avis d'expert

Du dessin à la modélisation déclarative

Hier simples outils de dessin, les modeleurs de CAO actuels intègrent toujours plus de connaissances non-géométriques, permettant de travailler à des niveaux d'abstraction toujours plus élevés.

Le processus de conception peut être vu comme un processus de satisfaction de contraintes. Il consiste en un enrichissement progressif de différents modèles de représentation des connaissances, lesquels peuvent être nombreux et de natures très diverses : des mots du langage naturel aux modèles réduits ainsi qu'aux maquettes numériques de CFAO, en passant par des modèles mathématiques. L'enrichissement de ces modèles est réalisé en tenant compte des propriétés, caractéristiques et contraintes devant être satisfaites par l'objet à concevoir. Celles-ci, qu'elles soient d'ordre fonctionnel, spatial, ou structurel, se traduisent toujours *in fine* par des contraintes géométriques. Par exemple, lorsque le matériau d'une pièce mécanique ou d'un élément de la structure d'un bâtiment a été choisi, une contrainte de résistance mécanique se traduit par une forme et des dimensions. D'où l'attachement des concepteurs au travail sur la géométrie, et la place centrale qu'occupe aujourd'hui le modèle géométrique au sein des systèmes de CAO.

Depuis l'apparition des premiers logiciels de DAO dans les années 70, les techniques de modélisation géométrique n'ont cessé d'évoluer pour permettre l'émergence de véritables outils d'aide à la conception. L'apparition de la modélisation paramétrée a marqué le passage de modèles géométriques possédant une configuration (position, dimensions, orientation…) parfaitement définie et figée, vers des modèles plus évolutifs, définis par un ensemble de paramètres et de contraintes. Comme l'explique David Lesage *[1]* : *« Pour les applications de conception, l'objet manipulé n'est plus une entité purement géométrique définie par un ensemble d'opérations booléennes et d'entités géométriques élémentaires, mais devient un objet défini par des caractéristiques comme, par exemple, le matériau. Ces caractéristiques peuvent être fonction des métiers : un trou peut être une portée de roulement pour le concepteur, alors que pour la fabrication ce trou sera un alésage avec un état de surface et une certaine tolérance sur le diamètre. Ainsi, chaque acteur va pouvoir enrichir la définition du produit et réagir au plus tôt en fonction des choix réalisés par les autres acteurs »*.

Il existe aujourd'hui sur le marché différents types de modeleurs, travaillant à différents niveaux d'abstraction et permettant, à des degrés divers, de capturer l'intention du concepteur lors de la création de nouveaux modèles. On distingue principalement les approches paramétrique et variationnelle, d'une part, et l'approche par features d'autre part. Nous y reviendrons par la suite. Quoi qu'il en soit, dans de nombreux cas, l'essentiel du travail des concepteurs ne porte pas sur la création de concepts radicalement nouveaux, mais sur l'adaptation de produits existants. Ceci est particulièrement vrai dans le cas de sous-traitants, fournissant en grande quantité une petite gamme de produits. Grâce à la modélisation paramétrée, la modification des modèles a été grandement simplifiée. En effet, le concepteur n'a en théorie qu'une simple mise à jour des paramètres à réaliser. Dans la pratique, toutefois, cette étape est loin d'être aussi simple : d'une part en raison de limitations internes dues aux principes même de fonctionnement des modeleurs, d'autre part parce que les paramètres à modifier sont rarement les mêmes que ceux qui ont servi à construire le modèle…

L'approche paramétrique

De façon générale, un problème est dit « paramétrique » lorsque celui-ci peut être décomposé en un ensemble de sous-problèmes pouvant être résolus les uns après les autres, de façon séquentielle. Un modeleur « paramétrique » est donc un algorithme qui traite chacune des étapes de la construction d'un modèle géométrique comme un problème paramétrique. Par exemple, un tel modeleur permet de construire un triangle par la spécification de deux cotés et d'un angle.

En effet, pour résoudre ce problème, il suffit de procéder de la façon suivante : on positionne le point A, puis le point B à une distance dAB, puis on place le point C sur la droite formant un angle α avec AB, à une distance dAC. Pour modifier le modèle, il suffit alors de modifier un ou plusieurs paramètres, le modeleur se contentant de rejouer l'historique de construction pour générer le modèle mis à jour.

Aujourd'hui, la quasi totalité des modeleurs de CAO 3D se basent sur ce principe de résolution pour la modélisation volumique. Toutefois, du fait même de sa simplicité, cette méthode présente de nombreux inconvénients, qui limitent au final les possibilités offertes aux utilisateurs. Tout d'abord, un modeleur paramétrique est incapable de résoudre un problème dans lequel les paramètres sont cycliques. Si l'on reprend l'exemple du triangle, la construction serait impossible ne connaissant que la longueur des trois côtés. En effet, il serait alors nécessaire d'appliquer deux distances dAC et dBC simultanément pour résoudre le problème, ce dont est parfaitement incapable un modeleur paramétrique. Par ailleurs, un tel modeleur ne peut résoudre que des problèmes bien contraints, c'est-à-dire des problèmes définis par un ensemble nécessaire et suffisant de contraintes. Or, au cours du processus de conception, les problèmes ne sont jamais bien contraints. Ils sont le plus souvent sous-contraints, et parfois même sur-contraints. Par ailleurs, on peut remarquer que dans une telle approche, le paramétrage et l'historique de construction sont intimement liés. Ainsi, s'il souhaite modifier les paramètres descripteurs de la géométrie, l'utilisateur est obligé de reconstruire localement la pièce, lorsque cela est possible. Comme le souligne David Lesage *[1]* : *« Pour utiliser un système paramétrique d'une façon efficace, l'utilisateur doit donc anticiper les modifications qui pourront être réalisées. Il est donc contraint de penser la construction de la géométrie en fonction du paramétrage souhaité. Ceci lui impose de connaître l'objet fini. Or, dans une approche de conception et même de re-conception, l'utilisateur découvre son mécanisme au fur et à mesure qu'il le dessine ».*

L'approche variationnelle

Dans l'approche paramétrique, c'est le système qui impose son choix de contraintes. Le problème doit impérativement être bien contraint, et les contraintes elles-mêmes doivent être non-couplées. L'approche variationnelle permet à l'utilisateur de se libérer de ces limitations techniques. Avec une telle approche, l'utilisateur choisit lui-même ses contraintes, qu'il peut modifier à tout moment. Par ailleurs il lui est possible d'utiliser des relations d'ingénierie, permettant de retranscrire plus fidèlement les liens entre les différents paramètres physiques, économiques, marketing,... et géométriques du produit. Cette approche est donc beaucoup mieux adaptée au processus de conception que ne l'est l'approche paramétrique. Comme l'explique David Lesage *[1]* : *« Avec une approche variationnelle, l'utilisateur peut se concentrer pleinement à sa tâche première de création. La contrainte majeure de l'approche paramétrique, c'est-à-dire l'historique de construction, n'a plus de signification. Il n'a donc plus besoin de se préoccuper des étapes de construction. Le schéma de contraintes n'est plus imposé. De plus, celles-ci peuvent être de nature différentes (dimensionnelles, d'ingénierie) et couplées, permettant ainsi de définir d'une façon optimale les contraintes fonctionnelles, c'est-à-dire un ensemble de contraintes significatives pour le fonctionnement, l'utilisation de l'objet ».*

Toutefois, cette approche de résolution globale des contraintes est complexe. Plus le nombre d'objets géométriques est grand, plus la résolution est difficile et le temps de réponse est long. Or, le concepteur souhaite travailler interactivement sur les systèmes de CAO... C'est pour cette raison que les modeleurs variationnels sont encore pour l'essentiel en 2D. On les appelle aussi des stekcheurs, car on peut travailler avec de tels outils à l'étape de l'esquisse, de l'ébauche, et faire ainsi de la conception préliminaire. Par ailleurs, soulignons que si l'approche variationnelle semble supprimer tous les problèmes liés à la modélisation paramétrique, une nouvelle difficulté apparaît : celle du choix de l'ensemble des contraintes. En effet, comme le souligne David Lesage *[1]* : *« En essayant d'obtenir un schéma de contraintes fonctionnelles, l'utilisateur définit un problème difficilement analysable : certaines zones sont sous ou sur-contraintes, d'autres sont définies par des schémas trop imbriqués. Une analyse « visuelle » d'un problème peut alors devenir rapidement complexe, voire impossible. Cette approche a donc, d'un côté, supprimé une grande partie des problèmes de la modélisation paramétrique et de l'autre, accentué les difficultés de la modélisation sous contraintes. Mais au final, elle apporte beaucoup. En effet, un objet est facilement modifiable par une personne autre que le concepteur puisqu'il est défini par ses spécifications fonctionnelles ».*

L'approche par features

L'une des tendances majeures de l'évolution actuelle des systèmes de CAO est à l'intégration de toujours plus de connaissances, géométriques mais également non-géométriques, liées au produit lui-même ou à sa fabrication, permettant de travailler à des niveaux d'abstraction plus élevés. Comme le précisent Robert Maculet et Marc Daniel *[2]* : *« Le niveau paramétrique/variationnel est le premier*

niveau d'abstraction de la modélisation géométrique [...]. A ce niveau, les objets manipulés sont des objets élémentaires de la géométrie : points, lignes, arcs... Les modeleurs CAO ont dès l'origine travaillé avec ces éléments simples et c'est à ce niveau que les modeleurs paramétriques et variationnels se placent pour résoudre les contraintes. Les contraintes géométriques élémentaires associées sont par exemple la distance entre 2 points (contrainte numérique), la relation de perpendicularité entre deux droites (contrainte booléenne). Avec l'approche par features, les objets géométriques sont plus complexes : ils sont formés par un assemblage d'éléments simples de niveau 1, par exemple une rainure dans une pièce mécanique. C'est ce que l'on appelle le « niveau 2 ». Les modeleurs à base de features travaillent donc au « niveau 1 » mais aussi au « niveau 2 ». Les contraintes « niveau 2 » sont associées à ces objets « niveau 2 ». Par exemple, « la rainure fait la longueur de la pièce » est une contrainte de « niveau 2 ».

Dans l'approche par features (en français, les features se traduisent par identités ou caractéristiques), l'idée directrice est d'intégrer au modèle de base des entités permettant de tenir compte du processus de fabrication. Ces entités sont des ensembles complexes d'éléments simples, pouvant être géométriques mais aussi technologiques. La modélisation par features associe donc des informations fonctionnelles et d'ingénierie aux informations géométriques. Il existe deux types d'approches pour les features : l'approche procédurale, qui est similaire à l'approche paramétrique en ce qui concerne la résolution, et l'approche déclarative, similaire à l'approche variationnelle. Soulignons qu'aujourd'hui la plupart des systèmes industriels de CAO basés sur la modélisation par features sont paramétriques, donc procéduraux et dépendant de l'ordre de création des features.

L'approche déclarative

L'objectif ultime de la modélisation en CAO serait de disposer d'un système purement déclaratif, permettant d'obtenir automatiquement une ou plusieurs « formes solutions » à partir de la description des propriétés, caractéristiques et contraintes devant être satisfaites par l'objet à construire. La modélisation géométrique déclarative se situe dans cette perspective, et l'on peut dire que l'on passe avec elle à un niveau d'abstraction encore plus élevé, au travers d'un modèle conceptuel ou sémantique. Comme l'explique David Lesage *[1]* : *« L'idée est qu'à partir d'une reformulation du cahier des charges d'un objet, le modeleur déclaratif produise automatiquement une ou plusieurs formes en adéquation avec la demande de l'utilisateur »*. A ce jour, des résultats encourageants ont été obtenus sur des applications simples de modélisation déclarative, pour la création de courbes gauches, de volumes, de boîtes... Toutefois, dans le monde de la CAO industrielle, des résultats d'un niveau satisfaisant n'ont toujours pas été atteints. En effet, comme le souligne David Lesage *[2]* : *« Dans le cas général, il existe une infinité de solutions répondant à l'ensemble des spécifications. Afin de ne pas restreindre trop rapidement le champ de solutions, l'utilisateur doit décrire la fonction à réaliser plutôt qu'une solution possible. La difficulté est que la description devient alors trop vague pour un ordinateur. Les temps de calcul s'allongent, et le nombre de solutions devient trop grand pour que l'utilisateur puisse ensuite faire un choix... »*.

Conclusion

Avec un modeleur traditionnel, le concepteur commence par avoir une idée mentale de l'objet à concevoir, qu'il précise ensuite en déterminant l'ensemble des spécifications à respecter. A partir de cette image mentale, il construit petit à petit l'objet avec son logiciel de CAO. Les logiciels actuels permettent de plus en plus de contraindre l'objet par un ensemble de spécifications dimensionnelles afin de faciliter des corrections ou modifications ultérieures. Pour cela, les modeleurs actuels utilisent pour la plupart l'enregistrement de l'historique de construction. D'un certain point de vue, l'utilisateur décrit au logiciel les caractéristiques du modèle. On parle de modélisation par caractéristiques géométriques, ce qui constitue un premier niveau, basique, de modélisation déclarative. Mais la géométrie ne constitue qu'une partie des données associées aux modèles pour la conception. En début de conception, le produit peut être simplement défini à partir d'un diagramme fonctionnel alors qu'en fin de conception, une définition géométrique et technologique détaillée est disponible. La conception d'un produit fait ainsi appel à tout un ensemble d'outils complémentaires, qui vont contribuer soit à définir, soit à formaliser les choix de conception effectués. Les interactions qui existent entre ces données se formalisent peu à peu au travers de nouveaux modèles, outils et normes. Le but étant à terme d'être en mesure de garantir, tout au long du processus, la cohérence et l'accessibilité de l'ensemble des informations relatives au produit. ◘

Bibliographie

[1] David Lesage : « Un modèle dynamique de spécifications d'ingénierie basé sur une approche de géométrie variationnelle », *thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2002.*

[2] Robert Maculet et Marc Daniel : « Conception, modélisation géométrique et contraintes en CAO : Une synthèse », *rapport de Recherche Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes, 2003.*