

Intégration de produits mécatroniques au sein d'un système PLM

HOUSSEM ABID¹, MADY GUILLEMOT¹, DIDIER NOTERMAN¹, PHILIPPE PERNELLE²

¹ Laboratoire DISP, INSA Lyon
69100, France

{houssem.abid,mady.guillmot,didier.noterman}@insa-lyon.fr

² Laboratoire DISP, Université de Lyon1
69100, France
philippe.pernelle@univ-lyon1.fr

Résumé – La conception de système mécatronique nécessite l'intégration de données issues de métiers différentes (CAO mécanique, électrique, automatisme, logiciel embarqué, ...). Dans ce contexte, les systèmes PLM définissent une solution naturellement pertinente pour gérer ces données. Toutefois, la structuration de ces systèmes étant construite autour de la CAO, elle ne permet pas une réelle intégration en termes de réutilisation, de reconfiguration ou de calcul d'impact. Cet article propose un cadre de définition pour l'intégration globale de composants métiers (CAO, Automatiques, ...) au sein d'un PLM, notamment pour les systèmes mécatroniques. Cette intégration est construite autour d'une démarche de construction d'un méta-modèle de structuration multi-facettes. Les propositions ont été expérimentées dans le contexte d'un système mécatronique simple et implémenté avec le système PLM Windchill.

Abstract - The design of mechatronic systems requires the integration of data concerning numerous disciplines (mechanical, electric CAD, automatism, embarked software...). In this context, the PLM systems define a naturally relevant solution to manage those data. However, the structure of these systems being built around the CAD, it does not allow a real integration in terms of re-use, reconfiguration or calculation of impact. This article proposes a frame of definition for the global integration of components into an application library (CAD, Automatic, HMI) within a PLM including the mechatronics systems. This integration approach is based on construction of a meta-model structured with multi-facets components. The propositions were experimented in the context of a simple mechatronic system and implemented with the PLM Windchill system.

Mots clés – PLM, systèmes mécatroniques, intégration, méta-modèle.

Keywords – PLM, mechatronic systems, integration, meta-model.

1 INTRODUCTION

La concurrence industrielle et le contexte de mondialisation conduisent à développer des produits de plus en plus complexes notamment autour des systèmes « mécatroniques ». La conception de systèmes mécatroniques constitue un enjeu important pour les entreprises industrielles dans la mesure où ils doivent intégrer des savoirs faire métiers différents. Or, cette nécessité d'intégration globale, qui doit en théorie être supportée par le système d'information, n'est pas une réalité. Plusieurs raisons à cela : en premier lieu, les systèmes d'information qui devraient gérer ces mécanismes, comme les systèmes PLM, sont relativement peu centrés sur l'ingénierie simultanée et leur structuration est historiquement définie sur la CAO. En second lieu, les cycles de conception liés aux domaines disciplinaires ne sont pas indépendants les uns des autres. En plus de ces différences fonctionnelles, de nombreux problèmes technologiques ne favorisent pas l'interopérabilité entre les applicatifs métiers. Cet article présente une approche permettant de faciliter une intégration globale des produits mécatroniques au sein des systèmes PLM. Dans le premier paragraphe, nous rappelons les caractéristiques des systèmes mécatroniques. Puis, nous présentons une approche d'intégration autour d'une proposition d'un méta-modèle. Enfin, dans le dernier paragraphe, nous décrivons un exemple

de mise en œuvre sur un système mécatronique simple au sein du système PLM Windchill.

2 POSITIONNEMENT DES TRAVAUX

Les systèmes PLM existants aujourd'hui dans les entreprises sont orientés vers la CAO mécanique en partie pour des raisons historiques. Les prémices de ses systèmes ont démarré au début des années 90 par des systèmes de gestion des données techniques dont l'objectif était de répondre aux besoins de gestion des données de conception issues de la CAO [Pernelle 2002]. Plusieurs études montrent que de plus en plus d'entreprises intègrent désormais des éléments électroniques et logiciels à leurs produits [Aberdeen Group]. De fait, la conception initiale ou innovante de ces nouveaux produits doit non seulement intégrer des composants métiers différents de la CAO mais aussi gérer les liens entre ses composants. Ces nouvelles contraintes impactent directement la gestion du cycle de vie du produit et donc le système PLM qui le gère.

La problématique de l'intégration des produits mécatroniques dans le PLM constitue en ce moment un verrou pour plusieurs entreprises qui rencontrent des difficultés dans la gestion globale de leurs produits. L'exemple bien connu de

ce constructeur qui a annoncé des retards de la livraison de son dernier modèle d'avion pour des problèmes d'industrialisation concernant le câblage (certains câbles se sont avérés trop courts pour être raccordés lors de l'assemblage final) est caractéristique de la problématique. D'autres exemples sur des problèmes de mise à jour de logiciels embarqués sont aussi symptomatique des difficultés de gestion de cette intégration. Les systèmes PLM sont suffisamment génériques pour caractériser des modèles métiers différents, mais ils sont peu adaptés pour modéliser les interactions et les intégrations entre des composants métiers différents, d'autant que ces intégrations nécessitent souvent un savoir faire et sont peu automatisables.

3 CARACTERISATION DES SYSTEMES MECATRONIQUES

Les systèmes mécatroniques sont de plus en plus disponibles sur le marché, on les trouve dans plusieurs domaines (automobile, aéronautique, médical, domotique...). Les systèmes mécatroniques sont caractérisés par deux critères relevant :

- du multi-domaine (mécanique, électronique, informatique, automatique, fluide, chimique ...).
- du multi-physique (thermique, électromagnétisme ...).

Ces systèmes combinent donc des domaines pluridisciplinaires (figure 1) comme le génie mécanique, le génie électrique, l'automatique et l'informatique temps réel (assemblage mécanique, liaison électrique, logiciel embarqué, simulation,).

A ce sujet, la norme NF E01-010 [AFNOR, 2008] définit la mécatronique comme une « démarche visant l'intégration en synergie de la mécanique, l'électronique, l'automatique et l'informatique dans la conception et la fabrication d'un produit en vue d'augmenter et/ou d'optimiser sa fonctionnalité ».

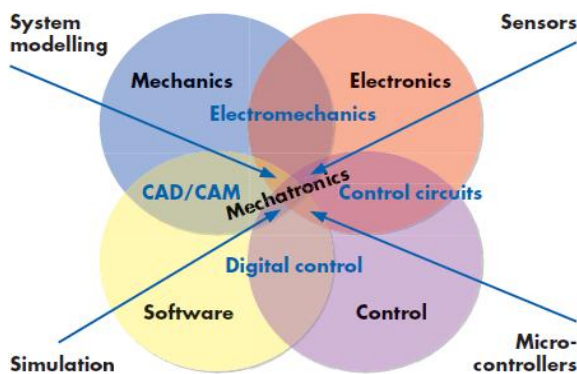


Figure 1. Caractérisation d'un système mécatronique

La complexité de ces systèmes est double :

- d'une part elle est liée à l'évolution technologique de chaque domaine. Ces évolutions donnent naissance à de nouveaux systèmes plus complexes, plus évolués, avec plus de fonctionnalité.
- D'autre part, elle est dépendante des interactions entre ces différents métiers et des bonnes pratiques de l'ingénierie simultanée

Le dialogue entre les différents domaines ne cesse de s'améliorer, l'objectif des éditeurs est de créer des solutions qui font un lien fort entre ces domaines. Pour cela, l'évolution des systèmes mécatroniques nécessite une bonne pratique de l'ingénierie système, plus précisément dans le cadre

méthodologique de résolution des problèmes en assemblant les différents domaines à fin d'obtenir une solution optimale. Ceci implique la nécessité d'une « base de savoir-faire » (dans notre cas le PLM) qui favorise la collaboration des différents concepteurs [El Kadiri, S., 2009].

4 APPROCHE D'INTEGRATION DANS LE PLM

4.1 Démarche de modélisation

L'approche d'intégration proposée est en premier lieu une approche par les données. De part les capacités génériques des systèmes PLM, il y est possible de concevoir un méta-modèle qui permettent de

- Décomposer les caractéristiques génériques d'un applicatif métier (Automate, Composant logiciel, ...)
- De créer des liens statiques entre les caractéristiques identifiées
- De créer des liens qualitatifs entre les caractéristiques identifiées

Le méta-modèle, au sens de l'OMG [OMG, 2005] est un ensemble de concepts résultant d'une abstraction un domaine d'étude. Le MOF (Meta-Object Facility) de l'OMG propose des représentations cohérentes des méta-modèles. Ces méta-modèles vont permettre de définir des modèles, servant eux mêmes à décrire des instances [Breton, E., Bézivin, J., 2001]

La démarche proposée (voir figure 1) se décompose suivant les étapes suivantes. Dans une première étape, les domaines métiers spécifiques des systèmes mécatronique sont identifiés et caractérisés. Dans une deuxième étape, les objets métiers manipulés par les applicatifs associés, sont modélisés en termes de structuration. Puis dans une troisième étape, à partir du méta-modèle d'un système PLM, nous avons défini un modèle générique en terme de structuration instanciable.

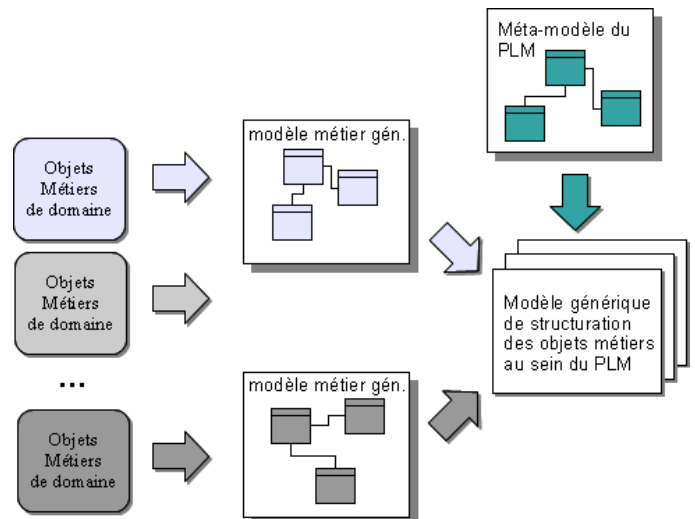


Figure 2. Démarche de modélisation des systèmes mécatronique au sein d'un PLM

La structuration des informations est finalement contrainte par deux règles :

- R1 : La capacité à être instancié au sein d'un système PLM et donc de rester conforme au méta-modèle du système choisi
- R2 : La capacité à garder la sémantique applicative qui caractérise le domaine métiers

Ainsi, la capacité structurante doit être conservatrice (R2) tout en permettant d'enrichir le modèle de base tel qu'il est défini par un applicatif métier. Pour autant, la structuration des objets métiers doit être complétée par des mécanismes qui vont garantir leur usage dans les processus.

4.2 Vers un composant métier multi-facette

L'approche « composant métier » [Barbier F et al., 2002] a été introduite dans l'objectif d'améliorer la réutilisation. Elle s'appuie sur une méthodologie structurant un équipement en sous-ensembles opératifs. L'analyse fait apparaître deux découpages majeurs:

- Le découpage physique
- Le découpage fonctionnel

Au plan méthodologique, cette approche s'inspire des méthodologies orientées objet qui est d'aboutir à la spécification des classes. Pour ce faire, on retrouve dans les méthodes d'analyse employées:

- un aspect statique permettant de décrire les caractéristiques d'un objet et ses liaisons possibles avec d'autres objets.
- un aspect fonctionnel dans lequel on précise le comportement des méthodes.
- un aspect dynamique pour décrire les interactions entre objets, les états dans lesquels un objet peut se trouver.

Un composant métier modélise et implémente une entité significative par rapport à un métier de l'entreprise. Il capture et décrit dans des termes issus du vocabulaire de l'entreprise et de son métier, des concepts, des événements ou des processus [Elasri, H et al., 2009].

L'approche composant métier favorise la réutilisabilité des connaissances de domaine, et plus particulièrement de celles issues d'un métier donné et qui constituent un Domaine Métier, est actuellement largement adoptée. Une telle approche est intuitive, à partir du moment où l'on se rend compte que certains domaines d'activité conduisent à la manipulation fréquente de concepts similaires. On pense alors immédiatement à analyser ces concepts et à créer pour eux des abstractions informatiques pouvant être réutilisées lors de nouveaux développements [Rajaa, S., 2009]

Le méta-modèle décrivant ce composant métier muti-facette est décrit dans la figure suivante. Il est composé des concepts suivants :

- Les objet métiers sont des composant structurant d'applicatifs métier (CAD doc, ECAD doc,)
- Les liens structurels métiers caractérisent les dépendances fonctionnelles internes entre objets d'un même métier
- Les liens de dépendance sous contrainte définissent une relation qualitative ou quantitative entre objets de métier différents.
- La configuration regroupe une situation de modélisation de ces différents concepts

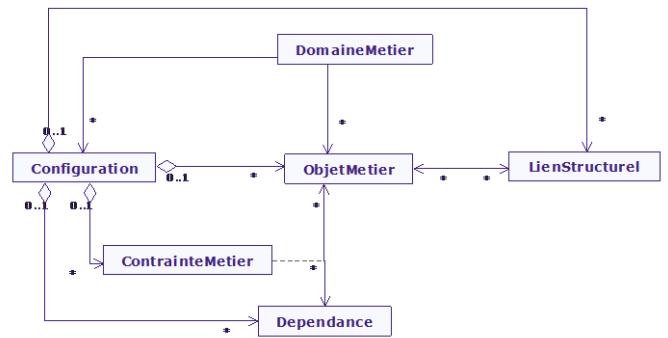


Figure 3. méta-modèle pour l'intégration de système mécatronique

Ce méta-modèle est défini dans une démarche MDA sous forme de stéréotypes. Ces derniers vont constituer les annotations des classes, des associations, des dépendances, des composants utilisés dans les diagrammes métiers. Dans le cadre d'un système automatisé de production, nous proposons les éléments de modélisation conformément au méta-modèle suivant et définit comme suit

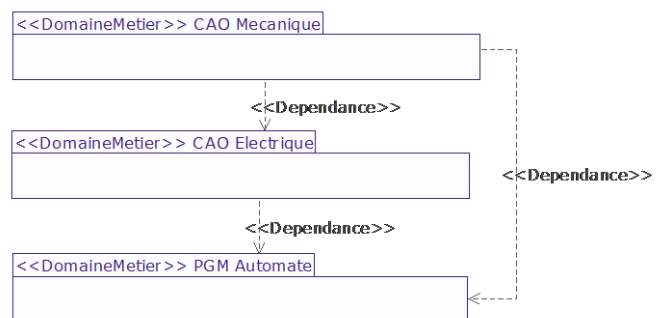


Figure 4. Élément pour l'intégration de système mécatronique

La structuration proposée a été expérimenté sur un système mécatronique simple qui est présenté au paragraphe suivant.

5 CONTEXTE D'EXPERIMENTATION

Afin de valider les capacités de structuration de notre approche et son implémentation dans un système PLM, nous avons choisi un système simple conforme à la figure 4 autour d'un système à vérin.

5.1 Définition du modèle de structuration

La structure du produit est modélisée sur la base de diagrammes UML. L'intérêt de ces diagrammes dans un système PLM est d'arriver à formaliser les concepts utilisés au sein d'une entreprise. Il s'agit d'introduire progressivement les concepts constituant le méta-modèle, en montrant également les relations entre eux ainsi que leur utilisation au travers de diagrammes d'états [Zina. S., 2007].

En se basant sur cette approche, il faut commencer dans un premier temps à définir les différents modèles liés aux différentes facettes d'un système mécatronique. Cette présentation permet de représenter un système complet, un sous-système ou un composant élémentaire. Dans une deuxième étape il est nécessaire de caractériser les blocs de contraintes. Il est à noter que ces blocs pourraient être décomposables et posséder un comportement. On peut s'en

servir pour représenter des contraintes physiques, mais aussi des contraintes logiques ou conceptuelles [Roques, P., 2009]. Les paragraphes suivants présentent les différents éléments de modélisation du système à verin.

5.1.1 Eléments liés à un programme automate

Un programme automate peut être décomposé (figure 5) principalement deus sous ensembles élémentaires d'objets métiers et de liens structurels :

- Le programme principal : contient les différents blocs fonctions et les variables écrit sous le standard IEC1131-3 qui est constitué de cinq langages qui peuvent être utilisés pour la programmation d'applications d'automatisme.
- La configuration de l'automate : décrit les caractéristiques de l'automate, les bus de terrain utilisé...

Les classes et les associations de la figure 5 sont construites à partir des stéréotypes définis précédemment.

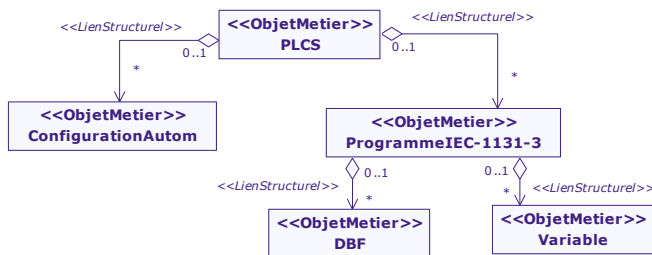


Figure 5. Diagramme de classe d'un programme automate

5.1.2 Eléments liés à un assemblage mécanique

Un assemblage mécanique (figure 6) d'un système mécatronique est essentiellement constitué par deux éléments :

- Des assemblages /sous-assemblages
- Des pièces

Classiquement, ces éléments décrivent des structures génériques que l'on retrouve dans la plus part des outils CAO. A ce niveau, il n'est pas nécessaire de rentrer dans le détail de la structure géométrique des produits.

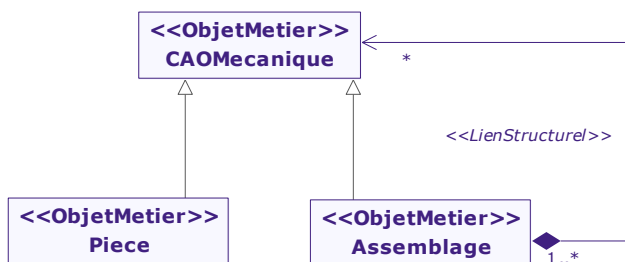


Figure 6. Diagramme de classe d'un assemblage mécanique d'un système mécatronique

5.1.3 Eléments liés à la partie électrique :

Pour la partie ECAD (figure7), un schéma électrique peut être décomposé en :

- Des sous-schémas électriques
- Des composants et les liens entre eux

La structure électrique est semblable à la représentation de la structure mécanique.

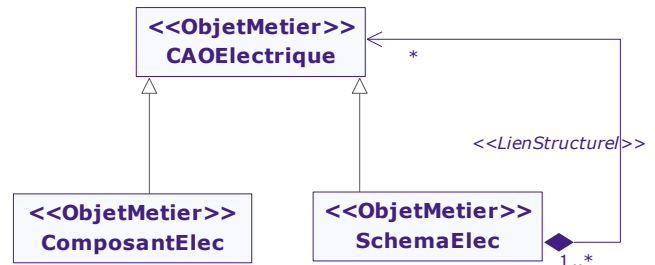


Figure 7. Diagramme de classe d'un composant électrique

5.1.4 Modèle d'intégration global

Les différents diagrammes caractérisent les instances du méta-modèle (Figure 3) pour les concepts d'objet métier et de lien structurel. Cette étape initiale est complétée par la caractérisation des liens sous contrainte. Pour cela, il est nécessaire d'identifier les contraintes entre les différents objets métiers. Les liens sous contrainte décrivent la sémantique des interactions interdisciplinaires. A ce niveau, les contraintes peuvent être faibles voir nulles ou purement statiques (le verin va « avoir besoin » de liaison électrique, un capteur va « posséder une représentation » en CAO). Dans certains, les contraintes peuvent être évaluée ou qualifiée (ex : les contraintes de type « usage »). La figure 8 présente le modèle d'intégration.

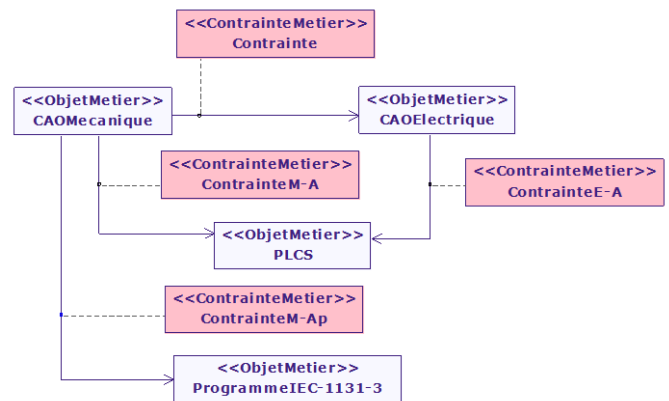


Figure 8. Diagramme de classe d'un assemblage mécanique d'un système mécatronique

5.2 Validation et implémentation dans le PLM

La conformité vis à vis du modèle de structuration du PLM est une contrainte supplémentaire mais indispensable à une implémentation. La figure 9 présente un extrait du modèle du système Windchill. Dans notre contexte, les composants métiers créés seront de type WTPart (article au sens générique) et WTEPMDOC (document avec lien). Ils sont modéliser sous forme d'interface afin d'être lié aux différents objets métiers.

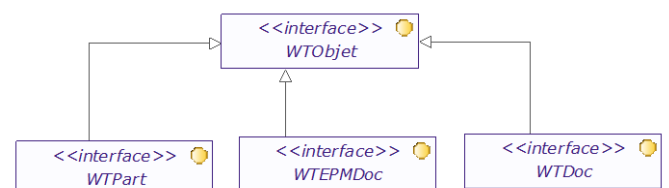


Figure 9. Extrait du diagramme de classe de Windchill

De fait, l'intégration au système Windchill (figure 10) par les liens d'implémentation d'interface permet d'instancier un modèle global cohérent au sein du système. De fait, l'utilisateur acquière l'ensemble des éléments d'usage sur un objet du système comme par exemple :

- La gestion de l'historique (révisions, traces)
- La gestion des modifications
- La gestion des cycles de vie
- La gestion des droits

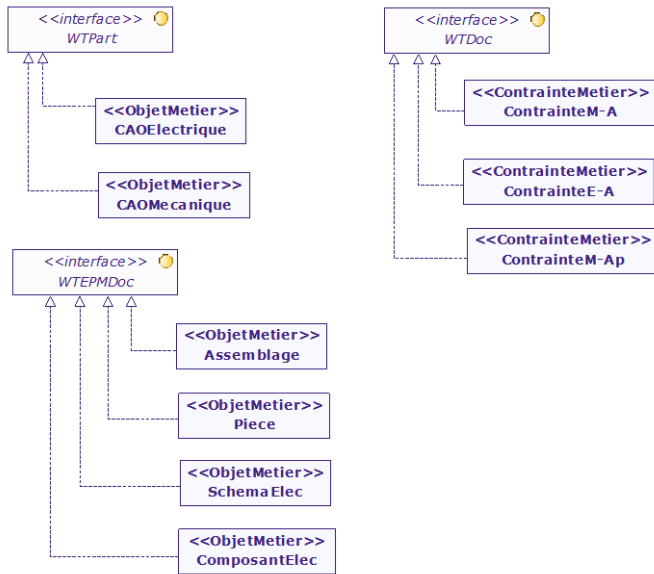


Figure 10. Intégration PLM des composants métiers

Ainsi, l'intégration du modèle de donnée implique la mise à disposition des fonctionnalités initiales du PLM. La figure suivante résume l'architecture de cette intégration au sein de l'environnement Windchill.

Dans le cadre de la validation de notre approche, nous nous appuyons sur la réalisation d'un démonstrateur basé sur le système PLM Windchill, ProEngineer et RSDesigner de PTC pour la conception mécanique et électrique du modèle ainsi que l'intégration globale dans le SI. Unity Pro de Schneider-Electric qui permet une approche composant d'automatisme et permet de créer et d'utiliser des composants métier pour la conception. L'atelier logiciel, des outils de gestion logiciels de type SVN, des outils de simulation pour la validation de la commande (VU de la société IRAI et WindMod de Mewes & Partner).

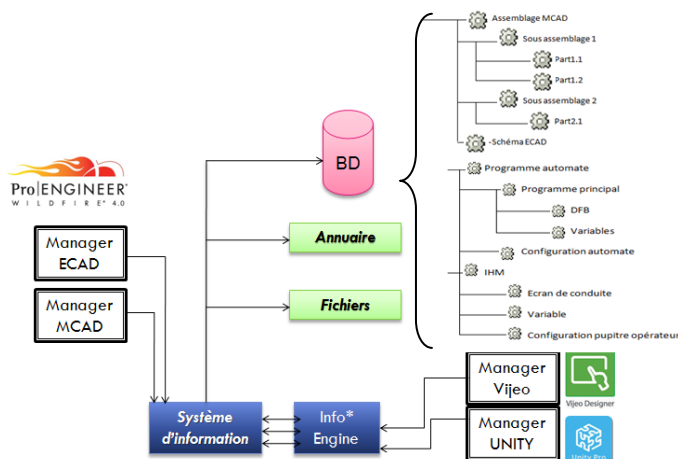


Figure 11. Intégration complète de la nomenclature dans le PLM

Le but de ce prototype, basé sur un vérin, est de créer un module PLC (figure 2) qui va permettre à :

- Gagner du temps lors de l'intégration,
- Avoir un environnement collaboratif, homogène, multi métier,
- Avoir un environnement plus adapté pour des produits mécatronique,
- Augmenter la collaboration...

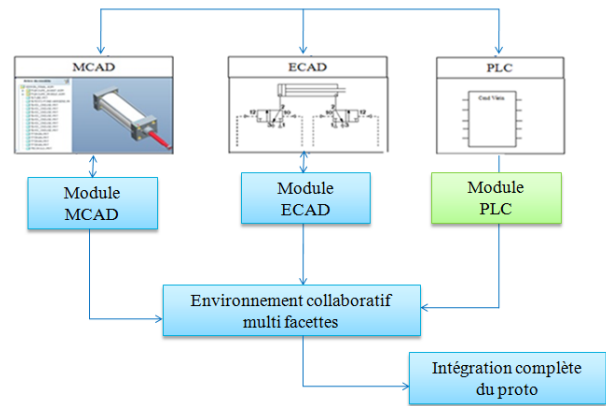


Figure 12. Intégration globale d'un système de vérin

L'intégration des données liées aux différentes facettes d'un système mécatronique dans un PLM est une phase très intéressante, mais elle ne montre pas l'interaction entre les composants. L'intérêt d'un système PLM n'est pas uniquement dans le stockage des données, mais aussi à la gestion de ces données. En effet, le PLM ne s'arrête pas à la phase de conception et ne se limite pas aux seules données techniques telles que plans et schémas. Les définitions de produit et par conséquent les données industrielles, ne partent pas seulement du bureau d'études mais aussi des services en amont et en aval. Le problème de la gestion du cycle de vie du produit ne se résume pas à extraire des informations du bureau d'études pour l'ensemble de l'entreprise, mais de disposer d'une infrastructure technique transversale à l'entreprise permettant de gérer plus efficacement la masse de données associées au produit et ainsi de recouvrer l'intégralité de son cycle de vie. [Zina. S., 2007]

6 CONCLUSION

Dans cet article nous avons voulu initier une approche pour l'intégration des systèmes mécatronique au PLM. Cette démarche est basée par la construction d'un modèle issu d'un méta-modèle. Cette structure ne constitue qu'un élément initial et elle doit être complétée par d'autres éléments. Outre les liens entre les objets, il est nécessaire de définir la façon dont vont interagir les différents cycles de vie (manuellement ou automatiquement). De fait il se pose la question de la conception du processus et de sa mise en œuvre. C'est la définition du processus qui déterminera la pertinence des liens sous contrainte et de leur évaluation.

Nous avons validé qu'il était possible d'intégrer, avec une structure sémantique, des liens entre des objets métiers

pluridisciplinaires et les perspectives sont de définir comment ces modèles vont interagir dans un processus métier

7 REFERENCES

- Breton, E., Bézivin, J., (2001) Un méta-modèle de gestion par les activités Définition et intégration, laboratoire CRGNA, Université de Nantes, pp.3
- Barbier, F., Cauvet, C., Oussalah, M., Rieu, D., Bennasri, S., Souveyet, C., (2002) Composants dans l'ingénierie des systèmes d'information : concepts clés et techniques de réutilisation. Actes des 2e Assises nationales du GDRI3 - Information Interaction Intelligence, Nancy, Cepaduès, p. 95-117...
- Elasri, H., Kzaz, L., A, Sekkaki., (2009) Vers une architecture d'intégration sémantique des composants métier, 14ème colloque de l'Association Information et Management (A.I.M.), Marrakech, Maroc.
- El Kadiri S., (2009) Management des processus collaboratifs dans les systèmes PLM. *Thèse, Université de Lyon.*
- Le Guigou, J., (2010) Cadre de modélisation pour les systèmes PLM en entreprise étendu : Application aux PME mécaniciennes, *Thèse Laboratoire IRCCyN.*
- OMG, (2005) <http://www.omg.org/spec/UML/2.0/>
- Pernelle P., (2002) Modélisation multi-niveaux au sein des Systèmes d'Information Produit. *Thèse, Université de Savoie.*
- Rajaa, S., (2009) Conception et usage des composants métier processus pour les systèmes d'information, *Thèse, Université de Grenoble.*
- Roques, P., (2009) 'SysML par l'exemple, Code édition : G85006 – 2009, pp 12..30
- Zina. S., (2007) Proposition d'un cadre de modélisation pour les applications PLM. Application à la gestion de configurations. *Thèse, IAEM Lorraine.*