

Strasbourg, 31 mai 2011

**Rapport de pré-soutenance de la thèse de doctorat
spécialité Sciences des Métiers de l'Ingénieur
de M. Ruding LOU**

**Modification of semantically enriched FE mesh models :
Application to the fast prototyping of alternate solutions in the
context of industrial maintenance**

La thèse de doctorat de M. **RUDING LOU**, spécialité «Sciences des Métiers de l'Ingénieur», en co-tutelle entre les Arts et Métiers Paris Tech (Centre d'Aix en Provence) et l'Université de Gêne (Italie) aborde les domaines de la CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et de la simulation par éléments finis. Le point clé de la thèse se situe autour des questions de maillages, maillages qui constituent l'interface entre les modèles CAO et la simulation numérique pour laquelle ils sont indispensables.

Cette thèse réalisée en partenariat avec la division R&D de EDF part d'un constat industriel simple: à chaque modification du modèle CAO, le maillage doit être redéfini pour qu'une nouvelle boucle de simulation puisse être effectuée. Pour éviter ceci, une idée naturelle, communément répandue en informatique graphique, est de travailler directement sur le maillage pour effectuer les modifications du modèle.

Ces questions de modèles sont au cœur des préoccupations de la modélisation géométrique dont les principaux modèles sont rapidement présentés dans le chapitre 1, suivis d'une brève présentation des familles d'algorithmes de génération de maillages et des opérations classiquement associées: simplification et raffinement. Ce chapitre se termine par des exemples concrets de pièces mécaniques (issues de chez EDF R&D) qui illustrent les trois différents modèles actuellement nécessaires pour la mise en œuvre de la boucle de simulation numérique: 1° le modèle CAO, 2° le maillage du modèle CAO, 3° le maillage sémantique prêt pour la dernière étape, la simulation numérique.

Le chapitre 2 détaille des exemples de transformations à effectuer sur le maillage issu du modèle CAO en vue de la simulation numérique: modifications géométriques (opérations booléennes, insertion d'une zone de fracture, découpe, arrondi, etc.) ou sémantiques (couleurs, matériaux, décomposition en groupes, etc.).

Après les 2 premiers chapitres «état de l'art» qui posent le problème, la solution proposée dans cette thèse est introduite au chapitre 3. Comme déjà indiqué, il s'agit en quelque sorte de se débarrasser du modèle CAO et de travailler directement sur le maillage en vue de la simulation. Pour ce faire, 3 niveaux sont introduits dans le modèle-maillage: géométrie, groupe et sémantique. Les modifications présentées au chapitre 2 sont illustrées dans ce contexte de modèle-maillage à 3 niveaux ce qui permet d'explicitier la notion de groupe avant de définir le plan de la thèse sur les trois derniers chapitres qui présentent le travail sur le modèle-maillage en séparant les modifications géométriques (chapitre 4) des modifications sémantiques (chapitre 5) avant de présenter des opérations booléennes et un opérateur de chanfrein qui suivent ces recommandations (chapitre 6).

Le chapitre 4 détaille donc les manipulations géométriques proposées sur le maillage tout en conservant les informations sémantiques.

- a) La reconnaissance de formes planes, sphériques, ou cylindriques est mise en œuvre par M. **RUDING LOU** en s'inspirant de travaux déjà publiés par ses encadrants. Au final, la qualité de la reconnaissance et la robustesse au bruit notamment, étant insuffisantes, l'algorithme de reconnaissance se fait «sous la supervision de l'utilisateur». Des recherches bibliographiques du côté de la géométrie discrète où la reconnaissance d'entités est une problématique majeure aurait peut-être permis d'aboutir à des résultats plus convaincants.
- b) La reconnaissance d'arêtes vives (*crease*) et de leurs extrémités (*dart*), ou de coins (*corner*) mise en œuvre dans le cadre d'un stage de *Bachelor* encadré par M. **RUDING LOU** semble donner les résultats escomptés mais aucune validation n'est présentée.
- c) Un algorithme classique de triangulation est également développé. Par contre, pour la tétraédrisation, problème autrement difficile, le logiciel *Tetgen* (Paul-Louis George, INRIA) est utilisé.
- d) En vue de la découpe du maillage, M. **RUDING LOU** introduit un opérateur de duplication de cellules (triangles, arêtes, sommets) assorti de règles fort complexes. Pour ces opérateurs topologiques, je ne peux que recommander les modèles combinatoires à base de cartes développés à Strasbourg depuis plus de vingt ans et dont la réputation n'est plus à faire.
- e) Pour finir, l'outil de déformation géométrique et mécanique développé par Jean-Philippe Pernot lors de sa thèse en 2004 est détaillé. Une simple référence aurait allégé le mémoire déjà très long.

En terme d'innovation, ce chapitre ne présente pas d'apports à la modélisation géométrique mais reprend un certain nombre d'opérations utiles pour la suite des développements menés dans ce travail.

Le chapitre 5 traite des questions de sémantiques au niveau des groupes. Un groupe est un ensemble de cellules (sommets, arêtes, faces, volumes). Les opérateurs géométriques devraient préserver les groupes. Cette problématique du rattachement à un groupe est complexe en particulier

DB l3e2

lors de l'ajout d'éléments d'autant que les groupes peuvent s'intersecter. Afin de simplifier le problème, M. **RUDING LOU** propose de séparer les groupes en groupes élémentaires pouvant cette fois, seulement être adjacents. Cette décomposition semble être opérationnelle. Par contre, son utilisation effective pour le transfert de sémantique lors des opérations géométriques apparaît comme une perspective dont les nombreuses difficultés sont expliquées à la fin de ce chapitre. Les questions soulevées dans ce chapitre sont sans conteste d'importance et leur résolution délicate, c'est dire si davantage de résultats auraient été très intéressants.

Viens enfin (page 179!), le chapitre 6, qui traite du cœur de la thèse où quatre opérateurs de modélisation sont définis en intégrant l'ensemble des recommandations faites dans les chapitres précédents: union (*merging*)[CAD'10 et TMCE'08], intersection avec un plan (*cracking*)[Int. J. of Shape Modeling'11 et TMCE'10], différence avec un cylindre (*drilling: cylindrical holes*)[Int. J. of Shape Modeling'11 et SMI'10], arrondi ou chanfreinnage (*filleting*). Le terme de «*generic CAD-less operator*» utilisé pour ces opérateurs est cohérent dans un contexte de CAO, mais, en pratique, il s'agit d'opérations sur des maillages.

Les trois premières opérations qui peuvent s'apparenter à des opérations booléennes sont toutes 3 définies selon la même démarche: un calcul d'intersection entre entités géométriques, une optimisation de la forme et de la subdivision de l'interface (plan, cylindre ou quelconque), la définition d'une zone intermédiaire redéfinie soit par remaillage soit par déformation, une optimisation de la décomposition volumique autour de l'interface. Les aspects sémantiques sont pris en compte via la notion de groupe, de groupes élémentaires et de la prolongation des bords virtuels de ces groupes. Pour ces 3 opérateurs, le travail est particulièrement soigné dans tous les détails afin d'obtenir des maillages de qualité en terme de ratio des simplexes. Des exemples industriels complets sont traités ce qui est clairement une des forces de ce travail.

Il faut cependant signaler que l'opération d'union est limitée aux maillages surfaciques, que l'intersection se fait seulement avec un plan et la différence uniquement avec un cylindre. Concernant l'union, M. **RUDING LOU** indique que la version surfacique *could be easily extended* à la version volumique. Mon expérimentation en modélisation géométrique me conduit à penser que le 2D ne s'étend jamais si simplement au 3D, hormis pour les opérateurs topologiques.

Ces opérations assimilables à des opérations booléennes, maintes fois reprises, sont, là encore, adaptées à un contexte particulier avec prise en compte d'éléments sémantiques, et remaillage pour atteindre la qualité requise lors de la simulation numérique. Il faut noter que ces opérateurs sont suffisamment compliqués pour qu'aucune implantation générique n'est encore clos la problématique, surtout pas en volumique.

Enfin, l'arrondi d'arêtes est effectué par lissage d'un voisinage de sommets autour de l'arête considérée en travaillant d'abord sur la surface

puis dans le volume. Si les résultats obtenus sont visuellement satisfaisant, la qualité des maillages résultants est encore à améliorer.

En résumé, M. **RUDING LOU** a développé des opérateurs géométriques et sémantiques permettant la manipulation directe de maillages E.F. en préservant les informations sémantiques portées par le modèle. Cela évite les retours longs et fastidieux vers la CAO puis le remaillage et la remise en donnée du modèle de simulation.

Il est notable que les 3 opérateurs, présentés au chapitre 6, ont déjà fait l'objet de publications dans 2 revues et une conférence, internationales et de très bons niveaux en CAO et en modélisation géométrique :

- **Ruding LOU - GIANNIMI F. - FALCIDIENO B. - Jean-philippe PERNOT - Philippe VÉRON - MIKCHEVITCH A. - MARC R.** "Direct modification of semantically-enriched Finite Element Meshes", the International Journal of Shape Modeling, Vol. 16, Issues: 1-2(2010) pp. 81-108.
- **Ruding LOU - Jean-philippe PERNOT - MIKCHEVITCH alexei - Philippe VÉRON** "Merging enriched Finite Element triangle meshes for fast prototyping of alternate solutions in the context of industrial maintenance" , in : Computer-Aided Design, Vol. 42 (8), pp. 670-681, 2010
- **Ruding LOU - Jean-philippe PERNOT - Philippe VÉRON - GIANNIMI F. - FALCIDIENO B. - MIKCHEVITCH A. - MARC R.**"Semantic-preserving mesh direct drilling" , Proceedings of the IEEE Shape Modelling International Conference (SMI'10), pp. 68-77, 2010 Aix-en-Provence, France

et de 3 bonnes conférences internationales en sciences de l'ingénieur :

- **Ruding LOU - GIANNINI F. - Jean-philippe PERNOT - MIKCHEVITCH A. - FALCIDIENO B. - Philippe VÉRON - MARC R.** "Towards CAD-less Finite Element analysis using group boundaries for enriched meshes manipulation" , Computers and Information in Engineering Conference (ASME DETC2009/CIE-86575), San Diego, USA, jan 2010
- **Ruding LOU - MIKCHEVITECH A. - Jean-philippe PERNOT - Philippe VÉRON** "Direct merging of triangle meshes preserving simulation semantics for fast modification of numerical models" , Tools and Methods for Competitive Engineering (TMCE'08), Vol. 1, pp. 119-131, 2008
- **Ruding LOU - GIANNINI franca - FALCIDIENO bianca - Jean-philippe PERNOT - Philippe VÉRON - MIKCHEVITCH alexei - MARC Raphael** "Direct modification of FE meshes preserving group information" , Tools and Methods for Competitive Engineering (TMCE'10)

Pour toutes ces raisons, j'émetts un avis favorable à la soutenance de la thèse de M. **RUDING LOU**.

Mme Dominique Bechmann
Professeure d'informatique, LSIIT CNRS - Université de Strasbourg
Membre de la Commission Nationale des Universités en Informatique