



**NOUVELLES TECHNOLOGIES**  
PAR J.F. COBLENTZ

# Le format de fichier STL

## (Acquisition et Impression 3D) Une introduction

### Qu'est-ce qu'un fichier STL ?

En un mot, un fichier STL stocke des informations sur les modèles 3D. Ce format décrit uniquement la géométrie de surface d'un objet tridimensionnel sans représentation de couleur, de texture ou d'autres attributs de modèle courants. En particulier, sauf besoin spécifique, l'intérieur (au sens topologique du mot) n'est pas concerné, sauf à ce que la pièce concernée ait besoin d'informations de structure, auxquelles cas ces informations sont également des éléments mathématiques du fichier STL.

Ces fichiers sont généralement générés par un programme de conception assistée par ordinateur (CAO) ou, naturellement, par des caméras 3D ou des scanners.

Depuis ses modestes débuts (1987), le format de fichier STL a été adopté et pris en charge par de nombreux progiciels de CAO. Il est aujourd'hui largement utilisé pour le prototypage rapide, l'impression 3D et la fabrication assistée par ordinateur. Les amateurs et les professionnels l'utilisent de la même manière. Le format de fichier STL est le format de fichier le plus utilisé pour l'impression 3D, c'est devenu un standard.

### Que signifie l'extension de fichier STL ?

La véritable signification de l'extension de fichier STL a été perdue dans la nuit des temps.

On admet généralement que "STL" est une abréviation du mot Stéréolithographie, bien que parfois il soit aussi appelé "langage triangulaire standard" (en anglais : Standard Triangular Language) ou "langage de tessellation standard" (Standard Tessellation Language). La tessellation est expliquée un peu plus loin.

Utilisé conjointement avec un logiciel de préparation d'impression (nommé "Trancheuse", nous verrons pourquoi), qui est à l'impression 3D ce qu'un pilote d'imprimante est à une impression papier, il permet à un ordinateur de communiquer avec une imprimante 3D.

### Comment le format de fichier STL décrit-il un modèle 3D ?

L'objectif principal du format de fichier STL est d'encoder la géométrie de surface d'un objet 3D. Il code cette information en utilisant un concept simple appelé "tessellation". La tessellation est le processus consistant à créer la mosaïque d'une surface avec une ou plusieurs formes géométriques telles qu'il n'y ait pas de chevauchement ni de vide. Un sol ou un mur carrelé sont de bons exemples réels de tessellation. La tessellation peut impliquer des formes géométriques simples ou des formes très complexes (et imaginatives). MC Escher s'en est fait une spécialité (tout autant que ses œuvres ou les défauts de perspectives sont mises à l'honneur). Quelques exemples de tessellation de M. C. Escher :



L'invention du format de fichier STL n'a donc qu'un but : exploiter la tessellation pour encoder la géométrie de surface avec le plus de détails possible.

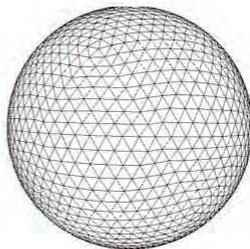
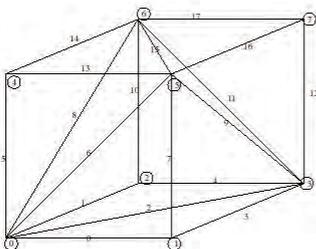
En 1987, Chuck Hull venait de commercialiser la première imprimante 3D de stéréolithographie, et 3D Systems (la société de Chuck Hull, devenue n°1 mondial) tentait de trouver un moyen de transférer des informations des modèles de CAO vers cette imprimante 3D. Ils ont compris très vite qu'ils pouvaient utiliser des mosaïques de la surface du modèle 3D pour encoder ces informations.

C'est là que l'idée de base est apparue : paver la surface extérieure des modèles 3D à l'aide de minuscules triangles (également appelés "facettes") et stocker ces informations à l'aide d'un fichier.

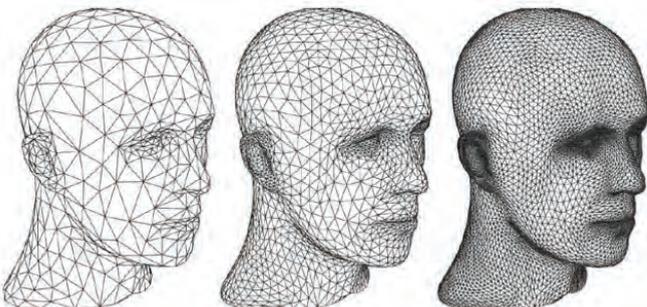
Pourquoi des triangles ? Le besoin de description des objets va de pair avec le besoin de précision et de simplicité. Il fallait donc des objets simples. La géométrie pythagoricienne s'imposait. Après quelques essais, carrés, rectangles, cercles ont été abandonnés. Le triangle donnait, lui, toute satisfaction.

Regardons quelques exemples pour comprendre comment cela fonctionne.

Pour commencer, un simple cube. Celui-ci peut être "couvert" (donc représenté) par 12 triangles, comme démontré ci-dessous. Comme vous pouvez le constater, il y a deux triangles par face. Comme le cube a six faces, il faut 12 triangles. Prenons maintenant le cas d'une sphère. Celle-ci peut être recouverte de nombreux petits triangles, modulo une approximation dont la valeur définira la taille, donc le nombre, des triangles.



La même notion, avec un objet plus compliqué, détaillant cette idée de précision :



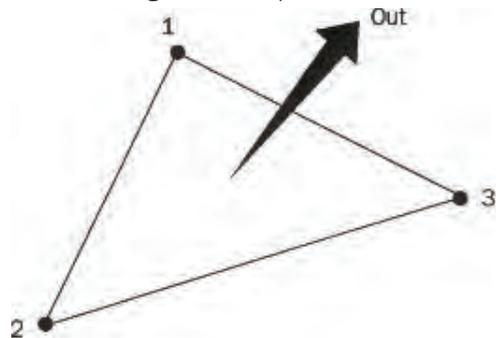
La société 3D Systems s'est très vite rendue compte que si on pouvait stocker les informations sur ces minuscules triangles dans un fichier, ce fichier pourrait alors décrire

complètement la surface d'un modèle 3D arbitraire. Et voilà l'idée de base du format de fichier STL !

## Comment un fichier STL stocke-t-il des informations sur les facettes ?

Le format de fichier STL apporte deux manières différentes de stocker des informations sur les facettes triangulaires qui recouvrent la surface de l'objet en mosaïque. Celles-ci s'appellent le codage ASCII et le codage binaire. Dans les deux formats, les informations suivantes de chaque triangle sont stockées :

- Les coordonnées des trois sommets du triangle.
- Les composantes de l'unité vecteur normal au triangle (la perpendiculaire au triangle). Le vecteur normal doit pointer vers l'extérieur par rapport au modèle 3D. Cela fournit l'orientation du triangle dans l'espace.



Chaque triangle est donc représenté par douze nombres à virgule flottante, en général codé sur 32 bits. 3 chiffres correspondent aux coordonnées cartésiennes 3D de la normale au triangle. Les 9 chiffres restants correspondent aux coordonnées des sommets (trois chacun).

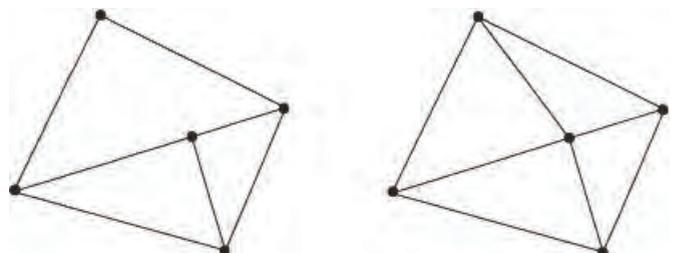
### Quelques règles spécifiques au STL

Le format STL a des règles précises pour la tessellation et le stockage des informations.

#### • La règle du sommet

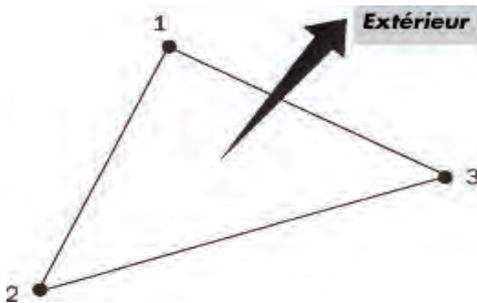
La règle de sommet stipule que chaque triangle doit partager deux sommets avec ses triangles voisins. Cette règle est absolue et doit être respectée lors de la mosaïque de la surface de l'objet 3D.

Voici un exemple de tessellation valide et invalide, selon cette règle. La figure de gauche enfonce cette règle et constitue une tessellation non valide, tandis que la figure de droite est conforme et entraîne une tessellation valide.



### • La règle d'orientation

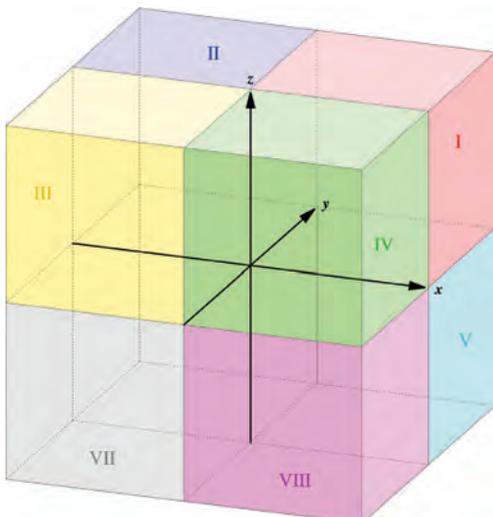
La règle d'orientation indique que l'orientation de la facette (c'est-à-dire quelle direction correspond à «dans» l'objet 3D et quelle voie est «à l'extérieur») doit être spécifiée de deux manières. Premièrement, la direction de la normale doit être dirigée vers l'extérieur. Deuxièmement, les sommets sont répertoriés dans le sens inverse des aiguilles d'une montre lorsque vous regardez l'objet de l'extérieur (règle de la main droite, celle là même qui permet de sortir d'un labyrinthe, dans 'presque' tous les cas).



Cette redondance existe pour une raison. Cela contribue à assurer la cohérence des données et à participer de la détection des données corrompues. Un logiciel peut, par exemple, calculer l'orientation à partir de la normale et ensuite des sommets et vérifier si elles correspondent. Si ce n'est pas le cas, il pourra alors déclarer le fichier STL corrompu ou, plus intéressant, proposer de le corriger !

### • La règle de tous les octants positifs

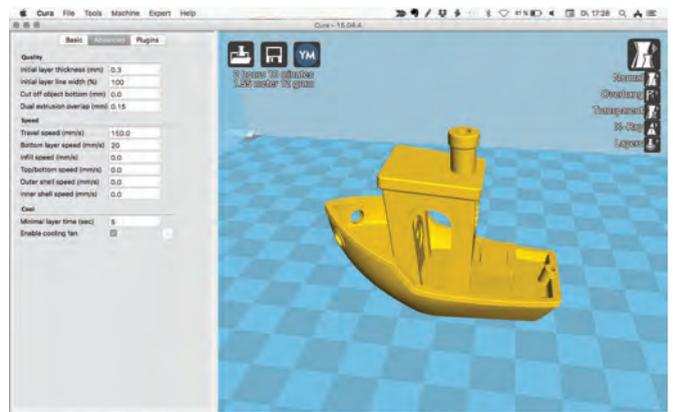
La règle de l'octant tout positif dit que les coordonnées des sommets du triangle doivent toutes être positives. Cela implique que l'objet 3D décrit habite dans le secteur positif du système de coordonnées cartésien 3D (d'où son nom). L'explication est d'une logique toute rustique : on utilise cette règle pour rendre le fichier plus compact, pour gagner de la place. Si l'objet 3D était autorisé à vivre n'importe où dans l'espace de coordonnées, nous aurions à traiter avec des coordonnées négatives. Pour stocker les coordonnées négatives, il faut utiliser des nombres à virgule flottante signés, qui nécessitent un octet supplémentaire pour stocker le signe '- '.



### • La règle de tri des triangles

Dernière règle : le tri des triangles recommande que les triangles apparaissent dans l'ordre croissant des valeurs z. A l'origine de cette règle, la mécanique. Les imprimantes 3D fonctionnent par couches ou par déplacement vertical. Cette règle simplifie les préparations d'objets à imprimer. Elle est arrivée un peu plus tard, à l'expérience !

## Comment un fichier STL 3D est-il imprimé ?



L'impression 3D passe par un logiciel nommé "trancheuse" (de l'anglais "slicer") ? La trancheuse découpe votre fichier STL en centaines (parfois milliers) de couches horizontales en fonction des paramètres retenus (hauteur de couche, essentiellement) et calcule la quantité de matériau que votre imprimante devra extruder (filament) ou photo-densifier (résine) et, fréquemment, d'autres informations de production (temps nécessaire à sa réalisation, nombre de couches, coût, ...).

Toutes ces informations sont ensuite regroupées dans un fichier qui est adapté au langage natif de votre imprimante 3D. Les paramètres de découpage ont une incidence sur la qualité de votre impression. Il est donc important de disposer du logiciel et des paramètres appropriés pour obtenir la meilleure qualité d'impression possible.

Une fois le fichier de description des tranches chargé sur votre imprimante 3D, l'étape suivante consiste à produire successivement ces couches distinctes en tant qu'objet tridimensionnel sur la surface d'impression. Cela se fait en déposant une succession de ces couches minces de matériau et en construisant le modèle, une couche à la fois.

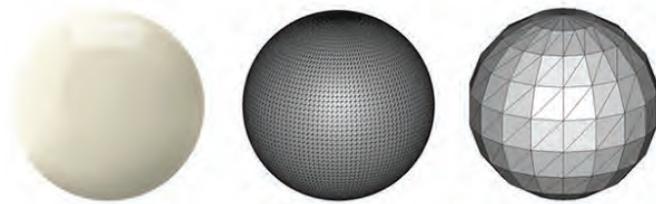
## Chaque fichier STL est-il imprimable en 3D ?

Malheureusement, certains fichiers qui sont bien en STL ne sont pas imprimables. Seule une conception 3D spécialement conçue pour l'impression 3D peut être imprimée en 3D. Le fichier STL est simplement le conteneur pour les données, pas une garantie que quelque chose est imprimable. Les modèles 3D adaptés à l'impression 3D doivent avoir une

épaisseur de paroi minimale et une géométrie de surface «étanche» pour pouvoir être imprimés en 3D. Même s'il est visible sur un écran d'ordinateur, il est impossible d'imprimer des documents dont l'épaisseur de paroi est égale à zéro. C'est le cas d'une arcade dentaire sortant d'une caméra 3D. Elle n'a pas d'épaisseur. Les logiciels de préparation, en aval de la prise d'empreinte, sont là pour pallier cet inconvénient.

## Optimiser un fichier STL pour optimiser les performances d'impression 3D

Le format de fichier STL se rapproche donc de la surface d'un modèle de CAO, redéfini avec des triangles. L'approximation n'est jamais parfaite (c'est même là, la définition d'approximation) et les facettes introduisent des erreurs dans le modèle. Plus les triangles sont fins, plus la représentation du modèle est fidèle (même le modèle à gauche est fait de triangles !):



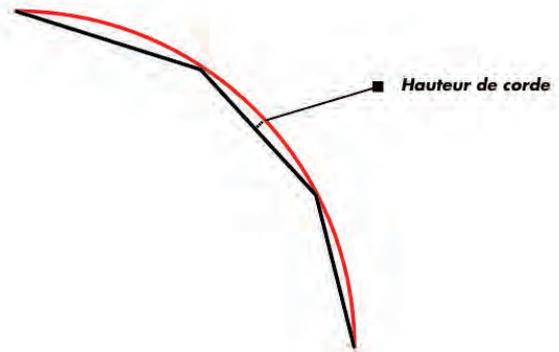
L'imprimante 3D imprimera l'objet avec la taille de triangles spécifiée par le fichier STL. Naturellement, rendre les triangles de plus en plus petits permet d'obtenir des impressions de qualité renforcée. Toutefois, à mesure que vous réduisez la taille du triangle, le nombre de triangles nécessaires pour couvrir la surface augmente également. Cela conduit à un fichier STL de plus en plus important que les imprimantes 3D ne seront pas nécessairement capables de gérer. C'est également pénible de partager ou de télécharger des fichiers aussi volumineux. Comme toujours, le juste milieu est la solution. Il est très important de trouver le bon équilibre entre la taille du fichier et la qualité d'impression, en tenant compte de la précision et du rendu nécessaire. Il n'est pas logique de réduire la taille des triangles à l'infini, car les imprimantes ont aussi leurs limites de qualité.

La plupart des logiciels de CAO offrent quelques paramètres lors de l'exportation de fichiers STL. Ces paramètres contrôlent la taille des facettes, et donc la qualité d'impression et la taille du fichier.

### • Hauteur de corde ou tolérance

La plupart des logiciels de CAO vous laisseront définir un paramètre appelé 'hauteur de corde' ou 'tolérance'. La hauteur de corde est la distance maximale entre la surface de la conception d'origine et le maillage STL. Il est évident que plus la hauteur de la corde est réduite, plus les facettes représentent avec précision la surface réelle du modèle. Si

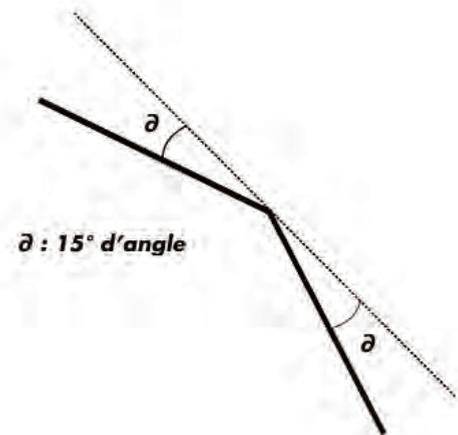
vous choisissez la bonne tolérance, vos impressions seront lisses et peu pixélisées.



Il est recommandé de régler la tolérance entre 0,01 millimètre (100  $\mu\text{m}$ ) et 0,001 millimètre (10  $\mu\text{m}$ ). Inutile de réduire davantage ce facteur, car les imprimantes 3D ne peuvent pas imprimer au-delà de ce niveau de détail.

### • Déviation angulaire ou tolérance angulaire

La tolérance angulaire limite l'angle entre les normales des triangles adjacents lors de la description de surfaces planes (ou plus exactement à variation angulaire nulle). L'angle par défaut est généralement défini à 15 degrés. La diminution de la tolérance (pouvant aller de 0° à 90°) améliore la résolution d'impression. Une valeur '0' donne le maximum de finesse mais des triangles potentiellement très petits.



### • Binaire ou ASCII ?

Enfin, vous avez le choix d'exporter le fichier STL au format binaire ou ASCII. Le format binaire est toujours recommandé pour l'impression 3D car il en résulte une taille de fichier inférieure. Toutefois, si vous souhaitez inspecter manuellement le fichier STL pour le débogage, le format ASCII est préférable car il est plus facile à lire !

## Les alternatives au format de fichier STL

Le format de fichier STL n'est pas le seul format utilisé en impression 3D. Il existe plus de 30 formats de fichiers pour

l'impression 3D, dont certains sont propriétaires. L'autre format ouvert important est l'OBJ, qui permet de stocker des profils de couleur et de texture. Autre possibilité, le format de fichier "Polygon" (PLY), qui était utilisé à l'origine pour stocker des objets numérisés en 3D. Il est compact, intègre également couleur et texture, simple à lire et performant. C'est le format des caméras couleur ouvertes du marché dentaire (Medit, Heron, ...)

Plus récemment, le consortium 3MF (avec Microsoft derrière, ...) a tenté de lancer un nouveau type de fichier, qui propose un format de fichier d'impression 3D appelé 3MF. Ils affirment que cela rationalisera et améliorera le processus d'impression 3D. Pour l'implémenter, Microsoft a associé des sociétés telles qu'Autodesk, HP et Shapeways afin de concrétiser leurs idées. Il est trop tôt pour dire si cela le format de demain mais, naturellement, le logiciel gratuit de Microsoft, 3D Builder, le propose par défaut !

## Avantages et inconvénients de l'utilisation du format STL

Comme il existe de nombreux formats de fichier d'impression 3D, la question évidente est : lequel choisir pour vos impressions ? La réponse dépend en grande partie de l'utilisation qui sera faite du fichier.

### • Quand ne pas utiliser un fichier STL

Comme nous l'avons vu précédemment, le format de fichier STL ne peut pas stocker d'informations supplémentaires telles que la couleur, le matériau, etc., des facettes ou des triangles. Il ne stocke que des informations sur les sommets et le vecteur normal. Cela signifie que si vous souhaitez utiliser plusieurs couleurs ou plusieurs matériaux pour vos impressions, le format de fichier STL n'est pas le bon choix. Les formats PLY ou OBJ, populaires et bénéficiant d'un bon support, permettent de spécifier la couleur, le matériau, etc. Ce sont donc les bons choix pour cette tâche.

### • Autres inconvénients du format de fichier STL

L'utilisation de STL présente des inconvénients criants. Étant donné que la fidélité des processus d'impression correspond à une résolution de l'ordre du micron, le nombre de triangles requis pour décrire les surfaces courbes nues peut donner lieu à des tailles de fichier énormes. Il est également impossible d'inclure des métadonnées (telles que les droits d'auteurs) dans un fichier STL.

### • Quand utiliser un fichier STL

Par ailleurs, si vous souhaitez imprimer avec une seule couleur ou un seul matériau, ce qui est le cas le plus fréquent, le STL est préférable à OBJ, car elle est plus simple, ce qui entraîne une réduction de la taille des fichiers et un traitement plus rapide.

### • Autres avantages du format de fichier STL

- Il est universel: C'est, objectivement, un des principaux avantages du format de fichier STL, et il est pris en charge

par presque toutes les imprimantes 3D. On ne peut pas en dire autant du format OBJ, même s'il bénéficie d'une adoption et d'un soutien raisonnables. Les formats VRML, AMF et 3MF ne sont pas largement pris en charge à ce stade. Le PLY arrive en force mais reste minoritaire.

- Il dispose d'un 'écosystème' mature: La plupart des modèles imprimables en 3D que vous pouvez trouver sur Internet sont au format de fichier STL. L'existence de cet environnement riche, combinée aux investissements logiciels réalisés par les fabricants d'imprimantes 3D, a donné naissance à une importante base d'utilisateurs qui est fortement investie dans le format. Cela signifie qu'il existe de nombreux logiciels traitant des fichiers STL, ce qui n'est pas le cas de tous les autres formats de fichiers.

### • Un bilan

Les besoins du monde dentaire en impression 3D sont simples. Il n'y a sans doute aucune raison de s'éloigner du format de fichier STL. Cependant, pour des impressions plus avancées, par exemple utilisant plusieurs matériaux ou couleurs, il est peut-être préférable d'essayer le PLY, l'OBJ ou d'autres formats disponibles.

## Couleur au format de fichier STL

Dans cet article, nous avons dit et répété que le format de fichier STL ne pouvait pas gérer les modèles multicolores. La raison pour laquelle le format de fichier STL manque d'informations sur les couleurs est simple. Lorsque le prototypage rapide a évolué dans les années 1980, personne n'avait pensé à l'impression couleur. De nos jours, les matériaux et les procédés d'impression 3D ont évolué rapidement. Certains vous permettent d'imprimer en couleur (on peut naturellement penser à des modèles de présentations de cas avec gencives et dents, plus réalistes). Alors, attention, il n'est pas tout à fait juste de dire que STL ne peut pas gérer les couleurs. Il se trouve qu'il existe des versions non standard (pour le moment) du format STL, qui sont effectivement capables de transporter des informations de couleur. Mais ils sont, par définition, non standard !

## Conclusion

Cet article avait pour but de vous proposer une première approche technique du format STL (codage, géométrie et limites) Il semble qu'une compréhension plus approfondie du format de fichier STL vous aidera à comprendre les tenants et les aboutissants de cette technologie et de ses limites, sans cesse repoussées (prise d'empreinte, impression de modèles ou d'autres pièces, telles que les orthèses). ■