

Processus d'ingénierie numérique et intégration Conception-Calcul

I. ASSOUROKO^{a,b}, G. DUCELLIER^c, B. EYNARD^a, P. BOUTINAUD^b

^a Université de Technologie de Compiègne, Laboratoire Roberval UMR CNRS 6253, BP 60319, 60203 Compiègne Cedex, France, ibrahim.assouroko@utc.fr, benoit.eynard@utc.fr

^b CADeSIS, 142-176, avenue de Stalingrad, Parc Technologique des Fossés Jean, 92700 Colombes, France, pboutinaud@cadesis.fr

^c Université de Technologie de Troyes, ICD/LASMIS FRE CNRS 2848, BP 2060, 10010 Troyes Cedex, guillaume.ducellier@utt.fr

Résumé :

Dans le contexte de globalisation actuel, l'amélioration de la compétitivité reste un enjeu majeur pour les entreprises manufacturières. Ceci se traduit évidemment par un objectif d'innovation constant, doublé d'une optimisation permanente du triptyque Coût/Délai/Qualité. Une gestion efficace des données et informations liées au produit ainsi qu'une capitalisation et réutilisation du savoir et savoir faire de l'entreprise s'avèrent plus que nécessaire pour faire face à la concurrence. L'essor des technologies de l'information à travers ces quinze dernières années a conduit à des changements majeurs dans le processus de conception des produits et vient à la rescousse des entreprises dans leur quête de solutions toujours plus innovantes et plus compétitives. Ainsi, l'utilisation des outils d'ingénierie numérique s'est imposée dans le développement de plateformes de gestion collaborative du cycle de vie des produits. Il existe aujourd'hui un besoin réel d'intégration des différentes phases constituant un processus industriel (phases de conception, de calcul, d'industrialisation, de fabrication, ...) dans la gestion effective et efficace de l'ensemble des données, informations et connaissances liées à ces produits. Notre programme de recherche vient répondre en partie à ce besoin en se focalisant sur la résolution d'un certain nombre de difficultés inhérentes à la gestion collaborative des données entre la conception et le calcul. Le but de cet article est de dresser un état de l'art scientifique des travaux ayant été menés pour la cartographie des processus de conception et de calcul, la clarification des liens existant entre eux et les flux d'information rentrant en jeu dans un contexte de gestion collaborative du cycle de vie global des produits.

Mots clés : Ingénierie Numérique, Gestion de Données, Conception, Calcul, Intégration

1 Introduction

Nos travaux de recherche s'inscrivent dans une problématique de gestion de données en ingénierie numérique avec une contribution axée sur la chaîne conception-calcul. Les travaux abordés dans cet article présentent les premiers résultats de la phase de cartographie des processus de conception et de calcul telle qu'identifiée dans notre programme de recherche. Après un premier paragraphe dédié à l'évolution des méthodologies de conception dans le temps, aboutissant au concept de PLM, nous consacrerons le deuxième paragraphe à l'ingénierie numérique, la simulation et le besoin de collaboration entre conception et calcul. Dans le troisième paragraphe, nous proposerons un état de l'art des travaux ayant été menés sur les liens entre conception et calcul dans un contexte de gestion collaborative des données associés à ces phases. Notre contribution à l'amélioration de la chaîne conception-calcul sera abordée dans le quatrième paragraphe, où nous exposerons les besoins et objectifs de notre programme de recherche, leur contexte de déroulement et les différentes phases planifiées pour atteindre ces objectifs.

2 Evolution des méthodologies de développement de produits

Au cours des vingt dernières années, l'industrie a connu de importants changements dans le domaine du développement de produits. Ces changements qui ont modifiés en profondeur les objectifs d'ingénierie et l'organisation des processus de conception se présentent autour de 3 idées clefs :

- la catégorisation des problèmes de conception,
- l'évolution des méthodologies de conception, passant de la conception séquentielle de la deuxième moitié du vingtième siècle vers une ingénierie intégrée de type DFX (Design for X) décrite comme étant la conception du couple produit/process sous contrainte d'ingénierie de différents métiers,
- la généralisation des outils logiciels d'ingénierie numérique entre autre la CAO (Conception Assistée par Ordinateur) pour prendre en compte les expertises métier contribuant à la définition géométrique du produit.

De ces changements, est née, notamment au sein des entreprises de type étendue, une nouvelle approche qui consiste à fédérer autour d'un produit, plusieurs équipes multidisciplinaires, travaillant de façon simultanée pour la réduction des coûts et du temps de mise en service du produit. Cette approche connue sous le nom d'Ingénierie Simultanée est basée sur le concept de travail en équipe et d'intégration d'expertises proposant une méthodologie et une technologie pour l'échange d'informations et le partage des ressources entre différents collaborateurs d'une même entreprise [1]. Cette méthode de travail a été à la base de l'émergence de nombreux autres concepts comme la conception intégrée et l'ingénierie collaborative. Divers outils ont ainsi vu le jour en tant que support des activités d'ingénierie centrée sur l'intégration produit-process. L'émergence des plateformes collaboratives de Gestion du Cycle de Vie des produits ou PLM (Product Lifecycle Management) et la généralisation des outils de CAO en sont autant d'exemples édifiants. Depuis une vingtaine d'années, les SGDT (Systèmes de Gestion de Données Techniques) ou PDM (Product Data Management) ont joué un rôle fondamental dans l'appropriation par les équipes de conception des pratiques d'ingénierie simultanée en raison de leurs architectures orientées vers la gestion et le partage d'information [2]. Ses systèmes étaient plus particulièrement dédiés à la gestion de données techniques en général et des modèles CAO en particulier dans le processus de conception.

Stark et al. définissent le PLM comme étant un nouveau paradigme pour la conception et la fabrication, permettant à une entreprise de gérer ses produits tout le long de leurs cycles de vie de la façon la plus effective qui soit [3]. Dans le contexte global actuel de compétition accrue, ils ajoutent que le PLM aide les entreprises à satisfaire rapidement et continuellement les besoins de leurs clients en permettant une liaison harmonieuse des domaines logiciels jadis séparés tels la CAO, le PDM, la FAO, l'ERP (Enterprise Resource Planning).

Le développement des outils d'ingénierie numérique, notamment les logiciels CAO et de simulation, ont largement contribué à relever les défis posés par le besoin d'intégration forte des technologies de l'information dans les processus d'ingénierie. Il existe aujourd'hui des technologies performantes et bien adaptées à chacune des phases du processus d'ingénierie (conception, simulation, industrialisation, ...). Mais leur intégration complète et plus particulièrement la liaison d'une phase à une autre (s'agissant de manipuler les données techniques de chacun des domaines d'expertise dans une logique d'interopérabilité étendue) ne sont pas encore opérationnelles et effectives.

Le prochain paragraphe sera l'occasion d'aborder les différents aspects de l'ingénierie numérique et la nécessité de faire collaborer les acteurs des différents domaines tant sur les données techniques manipulées durant le cycle de vie des produits manufacturés que sur les processus manipulant ces données.

3 L'Ingénierie numérique et le besoin de collaboration entre conception mécanique et simulation numérique

Dans un premier temps, nous allons aborder un des concepts ayant inspirés, guidés et contribués au développement des outils d'ingénierie numérique : le concept de l'ingénierie simultanée. Rappelons que l'ingénierie simultanée est une démarche qui consiste à prendre en compte, dans le même temps, les besoins des différentes phases du cycle de vie des produits. Dans cette démarche, les différentes

activités du processus d'ingénierie sont intégrées et effectuées, autant que possible, en parallèle [1]. Selon Dowlatshahi [4], l'utilisation d'une démarche d'ingénierie simultanée apporte entre autres avantages : la réduction des temps de cycle de développement des produits, l'économie des futurs éventuels coûts de re-conception, la réduction de la duplication des efforts, une meilleure communication et dialogue, des opérations plus efficaces et plus de productivité [5].

Pour Prasad [6], l'ingénierie simultanée s'intéresse à l'intégration de deux domaines qui sont le processus de conception et la prise en compte des contraintes de chaque étape du cycle de vie d'un produit. En effet, il ne fait aucun doute aujourd'hui que la réussite ou l'échec d'un produit en développement est fortement conditionné par les choix effectués au cours de la phase de conception. Vues l'importance du coût consacré à la phase de conception : environ 80% du coût de développement du produit selon Boothroyd et al. [7], et la complexité de formalisation du processus de conception étant donné son aspect contextuel et son évolution dynamique selon Charles et al. [8], de nombreuses approches du processus de conception furent proposées au sein de la communauté scientifique dont la plus aboutie, en termes d'intégration des technologies de l'information, est l'ingénierie collaborative. Par opposition à la conception traditionnelle exécutée de façon séquentielle à travers un processus prédéfini, l'ingénierie collaborative vise à une interaction multidisciplinaire de acteurs intervenants dans le processus et impliqués dans chaque phase du cycle de vie d'un produit [9].

Dans une telle démarche, les outils d'ingénierie numérique sont aujourd'hui largement utilisés pour concevoir, simuler et industrialiser de nouveaux produits, mais également pour faciliter l'interaction des différents métiers contribuant aux diverses activités couvrant l'ensemble du cycle de vie d'un produit. Il faut également souligner l'utilisation des outils de gestion des exigences dont l'interfaçage avec les outils d'ingénierie numérique permet de suivre l'évolution des exigences et leur satisfaction tout au long du cycle de vie. L'objectif de l'ingénierie et de la simulation numérique, dans une optique de définition et d'optimisation du comportement physique du produit conçu, est d'évaluer, via les outils XAO (X Assisté par Ordinateur), la capacité des systèmes à répondre aux exigences fonctionnelles telles que définies [10]. Selon Kibamba et al. [5], il est question de fédérer un ensemble de plateformes de données produit et processus (PDM et PLM) et d'applications expertes (CAO, IAO, FAO, ...). Les activités du développement de produits, à l'instar de la simulation numérique, présentent d'une part, la particularité de générer une masse d'information et de connaissances très importante, et d'autre part, un besoin d'intégration de savoir-faire métier. Ceci représente les défis posés par la gestion et la capitalisation de données et connaissances, l'organisation des processus et le partage d'informations.

Dans le paragraphe suivant, nous dressons un bref état de l'art des travaux ayant abordé dans les domaines de l'intégration de la simulation numérique dans la conception mécanique.

4 Intégration conception et calcul

Les activités de conception mécanique et de simulation numérique occupent aujourd'hui une place extrêmement importante dans le processus de développement des produits. Vues de façon séparée, la conception et le calcul sont généralement fort bien maîtrisés en tant qu'activités expertes. En revanche, les dépendances respectives qui existent entre chacune d'elles ne sont pas assez formalisées. Différents travaux ont été menés sur l'intégration de la conception et du calcul aussi bien d'un point de vue données et connaissances que d'un point de vue processus. Ces travaux sont nombreux et nous présentons les plus représentatifs étant en relation avec nos objectifs de recherche.

Il faut noter que trois principaux objectifs sont visés par la plupart des travaux concernant le lien entre la conception et le calcul [11] :

- l'automatisation du passage du modèle géométrique (fichier CAO) pour la conception à un modèle idéalisé pour le calcul,
- la formalisation des hypothèses réalisées tout au long d'une analyse mécanique dans le but de maîtriser les erreurs faites durant le processus de calcul,
- la traçabilité des calculs afin de capitaliser les choix de conceptions ayant servis, de réutiliser l'ensemble des données et connaissances (résultats, modèles, ...) existants pour fournir une aide à la modélisation de nouveaux cas.

4.1 Utilisation du calcul mécanique dans un contexte de conception

Dans leurs travaux Shepard et al. [10], [12] proposent un environnement permettant de réaliser un pré-traitement de la géométrie en vue du calcul de façon fiable et favorisant une meilleure gestion de la simulation par la formalisation du processus de calcul et une approche de conception à partir de simulation. Dans ses travaux [13], Lee abonde dans le même sens en proposant un environnement commun de modélisation pour une intégration bidirectionnelle CAO-Calcul. Il propose une approche basée sur l'utilisation de techniques de modélisation multi-résolution et multi-abstraction : modélisation de type NMT (Non-Manifold Topology), qui donne la possibilité au système CAO de pouvoir générer automatiquement les modèles de calculs, et permet également à l'application de simulation de pouvoir modifier automatiquement la géométrie d'un composant CAO et de relancer un nouveau calcul.

Dans un but de transfert du métier du calcul du spécialiste au concepteur et vice versa, l'approche d'intégration bidirectionnelle CAO-Calcul sera ré exploitée dans nos travaux pour la réalisation et l'implémentation d'un environnement de coopération et d'échange entre les acteurs de la conception et ceux du calcul mécanique.

4.2 Formalisation de la démarche de calcul et capitalisation des choix de conception

Pour la maîtrise du calcul, certains chercheurs : Kurowski & Szabo [14] proposent des approches systématiques de modélisation de la démarche de calcul et de classification des erreurs du processus de simulation afin de permettre une meilleure interprétation des résultats [11]. La figure 1 présente l'architecture et le fonctionnement de ce système expert décrit et illustré sur un exemple par Turkiyyah & Fenves dans [15]. Ils se penchent sur l'aide aux choix de modélisation (à partir d'une situation physique réelle) et d'interprétation des résultats d'analyse, et débouche sur la proposition d'un système expert à base de connaissances visant à aider un analyste expérimenté ou non dans ses choix face à de nouvelles classes de problèmes.

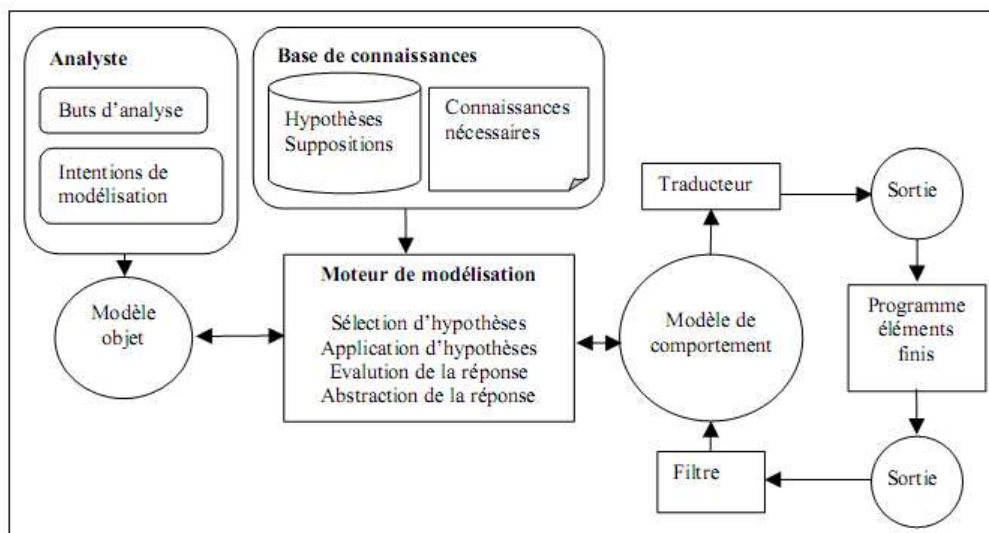


FIG. 1 - Architecture globale de l'environnement de modélisation

Notons que certains aspects de ce système expert seront repris dans nos objectifs pour l'implémentation de la couche "gestion des connaissances" du futur environnement logiciel. Ceci se traduira par la spécification et la mise en œuvre d'un système de recherche intelligent dont l'objectif sera de permettre à des concepteurs ou spécialistes du calcul de pouvoir rechercher des objets (pièces, modèles...) ayant servi dans des projets antérieurs et dont la réutilisation dans le cadre de nouveaux projets est nécessaire.

Toujours d'un point de vue de gestion de connaissances, les travaux de Baizet ont abordé la gestion et le management des connaissances du domaine de la conception, appliqués aux métiers de la simulation

numérique [16]. Troussier, quant à elle, a présenté une nouvelle approche du problème en abordant dans ses travaux, les aspects méthodologiques pour l'utilisation du calcul mécanique en conception mais également pour la capitalisation et la réutilisation du calcul dans ce domaine [11]. Dans cette approche, l'utilisation du calcul mécanique en bureau d'études est supportée par une structuration des informations mises en jeu pour intégrer le calcul dans la conception de produits. Ce point de vue assez riche en termes de formalisation des processus de conception et du calcul sera largement exploité dans nos travaux.

4.3 Environnement spécifique de gestion des données de simulation

Une autre approche beaucoup plus récente consiste à aborder le problème de l'intégration du calcul mécanique à la conception via le développement d'environnements spécifiques dédiés à la gestion des données de simulation. Ainsi, Charles propose un environnement intégrant des fonctionnalités de GDT exprimées sous forme de diagrammes UML de cas d'utilisation, de classes et de séquences [17]; et utilisant la normalisation STEP : le SDM Schema comme format standard d'échange de données pour la gestion des données et connaissances de la simulation numérique tout le long du cycle de vie du produit. Certains aspects de ses travaux seront repris dans la définition, la spécification et la mise en œuvre de notre environnement logiciel, notamment certains diagrammes UML et les formats d'échange neutre comme STEP.

4.4 Bilan, analyse et critique

Malgré les nombreuses contributions apportées par l'ensemble de ces travaux à la clarification des liens entre conception mécanique et simulation numérique et à leur intégration, certains problèmes subsistent :

- la définition de processus beaucoup plus globaux et suffisamment génériques, capables de prendre en considération la multiplicité des modèles de calcul et la diversité des cas d'application,
- la définition d'un modèle de données unique, identifiant un ensemble de type de données et connaissances génériques communes à des groupes d'activités de calcul bien identifiés,
- en plus des fonctionnalités actuelles des environnements spécifiques pour la capitalisation et la gestion des données et informations de simulation numérique, notre environnement logiciel devra proposer une approche de suivi du déploiement des exigences de calcul, et offrir des possibilités de recherche intelligente et de réutilisation d'informations issues de projets antérieurs.

5 Spécification et mise en œuvre d'une solution d'ingénierie numérique

Aujourd'hui la spécification et la mise en œuvre de solution logicielle innovante d'ingénierie et simulation numériques constitue un facteur déterminant pour améliorer la communication, le partage et la réutilisation d'information dans le projet de conception. Ainsi, l'objectif de nos travaux est de faciliter la gestion des données et l'exploitation de connaissances d'ingénierie numérique dans un contexte PLM avancée, notamment pour améliorer la chaîne conception - Calcul dans la gestion du cycle de vie global des produits au travers des phases suivantes:

- la cartographie des processus de conception et de simulation et les flux d'information en conception et calcul dans une approche PLM,
- la standardisation des méthodes et des protocoles de partage d'information et de gestion des données,
- le développement et la mise en œuvre d'une approche d'indexation et de gestion des informations associées aux projets de conception et de simulation, qui s'intègre avec des plateformes et applications expertes (CAO, IAO, ...) et qui permet de suivre l'évolution des exigences et leur satisfaction le long du cycle de vie de développement des produits,
- la validation de la démarche de réutilisation des informations à travers la réalisation d'un démonstrateur tenant compte de tous les éléments tant méthodologiques que logiciels.

6 Conclusion

Dans cet article, nous avons souligné l'importance des technologies issues de l'ingénierie numérique pour la gestion collaborative du cycle de vie des produits. Nous avons également mis en évidence la nécessité de coordination et d'intégration des activités de conception et de calcul afin d'améliorer les gains de temps et de coût actuellement réalisés à travers une utilisation plus accrue des maquettes numériques au détriment des maquettes physiques de validation.

Suite à notre état de l'art, nous avons identifiés de nombreuses approches et technologies existantes et pouvant contribuer à l'amélioration des liens entre conception et calcul.

Les prochaines étapes de nos travaux s'intéresseront à la définition d'un ensemble de scénarii décrivant un processus global assez générique des activités de calcul ; l'ensemble des données et informations manipulées, ainsi qu'une standardisation des méthodes et protocoles de partage des informations et de gestion des données.

7 Références

- [1] Sohlenius G., "Concurrent engineering", *Annals of the CIRP*, 41, 2, 645-655, 1992.
- [2] CIMdata, "Product Data Management: The Definition – An introduction to concept, benefits and Terminology", CIMdata Inc, USA, 1997.
- [3] Stark J. et al., "Product Lifecycle Management - Paradigm for 21st century Product Realisation", Springer-Verlag, Berlin, 2004.
- [4] Dowlatshahi S., "Purchasing's role in a concurrent engineering environment", *Journal of Supply Chain Management*, 28, 1, 21-25, 1992.
- [5] Kibamba Y., Eynard B., Troussier N., Derigent W., "Towards Digital Engineering : collaborative management of design, analysis and manufacturing data", 5th International Conference on Digital Enterprise Technology (DET), Nantes, France, 22-24 octobre 2008.
- [6] Prasad B., "Concurrent engineering fundamentals-Vol. 1", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1996.
- [7] Boothroyd G., Dewhurst P. and Knight W., "Product design for manufacture and assembly", 2nd Edition, CRC Press, 2002.
- [8] Charles S., Gerson P., Eynard B., Ramond B., and Graham G., "Open Dynamic Design: A European Educational Framework", *Revue internationale de CFAO et d'Informatique Graphique*, 18, 3, 367-379, 2003.
- [9] Shen W., Hao Q., Li W., "Computer Supported Collaborative Design: Retrospective and Perspective", *Computers in Industry*, 59, 855-862, 2008.
- [10] Shephard M. S., Beall M. W., O'Bara R. M. and Webster B. E., "Toward simulation-based design", *Finite Elements in Analysis and Design*, 40, 1575-1598, 2004.
- [11] Troussier N., "Contribution à l'intégration du calcul mécanique dans la conception de produits techniques", Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, octobre 1999.
- [12] Shepard M.S., Wentorf R., "Toward the implementation of automated analysis idealization control", *Applied Numerical Mechanics*, 14, pp. 105-124, 1994.
- [13] Lee S. H., "A CAD-CAE integration approach using feature-based multi-resolution and multi-abstraction modeling techniques", *Computer-Aided Design*, 37, 941-955, 2005.
- [14] Kurowski P.M., Szabo B.A., "How to find errors in finite-element models", *Machine Design*, Edited by Paul Dvorak, 25 septembre, 1997.
- [15] Turkiyyah G.M., Fenves S.J., "Knowledge-based assistance for finite-element modeling", *IEEE Expert*, 11, 3, 23-32, 1996.
- [16] Baizet, Y., "La gestion des connaissances en conception - application à la simulation numérique chez Renault - DIEC", Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, mars 2004.
- [17] Charles S., "Gestion intégrée des données CAO et EF – contribution à la liaison entre conception mécanique et calcul de structures", Thèse de Doctorat, Université de Technologie de Troyes, 13 décembre 2005.