjà été réalisées lors de la première conception et qui ne seront que partiellement modifiées au cours de la reconception. Par conséquent, nous développons deux outils différents : un outil applicable pour une conception de produit et un outil applicable pour une reconception de produits.

Référence de la tâche dans la décomposition SADT	Intitulé de la tâche
1.1.1	Exprimer le besoin
1.1.2	Etude de marché
1.1.3	Pré-diagnostic ergonomique
1.1.4	Valider le besoin
1.1.5	Etude de la perception du consommateur
1.1.6	Etude du comportement des utilisateurs
1.1.7	Recherche d'informations (brevets, normes)
1.1.8	Elaboration du CdC Fonctionnel
1.2.1	Veille anthropocentrée et technologique
1.2.2	Recherche de concepts d'usage
1.2.3	Proposition de concepts d'usage
1.2.4	Recherche de concepts de technologie
1.2.5	Proposition de concepts de technologie
1.2.6	Choix et orientations
1.2.7	Validation des concepts
1.2.8	Rédaction du CdC Concepteur
1.3.1	Recherche/Proposition d'architectures
1.3.2.1	Etude prévisionnelle de fiabilité
1.3.2.2	Calcul de coût et investissement
1.3.2.3	Validation technico-financière
1.3.2.4	Rédaction du dossier de fabrication
1.3.2.5	Rédaction du dossier produit
1.4.1	Réalisation du prototype
1.4.2	Validation du prototype
1.4.3	Réalisation du process (outil de production)
1.4.4	Réalisation de prototypes industriels

Tableau 1 : Liste des tâches de la décomposition SADT du processus de conception.

Afin d'établir un graphe de pertinence des tâches, il faut préalablement définir la pertinence de chaque tâche pour chacun des six aspects du produit à concevoir. Une fois cette table de pertinence par tâche et par aspect établie, il devient alors possible de connaître la pertinence d'une tâche de la décomposition SADT pour un type de produit et un type de PME donnés. Pour le calcul de cette pertinence, un certain nombre de paramètres doivent être définis :

- soit i un aspect du produit industriel (nous en avons fait apparaître 6) ;
- soit j une tâche de la décomposition SADT du processus de conception (nous en avons présenté 18 dans le tableau 1).

Pour un aspect i du produit, nous définissons préalablement :

- un niveau de savoir-faire requis pour développer le produit : nous l'appellerons $NSFR_i$;
- un niveau de savoir-faire présent dans la PME : nous l'appellerons $NSFP_i$.

Enfin, pour un aspect i du produit et pour une tâche j de la décomposition SADT, nous définissons une pertinence que nous nommons P_{ij} . A partir de ces paramètres, il est possible de calculer la pertinence d'une tâche j pour l'ensemble des aspects du produit. Nous nommons cette pertinence P_j exprimée en pourcentage (cf figure 5).

$$P_j = \frac{100 * \sum_{i=1}^6 P_{ij} * (2 * NSFR_i - NSFP_i)}{\sum_{j=1}^{18} \sum_{i=1}^6 P_{ij} * (2 * NSFR_i - NSFP_i)} \quad \text{et} \quad P_j = \frac{100 * \sum_{i=1}^6 P_{ij} * (NSFR_i - NSFP_i)}{\sum_{j=1}^{18} \sum_{i=1}^6 P_{ij} * (NSFR_i - NSFP_i)}$$

Figure 5 : Formule dans le cas d'une conception de produit (à gauche) et d'une reconception (à droite).

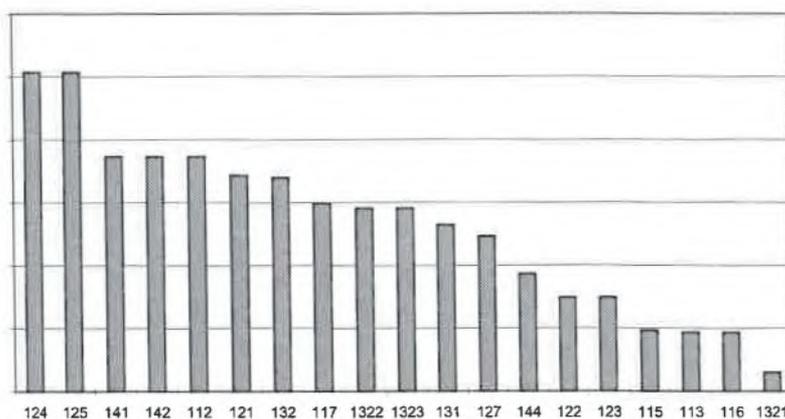


Figure 6 : Exemple de graphe de pertinence des tâches.

Une fois la pertinence de toutes les tâches de la décomposition SADT calculée et une fois que ces pertinences ont été classées en ordre décroissant, il est possible alors d'établir un graphe de pertinence des tâches (cf. Figure 6).

5. Conclusions

Dans cet article, nous avons présenté une démarche d'aide à l'innovation destinée aux PME. L'objectif principal de cette démarche est de faciliter l'utilisation des méthodes et des outils de conception existants. Elle comporte quatre phases : (1) la caractérisation de la PME par l'établissement du graphe radar des niveaux de savoir-faire présents dans l'entreprise, (2) l'identification du besoin par l'établissement du graphe radar des niveaux de savoir-faire requis pour la conception du produit, (3) la constitution de l'équipe projet par la comparaison des deux graphes radar établis précédemment, (4) la définition d'un processus d'innovation adapté aux spécifications du produit et aux ressources de la PME par la décomposition sous forme de SADT du processus de conception et par l'établissement du graphe de pertinence des tâches. La recherche du Juste Nécessaire Méthodologique appliqué aux PME nous a amenés à analyser tout d'abord l'environnement des projets innovants en petites et moyennes entreprises, du point de vue des ressources humaines, méthodologiques, financières, temporelles et technologiques. La démarche proposée dans cet article a pour but d'une part de mettre en adéquation les caractéristiques du produit à développer et les ressources humaines disponibles dans l'entreprise, d'autre part de guider le chef de projet tout au long du processus de conception en préconisant l'utilisation des outils les plus appropriés au type de produit à concevoir.

Nos travaux s'inscrivant dans le cadre d'une modélisation du processus innovant en PME, il est important et nécessaire de les valider en les expérimentant sur des projets industriels. Considérant la multitude et l'hétérogénéité des paramètres pouvant avoir une influence sur « l'innovativité » d'une PME (la personnalité du chef d'entreprise par exemple), nous pouvons d'ores et déjà affirmer que l'approche proposée nécessite d'être complétée (augmenter le nombre de critères, détailler la décomposition SADT, ajuster les coefficients dans les équations...). Il faudra donc affiner cette démarche, en gardant à l'esprit l'avertissement de Quarante qui affirme qu'il « convient de garder une grande souplesse et un certain recul vis-à-vis du choix et de l'utilisation de chaque méthode et de retenir que chaque projet est en fait un cas méthodologique particulier à découvrir » (Quarante, 1994).

Toutefois, notre position vis-à-vis de la recherche nationale et internationale présente un aspect particulier : nos travaux de recherche ont pour objectif d'intégrer les disciplines émergentes de la conception, tout en conservant une opérationnalité à la démarche globale de conception alors que les travaux généralement rencontrés dans nos recherches bibliographiques impliquent pour l'entreprise un niveau de ressources important, que ce soit au niveau technologique, humain, financier, temporel ou méthodologique. De ce fait, toutes ces méthodes

et tous ces outils de conception sont mis en place et utilisés essentiellement dans le cadre des services de R&D de grandes entreprises. Très peu de ces méthodes et de ces outils ont été conçus pour l'innovation dans les PME, et bien peu lui sont adaptables, ce qui confère une nouvelle particularité à nos travaux puisque la prise en compte des ressources de la PME prend une place primordiale dans les spécifications du cahier des charges fonctionnel du Juste Nécessaire Méthodologique.

6. Références bibliographiques

- AOUSSAT, A., (1990), *La pertinence en innovation : nécessité d'une approche plurielle*, Thèse de doctorat, Génie Industriel, ENSAM Paris
- AOUSSAT, A., (1996), *Contribution à la modélisation du processus de conception de produits industriels*, Rapport de synthèse pour l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches, ENSAM Paris
- ARCHER, L.B., (1984), *Systematic method for designers*, in *Developments in design methodology*, Ed. N. Cross (John Wiley, London), 57-82
- ASME : American Society of Mechanical Engineers (New York), (1986), *Goals and priorities for research in engineering design*
- BEAUFILS, Ph., (1996), *L'analyse de la valeur s'adapte aux PME*, Industrie et Techniques, n°772
- BELTRAN, A., (1990), *Histoire des techniques aux XIX^e et XX^e siècles*, Ed. Armand Colin
- BOCQUET, J-C., (1996), *Product/Manufacture : a systemic approach for simultaneous engineering*, in *Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering*, tome 2
- BOURDICHON, P., (1994), *L'ingénierie simultanée et la gestion d'informations*, Ed. Hermès
- BS 7000, (1990), *Management of design*, (British Standards Institution, London)
- BURLINGAME, L.D., (1904), *The drafting department as a factor in economical shop management*, *Eng. Mag.*, Vol. 27, No 4, 589-604
- CARON, F., (1997), *Les deux révolutions industrielles du XX^e siècle*, collection "L'évolution de l'humanité", Ed. Albin Michel
- CHAUVET, A., (1996), *Le redesign to cost*, Ed. d'Organisation
- CHRISTOFOL, H., (1995), *Modélisation systémique du processus de la coloration des produits - Pertinence d'une approche phénoménologique*, Thèse de doctorat, Génie Industriel, ENSAM Paris
- CRAUET, L., (1995), *Intégration de la sûreté de fonctionnement en conception*, Thèse de doctorat, Génie Industriel, ENSAM Paris
- CROSS, N., (1991), *Engineering design methods*, (John Wiley, London)
- DEGRANGE, M., (1993), *Pratique, Théorie et Technique de la Créativité*, Publication Scientifique et Technique de l'ENSAM n°35
- DUSSOSOY, R., (1992), *Le réseau des conseillers technologiques*, RRCT Conseil régional Provence Alpes - Côte d'Azur, Marseille
- ERTAS, A. and JONES, J.C., (1993), *The engineering design process*, (John Wiley, London), 1993

- EVBUOMWAN, N.F.O., SIVALOGANATHAN, S., JEBB, A., (1996), *A survey of design philosophies, models, methods and systems*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B, Journal of Engineering Manufacture, Vol. 210, No 4, 301-320
- FOULARD, C., (1994), *La modélisation en entreprise CIM-OSA et ingénierie simultanée*, Ed. Hermès
- FRENCH, M.J., (1971), *Conceptual design for engineers*, 1st edition, The Council Design, London
- HUBKA, V., (1992), *Design for quality and design methodology*, Journal of Engineering Design, Vol. 3, No 1, 5-15
- JAGOU, P., (1993), *Concurrent engineering : la maîtrise des coûts, des délais et de la qualité*
- JEANNES, R., (1986), *Méthodologie d'analyse des produits pour leur reconception en vue du montage automatisé*, Thèse de doctorat, ENSAM Paris
- JONES, J.C., THORNLEY, D.G., (1962), *Conference on design methods*, Pergamon Press, London
- KARGER, D. W., (1959), *Integrating the over-all development program, Organizing for Product Development*, Amer. Manage. Assoc. :Manage. Rep., No 31, 109-115
- LE COQ, M., (1992), *Approche intégrative en conception de produits*, Thèse de doctorat, Génie Industriel, ENSAM Paris
- MARPLES, D.L., (1960), *The decisions of engineering design*, The Institution of Engineering Designers, London, 1-16
- MARTINET, B., (1989), *La veille technologique, concurrentielle et commerciale : sources, méthodologie et organisation*, Ed. d'Organisation
- MERCIER, S., (1997), *L'innovation en PME : Prise en compte de la dimension structurelle et structurante des projets*, Thèse de doctorat, Génie Industriel, ENSAM Paris
- MERMET, G., (1997), *Tendances 1998 : les nouveaux consommateurs*, Ed. Larousse
- MIDLER, Ch., (1995), *L'auto qui n'existait pas : management des projets et transformation de l'entreprise*, Ed. Interéditions
- MILLET, D. & TIGER, H., (1998), *Intégration de l'environnement : construire de nouveaux savoirs et de nouveaux systèmes d'action*, Edition Hermès, Ouvrage Primeca
- Ministère de l'Industrie, (1995), *L'innovation technologiques*, Les chiffres clés
- PAHL, G. and BEITZ, W., (1996), *Engineering design : a systematic approach*, Ed. Springer, 2^{ème} édition, 1996
- PUGH, S., (1990), *Total design-integrated methods for successful product engineering*, 1st edition, (Addison-Wesley, England)
- PURDY, C. A., (1947), *Process research, Cutting Tomorrow's Costs*, Amer. Manage. Assoc. :Production Series, No 168, 36-51
- QUARANTE, D., (1994), *Eléments de design industriel*, Ed. Polytechnica
- RAGATZ, G.L., HANDFIELD, R.B., SCANNELL, Th. V., (1997), *Success factors for integrating suppliers into New Product Development*, Journal of Product Innovation Management, Vol. 14, No 3
- RAUSTENTRAUCH, W., (1941), *The Design of Manufacturing Enterprises*, New York : Pitman

- ROUSSEL, B., (1996), *Ergonomie en conception de produits : proposition d'une méthode centrée sur la formulation de principes de solutions au sein d'une démarche interdisciplinaire de conception de produits*, Thèse de doctorat, Génie Industriel, ENSAM Paris
- SESSI, (1998), *les 4 pages, Service des statistiques industrielles du Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, Secrétariat à l'industrie, n°89*
- SINGH, K.J.& LEWIS, J.W., (1997), *Concurrent Engineering : institution, infrastructure and implementation*, International Journal of Technology Management, Vol. 14, No 6/7/8
- SKALAK, C. S.& KEMSER, H.-P., TER-MINASSIAN, N., (1997), *Defining a Product Development Methodology with Concurrent Engineering for Small Manufacturing Companies*, in Journal of Engineering Design, Vol. 8, No. 4
- SMITH, R.P., (1997), *The Historical Roots of Concurrent Engineering Fundamentals*, in IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 44, No. 1
- SOUDER, W.E., BUISSON, D., GARRETT, T., (1997), *Success through customer-driven NPD : a comparison of US and New Zealand Small Entrepreneurial High Tech Firms*, Journal of Product Innovation Management, Vol. 14, No 6
- VADCARD, P., (1996), *Aide à la programmation de l'utilisation des outils en conception de produits*, Thèse de doctorat, ENSAM Paris, Génie Industriel
- VDI-Verlag, (1987), *VDI Design Handbook 2221 :Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products*, Dusseldorf, VDI-Verlag
- WATTS, R.D., (1966), *The elements of design*, in *The design method*, Ed. S.A. Gregory (Butterworth, London), 85-95