

Extraction d'informations fonctionnelles et mécaniques à partir de modèles géométriques d'assemblages

Gilles Foucault et Jean-Claude Léon

Laboratoire G-SCOP (Grenoble-Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production).
INPG - UJF - UMR CNRS 5272.
46 Avenue Félix Viallet
38031 GRENOBLE Cedex 1, France
Gilles.Foucault@ujf-grenoble.fr
Jean-Claude.Leon@grenoble-inp.fr

Abstract

Les modèles d'assemblages peuvent être considérés comme une référence dans les processus de développement de produit, dans lesquels ils peuvent efficacement contribuer à l'élaboration de modèles de simulation. Les modèles d'assemblage contiennent souvent des modèles B-Rep CAO 3D, éventuellement associés à des contraintes de positionnement entre composants et des nomenclatures. Néanmoins, la transformation de ces modèles en modèles de simulation est souvent difficile parce que les algorithmes sont souvent confrontés à une très grande diversité de configurations. Une origine de cette diversité peut être associée aux pratiques industrielles : les représentations simplifiées des composants varient d'une compagnie à l'autre et il en va de même pour les interfaces entre ces composants. Dans tous les cas, les interfaces entre composants ne sont pas représentées explicitement, ce qui augmente la complexité de traitement des modèles. Ce papier illustre la préparation des modèles d'assemblages pour des modèles d'aide à l'ingénierie : à travers une analyse des pratiques industrielles, montrant qu'un concept de représentation conventionnelle est un point de départ important pour le traitement des assemblages. D'autre part, nous décrivons la manière par laquelle les interfaces et les représentations conventionnelles peuvent être utilisées pour identifier des informations mécaniques des composantes (rôle fonctionnel, cinématique, etc).

Keywords:

1. Introduction

Les modèles d'assemblage sont très répandus et forment souvent des données de référence pour les entreprises. Les revues de conception reposent fortement sur des modèles d'assemblages pour la certification des solutions de conception et des modifications. Néanmoins, pour être utilisés dans le contexte de simulations, les modèles d'assemblages sont difficiles à traiter pour produire des modèles de simulation adaptés pour les comportements structurels, la simulation immersive, etc. En effet, les modèles géométriques des assemblages se réduisent, la plupart du temps, à un ensemble de modèles de composants dont les interfaces doivent être transformées pour répondre aux besoins du modèle de simulation. Les opérateurs interactifs sont utilisés basiquement pour ces transformations, ce qui se traduit par des tâches longues et répétitives. L'analyse du contenu des maquettes numériques telles que rencontrées dans l'industrie est un point de départ pour structurer les modèles d'assemblage

dans le but d'incorporer des données technologiques et/ou fonctionnelles pouvant être facilement traitées pour générer efficacement des modèles de simulation.

Les caractéristiques de forme et les caractéristiques technologiques ont été utilisées pour structurer les modèles de composants et permettre leur traitement à différentes étapes du processus de développement de produits [SM95]. Souvent, l'utilisateur doit ajouter des informations externes pour définir des caractéristiques technologiques et des caractéristiques de forme, ce qui est efficace mais pourrait accroître le temps de traitement global puisque les paramètres doivent être spécifiés de manière interactive. En général, l'ajout d'informations technologiques sur les composants est une démarche rentable [SM95], [LRD01] et de faibles quantités de données pourraient suffire à réduire la complexité combinatoire pour le traitement des assemblages. En suivant cette approche, un problème clé qui apparaît est l'identification des informations (mécaniques, technologiques, ...) pouvant être utilisées pour déduire des paramètres de caractéristiques attachés aux composants ou aux liaisons.

L'application de raisonnements logiques sur des modèles géométriques s'est montré également efficace pour enrichir les modèles CAO [iG07] avec des liaisons cinématiques et la structuration des composants.

La transformation d'un assemblage défini dans une maquette numérique, i.e. un ensemble de volumes B-Rep, en un modèle cellulaire ou, plus généralement, un modèle non-manifold est une pratique actuelle pour répondre aux besoins de la simulation de comportement structurel ou de l'IAO (Ingénierie assistée par Ordinateur) [AMP*02], [HLG*08]. Des besoins de transformation similaires ont été caractérisés pour la simulation immersive d'assemblage/désassemblage utilisant des périphériques haptiques [IML08], [HV07]. Les détections de collision sur des configurations d'assemblage arbre/alésage sont des configurations où les modèles facétisés produisent des comportements haptiques parasites lorsque les diamètres de l'arbre et de l'alésage sont trop proches, et nécessitent un modèle de comportement particulier pour obtenir un des résultats acceptables.

Ici, le papier traite en particulier de la manière dont les représentations géométriques des assemblages peuvent être utilisées pour déduire automatiquement des informations technologiques et fonctionnelles des caractéristiques d'assemblage. Cela peut être vu comme l'association du processus d'identification de données géométriques intrinsèques d'assemblage (interactions entre composants) à un ensemble de règles de raisonnement logique pour établir les informations fonctionnelles, technologiques rattachées aux composants et aux assemblages comme mentionné plus haut. Ce papier est organisé comme suit :

- la section 2 décrit les informations d'entrée présentes dans les modèles d'assemblages, en incluant les pratiques industrielles observées pour la représentation des assemblages,
- la section 3 présente les besoins pour diverses applications d'IAO et d'analyse structurelle d'assemblages.
- la section 4 présente le concept d'interface conventionnelle visant à l'enrichissement de la représentation géométrique avec des informations de haut niveau permettant la création automatique des informations pour l'IAO,
- dans la dernière section, l'approche proposée est appliquée à un modèle d'assemblage : les interfaces conventionnelles sont définies pour l'identification des liaisons filetées et du rôle fonctionnel des vis à partir de leur représentation géométrique dans l'assemblage.

2. Bilan sur les représentations d'assemblage dans l'industrie

2.1. Fonctionnalités de CAO pour la représentation d'assemblages

Les modeleurs CAO sont utilisés industriellement pour définir des produits d'assemblage à partir d'un ensemble d'entités :

- *Les composants*, chaque composant représente une partie du produit,
- *La position et l'orientation* de chaque composant,
- *Les attributs* associés à chaque composants tels que leur désignation, leur matériau, etc...

Un *composant* peut être soit :

- *Un composant élémentaire*, considéré comme non-décomposable,
- *Un sous-assemblage*, i.e. un ensemble de composants regroupés selon un critère. Ce critère est défini par le concepteur ou prescrit par des méthodes de l'entreprise. Il est implicite puisqu'il n'est pas disponible comme un attribut du sous-assemblage. Par exemple, les composants peuvent être regroupés ensemble d'une telle façon que le sous-assemblage peut être renversé sans que les composants se séparent : ce critère se base sur des propriétés cinématiques de l'ensemble de composants. De plus, il doit être souligné que les critères implicites peuvent traduire des configurations d'assemblage non-uniformes, i.e. dans le même assemblage, le critère utilisé pour définir un sous-assemblage peut être différent de ceux utilisés dans les autres sous-assemblages.

L'ensemble des composants est représenté comme une structure arborescente dans laquelle chaque feuille représente un composant élémentaire, et chaque noeud représente un sous-assemblage, et la racine de l'arbre représente la totalité du produit.

Le modèle géométrique utilisé pour les composants est de type B-Rep, et se base sur des surfaces canoniques (plan, cône, tore, cylindre, sphère) et NURBS pour les surfaces gauches.

La position de chaque composant peut être spécifiée par un ensemble de contraintes géométriques entre deux surfaces sélectionnées sur des composants distincts, ou par une translation et une rotation du repère local de chaque composant par rapport au repère de référence de son sous-assemblage ou de l'assemblage. La dernière solution est utilisée dans l'aéronautique et l'automobile pour la représentation des produits de grande complexité. Dans la première solution, les surfaces sélectionnées pour définir les contraintes sont souvent des surfaces fonctionnelles, mais cela dépend du choix de l'utilisateur et peut différer d'un composant à l'autre du modèle d'assemblage. Néanmoins, aucune des solutions de repose exclusivement sur les surfaces de contact entre deux composants, alors que cette information représente intrinsèquement la liaison mécanique entre les surfaces fonctionnelles des deux composants. Il doit être souligné également que la cohérence des contraintes géométriques est difficile à assurer lors de modifications des surfaces du modèle CAO. En effet, lorsqu'une modification du modèle CAO est opérée, les références des surfaces peuvent être perdues (cas des surfaces supprimées ou transformées), et l'ensemble des contraintes associées devient invalide. Dans ces cas, il peut être long et fastidieux pour l'utilisateur de mettre à jour

les contraintes, surtout quand l'assemblage a des centaines de composants.

Dans ce papier, le terme "informations sémantiques" désigne des informations technologiques, des propriétés cinétiques, et des rôles fonctionnels de composant. En effet, ce terme est utilisé pour désigner de manière générale les informations non-géométriques.

Les nomenclatures représentent la liste des composants avec leur numéro de pièce, leur matériau, et leur désignation. Néanmoins, les nomenclatures fournissent peu d'informations sémantiques sur les composants, et leur accès et leur format ne sont pas standardisés. Il n'y a aucune garantie quand à la désignation des composants. Ainsi, deux composants ayant un rôle fonctionnel identique, mais une forme légèrement différente, peuvent avoir une désignation différente ce qui montre que la cohérence d'un assemblage par rapport à un critère dépend de l'analyse du concepteur.

En résumé, les modèles d'assemblage décrits actuellement dans le contexte CAO souffrent de la possibilité d'incohérences concernant la description des composants. Dans un tel contexte, il est difficile de mettre en place des algorithmes qui pourraient traiter les assemblages efficacement pour leur associer des informations de rôle fonctionnel, technologique, mécanique.

2.2. Annotations pour la représentations d'informations sémantiques

Les annotations sont largement utilisées dans le dessin industriel 2D, qui reste un langage universel pour l'ingénierie : c'est une manière précise et formelle de communiquer des informations sur le rôle fonctionnel, la forme, la taille, les caractéristiques, et la précision des composants physiques. Il est important de noter aussi que le concept d'annotation mentionné plus haut distingue, en quelque sorte, les informations géométriques du dessin technique et les informations non-géométriques contenues dans les annotations (sémantique).

Actuellement, les dessins techniques tendent à être remplacés par des modèles 3D. Les normes ASME Y14.41-2003 et ISO 16792 :2006 ont été mises en place pour fournir une représentation uniforme des annotations et des cotations tolérancées et autres éléments de fabrication dans les modèles 3D.

Comme le montre la figure 1, les logiciels CAO récents fournissent des moyens pour les annotations 3D incluant le tolérancement fonctionnel, permettant aux ingénieurs de spécifier les mêmes informations que dans les dessins 2D tout en se conformant aux standards ISO et ASME. Ici encore, nous pouvons observer que le concept d'annotation se réfère à une information sémantique.

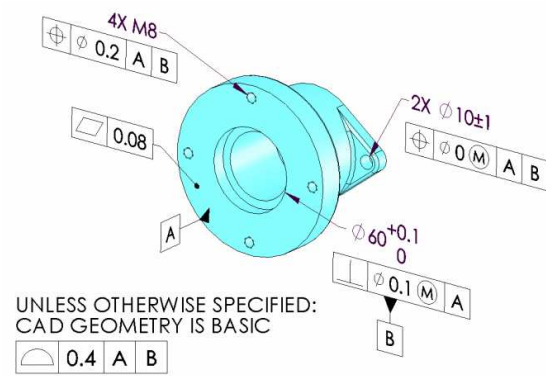


Figure 1: Exemple de modèle CAO qui suit les conventions d'annotation de la normes ASME Y14.41-2003.

2.3. Autres représentations 3D des composants d'assemblage

Nous avons observé que d'autres méthodes existent pour la représentation des composants d'assemblage dans les modèles CAO 3D. Par exemple, les filetages peuvent être représentés en utilisant les principes suivants :

- **caractéristiques de forme** : les modèles CAO actuels permettent la représentation des filetages comme une caractéristique de forme dans l'arbre de construction de la pièce, les paramètres de la caractéristique filetage incluent généralement sa description (par exemple M20), sa profondeur, son pas. De telles caractéristiques de forme sont équivalentes aux annotations 3D (voir figure 2(a)),
- **convention de géométrie** : les liaisons filetées peuvent être représentées comme une interférence entre un trou et un tige : le trou est représenté avec le petit diamètre (le diamètre des crêtes du taraudage), alors que la tige est représentée avec le grand diamètre (le diamètre des crêtes du filetage). L'interférence qui en résulte peut être vue comme une extension au 3D des règles de dessin industriel en 2D. Il devrait être noté également que les modèles 3D diffèrent en comparaison aux règles de dessin 2D dans le fait qu'il n'existe pas d'équivalent surfacique à la représentation de l'épaisseur de trait (trait fort, traits fins) et au type de trait (continu, pointillés, etc) (voir figure 2(b)).
- **représentation partielle** : les vis peuvent être représentées partiellement, par exemple certains modèles d'assemblages complexes représentent les têtes de vis uniquement, et cachent ainsi la tige filetée parce qu'elle n'est pas considérée comme importante pour les besoins de la maquette numérique (voir figure 2(c)).

A notre connaissance, il n'existe pas de règle claire pour la représentation des liaisons filetées dans les modèles d'assemblages en 3D.

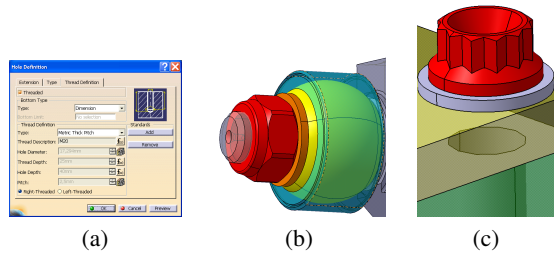


Figure 2: (a) paramètre de trou taraudé (b) interférence qui représente la liaison filetée entre une tige filetée et un écrou (c) représentation d'une vis d'assemblage réduite à celle de la tête de vis, et trou cylindrique représentant la position du trou taraudé

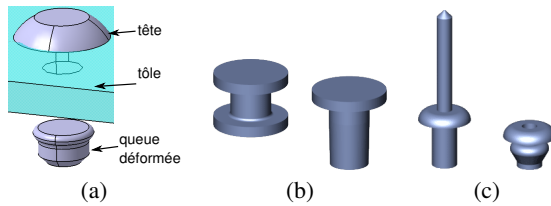


Figure 3: (a) représentation de la tête de rivet et de sa queue déformée, telle que trouvée dans une maquette numérique EADS, (b) représentations nominale et déformée d'un rivet de type DIN 7338 trouvé dans la base de données traceparts, (c) représentations nominale et déformée d'un rivet de type ISO 16585 trouvé dans la base de données traceparts.

2.4. Le manque de représentation simplifiée conventionnelle en 3D

Aucune représentation simplifiée conventionnelle 3D n'existe pour représenter les diamètres mineurs et majeurs des liaisons filetées, alors que les conventions de dessin industriel 2D spécifient l'utilisation de traits forts et fins pour la représentation des ces caractéristiques.

Comme les conventions de dessin industriel 2D spécifient que les trait forts représentent les surfaces physiques des produits, la représentation normalisée d'une tige filetée et d'un trou taraudé se traduit par une zone d'interférence. De cette manière, l'unique représentation 2D contient des informations d'importance majeure concernant la liaison filetée. Cela devrait également être le cas pour les représentations 3D pour permettre la représentation explicite des composants avec les filetages qu'ils contiennent.

2.5. Pratiques industrielles de représentation 3D d'assemblages

Dans le cadre du processus de développement de produit, nous observons que seules les conventions de représentation géométrique peuvent être exploitées efficacement pour en extraire des informations sémantiques des composants :

- les annotations des modèles 3D sont perdues lors de l'échange de données, que ce soit un assemblage ou une pièce, entre la CAO et les applications IAO et d'analyse de structure. En effet, les logiciels de CAO actuels ne supportent pas le transfert d'informations d'annotation ou de l'arbre de construction via des fichiers neutres de type STEP,
- les applications d'IAO nécessitent des informations sémantiques dès les premiers stages de la conception, alors que les annotations 3D n'ont pas encore été créées,
- les annotations des modèles 3D peuvent être perdues lors de la modification de la géométrie des pièces (disparition des surfaces associées), ce qui peut rendre leur utilisation complexe,

Les conventions de représentation géométriques sont généralement bien respectées par les concepteurs pour représenter la sémantique des composants dans les assemblages, alors que l'échange de données des représentations géométriques est actuellement bien supporté dans les logiciels CAO et IAO au travers des formats d'échange STEP AP214 et AP203.

Les conventions géométriques sont généralement spécifiques à une compagnie ou même à un département d'une entreprise. Notre approche pour traduire ces conventions en informations sémantiques se base sur deux principes :

- les concepteurs acceptent de suivre les règles de représentation géométrique spécifiques à un standard (ASME ou ISO),
- un ensemble basique de critères d'identification peut être adapté à un contexte spécifique.

Si les règles de représentation permettent d'améliorer la cohérence des assemblages, elles ne sont pas encore vraiment capables de générer une cohérence parfaite.

3. Informations requises pour les applications IAO

3.1. Analyse de comportement mécanique de produits par éléments finis

L'analyse de comportement mécanique d'assemblages est un problème complexe parce que la génération des modèles de simulation à partir de données CAO 3D est un processus trop long pour être compatible avec les délais de développement de produits dès que le nombre de liaisons – quel que soit le type de technologie utilisé (boulons, rivets, soudés, collés, ...) – atteint une vingtaine de liaisons.

Les travaux concernant la préparation de modèles CAO pour l'analyse de structure par éléments finis se sont focalisés sur le cas de pièces isolées au détriment des assemblages de composants.

La plupart des modèles de comportement des liaisons nécessitent une **représentation explicite** des parties fonctionnelles en contact avec les composants adjacents (voir figure 4). En effet, les maillages sont raffinés et respectent la géométrie des surfaces de contact, et des éléments spéciaux

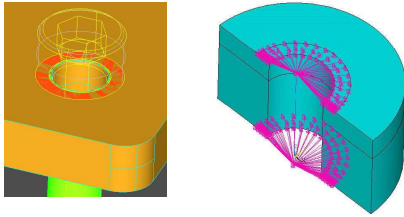


Figure 4: Modèle de comportement de liaison boulonnée de type 'araignée' basée sur un modèle CAO et avec une représentation explicite de la surface de contact de la tête de vis [Mon02]

peuvent assurer la connection entre les noeuds de la surface d'appui et les noeuds de la tige filetée.

Pour préparer les modèles éléments finis des liaisons, les logiciels CAO sont réduits à une utilisation interactive et intensive des opérations de découpage de surface des composants pour définir les zones de contact et connecter les surfaces restreintes obtenues, ce qui est une tâche longue et fastidieuse.

Ainsi, la préparation de modèles éléments finis requiert principalement les informations suivantes :

- les informations sémantiques des liaisons : vis, écrou, rivets, et les informations sémantiques associées,
- la représentation explicite de la géométrie de la surface de contact entre les liaisons et les composants assemblés,
- les matériaux, la prétention des tiges de vis, et les autres informations qui devraient être spécifiées par l'utilisateur.

3.2. Simulation d'assemblage et de désassemblage, modèles cinématiques

Léon dans [LRD01] a montré que le rôle fonctionnel et les informations cinématiques des composants peuvent être utilisées pour réduire la complexité combinatoire de la simulation de désassemblage. En créant automatiquement les associations entre composants, les séquences de désassemblage invalides peuvent être rejetées le plus tôt possible dans l'algorithme de génération de séquences.

Les modèles cinématiques requièrent aussi une mobilité relative entre les composants, ce qui peut être déduit à partir :

- des interfaces entre les composants, par exemple une liaison pivot glissant peut être déduite à partir d'un contact coaxial entre deux surfaces cylindriques des composants,
- du rôle fonctionnel des composants, par exemple les composants qui sont empilés entre les deux surfaces d'appui d'un boulon sont solidaires.

4. Enrichissement d'assemblages CAO avec des informations technologiques et mécaniques

La section 2.1 a souligné que les modelleurs CAO permettent seulement la description géométrique des composants et des produits, une structure arborescente, et un ensemble d'attributs. Par conséquent, les modèles CAO ne fournissent pas des informations de haut niveau qui sont requises pour les domaines de l'IAO suivants :

- simulation d'assemblage-désassemblage,
- analyse structurelle de produits,
- simulation cinématique,
- critère de recherche de pièces et d'assemblage selon un rôle fonctionnel ou bien un type de liaison,

Les faits mentionnés ci-dessus viennent du fait que les outils actuels ne permettent pas de consolider la cohérence du modèle CAO des assemblages.

4.1. Concept d'"interface" entre composants

Une 'interface' entre deux composants est l'ensemble des propriétés intrinsèques de deux composants en interaction, incluant :

- le **type d'interaction** entre deux représentations géométriques de composants positionnés, i.e. jeu, interférence, ou contact,
- la **localisation des surfaces d'interaction** de chaque composant, décrite par un modèle B-Rep basé sur des surfaces canoniques (plans, cylindres, sphères, cônes), et des courbes canoniques (lignes droites, cercles, ellipses),
- les **informations sémantiques rattachées aux surfaces d'interaction**, exprimées par des chaînes de caractères, des quantités physiques, et des symboles (désignation conventionnelle, annotation de tolérancement géométrique et dimensionnel).

4.2. Concept d'interface conventionnelle

Lorsque la représentation utilisée pour un type d'interaction est dominante – dans un domaine, une entreprise, ou un département d'ingénierie – alors cette représentation peut être qualifiée d'interface conventionnelle'. Dans notre travail, nous supposons qu'il existe une relation bijective entre l'ensemble des 'interfaces conventionnelles' et l'ensemble des 'rôles fonctionnels', i.e. chaque interface conventionnelle correspond à un seul rôle fonctionnel.

Les interfaces conventionnelles permettent de mettre en place des critères d'identification des rôles fonctionnels des composants basés sur les informations d'interface et les informations sémantiques.

4.3. Enrichissement des modèles d'assemblage CAO

Les règles associées aux interfaces conventionnelles permettent d'enrichir le modèle d'assemblage avec des informations sémantiques :

- la **désignation** des surfaces fonctionnelles, i.e. la queue déformée d'un rivet, la surface d'appui de la tête de vis,
- le **rôle fonctionnel** des composants, i.e. les vis d'assemblage, les vis de butée, les rondelles, les circlips,
- la **mobilité** entre les composants, i.e. encastrement, liaison ponctuelle, pivot glissant, liaison prismatique, liaison hélicoïdale, appui plan, liaison sphérique, etc.

4.4. Graphe d'adjacence composant/interface

Le graphe d'adjacence composant/interface représente la topologie des liaisons d'assemblage comme suit :

- chaque noeud représente un composant,
- chaque arc représente une interface élémentaire reliant deux composants.

Le graphe d'adjacence composant/interface qui représente les liens topologiques entre composants a plusieurs avantages :

- les opérateurs de graphe permettent de définir de manière simple les critères associés à des propriétés d'assemblage : par exemple, un ensemble de composants empilés est représenté par un **chemin** dans lequel chaque arc est une interface de type contact.
- les opérateurs de graphe permettent de définir des opérateurs d'édition de topologie : par exemple, le graphe d'adjacence des sous-assemblages rigide est obtenu par des opérations de **contraction d'arc** appliquées sur les arcs n'ayant pas de mobilité relative. Chaque noeud du graphe résultant représente alors un ensemble rigide, alors que chaque arc du graphe représente une interface ayant au moins un degré de liberté. Suite à de telles transformations, les noeuds du graphe représentent des classes d'équivalence, qui sont une première étape vers l'extraction de modèles cinématiques à partir de modèles d'assemblages.

Ici, les graphes d'adjacence peuvent être vus comme un exemple de modèle, intrinsèque à un assemblage, qui peut être déduit de l'analyse de modèles d'assemblages CAO et sont une première étape vers la génération de modèles de simulation cinématique.

4.5. Besoins d'une représentation simplifiée pour les interactions entre composants

Une représentation simplifiée des interactions entre composants en 3D est nécessaire pour déduire des interfaces conventionnelles et des informations techniques qui caractérisent les surfaces fonctionnelles des liaisons.

La représentation 3D des caractéristiques devrait rester simple : une représentation exacte des filets qui respecterait les flancs, la crête, les creux résulterait dans des représentations B-Rep complexes faisant intervenir des surfaces NURBS complexes. De plus, une représentation exacte ne faciliterait pas l'identification automatique des liaisons filetées.

Cette représentation conventionnelle devrait permettre une représentation simplifiée uniforme des caractéristiques telles que les filetages, les rivets, etc.

- Le domaine d'interaction associé à deux composants montés ensemble par de filetages et un taraudage devrait être représenté par une interférence,
- Initialement, la position relative des composants est connue et coïncide avec la position montée d'une configuration de fonctionnement normal.

Actuellement, il est supposé que le modèle d'assemblage utilisé en entrée ne contient aucune erreur de représentation conventionnelle, i.e. les interfaces sont conformes à la représentation conventionnelle définie et ces représentations sont utilisés de manière cohérente par rapport aux fonctions d'un composant.

5. Exemples sur la codification d'interfaces conventionnelles

Dans cette section, nous montrons que la codification des interfaces conventionnelles permet d'identifier automatiquement différents rôles fonctionnels de composants vis. Dans ce but, un exemple est utilisé pour illustrer comment les interfaces conventionnelles sont définies et reliées à un rôle fonctionnel.

5.1. Présentation générale de l'assemblage

L'assemblage étudié est une presse manuelle de précision (courtoisie Janesville Tool and Manufacturing Corp.). Les sous-assemblages sont définis par des ensembles de composants ayant des liaisons sans mobilité. Cette décomposition cinématique est représentée par un graphe d'adjacence sur la figure 5 :

- Le sous-assemblage '*Levier + pignon*' est composé du levier, du pignon, d'un axe joignant le pignon au levier, et de vis d'assemblage.
- Le sous-assemblage '*crémaillère de pression*' est composé d'une crémaillère, de la surface de pression et de sa vis d'assemblage,
- Le sous-assemblage '*support de presse mobile*' est composé du corps coulissant verticalement le long de la colonne et qui supporte la crémaillère de pression et l'axe du levier+pignon. Les autres composants sont montés sur le corps pour permettre une liaison prismatique et une mobilité bidirectionnelle de la crémaillère. La position verticale du support est assurée par pincement sur la colonne.
- Le sous-assemblage '*colonne et pied*' est composé du pied sur lequel la colonne est fixée avec un ensemble de vis.

Ces sous-assemblages sont obtenus en utilisant un critère de décomposition structurale utilisé fréquemment dans les entreprises.

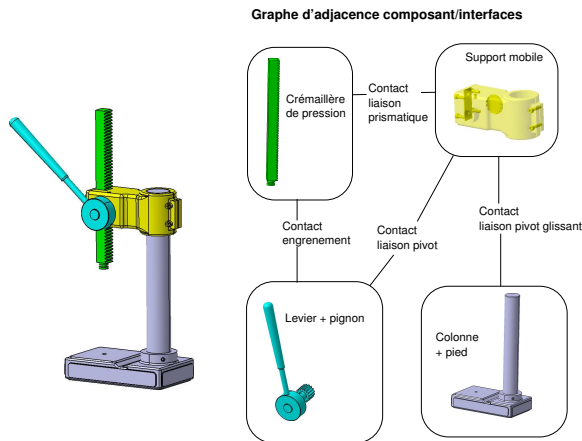


Figure 5: Sous-assemblages qui composent la presse manuelle de précision (courtoisie Janesville Tool and Manufacturing corp.)

5.2. Phase de génération des interfaces entre composants CAO

Un logiciel démonstrateur basé sur le noyau CAO Open-Cascade [Ope10] a été conçu pour créer une représentation explicite des interfaces entre composants. Le démonstrateur actuel identifie les surfaces en interférence, les surfaces de contact, et crée un modèle CAO représentant chacune d'elles :

- chaque interférence entre deux composants A et B est représentée comme un volume, qui est obtenu en découpant les surfaces de chaque composant A ou B avec l'autre B ou A respectivement (représenté par des surfaces de couleur verte dans la figure 6)). Cet opérateur est équivalent à l'opérateur booléen d'intersection régularisé,
- chaque surface de contact est représentée par une coque, qui est obtenue en découpant les surfaces de chaque composant A ou B avec les arêtes en contact avec l'autre composant ∂B or ∂A , respectivement (représenté sur la figure 6 par des surfaces de couleur rouge).

Cette phase ne crée pas une nouvelle topologie respectant les frontières des interfaces pour chaque composant, ce qui est souvent requis pour la préparation des modèles d'analyse de structure. Des traitements supplémentaires ont pour but d'incorporer le résultat des opérateurs précédents dans la topologie des composants A et B [HLG*08]. Ces traitements ne sont pas détaillés ici puisque le papier se concentre sur la définition d'interfaces et leur contribution aux fonctions des composants. Ainsi, les fonctions des composants combinées avec leur forme sera utilisée pour générer des modèles de composants adaptés aux simulations pour l'analyse de structure par la méthode des éléments finis. Cela fait partie des travaux futurs.

© LE2I 2010.

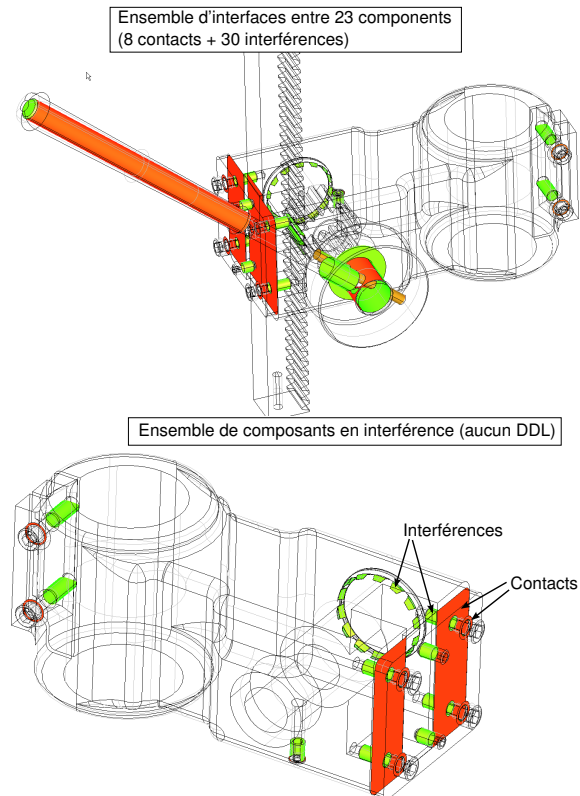


Figure 6: Modèle CAO enrichi avec la représentation explicite des interfaces entre composants.

5.3. Liaison filetées

Les Figures 5, 6, and 7 illustrent la maquette numérique sur laquelle nous nous appuyons pour l'exemple.

Dans cet assemblage, les contacts entre tige filetée et taraudage sont caractérisées par l'interface conventionnelle suivante "une interférence dont les surfaces qui s'intersectent sont caractérisées par deux cylindres coaxiaux avec des normales opposées indiquant que chaque cylindre se trouve du côté intérieur par rapport à l'autre (notion d'interpénétration)."

Cette interface conventionnelle forme un volume tubulaire dont les extrémités peuvent être définies par des surfaces cylindriques ou coniques, selon le type des surfaces d'extrémités : plan d'appui de la tête de vis, ou bien cône représentant la fin du filetage de la tige par un chanfrein. Le volume tubulaire de l'interface borde les surfaces hélicoïdales des filets de la tige filetée et du taraudage. Il est important de noter que deux composants arbre/alésage montés avec un serrage sont représentés dans un assemblage, la zone d'interférence est de même forme : un tube dont le diamètre extérieur est celui de l'arbre et le diamètre intérieur celui de l'alésage. **Pour différencier une liaison filetée d'une**

liaison serrée, on utilise le ratio e/D entre l'épaisseur du tube d'interférence (e) et le diamètre de la tige (D) (cf. figure 7) :

- pour des liaisons filetées e/D est de l'ordre de 10%,
- pour des liaisons serrées e/D est de l'ordre de 0.1%.

Que les matériaux soient du plastique ou du métal, une valeur de serrage trop importante est impossible parce que les contraintes élastiques produiraient la rupture des pièces ou empêcheraient leur montage.

En supposant que d'autres interfaces conventionnelles caractérisent des liaisons par soudage, collage, avec des surfaces cylindriques, les pièces liées auraient un jeu ou un contact entre elles, mais ne pourraient pas avoir d'interférence interprétable comme une liaison filetée. Ici, les interférences sont caractérisées uniquement par la géométrie du modèle B-Rep issue du fichier STEP des composants, qui donne de manière implicite la profondeur de pénétration d'un composant à l'intérieur d'un autre. L'identification et l'analyse des interférences qui existent entre les composants de l'assemblage permet de caractériser plus efficacement les fonctions et les liaisons entre composants, que en analysant la morphologie de chaque composant de manière isolée de l'assemblage. Les affirmations précédentes, si elles ne sont pas applicables pour n'importe quel type de produit, sont suffisamment réalistes pour les produits du domaine mécanique et manufacturier. Comme mentionné plus haut, le but ici est d'identifier des interfaces conventionnelles spécifiques à un domaine ou à des entreprises, ce qui implique que ces conventions ne sont pas forcément applicables à d'autres produits ou entreprises.

L'exemple d'assemblage présenté en figure 6 montre que les interférences de forme tubulaire définissent effectivement des liaisons vissées entre 2 composants (vis et levier). Les autres interférences ne correspondent pas à la définition d'interface conventionnelle de liaison filetée.

5.4. Vis d'assemblage

Tout composant qui est caractérisé par une tige filetée (x) inséré dans un taraudage (y) a le rôle fonctionnel de vis d'assemblage lorsque :

- un composant - ou un ensemble de composants adjacents en contact les uns avec les autres - est appuyé contre (y) et contre (x). Les normales des surfaces d'appui de (x) et de (y) sont opposées (voir figure 7).

Les vis d'assemblages sont caractérisées par un ensemble de $n \geq 2$ interfaces (voir figure 7) :

- une **interférence** entre les composants de (x) et (y) dont la forme est un tube correspondant à l'interface conventionnelle d'une liaison filetée.
- un **chemin du graphe d'interfaces** reliant (x) à (y) où chaque noeud du chemin est un composant, et chaque arc est une interface de type contact.

La condition ci-dessus caractérise l'assemblage d'au moins deux composants par filetage, des conditions supplémentaires peuvent être ajoutées puisque les surfaces

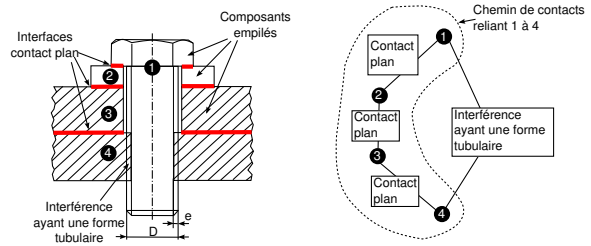


Figure 7: Vis d'assemblage déduite à partir d'une interférence entre des surfaces cylindriques coaxiales et par le chemin de contact entre la tête de vis (1) et le taraudage (4)

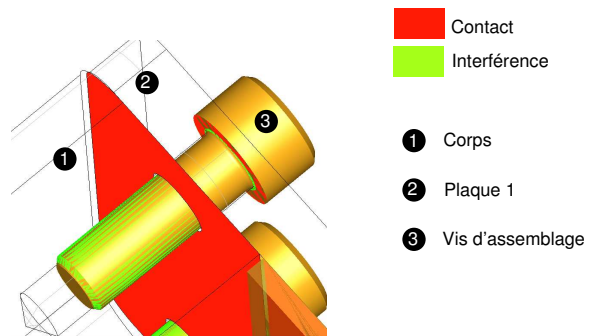


Figure 8: Vis d'assemblage déduite à partir de l'interface conventionnelle d'une liaison filetée et de l'empilement de composants.

d'appui sont généralement planes (plan d'appui tête de vis/composant, plan d'appui écrou/composant, etc). Une contrainte de fonctionnement pour une vis d'assemblage est de presser les composants les uns contre les autres pour éviter les glissements entre les composants empilés et serrés dont les contacts sont des plans orthogonaux à la direction de l'axe de la tige filetée. Cela justifie l'ajout d'une condition d'orthogonalité entre l'axe de la tige et les plans d'appuis entre les composants empilés. Les angles de déviation par rapport à cette condition d'orthogonalité sont rares et sont des angles très faible (environ 2 degrés). Dans tous les cas, les surfaces d'appuis extrémales doivent être orthogonales à l'axe de la vis puisque c'est une condition de bon fonctionnement pour l'assemblage de la vis. Pour mieux caractériser la représentation conventionnelle illustrée en figure 7, une zone de jeu de forme tubulaire existe entre les vis d'assemblage et les pièces empilées, ce qui peut être utilisé pour consolider les caractéristiques des vis d'assemblage par rapport aux autres configurations. Dans l'exemple d'assemblage donné en exemple sur la figure 6, quatre configurations seulement satisfont les conditions ci-dessus, qui caractérisent effectivement les vis d'assemblage du mécanisme et les différencient par rapport aux autres vis du modèle.

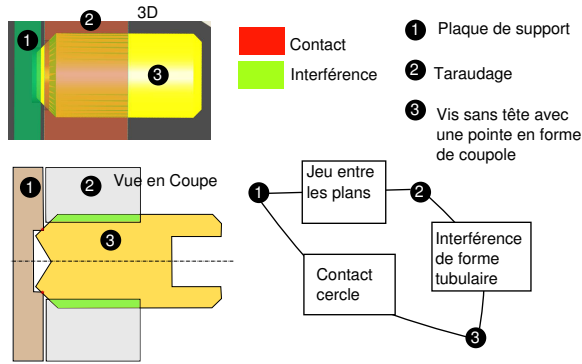


Figure 9: Vis de pression sans tête et avec une pointe de forme de coupole.

5.5. Vis de pression

La fonction de tout composant caractérisé par une tige filetée (x) lié à un taraudage (y) est une vis de pression lorsque la pointe de (x) s'appuie contre un composant (w) à travers une interface qui est de type contact (voir figure 9).

La géométrie de l'interface (x/w) de la pointe de la vis de pression peut être :

- une *courbe fermée*, par exemple un cercle lorsque la pointe en forme de coupole est en appui contre une surface plane du composant associé (voir figure ci-dessous),
- un *point*, par exemple lorsque la pointe conique ou en forme de dôme est appuyée contre le composant associé,
- une *surface*, par exemple un disque lorsque l'extrémité plate est en appui contre le composant associé,

Dans la figure 9, l'interface de la pointe est un cercle de contact. Les conditions ci-dessus sont clairement indépendantes de la définition des vis d'assemblage. Cette indépendance est une propriété forte pour identifier efficacement les diverses configurations et distinguer les composants aussi bien que leur rôle fonctionnel. Dans l'exemple, seules deux configurations correspondent à cette catégorie, qui identifie de manière unique les vis de pression. Il devrait être souligné que la pointe qui s'appuie sur le composant (w) suit une représentation conventionnelle qui peut être étudiée et modifiée dans le cas de conflit avec d'autres représentations, ou pour éviter les contacts ponctuels ou curviligne dans le cas où les algorithmes de détection de contact manquent de robustesse.

5.6. Vis de pincement

La liaison du support mobile est réalisée par adhérence. Dans l'exemple figure 10, le moyeu du support mobile pince la colonne par l'intermédiaire d'un serrage (vis, boulon, ou goujon).

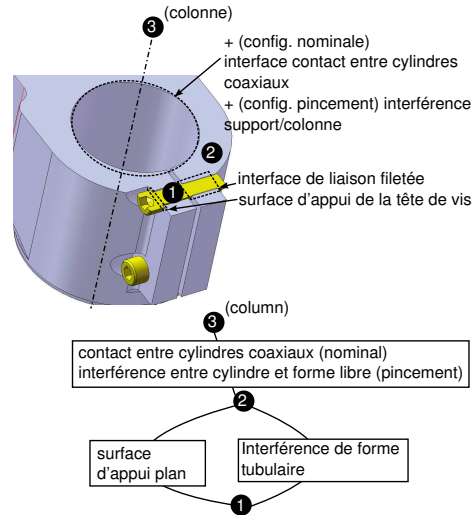


Figure 10: Analyse d'une vis de pincement.

La fonction de pincement spécifique de la vis peut être identifiée comme suit :

- l'interface associée à la surface d'appui de la tête de vis ainsi que l'interface de forme tubulaire de la liaison filetée de la vis sont associées à la même paire de composants (voir figure 10),
- l'absence de composants empilés entre la surface d'appui de la tête de vis et le taraudage indique que la vis entraîne une déformation du composant qui est serré entre la surface d'appui de la tête et le taraudage,
- en représentant le composant dans une configuration déformée (par exemple avec une analyse de structure), une interface de type interférence entre le support mobile et la colonne apparaît, ce qui indique un lien par pincement entre ces deux composants.

Les deux premières propriétés sont clairement distinctes de celles de la vis d'assemblage et de la vis de pression, ce qui démontre encore l'indépendance des trois représentations conventionnelles et le rôle fonctionnel des composants. La vis de pincement, à cause de son fonctionnement, peut être associée à une liaison cinématique de type liaison prismatique, ou liaison pivot. Cela permet ainsi de caractériser la fonction du composant pincé, par l'analyse de la zone de pincement.

Pour résumer, la définition d'interfaces et leur combinaison permet de caractériser des rôles fonctionnels, et différentes catégories de vis peuvent être identifiées et distinguées clairement, comme le confirme l'exemple analysé. Cette approche ne nécessite pas d'information sémantiques (caractéristiques de forme).

6. Conclusion et perspectives

Dans ce papier, une revue des problèmes issus de la préparation de modèles d'assemblage 3D pour l'IAO a été présentée. Il a été montré qu'une première étape pour permettre la préparation des modèles d'assemblages repose sur l'enrichissement des représentations CAO :

- identification de représentations conventionnelles simplifiées en 3D pour des composants standard et d'autres caractéristiques d'assemblage, dans des compagnies spécifiques,
- prétraitement géométrique pour l'extraction des interfaces entre les composants et les assemblages,
- caractérisation des interfaces conventionnelles basée sur l'analyse des propriétés géométriques des interfaces et du graphe d'adjacence composant-interface.

Il a été montré que les interfaces conventionnelles entre composants permettent d'identifier les liaisons filetées de manière unique et fiable, et d'en dériver les liaisons de type vis. Ainsi, l'utilisation d'interfaces pour définir un ensemble de propriétés indépendantes a abouti à une classification explicite du rôle fonctionnel d'une vis. Ce résultat peut être utilisé pour vérifier la désignation d'un composant dans une nomenclature, améliorer la cohérence du modèle d'assemblage, et préparer une description du fonctionnement de l'assemblage utilisable pour les applications d'IAO (comportement mécanique d'assemblage, analyse de montage/démontage).

Les limitations actuelles de cette approche sont les suivantes :

- il est parfois difficile de caractériser le rôle fonctionnel des composants lorsque leur comportement repose sur des configurations déformées, alors que ces composants sont représentés par leur forme initiale (nominale),
- le prétraitement géométrique a une complexité combinatoire en fonction des composants présents dans le modèle. Ainsi, le traitement des assemblages contenant des dizaines de milliers de composants et de liaisons doit reposer sur un processus d'identification d'interface efficace.

Nos objectifs à moyen-terme sont :

- l'extension de représentations simplifiées conventionnelles et la caractérisation d'interface conventionnelles :
 - à d'autres types de liaisons : rivets, clips, cordons de soudure, etc.
 - aux paliers : roulements, paliers lubrifiés,
 - composants standards : engrenages, crémaillère, chaînes, câbles, roulement à bille,
- l'étude d'un algorithme de détection d'interface basé sur des calculs répartis de type GPU afin de réduire le temps d'identification des interfaces conventionnelles.

La représentation explicite des interfaces permet de faciliter le traitement des modèles d'assemblage pour générer des modèles de calcul de structure qui caractérisent les zones fonctionnelles par des zones de conditions aux limites.

References

- [AMP*02] ARMSTRONG C., MONAGHAN D., PRICE M., OU H., LAMONT J. : Integrating cae concepts with cad geometry. *Engineering Computational Technology* (2002), 75–104. ISBN : 1874672172 Publisher : Civil Comp Limited. 2
- [HLG*08] HAMRI O., LÉON J.-C., GIANNINI F., FALCIDIENO B., POULAT A., FINE L. : Interfacing product views through a mixed shape representation. part 1 : Data structures and operators. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing* 2, 2 (2008), 69–85. Springer Verlag. 2, 7
- [HV07] HOWARD B. M., VANCE J. M. : Desktop haptic virtual assembly using physically-based modeling. *Virtual Reality* 11, 4 (2007), 207–215. 2
- [iG07] ÇIÇEKA A., GÜLESIN M. : A part recognition based computer aided assembly system. *Computers in Industry* 58, 8-9 (2007), 733 – 746. 2
- [IML08] IACOB R., MITROUCHEV P., LÉON J.-C. : Contact identification for assembly/disassembly simulation with a haptic device. *The Visual Computer* 24 (2008), 973–979. 2
- [LRD01] LEON J.-C., REJNERI N., DEBARBOUILLÉ G. : Assembly/disassembly simulation early during a design process. In *Proceedings of 2001 ASME DETC-CIE Conference* (Sep 9-12 2001). 1, 5
- [Mon02] MONTGOMERY J. : Methods for modeling bolts in the bolted joint. In *ANSYS User's Conference* (2002). 5
- [Ope10] Open CASCADE Technology, 3D modeling & numerical simulation. <http://www.opencascade.org/>, 2010. 7
- [SM95] SHAH J., MANTYLA M. : *Parametric and feature-based CAD/CAM concepts, techniques, and applications*. <http://www.amazon.fr/Parametric-Feature-Based-Cad-Cam-Applications/dp/0471002143>, 1995. 1