

VERS UN COUPLAGE DE LA CONCEPTION D'UN PRODUIT AVEC LA PLANIFICATION DE SON DEVELOPPPEMENT

**M. ALDANONDO,
E. VAREILLES,
M. DJEFEL**

CGI-EMAC
Route de Teillet - 81013 Albi

Nom@enstimac.fr

**C. BARON
G. AURIOL**

LATTIS-INSA de Toulouse
135 Av. de Ranguéil 31077 Toulouse

Nom@insa-toulouse.fr

L. GENESTE
LGP-ENI de Tarbes
Av Azereix 65016 Tarbes

Nom@enit.fr

M. ZOLGHADRI
IMS-LAPS

33405 TALENCE

Nom@laps.ims-bordeaux.fr

RESUME : *Actuellement, la conception de produit et l'organisation de son développement ne sont pas, le plus souvent, considérées simultanément ou, si elles le sont, c'est de manière empirique basée sur de l'intuition ou de l'expérience peu formalisée. Il en résulte des erreurs, des incohérences, des itérations conduisant à une perte de maîtrise du cycle de développement. Pour remédier à ce constat, nous proposons d'élaborer un environnement logiciel visant à coupler conception et planification. Nous entendons par couplage, les possibilités de répercuter les conséquences des décisions de conception produit sur la planification de son développement et inversement répercuter les conséquences des décisions de planification sur la conception de produit. Cette proposition, retenue par l'Agence Nationale de la Recherche, constitue l'objet de cette communication. En conséquence, nous ne présentons pas de résultat ou de solution à une problématique mais souhaitons avant tout cadrer un problème et proposer des pistes d'investigation. La problématique est définie et délimitée dans une première partie. Un état de l'art et une étude des travaux proches de nos préoccupations permettent ensuite de lister besoins et éléments de solution. L'organisation de l'environnement logiciel cible ainsi que les solutions visées sont alors sommairement décrites ainsi que l'organisation du projet.*

MOTS-CLES : *Conception de produit, Planification de développement, Conception de Projet, Cycle de conception, Connaissances, Aide à la décision.*

1. INTRODUCTION

Le but de cette introduction est d'explicitier dans un premier temps les raisons et les intérêts du couplage investigué. Ceci étant posé, nous expliquons ensuite ce que recouvre, pour notre étude, les termes « conception produit » et « planification de son développement ». L'impact du caractère innovant ou au contraire routinier de la conception sur la bonne faisabilité du couplage est alors abordé avec le besoin de connaissances en découlant. Quelques cas potentiels d'application sont cités pour déboucher sur le plan de la communication.

1.1. Objectif général du travail

Afin d'aider les entreprises à mettre sur le marché des produits de plus en plus compétitifs, de très nombreux travaux ont été menés en aide à la conception de produit et ont conduit à la mise au point d'outils d'aide à la conception assistée par ordinateur. Parallèlement, dans le but de maîtriser au mieux les cycles de développement et de pouvoir livrer le client ou mettre le produit sur le marché à la date prévue, des travaux conséquents ont été menés en gestion de projet et ont abouti au développement d'outils de planification et/ou d'ordonnancement de tâches de projet.

Ces travaux ayant été conduits de manière indépendante, les solutions, démarches et outils en

découlant sont de même découplés. Il en résulte alors que la conception d'un produit et la planification de son développement sont le plus souvent considérées de manière indépendante et/ou séquentielle générant : erreurs, incohérences, itérations et délais supplémentaires conduisant à une perte de maîtrise du cycle de développement.

Dans le but de remédier à ce manque, nous avons élaboré un projet dénommé ATLAS pour (Aides et assisTances pour la conception, la conduite et leur couplage par les connAissanceS) financé par l'ANR qui vise à rapprocher et coupler les environnements de conception de produit et de planification de son développement. Les décisions prises en conception de produit pouvant avoir un impact important sur la planification du projet (par exemple : la technologie choisie pour cette fonction nécessite un délai supplémentaire de transport de deux semaines) et, inversement, les décisions prises en gestion de projet pouvant fortement influencer les choix de conception du produit (par exemple : cette date de mise à disposition interdit l'adaptation de telle fonctionnalité), nous entendons par « couplage » la possibilité de répercuter ou propager les conséquences d'une décision d'un environnement dans l'autre.

L'objectif de cette communication est de clarifier cette problématique et de présenter certaines pistes de solution qui seront investiguées durant le projet

ATLAS. Les éléments proposés sont donc prospectifs et ne contiennent pas de résultat au sens scientifique du terme. Il nous semble cependant tout à fait intéressant de partager la problématique investiguée.

1.2. Délimitation de la problématique investiguée

Nous considérons sous le vocable « conception de produit » (qui recouvre également conception de systèmes et de services) : (i) la définition du besoin ou spécification du besoin, (ii) l'identification des solutions techniques pouvant remplir ces besoins et (iii) les associations besoin/solution. Suivant le niveau de détail de ces activités, nous nous situons, conformément à la typologie de (Pahl et Beitz 1996), en « Conceptual / Embodiment / Detailed design » ou « Préliminaire / d'Ensemble / Détaillée ». Nous considérons donc le résultat du processus de conception comme un ensemble d'associations (spécification de besoins, solution technologique). Nous en déduisons que la connaissance relative au processus de conception produit correspond d'une part, à des « check list » de spécifications de besoins et des « catalogues » de solutions, et d'autre part à des associations possibles besoin/solution éventuellement caractérisées par des indicateurs (performance, préférence, coût, qualité...).

Lorsque nous parlons de « planification de développement » de produit, nous considérons que le projet de développement regroupe des activités ou tâches effectuées par des ressources (technologiques, humaines...) pouvant aller des premières étapes de conception (spécification du besoin en conception préliminaire par exemple) jusqu'aux dernières tâches de réalisation du produit. Ces dernières diffèrent suivant que le produit est unitaire (tâches d'approvisionnement de composant, de production, de livraison et de mise en route chez le client par exemple) ou fabriqué en série (tâches de production de la première série validée par exemple). Nous considérons que le résultat du processus de planification, est un graphe de tâches où chaque tâche est :

- d'une part, à des listes de tâches qu'il est possible d'assembler dans un graphe générique. Une connaissance concernant l'organisation de ces graphes peut être obtenue dans les normes d'ingénierie système EIA-632 (Rochet 2007). Une modélisation de ces graphes génériques comportant des nœuds en « ET » et des nœuds en « OU » représentant en fait une famille d'organisations de projet a de même été proposée par (Rochet et Baron 2004).
- d'autre part, les listes de ressources ou d'aptitudes de moyens qu'il est possible d'affecter aux tâches.

Les éléments précédents permettent de dégager, conformément aux travaux de (Eppinger et Salminen 2001) et aux travaux relatifs à l'emploi des « Design Structure Matrix » ou matrices DSM (Lindemann 2007) et (Harmel 2007), quatre domaines interagissant : (1) les besoins ou spécifications, (2) les solutions, (3) les tâches ou processus et (4) les ressources, comme cela est représenté en figure 1. Les deux premiers sont relatifs à la conception de produit et les deux derniers à la planification de son développement. Le couplage que nous investiguons vise à associer les deux premiers domaines aux deux derniers et principalement les solutions (2) avec les tâches ou processus (3) qui doivent permettre de répercuter ou propager les décisions d'un domaine vers l'autre ; il est cependant possible de rencontrer des couplages entre les domaines (1) et (4) , (1) et (3) ou encore (2) et (4). La connaissance de couplage traduit alors des associations possibles entre domaines. En ce qui concerne les domaines (2) et (3), les associations entre solutions et tâches explicitent, entre autres, que telle solution technologique ou composant peut être le résultat de telles tâches ou processus.

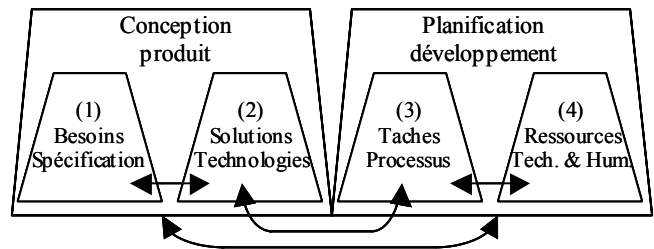


Figure 1 – Couplage des domaines objet de l'étude

1.3. Type de conception, connaissance et couplage

Les possibilités de coupler ou propager les conséquences des décisions entre domaines reposent fondamentalement sur la connaissance de couplage évoquée dans la section précédente. En l'absence de connaissance, il n'y a pas de description des associations inter-domaines possibles et les conséquences d'une décision ne peuvent donc pas être répercutées dans un autre domaine. Dans cette situation, ce sont les concepteurs et/ou les chefs de projet qui, en faisant appel à leurs expériences et/ou intuitions, associent les domaines et infèrent les conséquences des choix. Il résulte de ce manque de connaissance erreurs, incohérences et itérations dans le développement produit. Une typologie des problèmes de conception fréquemment évoquée, proposée par (Brown et Chandrasekaran 1985) et (Coyne et al. 1990), fait apparaître, suivant les connaissances disponibles, trois types de conception : créative, innovante ou routinière.

Il est clair qu'en conception routinière, l'expérience acquise aussi bien en conception de produit qu'en planification de son développement, permet aux concepteurs et/ou le chefs de projet de limiter les erreurs et

itérations dans le cycle de développement du produit. Cette expérience doit pouvoir se capitaliser et se mettre sous forme d'associations inter-domaines. Par exemple, si l'on considère une entreprise qui conçoit et fabrique des grues, exemple tiré de (Vareilles et al 2007a), le concepteur sait à peu près ce que sa son entreprise est capable de concevoir et de fabriquer, le chef de projet a en tête (et parfois sur le papier) des synoptiques d'organisation des tâches de conception/fabrication/livraison. Lors d'une revue de contrat, ces deux acteurs sont ensemble capables : d'évaluer les conséquences d'un besoin ou d'une fonctionnalité particulière sur un planning de mise à disposition, ou dans l'autre sens, les options interdites par une contrainte de délais forte. Il en résulte que ce type de conception constituera un axe fort de nos investigations. Ce type de conception se retrouve dans les entreprises travaillant par exemple dans les secteurs des machines outils, de la construction navale, des grues et appareils de levage ou encore du génie civil.

Lorsque la conception devient moins routinière et plus innovante voire créative, la connaissance manquante correspond tout d'abord aux associations inter-domaines. C'est à dire que les possibilités d'associations n'ont pas toutes été investiguées en détail. On ne sait pas, par exemple, si tel composant peut répondre à tel nouveau besoin ou si l'approvisionnement de tel composant peut se faire chez tel fournisseur. Ensuite le manque de connaissance correspond à des entités inconnues dans les quatre domaines qu'il est alors nécessaire de définir, de trouver ou de concevoir. Par exemple, une nouvelle fonctionnalité inconnue à définir ou caractériser (mettre un GPS sur la charge de la grue), un nouveau composant ou une solution à identifier ou trouver, de nouvelles tâches/processus à définir, ou encore de nouvelles ressources de conception et/ou de réalisation à déterminer. En conséquence, plus la conception est créative, plus le couplage est délicat voire impossible à mettre en œuvre et plus la connaissance doit être recherchée et apportée par les concepteurs et les chefs de projet. Cependant, les innovations par rupture étant beaucoup moins fréquentes que les innovations incrémentales, il est fréquent de constater que l'innovation se fait par partie et ne porte en fait que sur une partie limitée du produit laissant une large place à la conception routinière. Ce type de conception mixte, à la fois routinière et innovante, constituera en conséquence un axe fort de nos investigations. Des exemples d'industrie où la conception est plus créative sont l'électronique, l'informatique ou la mécatronique, principalement du fait du renouvellement incessant des technologies et de la demande.

1.4. Type de produit considéré

Que la conception soit innovante ou routinière, le produit ou le système objet de la conception peut éventuellement présenter un comportement ou une dynamique

de fonctionnement ou d'utilisation. La description d'un mouvement dans le cas d'une grue ou d'un robot, la définition d'un cycle de chauffe dans le cas d'un four sont des exemples de fonctionnement qui peuvent entrer dans la définition du besoin et donc dans le processus de conception.

Dans un souci de pragmatisme et de robustesse des développements, nous considérons que seules les grandeurs ou caractéristiques comportementales représentées par une constante modélisant la dynamique du produit ou du système (par exemple : une vitesse maximum, une accélération maximum, une fréquence minimum, un taux de conversion moyen, un nombre de cycles nominal...) peuvent impacter la conception/planification du projet. En conséquence, un comportement représenté par un Réseau de Petri ou une équation différentielle ne sera pas considéré dans les premiers travaux. Ce besoin de prise en compte détaillée du comportement pouvant s'avérer indispensable pour certains types de conception (certains systèmes embarqués par exemple), les choix qui seront effectués lors des développements auront à l'esprit cet aspect et s'efforceront de ne pas verrouiller la prise en compte ultérieure de ce besoin.

1.5. Conclusion et organisation de la communication

La problématique étant cadrée, la seconde partie oriente et détaille nos investigations vers des travaux sur lesquels nous baserons et appuierons notre projet. La dernière partie décrira les solutions que nous allons investiguer et l'organisation du projet.

2. VERS UN COUPLAGE CONCEPTION PLANIFICATION

Après un bref état de l'art général, cette section abordera trois types de travaux à la base de notre projet. Les deux premiers différeront suivant la nature, V ou en Zig-Zag, du cycle de conception. Le troisième travail, indépendant de la nature du cycle, s'intéresse plus à la technique et au formalisme permettant et supportant le couplage ou propagation des conséquences des décisions entre deux environnements. Ces éléments serviront de base à nos propositions de travail présentées en dernière partie.

2.1. Etat de l'art

Encore très récemment, la conception était une affaire "disciplinaire" : on parlait de systèmes mécaniques, systèmes électroniques, systèmes de télécommunications. Chacun, dans sa profession, dispose donc aujourd'hui d'outils de Conception Assistée par Ordinateur (C.A.O.) spécifiques et bien adaptés. Par exemple, en micro-électronique, les outils existants ont permis la conception de circuits intégrés de très grande complexité (des millions de composants par puce), selon

des démarches de type conception-vérification, qui conduisent à des prototypes opérationnels "sans faute"... Dès le début des années 90, de nombreux métiers en automobile, avionique, informatique... ont été confrontés à la nécessité de faire coopérer plusieurs disciplines et plusieurs technologies, car les exigences "client", en termes de performances et de coûts, supposaient des choix de compromis et d'optimisation qui ne peuvent être élaborés et mis en œuvre sans un "saut technologique" dans les méthodes et dans les outils. Ainsi, de nouvelles préoccupations sont apparues faisant clairement apparaître l'exigence de créer des passerelles entre les différents processus, dont celui de conception produit. En particulier, le lien immédiat entre la conception d'un produit et la définition du projet sous-jacent (de réalisation notamment) devient un nouvel enjeu pour gagner en efficacité. Cependant, le couplage entre la conception de produit et la conception de projet est un thème scientifique peu abordé dans la littérature scientifique internationale. Nous pouvons toutefois citer comme travaux significatifs :

- Les premiers travaux dans le domaine ont été, à notre connaissance, conduits au M.I.T (Eppinger et al 1991) sur l'utilisation de méthodes et techniques employées en conception produit pour faciliter la conception de projet. Ces travaux sont à l'origine de tout un ensemble de développements scientifiques autour des matrices DSM, voir (Lindemann 2007) déjà cité.
- Issue de la même institution, l'axiomatique design, proposé par (Suh 1990) et (Suh 2001), identifie de même différents domaines et vise à les mettre en relation. Le travail le plus proche de nos préoccupations (Stewart et Tate 2000) s'est intéressé au couplage, dans le cas du génie logiciel, de l'axiomatique design avec la planification de projet.
- A la même époque un courant de travaux, initié par (Gero 1990) a proposé des modèles reposant sur trois domaines : fonction, comportement et structure. L'intérêt de ces travaux est de prendre en compte le comportement produit (attendu et effectif) et d'inventorier de manière formelle huit sous processus de conception. Les propositions font toujours l'objet d'actualisations et de discussions nombreuses (Vermaas et Dorst 2007). Le couplage objet de notre projet n'est cependant pas explicitement considéré.
- Les travaux de normalisation de l'ingénierie système débouchant, entre autres, sur l'EIA-632 déjà évoqué en section 1, qui proposent des primitives de description détaillée du processus conception constituant ainsi un premier niveau de connaissance du domaine tâches ou processus.
- Les travaux de (Oosterman 2001) sur le lien entre l'architecture du produit et le processus de conception méritent également d'être cités. Ces travaux mettent en évidence la nécessité et la difficulté de coupler les aspects produit et projet pour améliorer l'efficacité. Ils insistent également

sur le besoin de capitaliser les expériences pour les conceptions futures et sur l'importance du type de cycle de conception en « V » ou en « Z ».

- Plus récemment et dans notre environnement de projet, les travaux de (Gutierrez C., 2007) ont abordé le couplage ingénierie système et planification de réalisation, ainsi que (Aldanondo et al 2007) qui a proposé d'outiller ce couplage avec les approches par contraintes.

Les sous sections suivantes reprennent et détaillent les problématiques de couplage en présence de cycle de conception en « V », en « Z » ainsi que l'outillage à l'aide des approches par contraintes.

2.2. Cycle de conception en V et couplage.

Nous entendons par cycle en V l'approche conventionnelle décrite entre autres par (Pahl et Beitz 1996). Dans un premier temps, cette approche décompose et affine progressivement (dans une approche descendante) le besoin indépendamment des solutions puis, lorsque le niveau de détail est jugé suffisant, associe des solutions aux besoins élémentaires de plus bas niveau, pour finalement assembler les solutions détaillées pour aboutir progressivement (approche remontante) à une solution globale. De très nombreux travaux de conception se sont inspirés de cette démarche dans des domaines variés, comme le logiciel ou l'électronique par exemple.

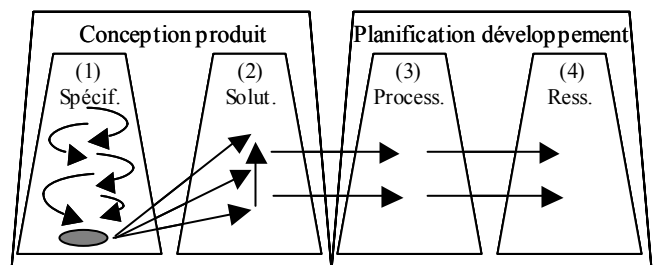


Figure 2 – Cycle en V et couplage

Les travaux de (Gutierrez 2006), se sont inscrits dans cette approche et ont proposé des pistes pour coupler conception et projet de réalisation. Le domaine d'application est l'ingénierie système et l'approche, schématisée en figure 2, propose :

- une analyse descendante du besoin débouchant sur des spécifications, une attention particulière est portée sur la compatibilité de ce travail de spécification avec des approches et outils permettant une forme de validation des spécifications,
- une fois la partie spécification du besoin terminée et donc au plus bas niveau des spécifications, une forme d'agrégation des besoins atomiques en modules, suivant des critères de proximité spatiale ou technologique par exemple,
- de faire correspondre à chaque module ce que l'auteur dénomme un « Module structuro-

fonctionnel » (ellipse grise sur la figure 2) lui-même associé d'une part à une solution technologique et d'autre part à des tâches du processus de réalisation ou d'approvisionnement.

Cette proposition s'articule par ailleurs avec des travaux complémentaires d'équipes toulousaines, d'une part du LAAS-CNRS (Hamon 2005) et (Maurice 2005) portant sur des méthodes et outils de validation et de simulation de spécifications, et d'autre part, du LATTIS-INSA (Rochet et Baron 2004) visant à associer et optimiser par des approches génétiques la planification des tâches de réalisation.

Ces travaux sont intéressants, car ils font explicitement apparaître un couplage entre conception produit et planification du développement. Cependant la propagation ou répercussion des conséquences des décisions entre environnements semble être univoque ou du moins privilégier très fortement la propagation de la conception vers la planification. Il semble que la caractéristique descendante de l'analyse/validation du besoin, se déroulant sans interaction significative avec les choix technologiques et/ou les tâches du processus de développement, soit la cause de l'impossibilité de propagation des conséquences des décisions de la planification vers la conception.

2.3. Cycle de conception en Z et couplage.

Nous entendons par cycle en Z l'approche préconisée par l'axiomatic design (Suh 1990) et (Suh 2001). Ces travaux, considérant fondamentalement les deux domaines besoins et solutions, font l'hypothèse que la décomposition du besoin ne peut se faire qu'en ayant choisi un principe de solution ou un type de technologie et ceci quelque soit le niveau d'abstraction. Il en résulte, pour le processus de conception une démarche descendante dite de « zigzagging » entre les domaines besoin et solution comme cela est représenté sur la gauche de la figure 3.

Des auteurs ont étendu ce principe au domaine processus de réalisation sans dissocier les domaines tâches et ressources. On pourra se référer au travail et aux exemples présentés dans (Goncalves-Coelho *et al* 2005) et (Goncalves-Coelho 2004) où le couplage entre domaines apparaît clairement dans les directions : conception vers planification mais aussi planification vers conception. Cependant, il est à noter que le couplage planification vers conception, c'est à dire la propagation des décisions/contraintes de planification vers la conception se déroule lors de la décomposition du besoin.

C'est en s'inscrivant dans ce courant de travaux que (Steward et Tate 2000) ont proposé explicitement d'intégrer conception et planification. Leur idée, conformément aux éléments présentés en section 1, a été d'associer aux variables de conception (DP ou « Design Parameter » de l'axiomatic design,

correspondant aux décisions de conception) des tâches du processus de développement. La démarche a été outillée avec un développement ad hoc couplé au progiciel microsoft project et testée dans le cas d'une entreprise d'ingénierie logicielle. L'un des intérêts majeurs, relevé par les auteurs, est de contraindre les concepteurs/développeurs à réfléchir simultanément aux besoins, aux solutions et aux tâches de développement en identifiant les liens et dépendances entre domaines (mais aussi à l'intérieur des domaines) ; et d'éviter le découplage conception/planification discuté en section 1. Cependant, la conclusion de la section précédente est toujours d'actualité, il y a toujours un sens préférentiel de propagation de la conception vers la planification. Ainsi une contrainte de délai forte ne sera prise en compte qu'après un premier niveau de définition des besoins et des solutions.

Dans la section 2.2.4 de son mémoire de thèse (Oosterman 2001), s'interroge clairement sur ces deux démarches de conception en V et/ou en zig-zag et fait une comparaison très intéressante des travaux de (Pahl et Beitz 1996) pour le cycle en V et ceux de (Suh 2001) pour le cycle en Z. Il en conclut que : "it is reasonable to assume that a function cannot be decomposed without considering its solution (on that hierarchical level). This is a very important concept and one that will be used again".

Bien que cette conclusion semble orienter vers le cycle en Z, nous pensons que le secteur où ces techniques sont employées doit avoir un impact non négligeable. Si il est probable qu'en conception mécanique ou mécatronique le cycle en Z semble plus adéquat, il n'en est peut être pas de même en conception électronique ou en informatique.

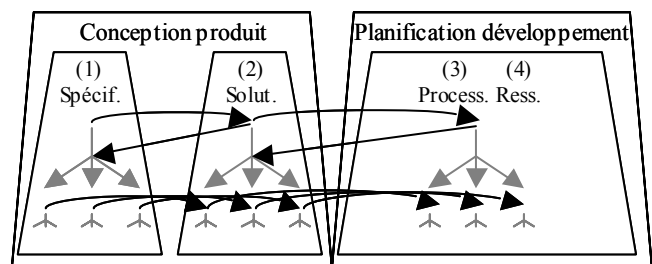


Figure 3 – Cycle en Z et couplage

2.4 Couplage et approche par contraintes.

Plus la conception est routinière, plus la connaissance produit est disponible. Dans une situation extrême, dénommée « configuration », l'ensemble de tous les besoins possibles et solutions envisageables peut être investigué et validé. Il a été montré, entre autres par (Felfernig *et al* 2000), qu'il est alors possible de modéliser de manière générique les connaissances représentant l'ensemble des besoins et l'ensemble des solutions ainsi que les associations qui les relient. Ce sont ces modèles de connaissances que l'on intègre

dans des progiciels d'aide à la configuration, dont la problématique est bien décrite dans (Sabin et Weigel 1998). La plupart des modèles de connaissance et des progiciels d'aide considère le problème de configuration comme un problème de satisfaction de contraintes (ou CSP). Un CSP, de manière la plus générale (Tsang 1993), est un triplet $\{X, D, C\}$, où X est un ensemble de variables, D un ensemble de domaines (un pour chaque variable) et C un ensemble de contraintes limitant les combinaisons de valeurs possibles des variables. A l'aide de ce formalisme un problème de configuration fait apparaître, comme cela est décrit dans la partie gauche de la figure 4 : (i) des variables décrivant les besoins ou spécifications (1) et des variables décrivant les solutions (2), (ii) des contraintes intra-domaine reliant les variables de chaque domaine pour décrire les besoins ou spécifications antagonistes (1) et les incompatibilités de solutions technologiques (2) et (iii) des contraintes inter-domaines représentant les associations possibles entre les besoins et les solutions. Ceci étant posé, la configuration interactive consiste, lors de chaque choix de valeurs de variable (spécification ou solution) effectué par l'utilisateur, à propager les contraintes et réduire l'amplitude des valeurs possibles des variables non instanciées ; c'est à dire à progressivement instancier le modèle générique représentant l'ensemble des possibles.

De manière similaire à la configuration, la planification de tâche a de même été considérée comme un problème de satisfaction de contrainte. Rina Dechter (Dechter *et al* 1991) a été parmi les premiers à considérer ce problème et à proposer une extension « temporelle » des CSP. Un état plus récent sur les techniques de propagation de contraintes dans les problèmes de planification peut être consulté dans (Laborie 2003).

Etant donné ces éléments, il apparaît clairement que les problèmes de configuration de produit et de planification peuvent être considérés tous les deux comme des problèmes de satisfaction de contraintes et en conséquence associés. Cette idée n'est pas nouvelle et trouve certains de ces fondements dans un courant de travaux effectués en France (Vargas 1995), (Harani 1997) ou encore (Sellini 1999) qui, associés à de grands projets multipartenaires, se sont intéressés à l'aide à la conception routinière avec des approches par contraintes. Considérant connaissances produit, connaissances processus de conception et modélisation, ces travaux ont montré les intérêts et les difficultés de ces approches et proposé des éléments de modélisation associant les différents domaines. S'inscrivant dans cette idée, le problème de configuration de produit a été étendu à la configuration de son processus de production par (Aldanondo *et al* 2003 et 2007) et les premiers éléments d'association avec de la planification fournis par (Vareilles *et al* 2007a), comme cela est schématisé en figure 4. Dans ces derniers travaux, le problème de configuration de

produit est associé à la planification des tâches de fabrication et il est montré, comment les choix de configuration produit peuvent impacter le planning de réalisation et surtout, comment des décisions de planification (choix de ressource, de date de mise à disposition...) peuvent être propagées dans l'environnement de configuration de produit et impacter les définitions des spécifications et/ou des solutions produit.

L'intérêt de cette dernière approche est de pouvoir propager dans les deux sens. Son manque majeur est de se situer en configuration, c'est à dire en conception « infiniment routinière », et de nécessiter à priori une connaissance complète des espaces de solutions de conception et de planification. Néanmoins des développements récents semblent laisser présager qu'il soit tout à fait possible d'associer à l'instanciation de modèle générique, propre au processus de configuration, un processus de modification/création de modèles génériques permettant de sortir de l'espace prédéterminé des possibles, et donc de considérer des problèmes de conception beaucoup moins routinière.

Ces travaux exploitant les approches par contraintes sont le plus souvent présentés et illustrés sur des exemples ne considérant qu'un seul niveau d'abstraction. Cependant, en ce qui concerne le domaine conception le modèle de connaissance proposé par (Felfernig *et al* 2000) s'appuie sur un formalisme UML qui est tout à fait compatible avec des approches hiérarchisées. En ce qui concerne la planification, il est nécessaire d'investiguer un peu le domaine ; mais les nombreux travaux existant en planification hiérarchisée devraient, nous pensons, permettre de solutionner cet aspect.

En conséquence, l'outillage du couplage de la conception de produit avec la planification de son développement avec des approches par contraintes nous paraît tout à fait compatible que le cycle de conception soit en V ou en Z.

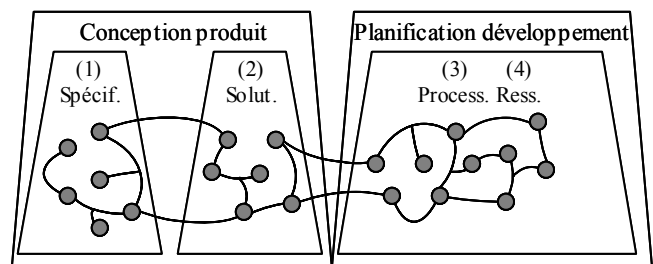


Figure 4 – Couplage et approches par contraintes

2.5. Conclusions.

Nous dégageons en conséquence les besoins suivants :

- quatre domaines à considérer : (1) besoins ou spécifications, (2) solutions, (3) tâches ou processus et (4) ressources
- deux types de cycles de conception : en V ou en Z,

- type de conception mixte, initialement routinière ouverte sur de la conception plus innovante,
- comportement des produits/systèmes représentés par des paramètres constants dans un premier temps,
- couplage fondamentalement basé sur les connaissances,
- répercussion des conséquences de décisions dans les deux sens : conception vers planification et planification vers conception,
- approche structurée ou niveaux d'abstraction multiples,
- prise en compte des connaissances relatives aux processus de conception proposés dans l'EIA-632.

Ces éléments sont à la base des solutions que nous nous proposons d'étudier.

3. SOLUTIONS PROPOSEES ET ORGANISATION DU PROJET

Le projet repose sur les compétences et travaux déjà effectués de cinq laboratoires universitaires : le LATTIS de l'INSA de Toulouse, le LAAS-CNRS de Toulouse, le LGP de l'ENI de Tarbes, l'IMS-LAPS de l'Université de Bordeaux I et le Centre de Génie Industriel (CGI) de l'Ecole des Mines d'Albi-Carmaux porteur du projet ; de trois entreprises : Pulsar-Innovation, Sigma+ et Anyware complété par des utilisateurs finaux rassemblés dans le cadre du pôle de compétitivité « Aerospace Valley ».

3.1. Approche et solutions visées

Les besoins identifiés en fin de section 2 ont conduit à retenir les solutions suivantes. Deux environnements distincts de conception et de planification seront à développer. Ils devront permettre de pouvoir définir, de manière ergonomique et structurée sur plusieurs niveaux, d'une part les entités des quatre domaines : (1) besoins ou spécifications, (2) solutions, (3) tâches ou processus et (4) ressources ; ainsi que d'autre part les associations entre entités intra et inter domaines,

En ce qui concerne l'environnement de conception, la partie spécification sera assistée par des outils d'analyse, de validation et éventuellement de simulation des spécifications. En effet dans le cadre du cycle en V, la spécification descendante se fait sans interaction avec les autres domaines. Il est donc fondamental de s'assurer au maximum de sa validité et de sa robustesse, pour éviter les itérations coûteuse en cycle de développement. Cet outillage pourra de même être exploité par le cycle en Z lors de chaque changement de niveau d'abstraction. Les travaux et

développements effectués par le LAAS (Hamon 2005) et (Maurice 2005) par le biais de la plate-forme d'assistance à la spécification "HILES" seront intégrés dans l'environnement cible.

En ce qui concerne l'environnement de planification, les travaux déjà effectués par le LATTIS (Rochet et Baron 2004) seront exploités pour la modélisation de l'espace des solutions de planification ainsi que pour la sélection de bonnes solutions (voire optimale dans certains cas) par approche évolutionnaire, par le biais de l'environnement "GESOS". Certains travaux récents de (Zolghadri *et al* 2007) seront mis à contribution pour tout ce qui est représentation et sélection des ressources à haut niveau d'abstraction, correspondant aux partenaires (fournisseurs, sous-traitant...).

Le couplage sera, quant à lui, étudié dans la continuité des travaux du LATTIS (Gutierrez 2007) et outillé par des techniques de propagation de contraintes disponible au CGI, dans environnement dénommé "COFIADÉ" utilisé dans différents travaux d'aide à la conception (Aldanondo *et al* 2003 et 2007) et (Vareilles *et al* 2007a et 2007b). Les différents couplages reposant fondamentalement sur de la connaissance qu'il sera le plus souvent nécessaire d'extraire auprès des concepteurs et chefs de projet, les couplages par contraintes seront assistés par des processus de retour d'expériences. Les travaux du LGP dans ce domaine (Clermont *et al* 2007) permettront d'exploiter l'environnement de retour d'expérience "T-REX" actuellement en cours de développement.

Il est à remarquer que les approches par contraintes n'ont pas été retenues pour les assistances à la conception et à la planification pour des raisons de pragmatisme et de robustesse des développements. Les traitements de couplage (répercussions des décisions) seront donc supportés par trois moteurs de résolution (ou plus exactement de réduction de l'espace des possibles) dont les principes de coopération sont à définir. Si ces choix semblent s'avérer actuellement adéquats pour la planification, les partenaires s'interrogent sur l'intégration d'un processus de propagation de contraintes pour répercuter les décisions au sein de l'environnement de conception.

L'intégration de ces outils avec les deux environnements bénéficiera du recul pris par l'IMS-LAPS au cours du projet IPPOP (Merlo et Girard 2004) en matière de définition de système d'information supportant les activités de conception de produit.

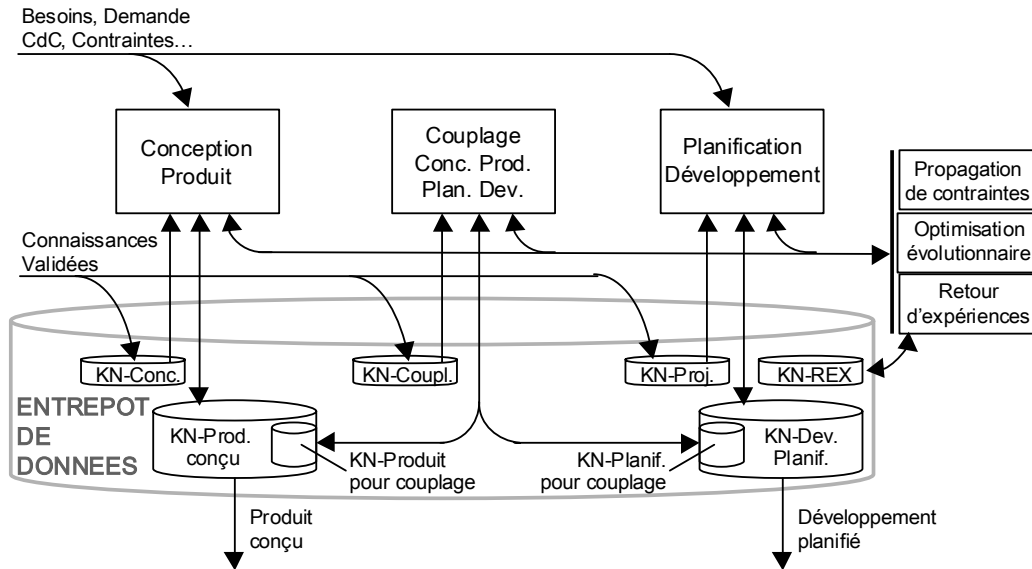


Figure 5 – Environnement cible du projet ATLAS.

3.2 Environnement cible

Les éléments décrits précédemment, permettent alors de proposer en figure 5 un synoptique de l'environnement logiciel cible du projet ATLAS.

Trois modules font apparaître les deux environnements de conception et de planification reliés par un environnement de couplage. A noter que chaque module dispose de sa propre base de connaissances. La connaissance conception correspond à de la connaissance « produit » ou métier, tandis que la connaissance projet correspond entre autres aux standards de l'EIA-632. Les trois outils d'assistance : propagation de contraintes, optimisation évolutionnaire et retour d'expériences ont été positionnés comme des ressources exploitables par les trois modules. L'ensemble repose sur un entrepôt de données qui stockera toutes les données, informations et connaissances nécessaires. A noter les deux niveaux d'interactions avec l'utilisateur. En haut à gauche de la figure 5, l'utilisateur est dans une démarche d'instanciation de modèle ou d'exploitation de connaissances. Il saisit ses besoins, ses choix de solutions, ses contraintes dans les deux environnements, il est en conception routinière. Au milieu à gauche de la figure 5, l'utilisateur apporte de la connaissance relative aux différentes entités et à leurs couplages, il est en conception moins routinière voire innovante.

3.3. Organisation du projet

Pour mener à bien ce projet, les partenaires ont été répartis en trois groupes : un groupe représentant le côté utilisateur industriel, un groupe rassemblant les concepteurs de l'environnement visé et un groupe associé au développement informatique.

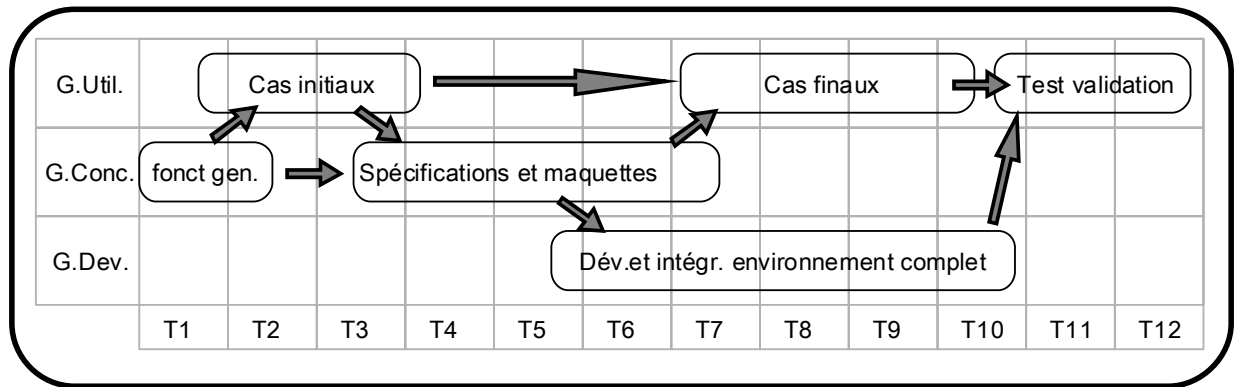
Les activités principales du "groupe utilisateur" seront de définir les besoins en couplage au début du projet et d'évaluer en fin de projet l'environnement développé. Ces deux tâches reposeront sur la définition de cas ou de situations couplant conception produit et planification de développement.

Le "groupe concepteur", outre sa participation dans la définition des besoins et des cas, sera chargé principalement de spécifier les différents modules logiciels d'aide à la conception et de fournir certaines maquettes logicielles en s'appuyant sur les cas ou situations définis précédemment.

Les spécifications des modules d'aide étant écrites, le "groupe développeur" sera chargé des spécifications du système d'information support, du développement de l'environnement complet et de l'intégration des maquettes logicielles.

Le projet ATLAS se décompose alors en six phases principales schématisées en figure 6.

- (1) En début de projet, le groupe concepteur présente ces propositions et idées générales en termes de fonctionnalités pour les environnements de conception, de planification et de couplage.
- (2) Ces éléments étant fournis, le groupe utilisateur élabore, à l'aide des industriels du pôle Aerospace Valley, des cas initiaux ou jeux de données élémentaires correspondant aux besoins en termes de couplage entre conception et développement.
- (3) Le groupe concepteur élabore, en se basant sur ces cas initiaux, les solutions (spécifications et maquettes) pour les trois modules ou environnements de conception produit, planification de développement et couplage et pour les outils d'aide associés.
- (4) Le groupe développeur entreprend dans un premier temps les définitions et spécifications complètes du



système d'information incluant tous les modules, les outils et l'entrepôt de données, puis le codage et l'assemblage de l'environnement intégré complet ou démonstrateur non instancié.

(5) Simultanément, le groupe utilisateur, en interaction avec les industriels du pôle Aerospace Valley élabore les cas finaux en visant la mise au point d'un cas global regroupant toutes les fonctionnalités attendues pour validation.

(6) Le groupe utilisateurs dispose alors de cas finaux de validation d'un démonstrateur non instancié et peut alors, tester, évaluer et rendre compte.

4. CONCLUSIONS

L'objectif de cette communication était de présenter un projet visant à coupler la conception de produit avec la planification de son développement.

Après des éléments permettant de préciser et délimiter notre champ d'investigation, le rôle fondamental des connaissances associé à l'aspect plus ou moins routinier ou innovant de la conception est clarifié.

Ceci étant posé, un état de l'art sur les travaux liés au couplage investigué est dressé. Les travaux relatifs aux cycles de conception en V et en Z sont discutés et un outillage de couplage à base de contraintes présenté.

L'ensemble des analyses précédentes permettent alors de déboucher sur les premières lignes d'une solution logicielle cible mettant en œuvre :

- trois environnements de conception de produit, de planification de développement et de couplage,
- trois outils d'aide à la décision : propagation de contraintes, retour d'expériences et optimisation évolutionnaire
- un entrepôt de données stockant : la connaissance nécessaire aux trois environnements, les solutions de conception et de planification.

Une équipe projet et une organisation du travail sur trois ans est également décrite. Le lancement effectif du projet est prévu pour le début 2008.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier tous les partenaires du projet ATLAS notamment, C. Merlo et Ph. Girard de l'IMS-LAPS, D. Estève du LAAS-CNRS, T. Roux de la société Pulsar-Innovation, G. Ubersfeld de la société Anyware, M. Malabert de la société Sigma + ainsi que T. Pardessus et F. Sperandio du pôle de compétitivité Aerospace Valley. Les auteurs remercient également l'ANR dont le financement va permettre d'évaluer l'applicabilité et l'intérêt des propositions.

REFERENCES

- Aldanondo M., Hadj-Hamou K., Moynard G. and Lamothe J., 2003. Mass customization and configuration: Requirement analysis and constraint based modeling propositions. Integrated Computer-Aided Engineering. IOS Press - Vol. 10, n° 2, p. 177-189.
- Aldanondo M., Vareilles E., Lahmar Y., Baron C. et Moynard G., 2007, Une approche pour la configuration cohérente de produit et de gamme de production, Journal Européen des Systèmes Automatisées (JESA) n°41/2007, p. 567-584.
- Brown D.C., Chandrasekaran B., 1985. Expert systems for a class of mechanical design activity, Knowledge Engineering in Computer-Aided Design. North-Holland. P. 259-282.
- Clermont Ph., Béler C., Rakoto H., Desforges X. and Geneste L., 2007, Capitalisation et exploitation du retour d'expérience : un raisonnement à partir de cas étendu aux systèmes sociotechniques – Chapitre d'ouvrage : Raisonnement à partir de cas en conception configuration de produits Ed. Hermès.
- Coyne R.D., Rosenman M.A., Radford A.D., Balachandran M., Gero J.S., 1990. Knowledge-Based Design Systems, Addison-Wesley.
- Dechter R., Meiri I. et Pearl J., 1991, Temporal Constraint Satisfaction Problem, Artificial Intelligence n° 49, pp. 61-95.
- Eppinger S., Whitney D., Smith R., Gebala D., 1991, Organizing the tasks in complex design projects,

- MIT Workshop on Computer-aided cooperative product development, Springer-Verlag New York.
- Eppinger S.D. et Salminen V., 2001. Patterns of product development interactions, Int. Conf on Engineering Design, ICED 01, Vol. 1, Glasgow, August 21-23, pp.283-290.
- Felfernig A., Friedrich G. and Jannach D., 2000, UML as domain specific language for the construction of knowledge-based configuration systems, International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, 10(4), p 449-469.
- Goncalves-Coelho A., Mourao A. et Pereira Z., 2005, Improving the use of QFD with Axiomatic Design, Concurrent Engineering Research and Applications, Vol 13 n°3, p 233-239.
- Goncalves-Coelho A., 2004, Axiomatic Design and the Concurrent Engineering Paradigm, Conference Computing and Solutions in Manufacturing Engineering (COSME 04), Brasov Roumanie.
- Gero J.S., 1990, Design prototypes : a knowledge representation schema for design, AI magazine, Vol 11 n°4, p 26-36.
- Gutierrez C., 2007, Méthodes et Outils de la Conception Système couplée à la Conduite de Projet, Doctorat Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.
- Hamon J.C., 2005, Méthodes et Outils de la Conception Amont pour les Systèmes et les Microsystèmes, Doctorat Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Harmel G., 2007. Vers une conception conjointe des architectures du produit et de l'organisation du projet dans le cadre de l'Ingénierie, Doctorat Université de Franche Comté.
- Harani Y., 1997 Une approche multi-modèles pour la capitalisation des connaissances dans le domaine de la conception, Doctorat Institut National Polytechnique Grenoble.
- Laborie P., 2003, Algorithms for Propagating Resource Constraints in AI Planning and Scheduling: Existing Approaches and New Results, Artificial Intelligence n°143, p. 151-188.
- Lindemann U., 2007, A vision to overcome "chaotic" design for X processes in early phases, Int Conference on Engineering Design (ICED), Paris France.
- Maurice R., 2005, Contribution à la méthodologie de conception système : application à la réalisation d'un microsysteme multicapteurs communicant pour le génie civil. Doctorat Institut National Polytechnique de Toulouse, Février 2005.
- Merlo C. et Girard Ph., 2004, Information System Modelling Engineering Design Co-ordination, Computers in Industry, Vol 53/3 pp 317-334.
- Oosterman, B., 2001, Improving product development projects by matching product architecture and organization, PhD Thesis, University of Groningen.
- Pahl G. et Beitz W., 1996, Engineering Design A Systematic Approach, Springer.
- Rochet S., 2007, Formalisation des processus de l'Ingénierie Système : Proposition d'une méthode d'adaptation des processus génériques à différents contextes d'application, Doctorat INSA de Toulouse.
- Rochet S. et Baron C., 2004. Assistance à la conduite de projet en ingénierie des systèmes, proposition d'une méthode évolutionnaire, Journal Européen des Systèmes Automatisées (JESA) n°38/2004, p. 1017-1039.
- Sabin D. and Weigel R., 1998, Product Configuration Frameworks - A Survey. IEEE Intelligent Systems, 13(4), 42-49.
- Sellini F., 1999, Contribution à la représentation et à la vérification des modèles de connaissances en ingénierie d'ensembles mécaniques, Doctorat Ecole Centrale de Paris.
- Stewart D. and Tate D., 2000, Integration of Axiomatic design and project planning, First Int Conference on Axiomatic Design Cambridge, MA, p 285-289..
- Suh N., 1990, The principles of design, Oxford Series.
- Suh N., 2001, Axiomatic Design: Advances and Applications, Oxford Series.
- Tsang E., 1993, Foundations of Constraint Satisfaction, Academic Press London and San Diego.
- Vareilles E., Aldanondo M., Baron C., Geneste L., Zolghadri M. et Lahmar Y., 2007a, Aider à la décision simultanément en développement de produit et en gestion de projet en utilisant les approches par contraintes, 7ème Congrès de Génie Industriel Trois Rivières Canada.
- Vareilles E., Aldanondo M., and Gaborit P., 2007b, Evaluation and Design: a Knowledge based Approach, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Volume 20 n° 7, p 639-653.
- Vargas C. 1995, Modélisation du processus de conception en ingénierie des systèmes mécaniques. Application à la conception d'une culasse automobile. Doctorat de l'ENS Cachan, France.
- Vermaas P.E. et Dorst K., 2007, On the conceptual framework of John Gero's FBS-model and the prescriptive aspects of design methodology, Design studies, Volume 28 n°2, p 133-157.
- Zolghadri M., Baron C., Aldanondo M. et Girard Ph., 2007, A combination of strategic positioning and operational effectiveness, European Symposium on Innovative Management Practices, Biarritz France.