



Intégration de méthodes sur un processus industriel de conception mécanique

Carmen Martin, François Pérès

► To cite this version:

Carmen Martin, François Pérès. Intégration de méthodes sur un processus industriel de conception mécanique. Mécanique et Industries, 2002, 3, pp.583-591. <10.1016/S1296-2139(02)01203-4>. <hal-03619937>

HAL Id: hal-03619937

<https://hal.science/hal-03619937v1>

Submitted on 25 Mar 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization



Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/28036>

Official URL: [https://doi.org/10.1016/S1296-2139\(02\)01203-4](https://doi.org/10.1016/S1296-2139(02)01203-4)

To cite this version:

Martin, Carmen  and Pérès, François  *Intégration de méthodes sur un processus industriel de conception mécanique*. (2002) *Mécanique & Industries*, 3. 583-591. ISSN 1296-2139

Any correspondence concerning this service should be sent
to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

Intégration de méthodes sur un processus industriel de conception mécanique

Integration of methods into an industrial mechanical design process

Carmen Martin ^{a,b}, François Pérès ^{b,*}

^a EDF, division recherche et développement, 1, avenue du Général de Gaulle, 92141 Clamart cedex, France

^b École Centrale Paris, laboratoire productique logistique, Grande Voie des Vignes, 92295 Châtenay-Malabry cedex, France

Résumé

Le travail présenté dans cet article concerne la définition d'un processus de conception mécanique construit à partir de l'intégration de méthodes industrielles à usage du concepteur mécanicien. Le papier est divisé en quatre parties. Nous positionnons dans une première partie notre travail à travers un parcours bibliographique. Nous considérons le processus de conception mécanique dont nous décrivons les différentes formes de représentation. Les méthodes de conception sont ensuite abordées sous l'angle de leur mode de classification. Nous discutons en deuxième partie des principes de détermination d'un processus de conception mécanique spécifique. Nous montrons en particulier qu'une décomposition fine d'un processus peut conduire à un fléchage naturel des méthodes vers certaines phases élémentaires. Nous mettons en évidence l'existence de méthodes directement liées au processus de conception mécanique et d'autres indirectement associées par le biais d'autres supports méthodologiques avec lesquels elles communiquent. Nous étudions dans le cadre de la troisième partie les formes d'appel des méthodes directes par le processus de conception. Dans la dernière partie une application est faite sur la base d'un portefeuille de méthodes de conception classiquement utilisées en milieu industriel.

The work presented in this paper deals with the definition of a mechanical design process built from the integration of industrial methods used by mechanical designers. The paper is divided into four parts. We first position our work through a bibliographical analysis. The mechanical design process is considered and we describe its various forms of representation. Design methods are then approached under the point of view of their mode of classification. We discuss in the second part about the principles of determination of a specific mechanical design process. We show in particular that a fine decomposition of a process can lead to a natural positioning of the methods towards certain elementary phases. We highlight the existence of methods directly related to the mechanical design process and other methods indirectly associated with it by the means of methodological supports they communicate with. Within the framework of the third part, we study the way the design process call direct methods. In the last part an application is made on the basis of a group of design methods classically used in industrial fields.

Mots-clés Processus industriel ; Conception mécanique ; Méthodes de conception ; Définition ; Intégration ; Décomposition

Keywords Industrial process; Mechanical design; Design methods; Definition; Integration; Decomposition

* Correspondance et tirés à part.

Adresses e-mail : carmen.martin@edf.fr (C. Martin), peres@pl.ecp.fr (F. Pérès).

Nomenclature

AFE	analyse fonctionnelle externe	DFX	design for X
AFI	analyse fonctionnelle interne	MAG	méthodes d'application globale
AMC	analyse multicritère	MAL	méthodes d'application locale
AMDEC	analyse de modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité	PdC	processus de conception
AV	analyse de la valeur	PdCm	processus de conception minimaliste
BMG	brainstorming	PEX	plans d'expérience
BMK	benchmarking	Q.F.D.	quality function deployment
CAO	conception assistée par ordinateur	SDF	sûreté de fonctionnement
CEX	capitalisation d'expériences	SLI	soutien logistique intégré
DFA	design for assembly	VTCC	veille technologique concurrentielle et commerciale
DFM	design for manufacturing		

0. Introduction

Aujourd'hui plus que jamais, le besoin de compétitivité impose de concevoir plus rapidement, mieux et moins cher que les concurrents pour pénétrer un marché de plus en plus dense et complexe. Une des réponses possibles pour satisfaire cet impérative nécessité est l'utilisation de nouveaux outils récemment développés ou en cours de développement destinés à supporter le processus de création d'un produit manufacturier.

La richesse et l'efficacité des recherches en mécanique a permis de mettre au point un grand nombre d'outils utiles au concepteur pour appréhender les différentes phases de son projet. La question n'est donc plus maintenant de savoir si les outils existent mais concerne plutôt la bonne utilisation de ceux-ci. Dans ce cadre, d'autres interrogations apparaissent : les outils de conception s'inscrivent-ils dans des îlots isolés ou au contraire existe-t-il des liens logiques permettant de les enchaîner ? Cet enchaînement s'il s'avère possible peut-il être généralisé et optimisé en gardant une cohérence d'ensemble du processus de conception ? C'est à cette interrogation que nous tentons de répondre dans cet article.

Nous abordons, dans un premier temps, la caractérisation du processus de conception mécanique. Nous montrons les différentes formes de représentation recensées dans la littérature scientifique et nous proposons un méta-modèle basé sur une approche hybride « Bottom Up & Top Down ». Dans une deuxième partie, nous proposons un double classement des méthodes de conception mécanique. Finalement, nous discutons en troisième partie des principes de détermination d'un processus de conception mécanique spécifique. Nous montrons en particulier qu'une décomposition fine d'un processus peut conduire à un fléchage naturel des méthodes vers certaines phases élémentaires. Nous mettons en évidence l'existence de méthodes directement liées au processus de conception et d'autres indirectement associées par le biais d'autres supports méthodologiques avec lesquels elles communiquent.

1. Processus et méthodes de conception mécanique : état de l'art

L'approche bibliographique de la problématique sur laquelle nous allons focaliser notre attention permet de dissocier les différentes formes de classification des méthodes de conception mécanique et les modes de représentation du processus associé.

1.1. Méthodes

Beaucoup de travaux ont abordé les méthodes et outils de conception selon des approches individuelles. D'autres recherches ont été menées pour circonscrire le domaine couvert par les méthodes et outils. La quantité pléthorique des supports méthodologiques développés, constatée en particulier dans [1,2], requiert effectivement d'opérer des regroupements en familles. Une première classification est celle de Garro et Martin [3] qui distingue trois groupes : le groupe des outils et méthodes utilisés pour enrichir la conception, le groupe des outils de validation de résultats et le groupe des outils de représentation. Un autre regroupement intéressant est celui de Vardcard [4] qui recense des outils de conception en se limitant à ceux ayant un caractère opérant (outils ayant une valeur ajoutée en terme de transformation d'information) ou multidisciplinaire (outils non spécifiques à un métier donné). Une dernière approche est celle de Quarante [5] qui regroupe les outils et méthodes de conception en six familles (créativité et de recherche d'idée, aide à la décision, calcul de coût et de rapport qualité/coût, définition de la solution et matérialisation de la conception).

1.2. Représentation du processus de conception mécanique

Les modèles de processus de conception basés sur une approche par décomposition sont nombreux. Le lecteur peut se référer à [4] pour un recensement des principaux travaux dans le domaine. Pahl et Beitz [6] proposent un modèle composé de quatre phases (délimitation des contours

du problème et des objectifs visés, approche fonctionnelle et recherche d'alternatives de conception associées, choix des formes et dimensionnement des solutions techniques retenues, définition précise de chaque composant pour passage à l'industrialisation). Parmi les autres modèles de décomposition du PdC, nous citons tout d'abord le modèle d'Ertas et Jones [7] qui intègre trois notions absentes du modèle précédent (identification des attentes du consommateur du futur produit, analyse de l'opportunité du projet et validation). La plupart des autres travaux ayant considéré l'approche de la décomposition reprennent à leur compte, mais sous un vocable souvent spécifique à leur étude, l'ensemble des éléments évoqués dans les modèles de Pahl et Beitz ou Ertas et Jones. Nous ne mentionnerons pas toutes les formes de décomposition proposées dans la littérature. Nous conseillons la lecture des références suivantes : [8–16] pour une consultation des différentes désignations adoptées.

Un grand nombre de travaux ont considéré le processus comme le lieu d'intégration d'un ensemble d'éléments. Nous ne les présentons pas dans le cadre de cet article, nous renvoyons à [17] pour cela. Il est toutefois intéressant de noter l'existence de références abordant le processus sous l'angle de l'intégration de contraintes (internes à l'entreprise ou relatives à la phase d'utilisation), de la propagation dynamique de ces contraintes et de l'intégration de la connaissance.

Finalement d'autres approches plus marginales ont abordé la représentation du processus de conception mécanique en établissant une analogie avec le processus de production mécanique [18] ou en considérant le processus comme un bouclage sur un cycle élémentaire itératif [19–21].

2. Proposition d'un metamodelle du processus de conception

Nous traitons dans un premier temps des typologies des méthodes de conception mécanique et de leur classification, afin d'avoir un spectre suffisamment représentatif des méthodes en vue de leur intégration dans le processus de conception mécanique. Dans un deuxième temps, nous proposons une vue standard du processus susceptible d'être instancié par le choix de méthodes spécifiques.

2.1. Typologie 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 solutions. . .). Une deuxième forme de regroupement conduit à séparer les méthodes en fonction de leur positionnement sur le processus de conception (notions de méthodes locales ou globales). 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.

2.1.1. Proposition de classes par rapport à la finalité des méthodes

L'ensemble des méthodes de conception de produits manufacturiers 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 mécanique.
- *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 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 des 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 en conception mécanique, des délais qui lui sont impartis et des coûts qu'elle engendre.

2.1.2. Classification par rapport au positionnement sur le PdC

Un deuxième mode de classification consiste à dissocier :

- *Les méthodes d'application globale (M.A.G.)* : elles concernent l'ensemble des phases du processus de conception. Elles sont parfois qualifiées de démarches transversales.
- *Les méthodes d'application locale (M.A.L.)* : elles sont plus spécifiques à une phase. Elles peuvent toutefois apparaître sur plusieurs d'entre elles mais toujours de façon indépendante.

On notera qu'une méthode d'application globale peut faire appel à des méthodes d'application locale dans le cadre de sa mise en œuvre.

2.1.3. Classification par rapport à l'objet d'application

Le dernier mode de classement des méthodes de conception permet d'opérer une distinction entre :

- *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 par conséquent des méthodes attachées à la résolution d'un problème de fond : la conception du produit, assurée en terme de résultat final sans considération des chemins qui ont permis d'y accéder. Par essence, ces méthodes manipulent des données spé-

cifiques à un produit puisqu'elles concourent à sa définition.

- *Méthodes appliquées au PdC pour améliorer le PdC* : ces méthodes sont directement liées à la définition du processus de conception qu'elles contribuent à améliorer en terme de qualité (complétude de l'information, rigueur dans le traitement...) et de réactivité. Ce sont par conséquent des méthodes attachées à la définition de la forme du processus de conception et à l'organisation de son déroulement. Ces méthodes ne sont pas spécifiques à un produit. Elles utilisent des données génériques issues de l'observation du processus.
- *Méthodes appliquées au PdC 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.

2.2. Processus de conception minimaliste et processus de conception enrichi

2.2.1. Définition

Il est important de démontrer que le processus de conception peut être représenté, comme pourrait l'être une automobile par exemple, sous la forme d'une architecture comprenant une structure de base à laquelle on intègre des éléments d'habillage. Cette structure de base, incontournable, nous la qualifions de *processus de conception minimaliste* (PdCm). Elle est issue d'une approche « top down » mettant en évidence des phases utiles à tout projet de conception. Les phases du PdCm sont :

- *Évaluation de l'opportunité d'un projet* : c'est le point de départ du processus de conception. Il s'agit ici de vérifier qu'il sera rentable (économiquement, techniquement, humainement). Les entrées de la phase impliquent la connaissance de données internes à l'entreprise (stratégie, culture, image, savoir-faire, moyens, résultats de R&D), la connaissance de données externes à l'entreprise (marché, clients, besoins...) et la définition encore approximative de l'objet résultat du projet de conception. En sortie de phase on décide de mener à bien le projet ou au contraire de l'abandonner.
- *Formalisation du concept* : esquisse sous des traits grossiers et non définitifs des contours du concept caractérisant l'idée innovante. Les données d'entrée de cette phase proviennent de la phase précédente qui a permis de dégager après deux analyses synthétiques (l'une interne à la structure industrielle, l'autre externe à l'entreprise), les éléments caractéristiques devant permettre au concept d'être rentable. La mise en forme et l'assemblage des caractéristiques majeures du produit à concevoir doivent être matérialisées sous l'apparence d'une entité (virtuelle, schématique, physique...) qui sera utilisée pour définir la perception du concept.

- *Analyse du marché* : il s'agit dans cette phase de juger de l'aptitude du concept à pénétrer le marché et de discerner les créneaux plus particulièrement porteurs. Le concepteur devra être en mesure de repérer les parts de marché encore non utilisées ou celles potentiellement gagnables. A ces fins, il devra se renseigner sur les caractéristiques des produits avec lesquels son concept entre en compétition et identifier les attentes du consommateur encore non satisfaites. Ces besoins non assouvis constitueront autant de brèches dans lesquelles le concepteur pourra s'engouffrer à condition d'être réellement novateur dans les améliorations qu'il propose.
- *Spécification du produit* : détermination des fonctionnalités du produit afin de lui permettre une adaptation optimale à son environnement. Le produit sera analysé comme un système complet puis composant par composant afin d'intégrer au niveau global ou élémentaire à la fois les besoins du consommateur mais aussi les exigences de l'ensemble des acteurs, partie prenante dans le déroulement de son cycle de vie.
- *Définition du produit* : définition des choix de conception autorisant le respect des contraintes imposées et la satisfaction des fonctions attendues. Cette phase revient à traduire en solutions techniques les spécifications précédemment établies. Cet exercice de traduction pourra s'appuyer sur le développement de solutions élémentaires innovantes ou l'association d'éléments existants voire standards. Plusieurs solutions étant envisageables, il faudra alors procéder à une évaluation pour ne retenir que la solution optimale au regard des critères de préférence.
- *Validation du produit* : estimation du degré réel d'adaptation (et non plus d'un seul point de vue théorique) du produit au contexte dans lequel il va évoluer. Cette évaluation pourra s'opérer par une mise en situation proche de la réalité voire une insertion effective du produit dans son cadre normal de réalisation, d'exploitation ou d'entretien. La mise en situation ne pourra se faire que dans la mesure où il existe une concrétisation de la définition (physique ou virtuelle). On utilisera par conséquent à ce niveau, des techniques de matérialisation du résultat de la définition sous une forme propice à l'évaluation par l'ensemble des personnes concernées.

L'habillage du PdCm est fonction du concepteur qui devra sélectionner les éléments venant compléter ce schéma de base. Ce complément du PdCm donnera naissance à un processus que nous utiliserons sous l'appellation de *Processus de Conception enrichi* (PdCe).

L'enrichissement du PdCm se fera selon deux modes :

- Un mode consistant à intégrer au sein de chaque phase du PdCm les étapes réellement utiles au concepteur dans son activité spécifique de conception. Cette enrichissement peut se faire en particulier par la connaissance par l'entreprise de certaines « méthodes d'application

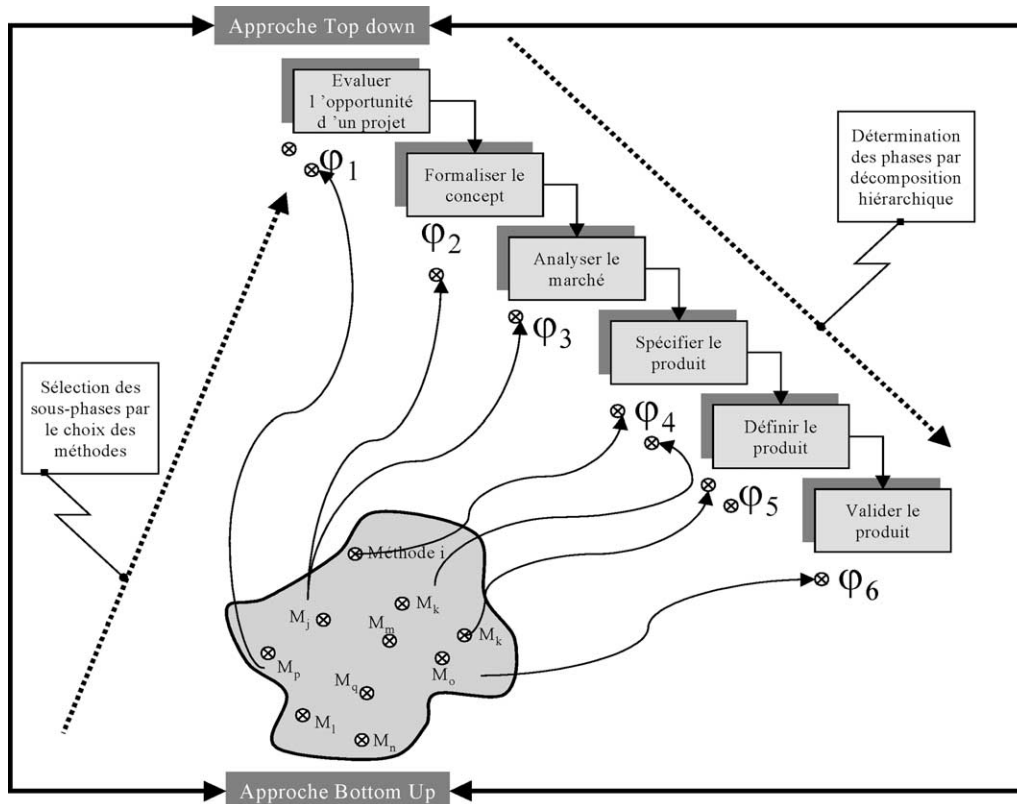


Fig. 1. Processus de conception modélisé par combinaison des approches top down et bottom up.

Fig. 1. Design process modelised by combination of top down and bottom up approaches.

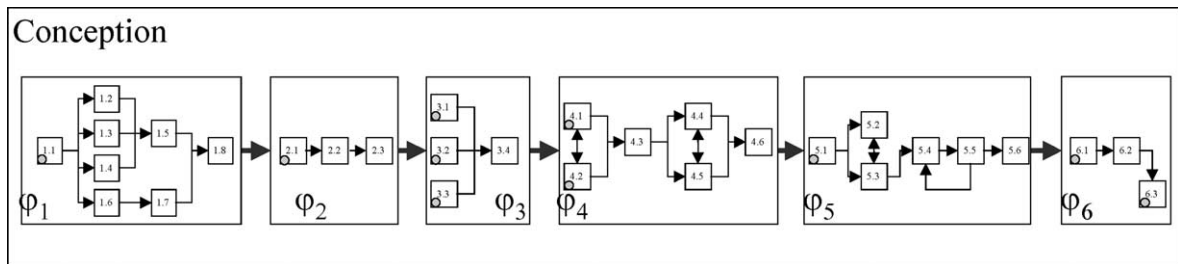


Fig. 2. Une vue possible du processus de conception.

Fig. 2. Possible view of the design process.

locale » qu'elle domine ou qu'elle sait pouvoir appliquer car elle possède les compétences pour le faire.

- Un mode visant à superposer au processus de conception des démarches plus globales. Celles-ci sont nécessaires à l'amélioration intrinsèque du processus par une action étendue à plusieurs phases. Elles peuvent être également applicatives de concepts plus génériques non spécifiques au processus de conception mais l'influençant au même titre que d'autres processus de l'entreprise. Nous qualifions ces démarches de « méthodes d'application globale ».

Dans les deux cas, le nombre de phases du PdCm demeure inchangé. Seul leur contenu varie au gré des choix du concepteur (Fig. 1).

2.2.2. Positionnement des phases du PdCm

Les phases que nous avons décrites individuellement doivent ensuite être positionnées les unes par rapport aux autres pour définir complètement le processus de conception. La logique de positionnement est simple puisque le concept de phase correspond dans nos travaux à une structure rigide à l'intérieur de laquelle s'inscrivent tous les projets de conception. Ce postulat permet de représenter le processus de conception tel qu'en Fig. 2.

Sur la Fig. 2 apparaissent phases (blocs) et des exemples de sous-phases (cellules). Certaines sous-phases sont autonomes et peuvent être considérées simultanément. D'autres sous-phases ne sont pas directement liées mais communiquent mutuellement par des échanges d'information correspondant à un traitement conjoint de chacune d'elles.

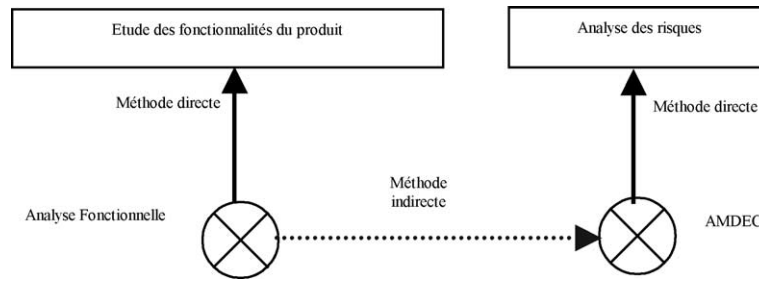


Fig. 3. Exemple de méthodes directes et indirectes.

Fig. 3. Direct and indirect methods example.

3. Accrochage des méthodes sur le processus de conception

3.1. Notion de méthode directe et de méthode indirecte

La décomposition du processus, telle que nous l'avons décrite, conduit à utiliser des méthodes naturellement positionnées sur la phase considérée. Nous appellerons ces méthodes : « *méthodes directes* ». La mise en œuvre de ces méthodes peut en revanche nécessiter des données non disponibles en l'état par le concepteur. Il lui faudra pour cela utiliser d'autres méthodes lui permettant d'accéder au jeu de données recherchées. Nous qualifierons les méthodes, employées dans ce cas de figure, de « *méthodes indirectes* ». Une même méthode peut être directe si son choix est lié à une sous-phase qu'elle supporte et indirecte si elle vient en appui d'une autre méthode. L'exemple de la Fig. 3 illustre cette notion.

Caractériser le processus de conception par l'intégration méthodologique va donc conduire à considérer les formes d'accrochage des méthodes sur le processus de conception (appel des méthodes directes par le processus) puis d'observer les modes de communication entre méthodes (appel d'une méthode indirecte par une méthode directe). Dans cet article que nous ne considérerons les méthodes directes.

3.2. Appel des méthodes directes par le PdC

Nous abordons en premier lieu, dans ce paragraphe, les concepts de base de positionnement d'une méthode directe sur le PdC. Nous présentons, à la suite, les formes d'accrochage de quelques méthodes

3.2.1. Identification de la zone d'influence d'une méthode

La difficulté principale est l'identification de la zone d'influence d'une méthode. Le lien le plus logique est celui issu de l'analyse des données en transit. Considérer la méthode comme un élément monobloc n'est pas suffisant pour mettre en évidence la relation intime entre une méthode et le processus qu'elle est sensée servir. Cette approche par décomposition mérite que l'on s'y attarde afin de caractériser les principes d'accrochage d'une méthode. Le processus de conception est spécifique (puisque le choix des sous-phases dépend du concepteur). Nous nous plaçons ici

volontairement au niveau d'un processus générique, c'est à dire en ce qui nous concerne, au niveau du processus de conception minimaliste. La décomposition en phases du PdCm et des méthodes susceptibles de s'y intégrer permet donc d'identifier l'intérêt d'utiliser une méthode pour venir en appui d'une phase particulière du PdCm. L'accroche se fait par l'intersection entre données d'une phase d'une méthode et celles d'une phase du PdCm. Nous incitons le lecteur à se référer aux travaux de thèse de Martin [17] pour la justification de ce constat.

3.2.2. Notion de communication partielle entre méthodes et PdC mécanique

Le point d'accroche étant localisé, l'exercice ne s'arrête pas là. La communication opérée concerne des phases. Il faut remonter ensuite à un niveau plus générique pour examiner si l'intégralité des phases de la méthode dont l'intérêt vient d'être révélé est nécessaire à la phase correspondante du PdCm. En d'autres termes, on peut dire que l'apport d'une méthode sur le processus de conception minimaliste ne requiert pas obligatoirement de considérer l'ensemble des phases de la méthode mais seulement certaines d'entre elles. À l'inverse, la totalité des phases du processus de conception minimaliste n'est pas forcément concernée par la méthode qui s'y rattache. Ce constat est d'autant plus vrai que les sous-phases du PdCm sont souvent indépendantes les unes des autres. Il est alors important de préciser sur quelles sous-phases la méthode considérée apporte une valeur ajoutée.

3.2.3. Forme de communication entre méthodes et PdC mécanique

L'analyse plus détaillée de la localisation d'une méthode sur le PdCm met en évidence deux modes possibles de communication. Une méthode peut en effet voir son apport localisé en entrée d'une phase du processus si celui-ci nécessite une donnée résultant du traitement de la méthode correspondante. Nous parlerons dans ce cas de *communication par les données*.

Une méthode peut aussi, le cas échéant, se positionner sur la phase du processus. Dans ce cas, les données de sorties méthodes/processus sont en totalité ou partiellement équivalentes. Nous qualifierons cette situation de *communication par les phases*.

Tableau 1
Portefeuille de méthodes retenues

Table 1
Group of selected methods

Analyse fonctionnelle externe (AFE)	Analyse fonctionnelle interne (AFI)	Quality function deployment (QFD)
Plan d'expériences (PEX)	Activity based costing (ABC)	Brainstorming (BMG)
L'analyse de la valeur (AV)	Benchmarking (BMK)	Capitalisation d'expériences (CEX)
Veille technologique concurrentielle et commerciale (VTCC)	Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)	Sûreté de fonctionnement (SDF)
Soutien logistique intégré (SLI)	Analyse multicritère (AMC)	

4. Application à un portefeuille de méthodes

Ce paragraphe est consacré à l'application des concepts que nous venons d'évoquer aux méthodes constitutives d'un portefeuille générique. Nous avons considéré les méthodes positionnées dans le Tableau 1.

4.1. Symbolique de description

Afin de décrire les formes d'accrochage et d'apport des méthodes du portefeuille sur le PdCm, nous proposons une représentation sous forme de tableau. Le tableau admet deux entrées possibles. On peut partir d'une phase du PdCm et rechercher les méthodes susceptibles de l'assister ou bien, partant d'une méthode particulière, localiser sa zone d'influence sur le processus. La logique de représentation de ce tableau est décrite en Fig. 4.

La correspondance entre méthodes du portefeuille et phases du PdCm est décrite à l'intérieur d'un cadre constitué de 9 cases que nous allons maintenant détailler :

- Case i :** numéro permettant de distinguer les différentes applications de la méthode. Celle-ci peut être utile à plusieurs phases sans distinction ni des modes opératoires ni des résultats ; auquel cas le numéro correspondant ne change pas. Si la méthode débouche sur des résultats spécifiques à la phase on lui attribue un numéro particulier. Le jeu de couleurs associé au fond de cette case symbolise l'importance du lien ; la méthode concernée pouvant être capitale dans la réalisation de la phase correspondante ou au contraire ne représenter qu'un appui possible.
- Case ii et iii :** numéros des phases de la méthode (Case ii phase de départ, Case iii phase d'arrivée) intervenant sur la phase concernée du PdCm).
- Case iv :** cette case est remplie par le signe δ lorsque la méthode n'entretient un lien avec la phase que par le biais d'une autre méthode. Une telle méthode est dite dépendante de celles opérant la liaison, méthodes que l'on qualifiera de méthodes intermédiaires.
- Case v et vi :** numéros des sous-phases du processus de conception (Case v phase de départ, Case vi phase d'arrivée) concernée par l'application de la méthode considérée. Lorsque seule une partie de la

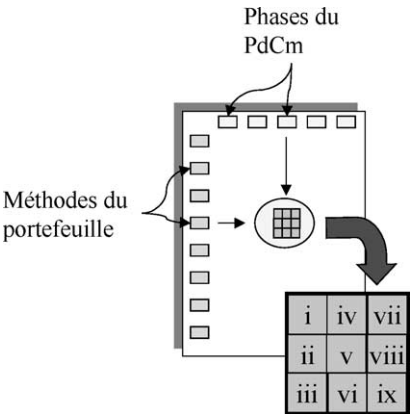


Fig. 4. Symbolique du tableau de positionnement des méthodes sur le PdCm.

Fig. 4. Symbols of the table used to position the methods on the PdCm.

sous-phase est concernée par le lien, le numéro correspondant est écrit en rouge.

Case vii : dans le cas d'une méthode « dépendante » c'est à dire non directement en contact avec la phase du processus (lorsque la Case iv contient le signe δ), cette case renseigne sur la référence des « méthodes intermédiaires » (lettres minuscules à gauche de la colonne des méthodes) par lesquelles s'opère la liaison.

Case viii : sans objet à ce niveau.

Case ix : description du mode de communication de la méthode sur le processus de conception. Si le positionnement se fait par la donnée d'entrée du processus la case contiendra le signe δ , si la méthode est positionnée sur la phase du processus, on insérera le signe φ .

L'exemple de la Fig. 5 illustre l'ensemble de la symbolique que nous venons d'introduire. Elle concerne le lien entre l'analyse de la valeur et la phase 4 du processus de conception minimaliste (spécification du produit).

L'exemple ci-dessus montre que l'analyse de la valeur pratiquée est affectée du numéro 1 (elle peut ne pas avoir été réalisée au préalable ou être réutilisée en l'état dans le cas contraire). Ici, seule la phase 3 de l'analyse de la valeur (phase d'analyse des fonctions et des coûts) est utile à la phase de spécification du produit. On constate que la

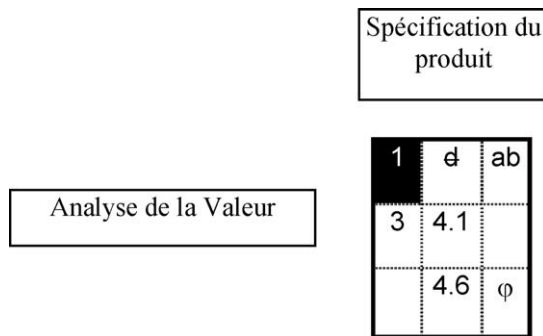


Fig. 5. Exemple d'application de la symbolique de positionnement d'une méthode sur le PdCm.

Fig. 5. Example of application of the symbols used to position the methods on the PdCm.

Tableau 2

Appel des méthodes directes par le processus de conception

Table 2

Call of the direct methods by the design process

			1			2			3			4			5			6		
			E	Titre	S	E	Titre	S	E	Titre	S	E	Titre	S	E	Titre	S	E	Titre	S
			Evaluation de l'opport			Définition du PdCp			Formaliser le concept			Analyser le marché			Spécifier le produit			Définir le produit		
	E	Titre																		
a	E	AFE													1	4.1				
	S														7	4.3	φ			
b	E	AFI													1	4.4				
	S														5	4.6	φ			
c	E	AMDEC													1	5.5				
	S														6		φ			
d	E	QFD				1	2.2		1	3.2					1	5.5				
	S						φ			φ					2	5.6	φ			
e	E	ABC													1	5.5				
	S														5		φ			
f	E	BMG	1	1.1		1-2									3					
	S		5		φ	1	2.1								1	5.3				
						5	2.2	φ							5		φ			
g	E	BMK							1	3.2										
	S								5		φ									
h	E	AV										1	d	ab	1					
	S											3	4.1		4	5.3				
												4.6	φ	5	5.6	φ				
i	E	CEX	1-2	1.1		3-4			5-6			7-8			9-10			11-12		
	S		1	2.1		1	3.1		1	4.1		1	5.1		1	6.1				
			4	1.8	δ	4	2.3	δ	4	3.4	δ	4	4.6	δ	4	5.6	δ	4	6.3	δ
j	E	PEX													1	5.3				
	S														8		φ			
k	E	VTCC	1						1											
	S		6	1.2					6	3.1										
			9	67	δ				9	3.2	δ									
l	E	SDF													1	5.5				
	S														8		φ			
m	E	SLI										1	4.2							
	S											5	~4.5	φ						
n	E	AMC													1	5.5				
	S														6		φ			

phase entière du processus est concernée puisque la méthode est appliquée aux sous-phases 4.1 à 4.6. Le lien n'est pas direct (d), il s'opère à travers deux méthodes intermédiaires que sont l'analyse fonctionnelle externe (a) et l'analyse fonctionnelle interne (b). Le mode de communication

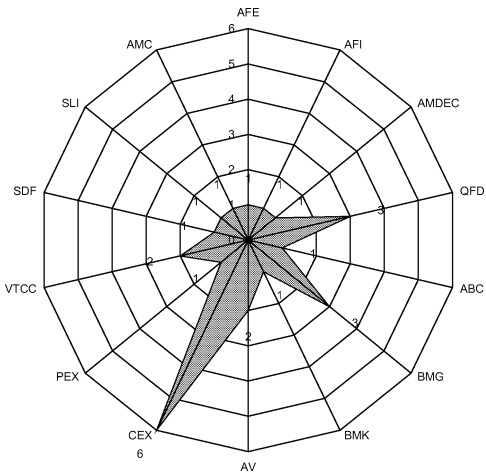


Fig. 6. Influence spécifique d'une méthode sur le processus de conception.

Fig. 6. Specific influence of a method on the design process.

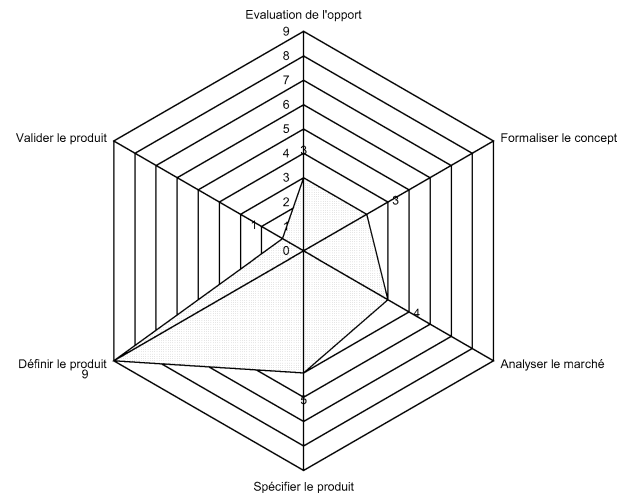


Fig. 7. Contribution des méthodes à une phase donnée.

Fig. 7. Contribution of a method to a given phase.

s'effectue au niveau de la phase (φ). En d'autres termes, la méthode est superposée à la phase du processus qu'elle enrichit.

4.2. Résultats

4.2.1. Représentation des liens

En nous appuyant sur la symbolique que nous venons de décrire, nous représentons dans le Tableau 2, l'ensemble des liens identifiés entre les méthodes de notre portefeuille et les phases du PdCm.

4.2.2. Contribution et influence des méthodes sur le PdCm

Chaque entreprise possédant son propre portefeuille de méthodes, l'idée n'est pas de tirer des enseignements quant aux liens mis en évidence dans le tableau précédent. Sur les Figs. 6 et 7 nous présentons l'influence spécifique d'une méthode sur une phase du processus puis la contribution de l'ensemble des méthodes à une phase particulière.

Ces graphiques ne doivent pas être considérés comme des vérités en la matière puisqu'ils sont propres au portefeuille que nous utilisons. Au delà de la nature des résultats obtenus nous voulions ici proposer un mode d'évaluation du niveau d'importance d'une méthode et de la couverture d'une phase par l'ensemble des méthodes. Anecdotiquement, remarquons qu'en ce qui concerne le tableau que nous avons considéré, certaines méthodes paraissent être plus utiles au processus de conception (sur la base du nombre de phases où elles sont utilisées). C'est le cas en particulier de la capitalisation d'expériences, du QFD ou du Brainstorming. Des méthodes comme l'analyse de la valeur, l'analyse fonctionnelle ou la veille sont également utilisées en plusieurs endroits du processus. Bien évidemment ce résultat mérite d'être relativisé dans la mesure où le nombre de fois où une méthode utilisée n'est pas le seul indicateur de l'importance qu'elle représente. Sur le plan de la prise en compte d'une phase par les méthodes, nous remarquerons que, relativement au portefeuille de méthodes que nous manipulons dans le cadre de ce travail, les phases de spécification et de définition du produit font appel à un nombre conséquent de méthodes. À l'inverse, le portefeuille ne met pas en évidence de support méthodologique pour la phase de validation du produit. Nous renvoyons le lecteur, intéressé par les commentaires sur la nature des liens de positionnement des méthodes de notre portefeuille sur le PdCm, à la consultation de [17].

5. Conclusion

L'identification des zones et des formes d'influence d'une méthode directe sur le processus a conduit à mettre en évidence plusieurs concepts importants. Nous avons caractérisé tout d'abord la notion de communication partielle entre méthode et processus. La décomposition en phases permet en effet d'opérer des branchements de méthodes localisés sur une ou plusieurs sous-phases du processus. À l'inverse, il est possible de limiter l'utilisation d'une méthode à quelques unes de ces phases en fonction des objectifs poursuivis. Une distinction a été faite entre méthodes communiquant avec le processus par les données ou par les phases. Dans le premier cas la méthode est utilisée pour la fourniture d'une donnée d'entrée d'une phase du processus ; dans le second cas la méthode se juxtapose, intégralement ou partiellement, à certaines sous-phases du processus de conception. Finalement nous avons mis en évidence la nature de méthode obligatoire lorsque celle-ci est essentielle au bon déroulement d'une phase ou sous-phase du processus. Lorsque le rôle du support méthodologique est moins fondamental nous le qualifions de méthode d'appui. L'ensemble de ces concepts a ensuite été appliqué pour identifier les relations entre notre processus de conception spécifique et les méthodes du porte-

feuille que nous avons introduit. Nous avons alors considéré deux types d'indicateurs représentatifs d'une part de l'influence spécifique d'une méthode sur le processus et d'autre part de la contribution de l'ensemble des méthodes à une phase particulière du PdC.

Références

- [1] M. Algré, Bernard-Bouisières, Chevalier, Goynetche, Fougerat, Inflation méthodologique ?, La Valeur 73 (1994) 8.
- [2] C. Petitdemange, L'inventaire de Prévert sur le catalogue des méthodes manageriales, Convention Nationale du Management de Projet, Paris, 1995.
- [3] O. Garro, P. Martin, Distributed design theory and methodology, in : Concurrent Engineering : Research and Applications, Vol. 3, 1995.
- [4] P. Varcard, Aide à la programmation de l'utilisation des outils en conception de produit, Thèse de doctorat, Laboratoire Produits Nouveaux ENSAM, 1996.
- [5] D. Quarante, in : Eléments du design industriel, Vol. 1, Polytechnica, 1994.
- [6] Palh, Beitz, Engineering Design, Springer-Verlag, New York, 1988, (Ed. K. Wallace).
- [7] A. Ertas, The Engineering Design Process, Wiley, Texas, 1994.
- [8] A. Kusiak, K. Park, Concurrent engineering : decomposition and scheduling of design activities, International Journal of Production Research 28 (1990) 1883-1900.
- [9] E. Dupinet, Contribution à l'étude d'un système informatique d'aide à la conception de produits mécaniques, Thèse de doctorat, École Centrale Paris, 1991.
- [10] A. Kusiak, J. Wang, Efficient organising of design activities, International Journal of Production Research 31 (1991) 753-769.
- [11] L. Shu, W. Flowers, Structured approach to design for remanufacture, American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division 66 (1993) 13-19.
- [12] T. Fallin, D. Thurston, Decision decomposition for the life cycle of the design process, Design Automation 2 (1994) 383-392.
- [13] J. Malmqvist, A computer-based approach towards including design history information in product models and function-means trees, in : ESMA Design Engineering Technical Conferences, Vol. 83, 1995.
- [14] D. Tate, M. Bnordlund, A design process roadmap as a general tool for structuring design activities, in : Proceedings of the 2nd World Conference on Integrated Design and Process Technology, Austin, 1996.
- [15] D. Tate, A roadmap for decomposition : activities, theories and tools for system design, Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering, 1997.
- [16] H. Hörnlein, M. Stettner, Structural design process : projects – programs – prospects, in : Optimisation in Industry, Florida, 1997.
- [17] C. Martin, Caractérisation du Processus de Conception par l'intégration méthodologique, Thèse de doctorat, École Centrale Paris, 2001.
- [18] J. Forest, La qualité du processus de conception comme principe de rationalisation du processus d'innovation, in : Séminaire de l'IRDQ, Paris, 1997.
- [19] N. Roozemburg, J. Eekels, Product Design : Fundamentals and Methods, Wiley, New York, 1995.
- [20] D. Bell, D. Taylor, Determining optimal model complexity in an iterative design process, American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division (Publication DE) 27 (1990) 291-297.
- [21] A. Ward, A recursive model for managing the design process, American Society of Mechanical Engineers 27 (1990) 47-52.