

Méthode multi-objectifs et multi-critères pour la génération de modèle de simulation par simplification de modèle CAO

Multi-objectives and multi-criteria method for a generation of analysis model by simplification of CAD model

M. HAMDI^a, N. AIFAOU^a, B. LOUHICHI^a, A. BENAMARA^a

a. *Laboratoire de Génie Mécanique Lab-Ma-05, École Nationale d'Ingénieurs de Monastir, Université de Monastir, Avenue IbnEljazzar 5019 Monastir Tunisie*

Résumé :

La simplification de la géométrie CAO est une étape de préparation du modèle CAO, qui se place en amont de la phase de simulation de comportement d'une pièce ou d'un système mécanique. Entre autres le concepteur est appelé à effectuer plusieurs calculs pour valider les solutions proposées, l'objectif de ce papier c'est de présenter une méthode, multi-objectifs et multi-critères basée sur un algorithme original pour la génération des modèles de calcul par idéalisation de modèle CAO. Une validation de la méthode sur des exemples de pièces mécaniques est également présentée.

Abstract :

The simplification of CAD geometry is a pre-processing step of the CAD model, which is located upstream from the behavior simulation phase of a part or a mechanical system. Among other things the designer is required to make different analysis to validate the proposed solutions, the aim of this paper is to present a multi-objectives and multi-criteria method, based on an original algorithm for generating models for analysis by idealization of CAD model. A validation of the method on examples of mechanical parts is also presented.

Mots clefs : CAO, Calcul Mécanique, idéalisation, muti-techniques, modèle BRep.

1 Introduction

Les développements en termes de méthodologie de travail et de logiciels ont fait qu'aujourd'hui, la simulation se place au cœur du cycle d'élaboration des produits mécaniques. C'est, entre autres, sur la base des résultats de la simulation que les décisions de validation, de remise en cause ou encore d'amélioration (optimisation) des propositions de la conception seront prises. La phase de simulation mécanique nécessite une étape de préparation du modèle de calcul, ainsi qu'une phase d'exploitation des résultats de la simulation. La phase de préparation est d'une importance majeure. Son objectif consiste à retravailler le modèle géométrique issu de la conception en faisant du nettoyage, regrouper des sous-ensembles, créer un maillage, préciser des conditions aux limites, ajouter un chargement, etc. Cette phase, selon des sociétés spécialisées en calcul de structure peut consommer jusqu'à 95% du temps total de l'analyse mécanique [1]. Il est à comprendre donc que les économies de temps et de coûts envisageables par l'amélioration de la phase de préparation sont véritablement gigantesques.

Nos travaux de recherche s'alignent parfaitement avec les objectifs d'amélioration de la phase de préparation des modèles CAO avant même d'entamer l'étape de maillage [2]. La préparation d'un modèle CAO consiste à idéaliser ou encore nettoyer la géométrie en éliminant des détails (trous, chanfrein, congés, etc.) jugés superflus pour la simulation [3]. Se sont donc des zones où le maillage sera automatiquement raffiné engendrant un temps de calcul très important sans apporter plus de précision sur les résultats de la simulation [4]. L'élimination temporaire de ces détails dès la conception en vue d'une simulation permet de gagner un

temps important sans pour autant dégrader les résultats de la simulation, tout en appliquant les critères appropriés pour l'objectif de calcul souhaité.

L'objectif de ce papier est de proposer une démarche originale permettant de guider le concepteur dans la phase de préparation du modèle CAO en vue d'une simulation multi-objectifs (calcul de prédétermination et calcul de vérification). Selon l'approche proposée, l'élimination des détails est basée sur une représentation par iso-zones permettant au concepteur de visualiser les détails, candidats à l'élimination, par des couleurs qui dépendent du degré de criticité du détail. Dans ce travail on présente une méthode multi-objectifs et multi-critères (critère de taille, critère de conditions aux limites et critère d'emplacement). La première partie de l'article présente un état de l'art sur les principales techniques utilisées pour éliminer des détails dans une géométrie CAO. La deuxième partie introduit la méthode d'idéalisation proposée. Une mise en œuvre informatique, sous la plate forme de développement Open Cascade, de l'algorithme proposé permettra de montrer, sur des exemples de pièces mécaniques, le gain en temps ainsi que le pourcentage d'erreur des résultats de calcul avant et après idéalisation de la géométrie CAO. Cela contribue énormément à la réduction du temps de la conception et du prix de revient du produit.

2 Etat de l'art

Le processus de préparation d'un modèle CAO passe par une phase d'idéalisation ou encore de nettoyage de la géométrie. Cela consiste à éliminer les détails dont le rôle, du point de vue de la simulation, ne fait qu'augmenter le temps alloué à la simulation sans apporter des améliorations à la qualité des résultats de la simulation. Dans la bibliographie, plusieurs travaux de recherche se sont intéressés à la problématique de l'adaptation du modèle CAO issue de la conception à un modèle d'analyse dédié au calcul mécanique et plus précisément au calcul de structures par la méthode des éléments finis.

- Armstrong et al, dans [5], utilisent la " Medial Axis Transform " (MAT) pour réaliser l'adaptation et l'idéalisation de géométries B-Rep. La MAT permet de construire le squelette d'une représentation géométrique, pour obtenir l'axe médian, un cercle de diamètre variable balaye l'intérieur de la structure de façon à rester constamment en contact en au moins 2 points avec la structure. Le squelette s'obtient en construisant les lieux du centre du cercle. Pour une géométrie 3D le cercle est remplacé par une sphère et le lieu des centres de cette sphère représente une surface.
- Sheffer et al, dans [6], ont développé des procédures de suppression de détails et de "nettoyage" de géométrie CAO. utilisant les principes de la topologie virtuelle. Cette topologie est basée sur un regroupement des faces constituant le modèle B-Rep en régions admettant les mêmes caractéristiques de courbure et de dimension.
- Belaziz et al, dans [7], proposent également une technique d'adaptation de géométries basée sur l'identification de features. Dans cette approche, l'identification est effectuée par une analyse morphologique de la géométrie. A partir de cette analyse, la géométrie est adaptée et idéalisée sont alors générées par suppression des certaines features considérées comme non caractéristiques pour l'analyse de structure envisagée.
- Clémente et al, dans [8], proposent également de réaliser le lien CAO/Calcul en utilisant des opérateurs d'idéalisation manuels ou semi-automatiques qui exploitent les données géométriques du modèle de conception. Ces opérateurs mettent en œuvre une algorithmie géométrique pour l'obtention de la fibre moyenne d'une pièce mécanique par approximation des barycentres de chaque section de la pièce. A partir de l'ensemble des barycentres, une nouvelle courbe ou une nouvelle surface approximée est construite.
- Hamri et al, dans [9], Proposent une approche nommée " High Level Topology " (HLT) consiste à lier les éléments de maillage aux entités correspondantes du modèle CAO. Cette approche permet de transférer les paramètres de calcul définis sur le modèle CAO vers le maillage, ou inversement de transférer les résultats d'analyse sur le modèle CAO. Néanmoins, cette approche nécessite encore des outils pour adapter la topologie du modèle CAO pour le calcul.
- Foucault et al, dans [10], proposent la " Topologie des Contraintes de Maillage " (TCM), son objectif c'est de fournir une représentation intrinsèquement adaptée aux besoins de la génération du maillage.

Cette structure de données est basée sur des hypergraphes qui représentent les liens d'adjacence faces-arêtes, arêtes-sommets, et faces-sommets.

- Thakur et al [11]. Dans ses travaux ont étudié les techniques existantes de simplification du modèle qui sont utiles pour la simulation et les a classés globalement dans quatre principales catégories, basées sur le type des opérateurs de simplification utilisés, à savoir les techniques basées sur : les surfaces, les entités volumétriques, les features et la réduction des dimensions.

3 Méthode proposée

3.1 Mise en situation

L'objectif de ce travail c'est de présenter une méthode, multi-objectifs et multi-critères basée sur un algorithme original pour la génération des modèles des calculs par idéalisation de modèle CAO qui s'adapte avec tous les outils de conception (entrée en formats neutres : STEP AP203 et AP214, IGES...). Les principaux critères de simplification sont : le critère de taille, le critère de conditions aux limites et le critère d'emplacement des détails. Les objectifs de calcul sont le calcul de prédétermination et le calcul de vérification, figure 1. L'objectif de calcul est implicitement déterminé, suivant le choix de critères : si les critères choisis sont se luis de taille et de CL alors le modèle obtenu est utilisé pour un calcul de prédétermination et si les trois critères sont choisis alors le modèle généré convient pour un calcul de vérification.

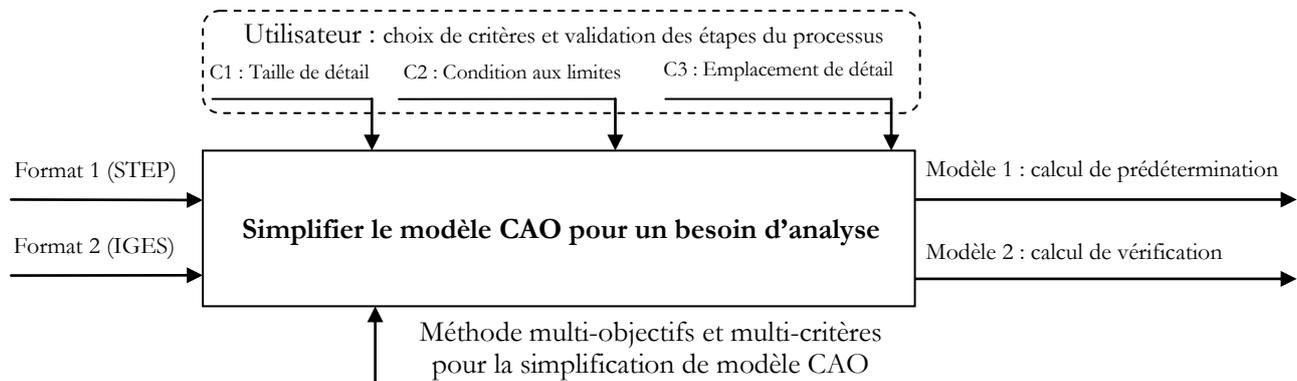


FIG. 1 – Méthode multi-objectifs et multi-critères pour la simplification de modèle CAO

Sur la base de la bibliographie présentée à la section 2, notre contribution est positionnée dans "les techniques de simplification basées sur les opérateurs de traitement des surfaces" [12]. Notre méthode se distingue par :

- Dans notre processus d'idéalisation, les fichiers d'entrée et de sortie sont en formats (STEP, IGES...), qui sont des formats neutres (utilisé par l'ensemble des systèmes de CAO).
- Notre processus d'idéalisation est basé sur une méthode mixte (suppression et/ou fusion de faces), pour garantir la qualité du résultat de la simulation, suivant l'objectif de calcul.
- Notre processus d'idéalisation est automatique et interactif (choix de critères). Après le traitement, la pièce est présentée par un modèle CAO en iso-zone, de sorte que le concepteur peut intervenir dans le choix des détails à supprimer en utilisant certains critères.
- Notre processus d'idéalisation est basé sur le modèle CAO, le processus de reconstruction est réalisé sans approximation.
- Un lien hiérarchique est conservé entre le modèle initial et les modèles adaptés.

3.2 Algorithme d'idéalisation

L'algorithme proposé est composé de trois principales étapes interdépendantes représentées dans la figure 2. Chacune des étapes implique des algorithmes imbriqués.

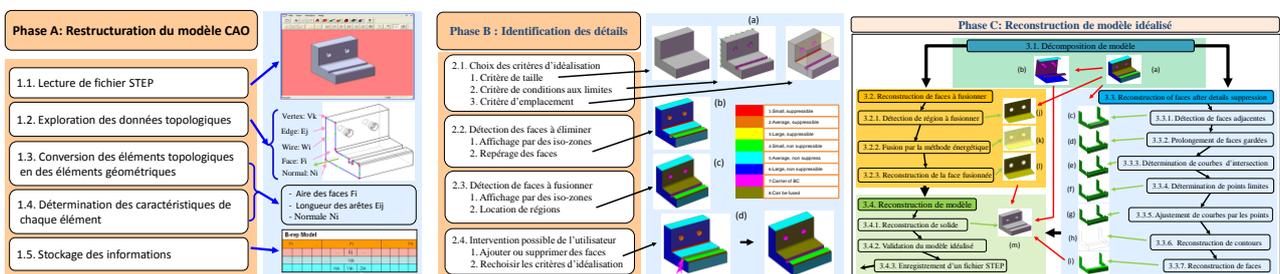
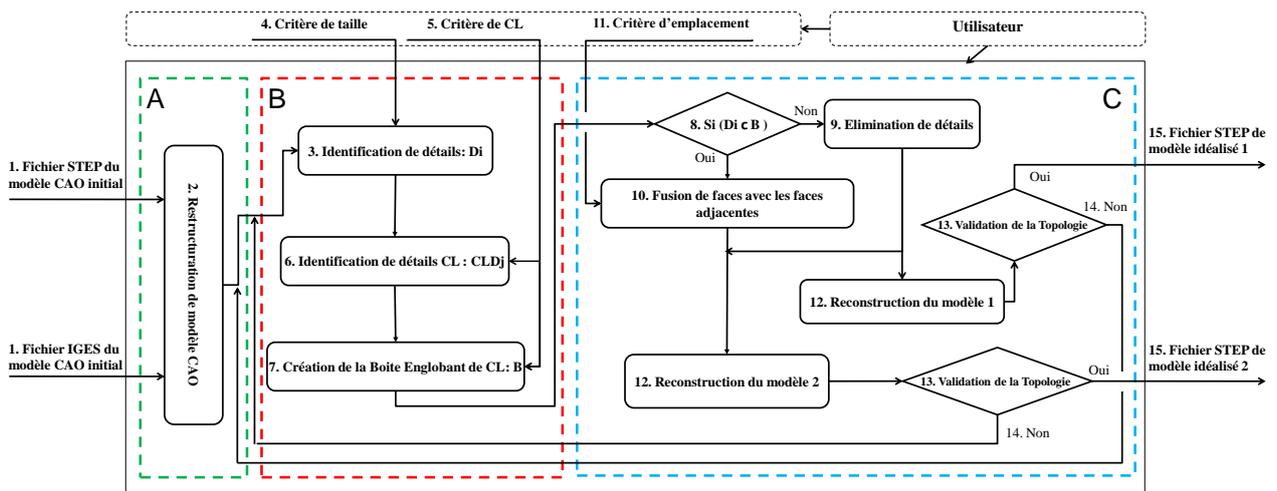


FIG. 2 – Algorithme d'idéalisation

Afin d'être indépendant des systèmes de CFAO, l'algorithme proposé s'appuie sur des fichiers en formats neutres (STEP, IGES) pour récupérer les données de la pièce à idéaliser. Pour servir des outils de simulation divers, la géométrie CAO idéalise sera également stockée sous un format neutre STEP AP214. L'étape (A) de l'algorithme consiste en une phase de prétraitement du modèle CAO. Elle permet de restructurer le modèle B-rep de la pièce en une base de données. Les informations structurées dans cette base de données portent sur les faces, les contours, les arêtes et les sommets qu'englobe le modèle géométrique de la pièce.

L'étape (B) consiste à l'identification des détails candidats à l'élimination ou à la fusion avec les faces adjacentes. Cela implique la mise en œuvre d'algorithmes d'identification basés sur des critères (de tailles, de conditions aux limites et d'emplacement). Le résultat de cette phase est une représentation des iso-zones cibles aux traitements. Ces iso-zones sont des entités (arêtes, faces) colorées suivant le type de l'entité et suivant le gradient de criticité qui représente l'influence de l'élimination de détail sur le résultat de simulation. Cette vision originale permet au concepteur de visualiser les zones les moins influentes (ordre de criticité faible) sur les résultats de calcul, tout en donnant la possibilité, soit d'éliminer interactivement les entités qui ont un ordre de criticité faible, soit de faire appel à des algorithmes d'élimination automatiques.

L'étape (C) consiste à supprimer ou fusionner, suivant le cas, les détails identifiés, puis à reconstruire les modèles géométriques après suppression ou fusion des faces. Les résultats de cette phase sont deux modèles CAO idéalises dont leurs topologies élémentaires sont valides. A la sortie de l'algorithme, le concepteur a à sa disposition deux modèles idéalises enregistrés en format STEP en vue d'une simulation par éléments finis, le premier sert pour un calcul de prédétermination et le deuxième pour un calcul de vérification.

4 Implémentation informatique et validation sur des exemples

4.1 Mise en œuvre informatique

La mise en œuvre informatique de l'algorithme d'idéalisation a été effectuée sur la plateforme de développement OpenCascade. OpenCascade est un environnement dédié au développement d'applications de CAO-FAO multi-plateformes. Cette plateforme est disponible gratuitement sur Internet. Elle est basée sur une librairie de classes C++ et d'outils développés et disponibles en open source.

4.2 Exemple de validation

Dans cette section, un exemple de validation va permettre de valider les principales fonctionnalités apportées par l'algorithme d'idéalisation. La figure 3 présente un carter de démarreur. Cette pièce a été choisie car elle est représentative d'une large variété de pièces mécaniques de part sa forme, les conditions aux limites, mais aussi les détails qu'elle contient. Le type de calcul effectué est statique dans le domaine élastique.

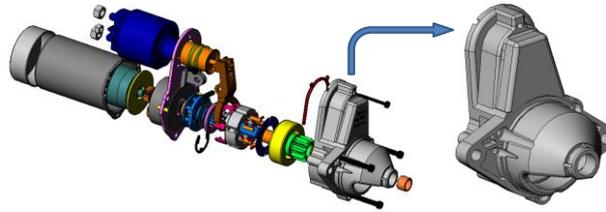


FIG. 3 – Exemple de validation : carter de démarreur

La figure 4 illustre les principales étapes à franchir pour passer d'un modèle CAO du carter (figure 4-a), à un premier modèle d'analyse de prédétermination, basé uniquement sur les deux critères de taille et de CL (figure 4-l) et par la suite à un deuxième modèle d'analyse de vérification, basé sur les trois critères de taille, de CL et d'emplacement (figure 4-k). Une étape très importante (figure 4-c) représente l'enveloppe par Iso-zones. Ces iso-zones donner à l'utilisateur une idée très claire des détails candidats aux traitements, par des couleurs vives, en fonction du niveau de criticité, la fonction de détails et la position de détails (figure 4-d), les Conditions aux Limites sont définies (figure 4-e), cette information permet d'identifier les faces portaises de CL (figure 4-f) et de créer la Boite englobant des CL (figure 4-g), la figure (4-h) présenter la région des faces qui peuvent être fusionnées, dans la (figure 4-i) est présenté le modèle après l'étape d'élimination des détails, la (figure 4-j) présente le modèle simplifié utilisant tous les critères, et finalement les modèles simplifiés sont enregistrés en formats neutres (figure 6-l et k).

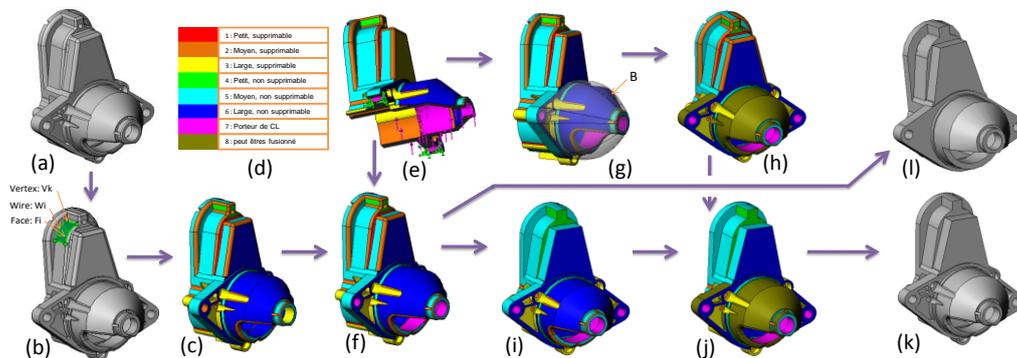


FIG. 4 – Etapes de simplification du carter suivant l'algorithme proposé

La figure 5 présente les résultats de calcul par éléments finis de carter avant et après simplifications. Les figures (5-a-1) et (5-b-1) représentent respectivement les états de contraintes et de déplacements du carter, avant l'application de l'algorithme d'idéalisation. Les figures (5-a-2) et (5-b-2) représentent respectivement les états de contraintes et de déplacements après idéalisation de la pièce, modèle 1, en appliquant les deux critères de taille et de CL. Il est à constater que le gain en temps de calcul est de 75.5 %. L'erreur relative aux valeurs de contrainte équivalente est de 19.89%, tandis que celle de déplacements est de 28.68 %.

Les figures (5-a-3) et (5-b-3) représentent respectivement les états de contraintes et de déplacements après idéalisation de la pièce, modèle 2, en appliquant les trois critères de taille, de CL et d'emplacement de détails. Il est à constater que le gain en temps de calcul est de 45.2 %. L'erreur relative aux valeurs de contrainte équivalente est de 0.32 %, tandis que celle de déplacements est de 1.79 %.

Pour un calcul préliminaire de pré-dimensionnement, l'erreur pour le modèle 1 est jugée acceptable. Si le concepteur cherche un calcul beaucoup plus précis afin de vérifier les dimensions choisies, il peut appliquer des critères d'idéalisation plus stricts sur les dimensions des détails à enlever et encore sur l'emplacement des détails par rapport au chargement et il doit choisir le modèle 2. Cela permet de ne pas supprimer les

formes qui jouent un rôle de concentrateur de contrainte, puisqu'elles se trouvent dans la zone de chargement (à l'intérieur de la Boite englobant des CL).

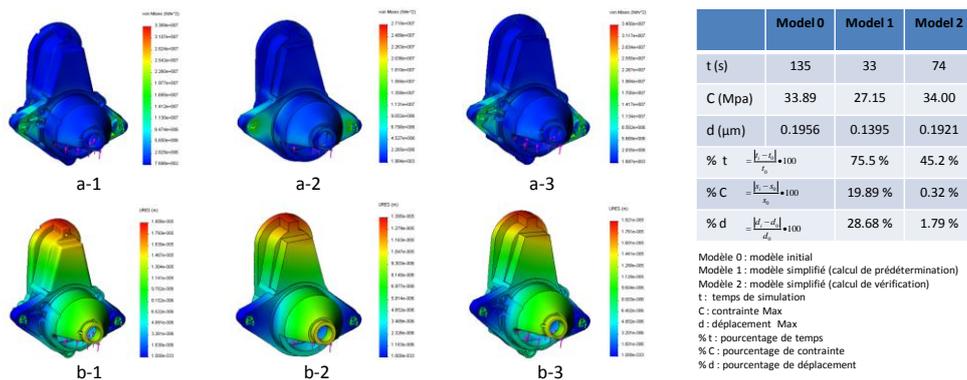


FIG. 5 – Résultats de calcul de modèle initial du carter et de modèles simplifiés 1 et 2

5 Conclusion

Ce papier présente une méthode multi-objectifs, multi-critères pour l'idéalisation de modèles CAO en vue d'une simulation par la méthode des éléments finis. L'algorithme proposé est basé sur la lecture du modèle B-rep de la géométrie CAO afin d'identifier, puis supprimer ou fusionner, suivant le cas, les détails jugés superflus pour le calcul mécanique. Dans ce travail, l'arbre de création du modèle CAO (CSG) n'est pas pris en compte du fait que cet arbre n'est pas unique et qu'il est facilement perdu par un simple export du modèle CAO d'un outil de travail à un autre.

Les exemples de validation ont montré que l'élimination convenable des détails dans un modèle CAO permet de gagner un temps très important dans la procédure de calcul tout en gardant une bonne qualité des résultats de calcul, et c'est en fonction de l'objectif de simulation. Ces constatations ont été faites en se basant sur des simulations par éléments finis avant et après idéalisation. Ce travail s'aligne parfaitement avec les tendances actuelles des industriels où ils parlent de plus en plus de la nécessité de préparer (nettoyer) les modèles CAO durant la phase de prétraitements.

References

- [1] Westphal M., L'avenir de l'analyse mécanique, CAD Magazine vol 126, pp 23-25, 2005.
- [2] Aifaoui N., Intégration CAO/Calcul : une approche par les features de calcul, Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes, 2003.
- [3] Hamdi M., Aifaoui N., Benamara A., « Etat de l'art des méthodes d'idéalisation en CAO », CMSM'07, Monastir, 2007.
- [4] Benhafida Y., Troussier N., Boudaoud N., Cherfi Z., "Méthode d'aide à l'idéalisation de modèles issus de la CAO pour le calcul de structures," Mécanique & Industries 6, 2005.
- [5] Armstrong C.G., Donaghy R.J., Bridgett S.J., Derivation of appropriate Idealisations in Finite Element Modelling, the Third International Conference on Computational Structures technology, Budapest, 1996.
- [6] Sheffer A., Blacker T. D., Clustering M., Automated detail suppression using virtual topology, ASME, pp 57-64, 1997.
- [7] Belaziz M., Bouras A., Brun J.M., Morphological analysis for product design. Cad computer aided design, 32(5-6), 377-388. 1999.
- [8] Clément R., Modèle d'analyse dédié à la conception intégrée, Thèse de l'Université Claude Bernard Lyon I, Lyon, 1999.
- [9] Hamri O., Leon J-C., Giannini F., A new approach of interoperability between cad and simulation models. TMCE, 2004.
- [10] Foucault G., Cuillière J-C., Francois V., Léon J-C., Maranzana R., Adaptation of cad model topology for finite element analysis. Computer Aided Design, 40 :176-196, 2008.
- [11] Thakur A., Banerjee A.G. and Gupta S.K. A survey of CAD model simplification techniques for physics-based simulation applications. CAD Computer Aided Design, 41, p. 65-80, 2009.