

APPROCHE GLOBALE POUR LA STRUCTURATION ET LA GESTION DE DONNEES TECHNIQUES DU CYCLE DE VIE PRODUIT ; APPLICATION A UNE FAMILLE DE POULIES D'ACCASTILLAGE.

J. LE DUIGOU, A. BERNARD

IRCCyN, Ecole Centrale Nantes
1, rue de la Noë
44321 Nantes Cedex 03
julien.leduigou@irccyn.ec-nantes.fr, alain.bernard@irccyn.ec-nantes.fr

J.C. DELPLACE

Cetim
57, av. Félix Louat
60304 Senlis Cedex
jean-charles.delplace@cetim.fr

S. GABRIEL

PSL Concept
25, rue Crémieux
13230 Port Saint Louis du Rhône
contact@seatex.fr

RESUME: Depuis quelques années, l'ingénierie numérique prend une place de plus en plus importante dans les préoccupations des entreprises de l'industrie mécanique (Cetim, 2007a). Ces nouveaux outils et les méthodes de travail qu'ils impliquent engendrent une multiplication des données techniques sans pour autant apporter de structuration à ces informations. Dans ce contexte il est nécessaire de mettre en place des méthodes afin de gérer au mieux cette complexité. Notre proposition dans ce papier est une approche globale de structuration et de gestion des données techniques sur la totalité du cycle de vie du produit. Cette démarche basée sur la définition fonctionnelle du produit a pour objectif l'aide au chiffrage, au développement et à l'industrialisation du produit, ainsi que la capitalisation, la réutilisation et l'enrichissement des connaissances métier. Cette démarche a été testée en entreprise sur une famille de poulies d'accastillage. Nous présenterons ce cas d'étude ainsi que l'outil logiciel développé dans cette entreprise.

MOTS-CLES: Product Life cycle Management (PLM), Modèle de données, conception axiomatique.

1. INTRODUCTION

Dans le contexte industriel actuel, les entreprises mécaniciennes françaises sont face à des défis croissants. Après avoir effectué un recentrage sur leur cœur de métier afin d'augmenter leur productivité en opérant des économies d'échelle, il leur est maintenant demandé d'obtenir des compétences de plus en plus diversifiées. En effet, avec la globalisation du marché et l'augmentation de l'exigence du client, ils doivent aujourd'hui produire dans des délais plus courts des produits de plus en plus complexes et individualisés. Pour résoudre ce paradoxe (recentrage sur le cœur de métier et production nécessitant de nombreuses compétences spécifiques), les entreprises se sont adaptées en se regroupant afin de mettre en commun leurs compétences mutuelles. Parfois elles le font de façon brève sur un projet particulier et donnent alors naissance à une entreprise virtuelle, parfois sur un temps plus long, on parle alors d'entreprise étendue.

Un des points clés de la réussite d'une telle entreprise est la capacité à communiquer sur le produit cible. Les produits générant de plus en plus d'information, le système de communication par email/fax/téléphone utilisé par 90% des entreprises n'est pas suffisamment structuré pour permettre une coopération efficace. Depuis de nombreuses années des logiciels permettant la mise en commun de ces informations sont développés. De la GED (Gestion Electronique de Documents) dans les années 80 au PDM (Product Data Management) puis au PLM (Product Life cycle Management) aujourd'hui,

les entreprises et particulièrement les grands donneurs d'ordre ont bien compris l'intérêt de tels logiciels.

C'est dans ce cadre que le Cetim (Centre technique des industries mécaniques, représentant plus de 7000 entreprises de l'industrie mécanique française) a lancé l'année dernière une grande enquête auprès des entreprises de la mécanique sur le thème de l'ingénierie numérique et du travail collaboratif (Cetim, 2007a). Cette enquête révélait entre autre que seules 5% des PME de moins de 100 personnes utilisaient un système de type PLM pour gérer leurs données techniques. Or, une deuxième enquête de la même année (Cetim, 2007b) montrait que plus de 70% de ces mêmes PME de l'industrie mécanique considéraient comme importants la réutilisation des connaissances, l'échange d'information en interne et en externe, le stockage sécurisé des informations et le suivi des modifications. Or ce sont justement des fonctionnalités qui sont présentes dans les outils logiciels PLM.

Après de nombreuses visites en entreprises, les principaux freins à l'implémentation d'un PLM évoqués par les dirigeants de ces entreprises furent le prix, la complexité d'installation, d'utilisation et de maintenance. Il apparaît toutefois que les PME de l'industrie mécanique ont des besoins bien spécifiques dans le domaine du PLM. 70% d'entre elles ont des clients dans des domaines variés (principalement pour l'aéronautique et l'automobile). D'où une multitude d'outils à gérer simultanément car ces donneurs d'ordres n'utilisent pas les mêmes systèmes PLM et CAO.

Ainsi il existe un véritable besoin en PLM dans les PME mécaniciennes, mais certains freins empêchent cette évolution. C'est partant de ce constat que le Cetim a lancé un projet ayant pour but de favoriser l'émergence de l'ingénierie numérique et du travail collaboratif au sein de ces PME de l'industrie mécanique. Ce projet rejoint la stratégie du projet IVGI du laboratoire IRCCyN qui tend, dans le domaine de l'ingénierie virtuelle, à optimiser l'intégration de connaissance métier au sein des processus d'entreprise. Ces activités nécessitent la mise en place de méthodologie et de modèle de donnée spécifiques au PME de la mécanique. Dans un premier temps nous allons examiner les travaux scientifiques qui ont servis de point de départ à la démarche. Puis nous présenterons notre méthode de travail, une approche de recherche action de type inductive, basée sur un cycle en spirale structuré sur des phases successives d'analyse, de développement, d'expérimentation, puis de rebouclage avec des méthodes et modèles modifiés suite au retour d'expérience de chacune des phases d'expérimentation. Nous exposerons notre proposition sur le sujet ainsi qu'un cas industriel. En perspective nous visons une méthodologie et un modèle de donnée génériques pour la gestion des données techniques, adaptés aux PME mécaniciennes.

2. PLM: DU CONCEPT AUX MODELES DE DONNEES

Dans ce paragraphe nous allons tout d'abord examiner le concept du PLM, puis nous nous intéresserons aux méthodes de modélisation qui permettent de fournir les modèles de données sur lesquels reposent les outils PLM. Enfin dans la dernière partie, nous analyserons les standards permettant la communication entre différentes entreprises n'ayant pas nécessairement les mêmes modèles de données.

2.1. Le concept PLM

Depuis plusieurs années les fournisseurs de logiciel nous vantent les mérites des PLM et des gains qu'ils permettent. Mais le PLM est avant tout une stratégie d'entreprise (Terzi, 2005). En effet il s'agit de gérer toutes les données relatives à un produit, sur l'ensemble de son cycle de vie, et ce pour la totalité des acteurs internes et externes impliqués dans sa création. Une définition du PLM assez répandue est la suivante : "A strategic business approach that applies a consistent set of business solutions in support of the collaborative creation, management, dissemination and use of product definition information across the extended enterprise from concept to end of life - integrating people, processes, business system, and information" (CIMdata, 2003).

Ce concept permet par exemple que les départements des méthodes puissent accéder aux informations directement issues du bureau d'études et proposer des modifications, raccourcissant ainsi le cycle de développement du

produit en évitant des boucles de rétroconception longues et coûteuses. A un niveau plus stratégique, le PLM permet aux dirigeants de suivre les informations cruciales sur une ligne de produits ou le temps de mise sur le marché de nouveaux produits.

De nombreux travaux ont été réalisés dans ce domaine spécialement dans le secteur aéronautique et automobile afin de proposer des méthodes de gestion de données techniques (Bacha, 2002), (Nguyen Van, 2006), mais également dans des entreprises de taille plus modeste comme en fonderie sable (Delplace, 2004).

2.2. La modélisation des objets d'entreprises

Le PLM repose sur un modèle de données composé des objets d'entreprises qui interviennent dans les processus métier. De nombreuses méthodes et langages de modélisation ont été développés afin de modéliser ces objets. Les langages de modélisation permettent de représenter ces objets et les activités qui les concernent. C'est le cas de SADT, (Structured Analysis Design Techniques) développé par D. Ross en 1977 qui permet de modéliser des systèmes à l'aide d'actigrammes, IDEF3, créée en 1992 à la suite de IDEF0 (elle-même dérivée de SADT) qui palie à ses manques en matière de description du comportement. Plus récemment, BPMN (White, 2005) (Business Process Modeling Notation) propose des outils permettant l'exécution automatique de processus à l'aide de moteur de workflow (BPEL4W), FBS-PPRE (Labrousse, 2004), permet une modélisation générique des objets d'entreprise et de leur dynamique d'évolution.

Les méthodes de modélisation, basées sur ces modèles, permettent de décrire une démarche permettant de représenter les processus. Citons CIMOSA (Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture) (Kosanke et Zelm, 1999) développé par le consortium AMICE dans le cadre d'un projet ESPRIT, architecture qui avait essentiellement pour but de modéliser les systèmes intégrés de production. Cette architecture comprend un modèle d'architecture, un langage de modélisation des processus d'entreprise et une méthode d'intégration. ARIS (Architecture for Integrated Information Systems) (Scheer, 1998) développée en Allemagne par Scheer, se focalise surtout sur les aspects conception de systèmes d'information en entreprise en s'appuyant sur des méthodes d'organisation orientées métiers. Enfin GERAM (Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology) (GERAM, 1999) est une architecture et une méthode permettant la modélisation de processus d'entreprise résultant de l'IFAC/IFIP Task Force qui s'est appuyée sur les architectures existantes pour développer une architecture générale.

Ces méthodes, et quelques autres (GRAI (Doumeingts, 1998), PERA (Williams, 1994)...), contribuent à la mise au point de méthodes et de modèles de données nécessaires à l'implantation d'un PLM.

Néanmoins, dans un contexte d'entreprise étendue, il est nécessaire que ces différents modèles puissent

communiquer entre eux. Il apparaît alors comme une nécessité de passer par des modèles standardisés pour pouvoir échanger ou communiquer sur la base de ces modèles.

2.3. Les standards en termes de modèle de données

De nombreux travaux ont été effectués dans différents secteurs afin d'augmenter l'interopérabilité des modèles de données avec les standards, notamment en utilisant la norme STEP (STandard for the Exchange of Product model data) (Chambolle, 1999), (El Khalkhali, 2002). STEP est un standard d'échange international de l'ISO (ISO 10303) qui décrit comment représenter et échanger les modèles de produit en couvrant l'intégralité du cycle de vie (ISO, 1994a). STEP utilise un langage de représentation formelle des données appelé EXPRESS (ISO 10303-11), et sa représentation graphique EXPRESS G (ISO, 1994b).

Cette norme est découpée en plusieurs parties :

- Aperçu et principes fondamentaux
- Les méthodes de description
- Les méthodes de mise en application
- Les méthodologies et cadre général pour les essais de conformité
- Les ressources intégrées génériques et applicatives
- Les constructions interprétées applicatives
- Les protocoles d'applications (AP)
- Les tests de conformité pour les protocoles d'application

Les AP sont des modèles d'information (Application Protocol) de STEP spécifiques à une industrie et/ou à une partie du cycle de vie. Citons pour le contexte qui nous intéresse, l'AP214 (ISO, 1998), spécifique au secteur automobile et AP239 (ISO, 2005) visant plus le secteur aéronautique.

Malgré qu'ils aient des ressources intégrées communes, ces modèles ne sont pas interopérables à 100%, car les objets et leurs attributs diffèrent selon le domaine d'application. D'où la naissance du PDM Schema (PDM Schema, 2001) qui tend à unifier les modèles d'information des différents AP de STEP en utilisant leurs objets communs.

Il apparaît que si de nombreuses méthodes de modélisation d'objets d'entreprise existent, leur utilisation pour la création et le maintien d'un modèle de données support au PLM n'est pas suffisamment explicité pour les applications en entreprises. Nous allons retenir comme modélisation FBS-PPRE qui permet une modélisation dynamique des objets indépendamment de leur rôle (un même objet peut être successivement produit, ressources, processus ou effet externe), ce qui nous paraît approprié dans un contexte d'entreprise étendue. De plus nous remarquons que malgré l'existence de standards dans le domaine, il est difficile de créer à la fois un modèle adapté à une entreprise et répondant aux exigences d'un standard. Nous allons donc développer une démarche de

modélisation qui utilise au maximum les standards appropriés pour les PME mécaniciennes. Nous expliquerons comment nous comptons arriver à ce résultat dans le chapitre suivant.

3. DEMARCHE DE RECHERCHE

Notre démarche a pour objectif l'apport d'une approche méthodologique pour structurer et gérer les données techniques dans des PME de l'industrie mécanique dans un contexte d'entreprise étendue. Pour ce faire nous proposons des méthodes de gestion et de structuration de données techniques ainsi que les modèles de données nécessaires à ces méthodes, en appui sur les standards existants. Afin de définir ces méthodes et d'aboutir à un modèle commun aux différentes PME nous avons mis en place une démarche de recherche en trois étapes, de type recherche-action, basée sur une approche en spirale typiquement cohérente en terme d'expérimentation scientifique : proposition de modèle et de méthode, développement de l'expérimentation, expérimentation elle-même et acquisition des résultats, analyse de ces résultats et identification des limites de la méthodes et des modèles proposés, proposition de modifications, implémentation des modifications et définition du scénario d'expérimentation suivant, et ainsi de suite jusqu'à obtenir les résultats souhaités.

3.1. Phase 1 : Audit des entreprises, typologie des PME de la mécanique et choix des entreprises pilotes.

La première phase de nos travaux consiste à interviewer un certain nombre d'entreprises afin d'en dégager les pratiques actuelles en termes d'ingénierie numérique et de travail collaboratif et les bonnes pratiques à mettre en place. Un benchmarking a aussi été effectué sur les outils existants dans le commerce afin de récapituler les fonctionnalités présentes et leurs adéquations avec les besoins des PME.

Nous devons maintenant choisir un certain nombre d'entreprises pilotes pour expérimenter nos recherches.

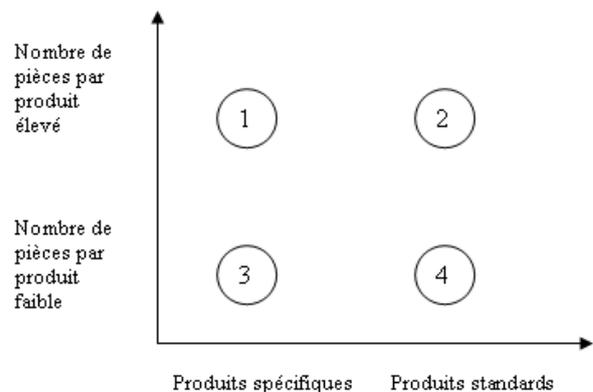


Figure 1. Typologie des PME mécaniciennes

Pour cela, nous allons établir une typologie des PME de l'industrie mécanique. Nous avons pris comme axes de différenciation le nombre de pièces par produit et le fait

que ce produit soit standard ou spécifique. Nous obtenons ainsi quatre zones (figure 1). Nous en déduisons ainsi quatre types de PME :

Type 1 : les PME fabriquant des produits *spécifiques* comprenant un *grand nombre de pièces*, par exemple les fabricants de machines spéciales.

Type 2 : les PME fabriquant des produits *standards* comprenant un *grand nombre de pièces*, par exemple les assembleurs et équipementiers.

Type 3 : les PME fabriquant des produits *spécifiques* comprenant un *petit nombre de pièces*, par exemple les outilleurs et moulistes.

Type 4 : les PME fabriquant des produits *standards* comprenant un *petit nombre de pièces*, par exemple les fabricants de pièces primaires.

Cette typologie permet ainsi de différencier les entreprises présentes dans une entreprise étendue, du fabricant d'outillage à l'assembleur du produit final en passant par les différents intermédiaires.

Nous avons ensuite décidé de choisir des entreprises couvrant les différentes zones de notre typologie, comme entreprises pilotes.

3.2. Phase 2 : Immersion en entreprise et mise en place de méthodes spécifiques.

Cela a consisté en une immersion réelle dans différentes entreprises pilotes afin de mettre en place des méthodes de structuration et de gestion de données techniques. Cette phase est accompagnée d'implémentation afin de vérifier le bien fondé de nos propositions. A partir de la situation initiale de l'entreprise nous procédons par essai/rectification afin d'arriver à l'état final défini comme objectif dans la phase d'audit.

3.3. Phase 3 : Généralisation et propositions.

Dans cette dernière phase, nous tentons, grâce à l'analyse des différentes entreprises pilotes, de généraliser la méthode de gestion de données techniques et de créer un modèle de données global, compatible avec les standards, applicable aux différents types de PME de l'industrie mécanique afin qu'il soit utilisable dans un contexte d'entreprise étendue.

Nous allons maintenant détailler notre premier cas industriel, un équipementier nautique, une PME mécanique de type 2 dans notre typologie.

4. UNE ENTREPRISE DE TYPE 2 : PSL CONCEPT

Ce cas d'étude doit nous permettre de mettre en pratique des méthodes de structuration et de gestion des données techniques adaptées à l'entreprise en question. Pour ce faire nous allons commencer par analyser le besoin de l'entreprise sur ce sujet. Puis nous proposerons une approche pour améliorer l'existant, approche que nous

validerons par une implémentation sur une famille de poulies.

4.1. Description de l'entreprise et fonctionnement initial

PSL Concept réalise et commercialise des accastillages de voiliers. Parmi ces produits on trouve entre autre des gouvernails de secours, des chariots d'écoute, des palans et poulies, des réas, des taquets coinçeurs, et divers accessoires.

Cette entreprise organise la majorité de ses produits par familles. En effet, comme beaucoup d'équipementiers, ses produits sont conçus à partir de produits standards auxquels on ajoute des options et des ajustements pour correspondre aux besoins du client.

Les procédés utilisés pour fabriquer les bruts vont de la fonderie cire perdue à la réalisation de composites carbonés. Ils sont ensuite usinés par fraisage, l'assemblage du produit final restant manuel.

4.2. Besoin en termes de PLM

Suite à l'audit effectué en phase 1 il apparaît que les principaux besoins rencontrés dans cette entreprise sont les suivants :

1. La capitalisation des connaissances métier

Une amélioration de conception, due à un retour client, une série d'essais ou une optimisation du concepteur, n'est pas répercutée sur les autres produits de la famille sans une intervention du concepteur sur chaque produit. Ce procédé est long et source d'erreurs.

2. La gestion des nomenclatures

Les nomenclatures sont construites « manuellement » et doivent être mises à jour à chaque modification majeure de la conception d'un produit.

3. La gestion des références

Dû à la grande variété de produits existants (1200 uniquement pour la famille des poulies), les références des produits sont difficiles à gérer.

4. Le devis

Effectuer le devis d'une nouvelle poulie est complexe car il est difficile de connaître la quantité de matière consommée et le temps de fabrication avant la conception détaillée du produit.

5. Archivage

Lors d'un retour client, il n'est pas aisé de retrouver les plans du produit vendu ainsi que les références des pièces qui le composent.

Ainsi la phase d'audit nous a permis de mettre en évidence les principaux besoins en PLM de cette entreprise. Nous allons maintenant proposer une démarche permettant d'apporter une solution globale à ces besoins. Elle consiste en un système d'information basé sur les principes, modèles et méthode présentés précédemment. Pour cela, nous avons mis en place un prototype logiciel à partir duquel nous avons confronté nos apports aux besoins de l'entreprise.

4.3. Démarche proposée

Nous avons tout d'abord recherché à organiser les données d'une famille de produits. Lors de l'examen de différentes familles de produits de l'entreprise, nous nous sommes aperçus que nous pouvions définir tous les produits d'une famille en combinant les différentes fonctions de la famille en question. Il nous est alors apparu qu'une organisation des données par fonctions serait efficace afin de pouvoir lier les paramètres de conceptions et les fonctions de ce produit. Nous pourrions ainsi gérer de manière globale les données techniques en les pilotant par les fonctions.

Suh (Suh, 1990) propose la conception axiomatique liant les paramètres fonctionnels aux paramètres de conception. Il divise la conception en quatre domaines (client, fonctionnel, physique et process). A chaque domaine sont associés des éléments qui le contraignent (les demandes clients (CNs), les spécifications fonctionnelles (FRs), les paramètres de conception (DPs) et les variables process (VPs)) (Figure 2).

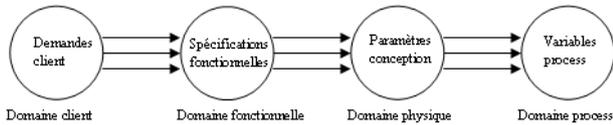


Figure 2. Domaines de conception selon Suh

Les spécifications fonctionnelles sont définies comme le minimum des données répondant aux demandes clients. Le processus de conception avance en décomposant le niveau hiérarchique le plus élevé et en zigzagant entre les domaines fonctionnel, physique et process. Afin d'orienter le concepteur dans ces choix de solutions, des axiomes ont été définis. Les deux axiomes de conception ont été définis comme suit :

Premier axiome – axiome d'indépendance : maintenir l'indépendance des spécifications fonctionnelles

Deuxième axiome – axiome d'information : le contenu en information de conception doit être minimum

Des matrices de conception représentant les liens entre les FRs et les DPs permettent de visualiser et d'optimiser la conception (au sens des axiomes).

Nous nous sommes inspirés de ce principe pour le décliner à la structuration et la gestion de données techniques d'une famille de produits. Nous avons décomposé les différentes fonctions de la famille puis avons donc effectué un paramétrage fonctionnel des produits afin de relier ces paramètres de conception aux différentes fonctions (Figure 3).

Nous obtenons ainsi un lien dynamique entre les paramètres fonctionnels de la famille de produits et les paramètres de conception de l'ensemble des produits.

Si une fonction n'est pas requise par le client, et si cette fonction n'est liée qu'à un sous-produit, ce sous-produit ne sera pas présent dans le produit final. Nous appelons ici sous-produit aussi bien une pièce dans un assemblage qu'une partie d'une pièce.

De plus le changement d'un paramètre fonctionnel entraînera le changement des valeurs des paramètres de conception qui lui sont reliés. Ainsi le changement d'un paramètre fonctionnel sera répercuté sur l'ensemble de la famille de produits.

Sur cette base nous avons développé un certain nombre de fonctionnalités pour répondre aux besoins en PLM de cette entreprise.

1. Capitalisation des connaissances métier

Lors du changement de la règle de calcul d'un paramètre de conception du produit, le nouveau paramètre est utilisé pour tous les produits utilisant la fonction liée. Il n'y a plus de perte d'information lors de l'amélioration d'un produit puisque ce n'est plus la pièce que l'on améliore mais directement la définition du paramètre de conception. Toute la famille de produits bénéficie ainsi de l'amélioration.

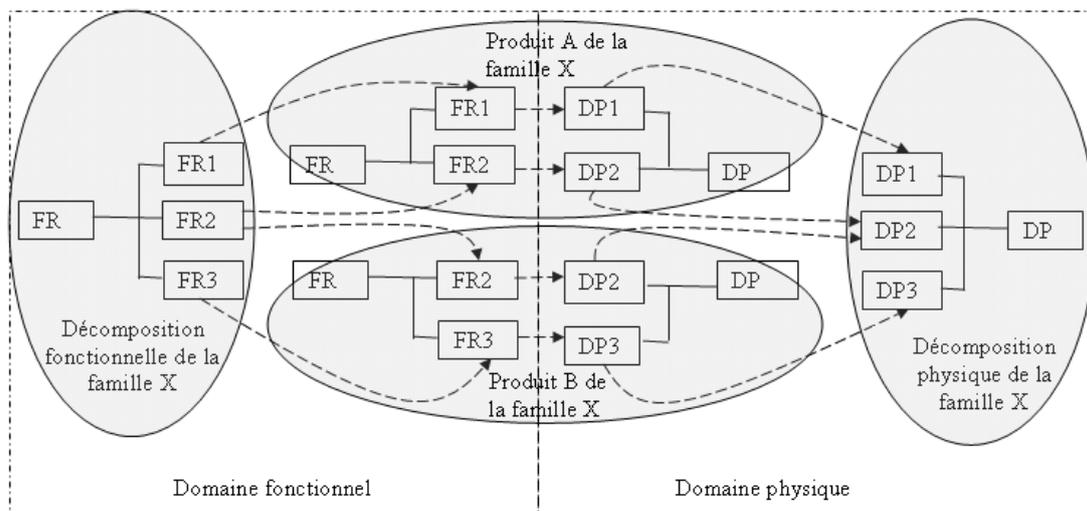


Figure 3. Décomposition d'une famille de produit au travers des domaines de Suh.

2. Références

Afin de ne pas avoir à ouvrir un nombre important de références sans avoir à produire de produit associé, nous avons mis en place un système de référence basé sur les fonctions de la famille de produits. Cela a permis qu'un produit qui ne fut jamais fabriqué auparavant (une combinaison de fonctions inédite) obtienne automatiquement une référence prédéterminée en liaison avec les fonctions spécifiées, sans avoir à ouvrir au préalable l'ensemble des références possibles.

3. Devis

Après étude des produits de la famille nous nous sommes rendu compte que chaque fonction a un prix variable qui est calculable à partir des paramètres fonctionnels du produit fini. Ainsi, dès la définition fonctionnelle du produit, nous pouvons obtenir un prix global en additionnant les prix des fonctions.

4. Archivage

Avec un enregistrement des dates de modification des paramètres des fonctions et des anciennes valeurs de ces paramètres, on peut retrouver la CAO exacte du produit en reprenant les paramètres à la date de vente du produit (prise en compte effective de l'effectivité au niveau fonctionnelle et des liens entre les domaines).

Nous avons donc défini une démarche globale de structuration et de gestion des données techniques qui nous permet une implémentation informatique ainsi qu'une automatisation de la phase de conception CAO. Nous allons présenter cette implémentation dans le chapitre suivant.

4.4. Validation de la méthode

Nous nous sommes intéressé à la famille de produits importante pour l'entreprise et dont la maturité est grande, les poulies.

Nous allons tout d'abord brièvement décrire une poulie d'accastillage (Figure 4). Une poulie standard est constituée de deux flasques (1), d'un ou plusieurs réas (2), de visserie et de différents accessoires comme par exemple des taquets coinçeurs. Le bout (corde pour voilier) vient se loger dans la gorge du réa afin de transmettre le mouvement. Les flasques offrent de nombreuses options comme la possibilité de rajouter des guides (4) ou des ringots (5) pour permettre de maintenir le contact des bouts sur le réa dans certaines conditions d'utilisations, différentes ouvertures (3) pour maintenir la poulie ou des renforts pour consolider l'ensemble.

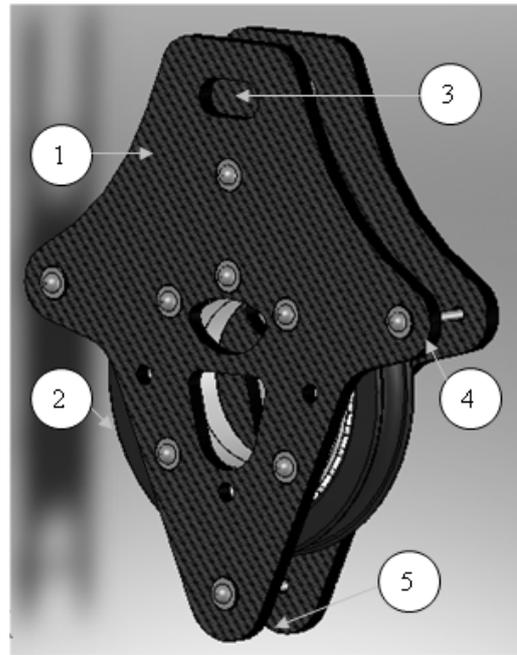


Figure 4. Description d'une poulie

Un programme a été implémenté pour permettre une automatisation de la création des poulies en CAO à partir du choix des fonctions de la poulie.

Pour ce faire nous avons tout d'abord effectué une décomposition fonctionnelle des poulies (Figure 5). Nous avons ainsi obtenu une liste de fonctions et de paramètres fonctionnels. Puis nous avons définis un certain nombre d'options, que nous avons relié avec les fonctions défini précédemment (Tableau 1) afin d'obtenir des valeurs discrètes pour nos paramètres fonctionnels.

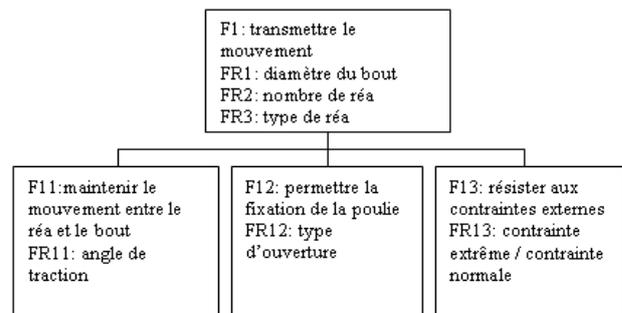


Figure 5. Décomposition fonctionnelle d'une poulie

fonctions	options	choix
fonctionnement générale	taille du bout	bout de 6 bout de 8 bout de 10 bout de 12
	type de réa	grand réa petit réa violon
	nombre de réa	réa simple réa double réa triple
permettre l'attache de la poulie	type d'ouverture	Sangle Emerillon Étalingure Manille
assurer le maintien du bout	ringot	Oui Non
	guide	Oui Non
résister aux contraintes extérieures	renfort	Oui Non

Tableau 1. Liens entre fonctions et options

Nous avons ensuite effectué une cotation fonctionnelle des différentes parties de la poulie et l'ensemble de ces paramètres fut rentré dans la CAO. Les paramètres sont regroupés selon les différentes fonctionnalités de la poulie pour obtenir un lien entre les fonctions de la poulie et les paramètres sur le modèle CAO (Tableau 2).

paramètre	valeur	unité	fonction associée
longueur plaque	300	mm	paramètres du brut (toujours présent)
largeur plaque	300	mm	
épaisseur plaque	3,5	mm	
diamètre réa	84	mm	paramètres du bout
nombre de trous réa	8	unités	
rayon1 ringot	10	mm	paramètres du ringot
rayon2 ringot	11	mm	
congé ringot	12	mm	
angle guide	70	°	paramètres du guide
écart guide	8	mm	
congé guide	8	mm	
distance émerillon	5,45	mm	
distance manille	4	mm	paramètres de l'ouverture selon le choix (émerillon / manille / étalingure / sangle)
distance étalingure	8	mm	
longueur étalingure	16	mm	
largeur étalingure	8	mm	
distance sangle	8,3	mm	
longueur sangle	8	mm	
largeur sangle	16	mm	paramètres de l'évacuation (toujours présent)
rayon1 évacuation	12	mm	
rayon2 évacuation	8	mm	
congé1 évacuation	3	mm	
congé2 évacuation	3	mm	
diamètre vis	3,2	mm	
diamètre rondelle	7,1	mm	

Tableau 2. Paramètres de conception et options associées

La valeur de ces paramètres est calculée selon les règles de calculs définies par l'entreprise et les valeurs des paramètres fonctionnels. D'autres cotes sont nécessaires à l'obtention du modèle CAO, mais il s'agit de paramètres de dimensionnement proportionnels aux paramètres cités dans le tableau 2. Nous obtenons alors un unique fichier CAO paramétrable qui permet de représenter l'ensemble de la famille des poulies.

Nous allons maintenant donner un exemple pour une fonction donnée du procédé de création. Nous allons nous intéresser à la fonction « assurer le maintien du bout » (Figure 5) dans le cas où le paramètre « angle de traction » est supérieur à 90°. Si l'angle de traction maximum est supérieur à 90°, il faut rajouter des guides à la poulie. Le bout est alors assuré de rester en contact avec le réa en passant entre l'entretoise et le réa. Sur le

modèle CAO, cela se traduit par le fait que le feature « extrusion du guide » passe du statut supprimé à résolu. Les paramètres de construction du guide sont alors automatiquement remplis en fonction des paramètres des fonctions (Figure 6 et Tableau 3).

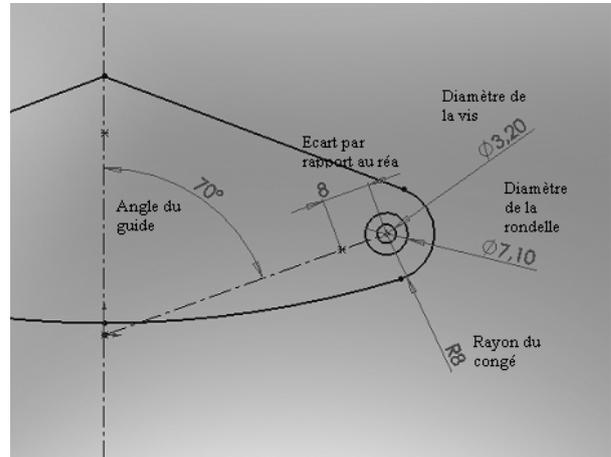


Figure 6. Esquisse de la partie guide du flasque

Paramètres du guide	Angle du guide	Ecart par rapport au réa	Diamètre de la vis	Diamètre de la rondelle	Rayon du congé
Définition en fonction des FRs	130° - Angle de traction +10°	Diamètre du bout + 4mm	Constant	Constant	Diamètre du bout + 4mm

Tableau 3. Paramètres de conception du guide

Lors de la modification de la règle de calcul d'un des paramètres du guide, toutes les poulies dont l'angle de traction maximum sera supérieur à 90° seront modifiées. En effet on ne changera plus la valeur du paramètre lors d'une correction mais directement sa définition. Prenons un exemple: si le bout bloque régulièrement entre l'entretoise et le réa (du à une accumulation d'impuretés par exemple), on peut alors changer la règle de calcul du paramètre « écart par rapport au réa » de « diamètre du bout + 4 mm » à « diamètre du bout + 5 mm ». Toutes les nouvelles poulies avec un guide auront alors un écart entre le centre de l'entretoise et le réa qui augmentera de 1mm, assurant ainsi que les impuretés ne s'accumulent plus pour bloquer le bout.

Les paramètres et les relations les liants sont provisoirement stockés dans un tableur. Ils seront par la suite stockés dans la base de données du PLM.

La figure 7 présente l'arborescence de l'ancienne version d'un flasque créé manuellement et celle de la nouvelle version de ce même flasque créé automatiquement. On remarque que les arborescences diffèrent. Dans la version manuelle les features sont créées au fur et à mesure de la construction du flasque. Dans la nouvelle version, les features sont organisées par fonction. On remarque aussi que certaines features de la nouvelle version ne sont pas utilisées. Il s'agit des features correspondant à des fonctions non utilisées pour ce flasque particulier (des fonctions non demandées par le client).

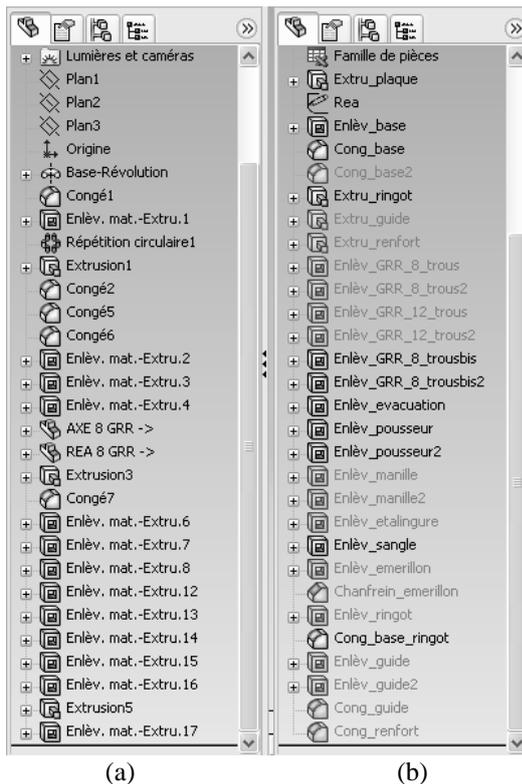


Figure 7. Arbres de l'ancien (a) et du nouveau flasque (b)

Le référencement des flasques et des poulies fut automatisé dans le programme. C'est-à-dire que la référence de la pièce ou de l'assemblage est automatiquement affichée sur les plans et les nomenclatures, même s'il s'agit d'une pièce inédite (jamais produite auparavant).

De plus nous avons ajouté une fonctionnalité qui permet de sortir automatiquement la nomenclature issue de la CAO lors de la création de la poulie.

Un système de création de plan, là encore automatisé, a aussi été ajouté pour garder une trace de la poulie qui fut produite, sans jamais avoir eu à créer le plan d'une poulie qui ne sera pas produite.

Un tableau estimant le prix de chaque fonction de la poulie en fonction du nombre et de la taille des réas fut mis en place. En additionnant l'ensemble des prix des fonctions, nous avons obtenu un prix global de la poulie. Le temps de conception de ces poulies est ainsi passé de quelques heures à quelques minutes.

4.5. Conclusion et discussion sur le cas d'étude de type 2

Le programme mis en place permet, à partir des besoins fonctionnels du client, de sortir la CAO d'une poulie, la nomenclature, les plans, l'ouverture éventuelle de nouvelles références et le prix de la poulie. De plus, il n'y a plus à gérer maintenant qu'un fichier CAO unique qui sert de base à l'obtention de l'ensemble de la famille de produits (1200 références en tout).

Nous avons proposé une démarche en termes de PLM pour cette entreprise. La mise en place d'un système informatique correspondant à cette démarche et les résultats obtenus nous conforte dans l'idée que ce type d'approche est adaptée à une PME mécanicienne de type 2. Cependant il faut remarquer que nous avons choisi délibérément une famille de produits dont la maturité était élevée. On peut légitimement se poser la question d'une application pour des produits dont la courbe d'apprentissage n'a pas encore été parcourue au vu des nombreux coefficients liant paramètres fonctions et paramètres conception obtenus empiriquement.

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVE

Nous avons proposé et mis en place une démarche globale pour répondre aux besoins en PLM d'une entreprise de type 2. Les résultats obtenus nous confirment que cette solution répond bien aux besoins de ce type d'entreprise. Mais dans un contexte d'entreprise étendue, nous ne pouvons pas nous limiter à un type d'entreprise particulier. Il doit être possible de mettre en relation des assembleurs, des outilleurs et des fabricants de pièces primaires afin de mener à bien un projet industriel. C'est pourquoi nos prochaines entreprises pilotes seront une entreprise fabricant des machines spéciales et un fabricant de pièces primaires. Cela nous permettra de mettre en évidence les problématiques spécifiques aux autres types d'entreprises et aux autres étapes du cycle de vie du produit telles que la gestion des nomenclatures ou encore la gestion des gammes, lors des étapes d'industrialisation ou de production.

REFERENCES

- Bacha, R., 2002. *De la gestion des données techniques pour l'ingénierie de production. Référentiel du domaine et cadre méthodologique pour l'ingénierie des systèmes d'information techniques en entreprise*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris.
- Cetim, 2007a. *Enquête de besoin sur le travail collaboratif*. Document interne.
- Cetim, 2007b. *Etude sur les besoins en PLM*. Document interne.
- Chambolle, S., 1999. *Un modèle produit piloté par les processus d'élaboration : Application au secteur automobile dans l'environnement STEP*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris.
- CIMdata Inc., 2003. *Product Lifecycle Management "Empowering the future of business"*.
- Delplace, J.C., 2004. *L'Ingénierie numérique pour l'amélioration des processus décisionnels et opérationnels en fonderie*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes.
- Doumeings, G., et al., 1998. *Decisional Modelling using the GRAI Grid. Handbook on Architectures of Information System*, Springer-Verlag., p313-338.
- El Khalkhali, I., 2002. *Système intégré pour la modélisation, l'échange et le partage de données*.

- produits*. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- GERAM, 1999. *GERAM: Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology v1.6.3*, IFIP-IFAC Task Force on Architectures for Enterprise Integration.
- ISO 10303-1, 1994a. *Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 1: Overview and Fundamental Principles*. ISO - International Organization for Standardization.
- ISO 10303-11, 1994b. *Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 11: Description Methods: The EXPRESS Language Reference Manual*. ISO - International Organization for Standardization.
- ISO 10303-214, 1998. *Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 214: Application Protocol: Core Data for Automotive Mechanical Design Processes*. ISO - International Organization for Standardization.
- ISO 10303-239, 2005. *Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 239: Application Protocol: Product Life Cycle Support*. ISO - International Organization for Standardization.
- Kosanke, K., and M. Zelm, 1999. CIMOSA modelling processes. *Computer in Industry* 40, p141-153.
- Labrousse, M., 2004. *Proposition d'un modèle conceptuel unifié pour la gestion dynamique des connaissances d'entreprise*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes.
- Nguyen Van, T., 2006. *Ingénierie système appliqué à la gestion des données techniques en entreprise étendue : Application aux boucles de conception/simulation*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris.
- PDM Schema, 2001. *PDM Schema v1.2*, disponible sur: http://www.pdm-if.org/pdm_schema/index.html
- Scheer, A.W., 1998. ARIS. *Handbook on Architectures of Information Systems*, Springer-Verlag., p541-566.
- Suh, N.P., 1990. *The Principle of Design*. Oxford University Press.
- Terzi, S., 2005. *Gestion du cycle de vie des produits : Définition, problèmes ouverts et modèle de références*. Thèse de doctorat, Université Henry Poincaré Nancy-I.
- White, S.A., 2004. *Introduction to BPMN*. disponible sur: <http://www.bpmn.org/>
- Williams, T.J., 1994. The Purdue Enterprise Reference Architecture. *Computers in Industry* 24, p141-158.