

La qualité des modèles 3D

Problèmes et remèdes pour des applications en aval de la conception

1. Introduction

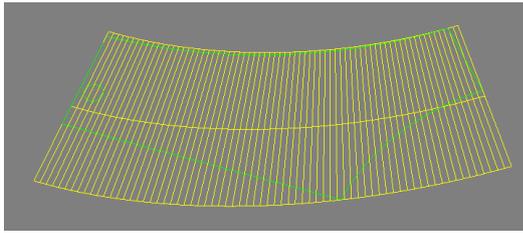
Les grands thèmes des dernière décennie (paramétrage en tout sens, maquette numérique, Concurrent Engineering, cycle de vie des produits, gestions de l'ensemble des données techniques ...) auraient pu nous laisser penser que la géométrie des modèles 3D « ordinaires » étaient parfaite, et que son utilisation ne posait aucun problème aux applications situées en aval. Il n'en est rien : avec l'énorme augmentation des capacités de calcul et de stockage, les modèles sont devenus de plus en plus complexes, donc plus difficiles à vérifier et comportent souvent de petites anomalies peu ou pas visibles graphiquement. Or , la création d'un modèle CAO n'est pas une fin en soi, il doit permettre la conduite de l'ensemble des études concernant le produit. En particulier les données géométriques vont servir d'entrée pour d'autres applications telles que la simulation , le prototypage, l'usinage, la production d'images réalistes de haute qualité, etc.

Le plus souvent, les personnels chargés des applications en aval de la conception CAO ne disposent pas des outils ou n'ont pas la formation qui leur permettraient d'effectuer eux-mêmes des corrections efficaces de modèle. De plus, les sous traitants ou les services auxquels sont confiées ces tâches sont rarement en position de force pour exiger de leur donneur d'ordres un modèle CAO idéal, c'est à dire conforme aux norme de qualité les plus sévères (plusieurs centaines de pages pour les normes SASSIG, VDA , ISO ou autre dans le domaine automobile). Il en résulte que les applications en aval de la CAO doivent être conçues pour que les "petits défauts" des modèles n'entraînent pas de blocage , et n'aient qu'aussi peu d'incidence que possible sur la qualité des résultats produits. Il vaut toujours mieux que le modèle soit aussi parfait que possible, mais il serait inacceptable par exemple qu'une application de prototypage refuse de fabriquer une pièce parce que le modèle présente un défaut de raccordement de quelque microns, si le processus de fabrication a une résolution d'une cinquantaine de microns.

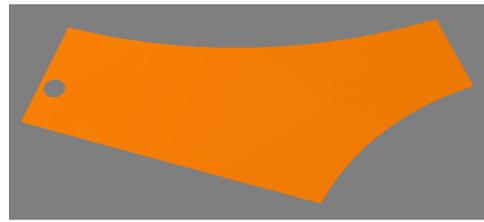
2. Quelques exemples de difficultés et petites anomalies courantes:

La géométrie des surfaces d'un modèle CAO est généralement accessible sous forme standardisée d'un ensemble de "Faces" supposées se raccorder parfaitement. Chaque face est décrite par sa "surface support" et ses "courbes de limitation" qui précisent quelle partie de la "surface support" est à prendre en compte.

Exemple de face :



surface support en jaune et courbes de limitation en vert



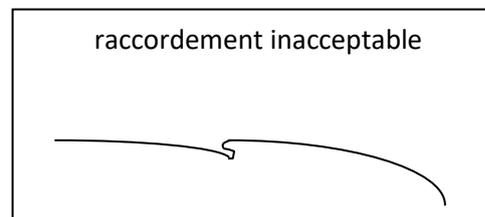
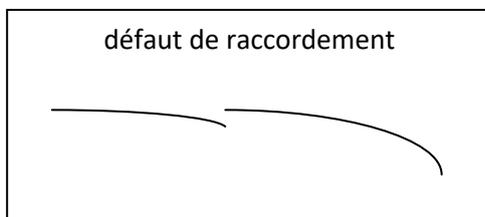
face: ce qui fait réellement partie du modèle

La surface support est usuellement caractérisée par ses équations paramétriques :

$x = f_x(u,v)$; $y = f_y(u,v)$; $z = f_z(u,v)$, les 2 paramètres u et v variant dans un intervalle donné.

Les courbes de limitation par leurs équations paramétriques 3d de la forme $x = f_x(t)$; $y = f_y(t)$ $z = f_z(t)$ mais aussi par leurs équations paramétriques 2d :

$u = f_u(t)$; $v = f_v(t)$ le paramètre t variant dans un intervalle donné. En principe, pour chaque face ses courbes de limitation doivent se raccorder parfaitement pour former un ou plusieurs contours fermés, elles ne doivent présenter ni intersection, ni boucle, ni points de rebroussement, ni duplication ... et les faces doivent se raccorder parfaitement (au moins en position) sans petite fentes et sans recouvrement. En plus des informations purement géométriques, le modèle CAO comporte des informations topologiques : quelles sont les voisines d'une face, quelles frontières partagent-elles. Les défauts de ce type d'information sont invisibles.



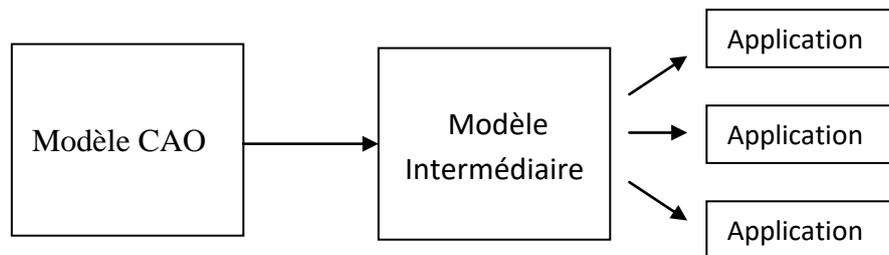
3. Les sources d'anomalies :

Lorsqu'un modèle est utilisé pour les besoins de la simulation, sa vie est déjà longue, il a pu transiter par plusieurs systèmes et les sources d'erreur sont difficiles à identifier de façon sûre. A priori, on peut les répartir en :

- Erreurs ou imprécision à la création sur le système d'origine.
- Imperfections générées à l'export des données (fichiers Iges, Step etc.)
- données accessibles incomplètes (ex: expression manquante des courbes de limitation dans l'espace des paramètres uv)
- Divergence dans l'interprétation des normes d'échange
- Différence de représentation interne de données entre systèmes CAO
- Méconnaissance par l'opérateur des besoins des applications situées en aval
- Erreurs et oublis de l'opérateur

4. Une solution envisageable :

Plutôt que de rendre chaque application en aval aussi tolérante que possible aux imperfections des modèles CAO, on peut chercher à développer un outil simple et efficace, qui effectue un pré-traitement des modèles. Avec un minimum d'intervention de l'opérateur, il génère un modèle intermédiaire, dont les critères de qualité sont exactement adaptés aux besoins des applications situées en aval.



L'implémentation de cette solution a été réalisée dans l'environnement d'OpenCascade pour la lecture des fichiers IGES ou STEP et l'extraction des seules données purement géométriques et également intégrée directement dans le modèleur SolidWorks (accès aux données du modèle par l'A.P.I. fourni par SolidWorks). Les informations topologiques moins fiables, souvent incomplètes ou totalement absentes et difficiles à interpréter n'ont pas été extraites du modèle CAO d'origine, mais systématiquement reconstituées à partir des seules données géométriques. Le modèle intermédiaire est un modèle discret dans lequel les surfaces support sont définies par des "grilles de points" et les courbes de limitation par des lignes de points obtenues en parcourant l'ensemble du modèle CAO original

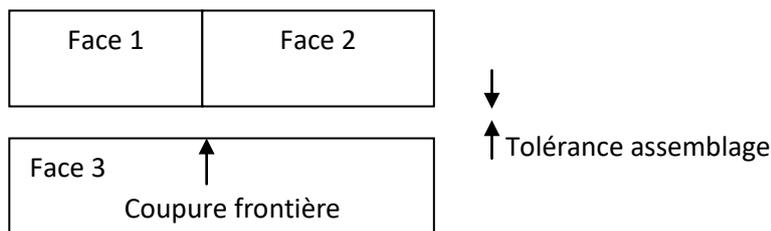
5. Pourquoi un modèle intermédiaire discret ?

Simplement parce qu'il est beaucoup plus facile à vérifier et surtout à modifier que dans sa forme mathématique d'origine. La densité des points pour chacune des faces est choisie de façon à ce que les calculs (en particulier les interpolations simples) soient menés avec la précision voulue. La première étape consiste à s'assurer qu'individuellement chaque face est correcte et s'il y a lieu à la corriger:

- ré-ordonnement et réorientation des courbes, fermeture d'un contour frontière (recréation de la topologie élémentaire de chaque face)
- reconnaissance du contour extérieur / contours intérieurs
- élimination des faces trop petites (largeur moyenne négligeable)
- élimination des points de rebroussement des courbes frontières
- concaténation des courbes frontières trop petites
- décomposition des courbes frontières dont la courbure n'est pas homogène
- vérification de la cohérence des courbes frontières
- reparamétrage des courbes frontières
- reparamétrage des faces mal conditionnées

La deuxième étape consiste, à l'aide des seules informations géométriques du modèle discrétisé ainsi mis au propre, de recréer la topologie d'ensemble. La création des relations d'adjacence entre les faces s'effectue de façon itérative. On fait un premier assemblage avec une tolérance de départ donnée assez faible, puis on réduit le nombre de défauts de connexité (« bords libres » du modèle) en augmentant la tolérance. Les frontières « normales » sont celles qui sont communes à 2 faces, un « bord libre » est une frontière qui n'appartient qu'à une seule face, un « bord multiple » est une frontière commune à plus de 2 faces.

Si besoin est, une courbe frontière (courbe de limitation de la face) est découpée pour que chaque courbe ait exactement une courbe en vis à vis, selon la figure ci-après.



6. La triangulation face par face

La triangulation est effectuée face par face, dans le plan paramétrique de chacune des faces en faisant appel à un algorithme de triangulation classique (méthode Delaunay incrémentale). Les coordonnées d'espace sont considérées comme des données complémentaires attachées aux nœuds. L'utilisation des relations de connexité établies à l'étape précédente permet d'imposer les mêmes coordonnées d'espace sur les frontières communes à plusieurs faces, ce qui garantit la connexité de la triangulation globale. Les densités des points sur les frontières et à l'intérieur des faces sont principalement déterminées par le critère d'erreur de corde à respecter (précision géométrique). Pour chaque triangle on estime l'écart avec le modèle CAO d'origine, au milieu des côtés et au barycentre. On peut également forcer la triangulation à respecter d'autres critères pour faciliter le bon fonctionnement des applications situées en aval : taille maximale des côtés, rapport maximal entre petit et grand côté des triangles , angle max. entre 2 triangles connexes d'une même face etc.

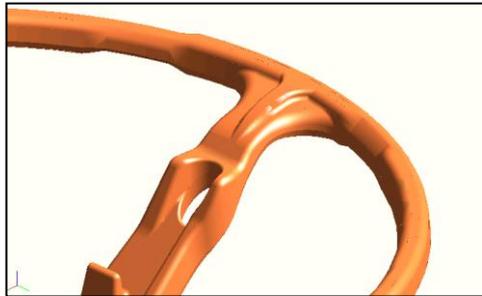
7. Création d'un maillage global, vérifications

La triangulation est assemblée en un maillage global. On procède à une dernière vérification de cohérence (détection et mise en évidence des bords libres et connexions multiples du maillage).. Les points trop voisins sont fusionnés, on vérifie qu'il n'y a pas de recouvrement.

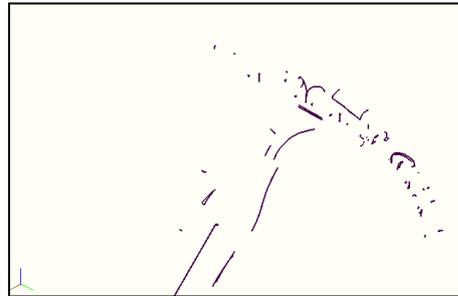
La triangulation est finalement exportée sous la forme requise pour l'application située en aval. Selon les cas, elle pourra soit être utilisée telle quelle : définition de la géométrie d'un outil d'emboutissage , prototypage ou fabrication additive (format .STL), ou bien faire l'objet d'un remaillage pour les applications de calcul et simulation (format .NAS , .mesh ou autre).

8. Un exemple représentatif :

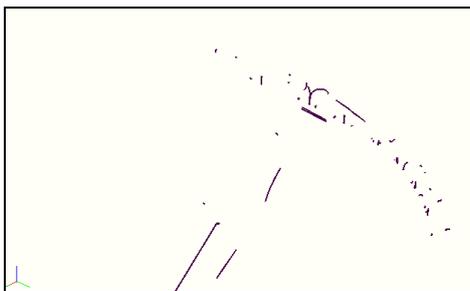
Le modèle représente un volant de voiture qui est censé être un volume limité par une surface fermée. Il est de complexité « moyenne » (environ 2000 faces). L'analyse du modèle effectuée avec une tolérance initiale de 0.02 mm donne les informations suivantes : (visualisation des "bord libres")



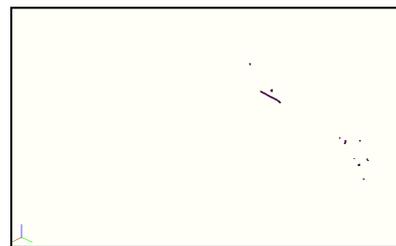
Géométrie CAO (partielle)



Défauts d'assemblage (tol.: 0.02)



Défauts d'assemblage (tol.: 0.1)



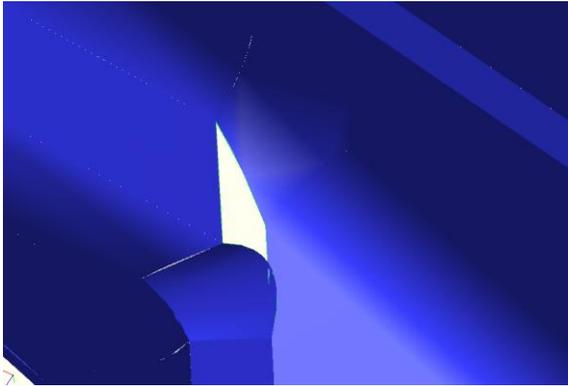
Défauts assemblage tol. : 0.3

Le modèle représente un volant de voiture qui est censé être un volume limité par une surface fermée. Il est de complexité « moyenne » (environ 2000 faces). L'analyse du modèle effectuée avec une tolérance initiale de 0.02 mm donne les informations suivantes :

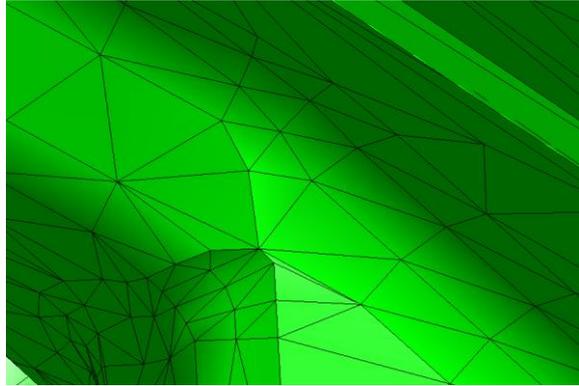
- 40 faces sont dupliquées (élimination automatique)
- 32 faces ont une largeur moyenne inférieure à 0.02mm (élimination automatique sur option)
- 16 points de rebroussement des contours de limitation ont été éliminés
- 280 courbes de limitation de longueur négligeable ont été éliminées
- les courbes de limitation ont été réordonnées, raccordées pour former des contours parfaitement clos
- 93 défauts de connexité sont détectés (et résolus)

Sur les 93 défauts relevés avec une tolérance d'assemblage de 0.02 mm, il n'en reste que 14 si la tolérance est portée à 0.1mm puis 7 si elle est portée à 0.5mm. Les « fentes » de défaut de connectivité ne disparaissent que lorsque la tolérance est portée à 0.7.

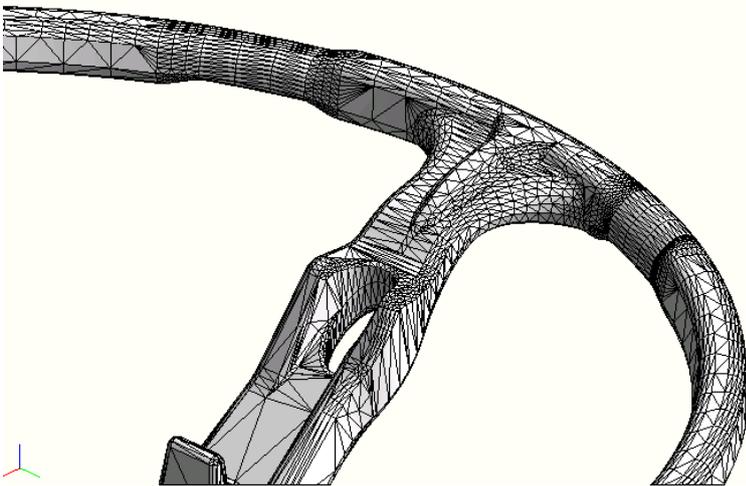
Le Zoom suivant montre qu'un défaut important du modèle CAO initial, n'a eu que peu d'incidence sur le maillage résultant, qui ne présente aucun défaut topologique à cet endroit.



Défaut du modèle CAO initial



maillage "STL" résultant



Aspect général du maillage "stl"

Erreur de corde : 0.1

Nombre de triangles: 42 156

9. Conclusion :

- Un modèle triangulé est un moyen simple et efficace pour transmettre les informations géométriques aux applications utilisatrices.
- Il est possible de créer **automatiquement** un modèle triangulé "parfait", c'est à dire cohérent, étanche, sans défaut topologique, et respectant la géométrie du modèle CAO avec une précision garantie, même lorsque ce dernier n'est pas parfait.
- Un modèle triangulé a une structure très simple, il pourra toujours être réutilisé dans le futur. Même si les logiciels qui ont servi à le créer ont disparu, quel que soit son format (.stl, .obj, .nas, .mesh ou autre) il sera toujours facile de créer un petit bout de code pour l'exploiter.

N.B. Le principe est testable avec l'application "Tessellation" du site Web <https://meshprocess.com/>