

Quelle méthode pour mon modèle 3D ?

[Livre 2]

CONSTRUCTION SOLIDE

NURBS

POLYGONAL

SUBDIVISIONS

VOXEL

PARAMETRIQUE



Soyez le(la) bienvenu(e) dans cette seconde partie de la formation CAO.

Dans ce second livre, nous allons voir d'un peu plus près quelques préconisations pour la modélisation 3D mathématique exacte (Nurbs) afin de vous permettre, quel que soit le logiciel, de prendre vos repères et produire vos propres modèles 3D.

Sans entrer dans les détails de l'utilisation des logiciels de CAO, **le livre 2** est une invitation à découvrir les principes généraux de la conception solide et surfacique que l'on retrouve dans les logiciels actuels.

Vincent PUISEUX

www.Apprendre-la-CAO.com

Le blog de la modélisation 3D accessible à tous

Table des matières

1. Introduction.....	7
2. Avoir une méthodologie en CAO	8
1. A t'on besoin de fiches méthodologiques ?	8
2. Diversité logicielle.....	8
3. Les outils standards de la conception solide.....	9
1. Le travail de Conception Assistée par Ordinateur	16
1. Le job de concepteur	16
1. Repérer les formes et faces fonctionnelles.....	18
2. Dessinez le 3D comme si vous le fabriquez.....	22
1. Opérations booléennes sur le solide (rappels)	23
2. Opérations booléennes (pièce brute).....	24
3. Un exemple de construction pour une pièce de fonderie	27
1. Etape 1 (Les éléments fonctionnels).....	27
2. Etape 2 (La réflexion).....	28
3. Etape 3 (la modélisation de chaque partie)	29
4. Séparation du brut et de l'usinage.....	33
5. Préconisations pour la modélisation d'un brut.....	35
6. Pièces brutes usinée ou pièce totalement usinée ?.....	37
7. Préconisation pour la modélisation de pièces usinées	38
8. Cycles de vie et intégration des contraintes en conception	40
1. Conception solide	40
2. Conception surfacique.....	41
9. Les 5 principes de base de la CAO	42
10. Quand placer les éléments d'habillage ?	43
11. Ordre des éléments d'habillage.....	45
5. Les formats d'import et d'export.....	47
1. Un formalisme nécessaire	47
1. Initial Graphics Exchange Specification (IGES)	48
2. Stereolithography Tessellated Language (STL)	49
3. Standard for Exchange of Product Data (STEP).....	50
4. Virtual Reality Modeling Language (VRML) ou WRL	50
5. Verband Der Automobilindustrie (VDA)	51
6. Data exchange format (DXF).....	51

7.	AutoCAD Drawing (DWG)	52
8.	CGM (Computer Graphics Metafile)	52
9.	SVG (Scalable Vector Graphics)	53
2.	Traducteurs	53
1.	Quelques traducteurs CAO	53
2.	Conclusion	54
6.	3D et Mise en plan.....	55
1.	Les vues	55
2.	Cotes et tolérancement.....	57
7.	Produits standards de mécanique générale.....	58
8.	Devenir autonome sur un soft CAO	58
1.	Les grandes étapes de l'apprentissage	58
2.	Manque de temps	60
9.	Solide ou surfacique ?.....	60
1.	Faire le bon choix.....	61
2.	Pourquoi pas les deux ?.....	62
10.	Solide paramétrique et associatif.....	64
1.	La paramétrie	64
2.	Rôle des liens (conception Multi-modèles)	66
11.	Pièce ou assemblage ?.....	67
12.	Organisation du modèle pièce.	69
13.	Organisation d'un projet complet.	72
1.	Qui est le maître ?	72
2.	Exemple d'un ensemble articulé.....	73
1.	La lampe de bureau d'un point de vue fonctionnel	73
2.	L'organisation du modèle de la lampe de bureau (première possibilité).....	74
3.	L'organisation du modèle de la lampe de bureau (deuxième possibilité).....	75
4.	Finalisation du modèle de la lampe	77
3.	Exemple d'un produit contenu dans une enveloppe (bateau).....	77
4.	Le conseil supplémentaire	80
14.	Boucle de mise à jour	81
15.	La "Robustification" des constructions :).....	82
1.	Quelques préconisations pour les esquisses	83
2.	Quelques préconisations pour la construction solide.....	87
3.	Les choses à retenir	92

16. La conception surfacique.....	93
1. Le surfacique implicite.....	93
2. Les balayages.....	94
1. Représentation mentale de la surface Nurbs.	94
2. Continuité entre deux surfaces sur un bord	95
3. Avoir des entrées sûres pour ses surfaces	95
4. Peignes	96
5. Ca se complique !	97
6. Surface à 3 bords	98
3. Les balayages sur Catia	99
1. Courbe Spine	100
2. balayage linéaire.....	102
4. La démarche de conception en surfacique	109
17. Conclusion	111

La modélisation NURBS

1. Introduction

Cette formation n'est pas à proprement parler une formation spécifique pour un logiciel mais un recueil de méthodes et d'informations constituant la base d'une "culture" dans le domaine CAO adaptables aux différents logiciels paramétriques du moment.

Une formation logicielle s'attarde à montrer comment utiliser telle ou telle fonction et montre sur quelques exemples comment arriver à nos fins. Ne manque t'il pas l'essentiel pour vous rendre efficace et produire des modèles de qualités correctement organisés et robustes ?

Construire un modèle en juxtaposant linéairement des opérations n'est pas une solution viable même si un résultat 3D est finalement atteint. La conception est une discipline en perpétuelle mouvance ainsi les pièces évoluent selon les besoins du marché et il est courant de faire évoluer de nombreuses fois les 3D. Si il paraît logique de ne pas redessiner mais bien modifier les modèles CAO, ceux-ci doivent être construits de façon à accepter au mieux ces bouleversements sans produire une suite d'erreurs de mise à jour qui vous ferait perdre autant de temps que de modéliser à nouveau en partant d'une feuille blanche.

Les messages d'erreur, il est vrai sont souvent rédigés uniquement par les développeurs du logiciel. Ceux-ci s'appuient sur un vocable technique clair à leurs yeux mais souvent incompréhensible pour un utilisateur la plupart du temps mécanicien.

A travers tous ces articles, l'objectif de cette formation est justement de vous faire toucher du doigt les mécanismes sous-jacents des outils CAO en général. Avec ce recul, il est alors plus facile de comprendre les mécanismes des opérations solides et surfaciques et ainsi de comprendre pourquoi une fonction échoue. Cela permet également de mieux appréhender ou simplement décrypter les messages d'erreur. Avec ces connaissances, on parvient alors à suivre le chemin de pensée de l'informaticien ou du moins celui de la machine :)

Ce deuxième document vous invite à appliquer quelques règles de modélisation en 3D paramétrique afin que vos modèles soient clairs et que vous puissiez les modifier facilement sans perdre du temps durant vos itérations.

2. Avoir une méthodologie en CAO

Avant de parler de tel ou tel modèleur CAO, il est bon de se pencher sur les principes généraux de la modélisation car l'enjeu, avant d'entrer dans le détail de l'utilisation d'un logiciel, est bien d'imaginer une stratégie de construction pour notre objet.

Il est bon de constater qu'aujourd'hui, il y a une homogénéité au niveau des termes et des fonctions utilisés dans les logiciels de modélisation.

1 A ton besoin de fiches méthodologiques ?

Les fiches méthodologiques décrivent le cheminement complet d'une construction sur un logiciel donné.

Celles-ci sont, à nos débuts, parfois bien utiles pour suivre pas à pas une construction. Si l'on n'est pas débutant, cela peut aussi être une source d'inspiration.

Mais si cela reste pratique et fait économiser un temps précieux cela n'en reste pas moins spécifique à une seule pièce et ne vous aidera pas vraiment si vous vous retrouvez devant un nouveau produit à développer.

Dans les très grandes entreprises, cela reste toutefois applicable dans le cadre d'un bureau d'étude ne faisant qu'un seul type de pièce. On y trouve alors des gens qui pratiquent la CAO depuis des années ne faisant que la variation d'une seule et même pièce sans vraiment avoir expérimenté d'autres formes. Que faire alors si l'on se trouve face à une nouvelle pièce sans "mode d'emploi" ?

Face à un tel problème on redevient simplement débutant.

Pour éviter ce genre d'écueil, il vaut mieux avoir une vision globale et généraliste de la CAO et être capable de s'adapter à la situation nouvelle plutôt que de réclamer une solution méthodologique avec 10 ou 15 ans d'ancienneté dans le métier.

2 Diversité logicielle

La conception paramétrique est unanimement utilisée par les logiciels phares du marché.

Ainsi, quel que soit le modèleur CAO, la méthode sera la même pour produire, par exemple, une extrusion normale à partir d'un profil. Que ce dernier soit plan ou non, construit dans un sous-espace que l'on appelle esquisse ou non, au final nous obtiendrons bien le pavé que nous voulions.

Il sera alors identiquement possible de pratiquer, sur tous ces logiciels, des opérations d'habillage comme des chanfreins ou des rayons ou simplement pratiquer des perçages et des opérations booléennes.

Il n'y a en fait fonctionnellement pas de réelle différence entre les logiciels CAO.

Pour cela, on peut estimer que la véritable connaissance réside davantage dans la vision de l'agencement de la construction de la géométrie que dans la connaissance du logiciel lui-même.

L'objectif de cette formation est donc de vous donner les méthodes et astuces pour appréhender correctement la modélisation d'un objet pour que cela soit applicable sur tous les logiciels courants.

3. Les outils standards de la conception solide

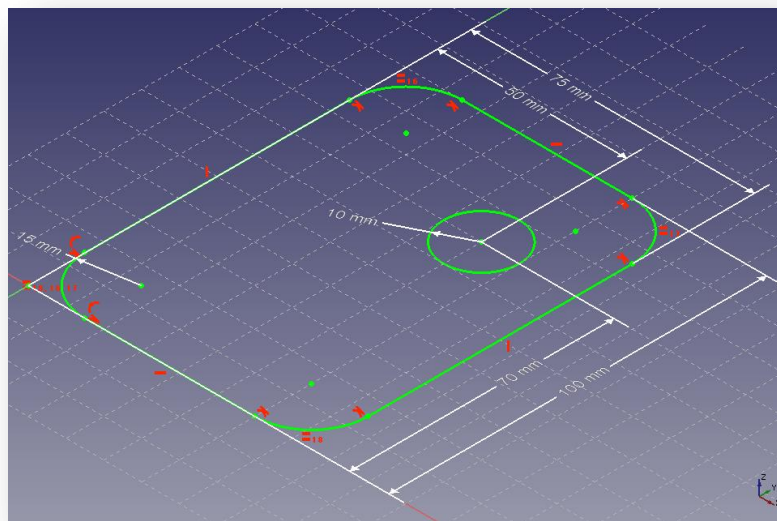
Que ce soit par Darwinisme ou simplement par observation de son concurrent, quelque soit le modeleur CAO du moment, on trouve un certain nombre d'outils permettant de produire de façon automatique des primitives solides. Une de ces formes sera forcément à la base de votre modélisation. Le premier réflexe sera alors de repérer dans la géométrie de votre pièce, les opérations qui vous permettront de la construire le plus naturellement possible. Ces outils sont les suivants:

Un outil d'esquisse (Sketch):

Cela permet de produire rapidement des schémas 2D pour les intégrer dans l'environnement 3D. Produire une esquisse ne pose pas de problème particulier si l'on prend un grand soin à fermer le ou les profils (sinon on ne peut pas générer de 3D fermé donc de solide).

L'esquisse est de bonne qualité si elle est iso contrainte, c'est à dire que les éléments sont positionnés avec la juste quantité de contraintes (dimensions et contraintes géométriques sans qu'il y ait un manque de cote ou bien des cotes surabondantes).

Les logiciels proposent un code couleur pour vérifier rapidement cet état iso contraint.

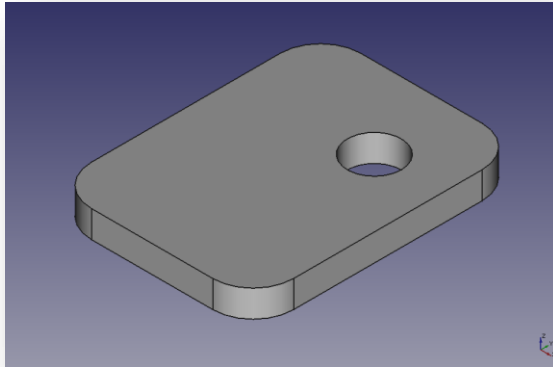


Pour aller plus loin vous pouvez vous reporter à cet article du blog:

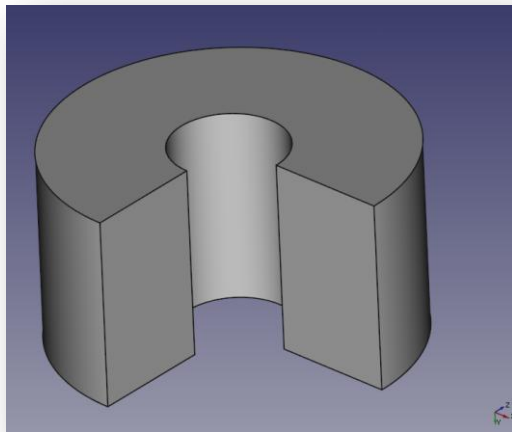
<https://apprendre-la-cao.com/sketcher-creer-esquisse-catiav5/>

Des outils d'ajout de matière:

- Une extrusion (ou protrusion) pour produire un solide en étirant un profil fermé (souvent une esquisse) ou une surface dans une direction.
Pas de difficulté ici. On peut souvent extruder normalement au plan d'esquisse ou encore en imposant une direction.
Dans les modeleurs actuels, il est possible d'extruder dans les deux directions ou jusqu'à une surface.



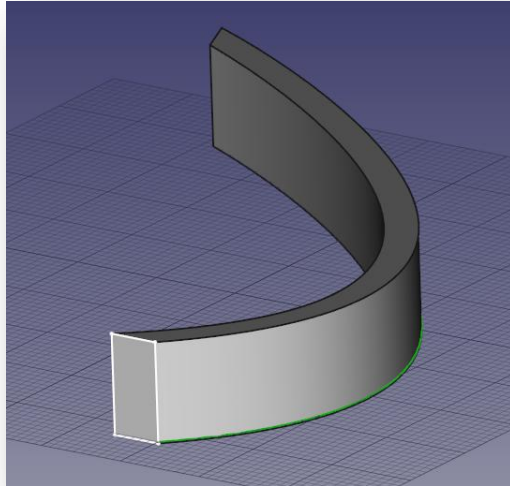
- Une révolution pour produire un solide à partir d'un profil fermé (souvent une esquisse) ou une surface en tournant autour d'un axe sur un angle donné.
La seule contrainte est que le profil ne doit jamais croiser l'axe de révolution.



Pour aller plus loin vous pouvez vous reporter à cet article du blog:

<https://apprendre-la-cao.com/pourquoi-utiliser-un-axe-dans-une-esquisse-de-catia/>

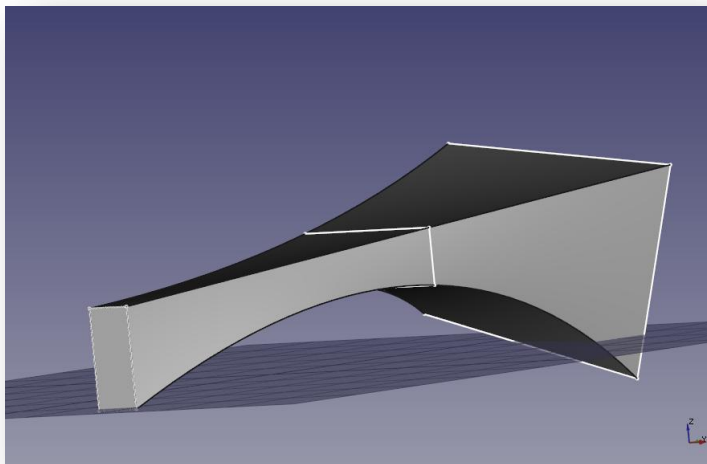
- Un balayage simple pour produire un solide en faisant suivre le profil le long d'un guide. Il nous faut deux éléments d'entrée, le profil et le guide. Dans certains logiciels, il est possible de ne pas avoir de contact entre le guide et le profil. La contrainte est ici de faire en sorte que le plus petit rayon du guide soit plus grand que la largeur du profil afin de ne pas plier le ruban sur lui même.



Pour aller plus loin vous pouvez vous reporter à cet article du blog:

<https://apprendre-la-cao.com/partdesign-nervure-le-balayage-solide-de-catia-v5/>

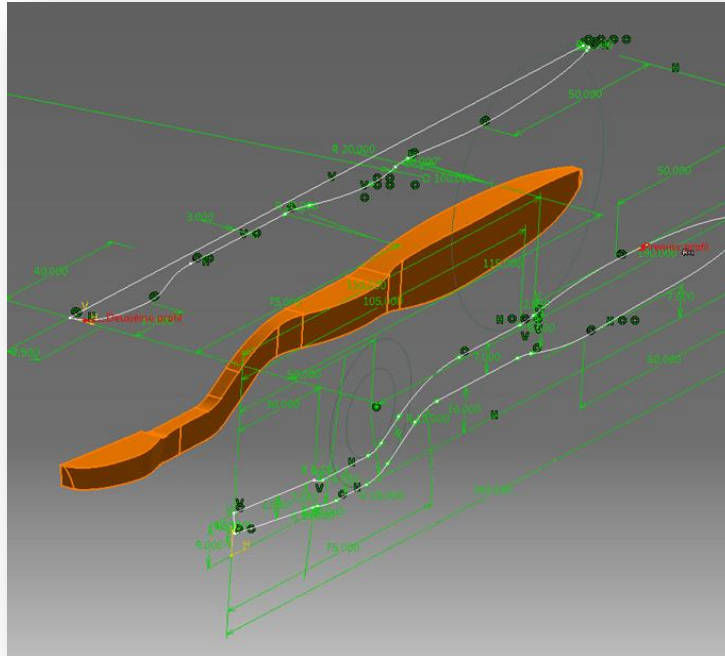
- Un balayage multi-sections pour produire un solide en passant par plusieurs profils espacés



Pour aller plus loin vous pouvez vous reporter à cet article du blog:

<https://apprendre-la-cao.com/une-bouteille-de-shampoing-facile-sur-part-design/>

- Une Combinaison pour produire un solide comme étant l'intersection de deux extrusions de profils dans des plans perpendiculaires

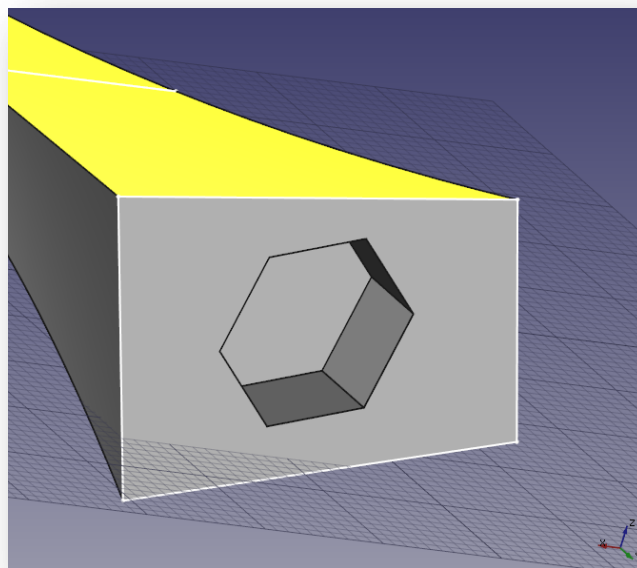


Pour aller plus loin vous pouvez vous reporter à cet article du blog:

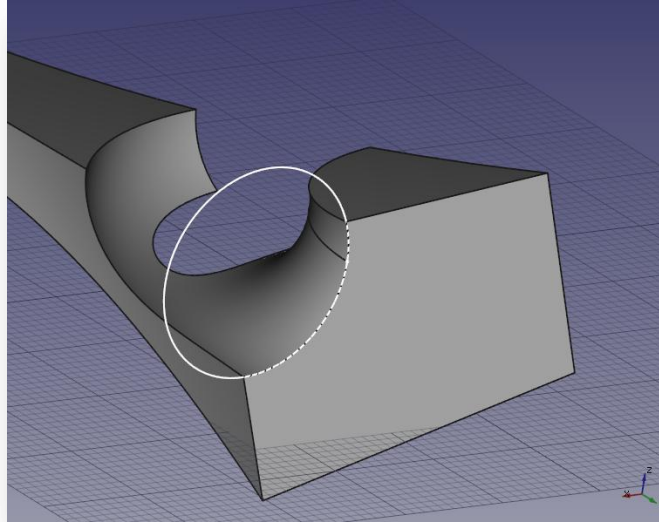
<https://apprendre-la-cao.com/comment-faire-une-brosse-a-dent-en-solide-sur-catia/>

Des outils de retrait de matière:

- Une poche pour creuser la matière en étirant un profil dans une direction. Même préconisations que pour l'extrusion mais ici, la matière sera retirée.



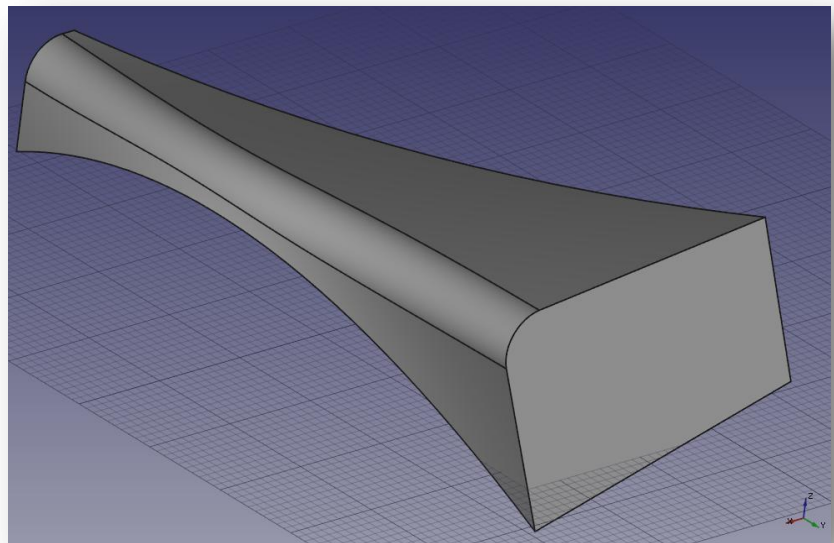
- Une gorge pour creuser la matière en faisant tourner un profil autour d'un axe. Même préconisations que pour la révolution (ne pas croiser l'axe).



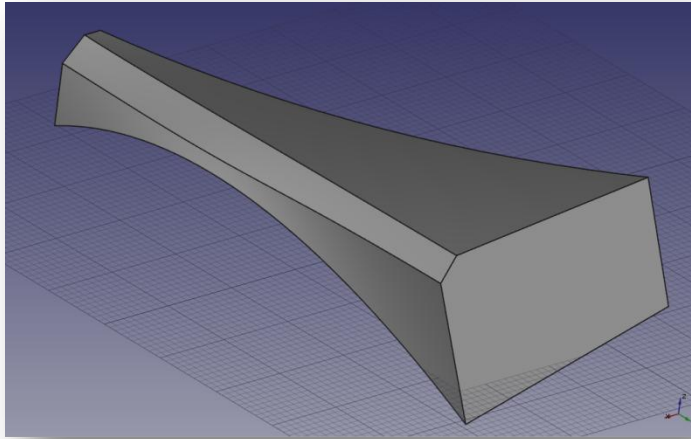
Les opérations d'habillage:

- Le congé pour arrondir une arête
Pas de contraintes particulières si ce n'est qu'il faut que le rayon puisse passer partout. Cela veut dire que le bord du rayon (arête morte) sera tracé sur chaque face comme étant une courbe décalée de l'arête sélectionnée. En règle générale, ces courbes ne doivent pas intersecter d'autres primitives. Les logiciels les plus performants savent gérer des situations complexes mais il ne faut pas trop compter là dessus et organiser les opérations de façon à ce qu'elles passent toutes.
Nous verrons ça un peu plus loin.

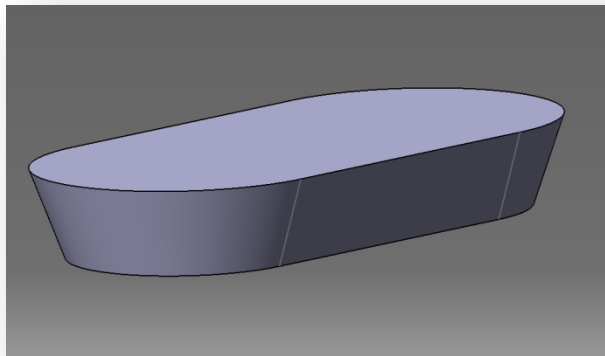
Les modeleurs proposent aussi des congés variables où l'on peut intervenir sur la valeur du rayon en différents endroits du parcours et des congés tri tangent pratiques pour arrondir le bord d'une plaque.



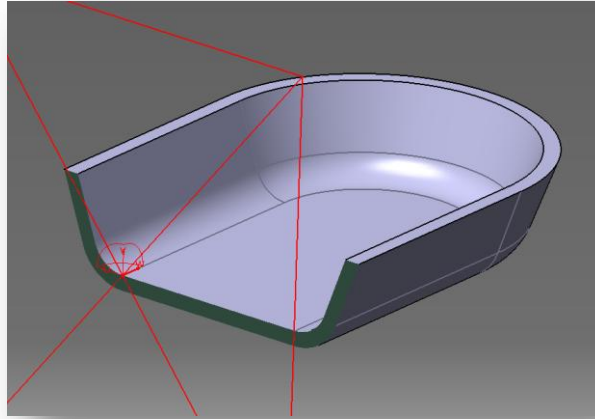
- Le Chanfrein pour couper une arête
Même fonctionnement que le congé d'arête. Il est souvent possible de choisir entre un angle et une longueur ou bien deux longueurs pour modifier l'aspect du chanfrein.



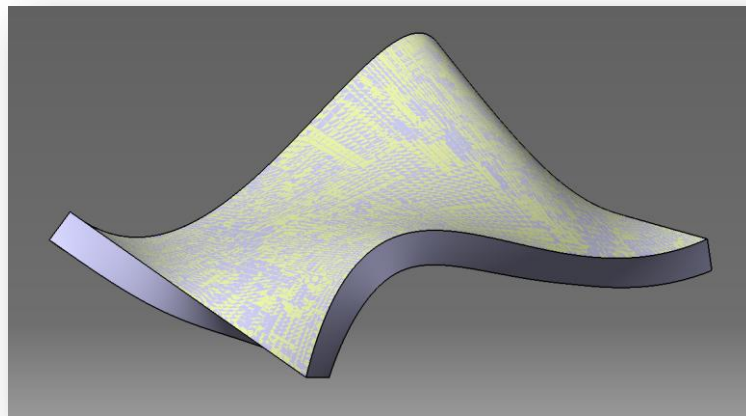
- La dépouille pour créer une pente sur le bord d'un solide
Opération très importante pour la fonderie. Il est préconisé de l'utiliser sur des primitives simples et peu détaillés. C'est une opération à placer juste après chaque primitive. Il faut faire attention au fait qu'à cause de la pente, un côté de l'objet va grossir ou rétrécir.



- La coque pour ne laisser qu'une peau épaisse autour d'un solide massif
C'est l'opération qui nous permettra de produire une boîte facilement sans passer par une construction surfacique.
En terme de préconisation, il est bon d'avoir en surface du solide, avant l'opération coque, des rayon plus grands que l'épaisseur que l'on voudra appliquer.



- L'épaississement pour transformer une surface ouverte en solide
Ici, cela permet de passer du surfacique au solide.
Il est préconiser comme pour la coque d'avoir sur la surface des rayons plus grands que l'épaisseur de matière que l'on va appliquer. La surface doit être composée d'éléments très propres raccordées au minimum en tangence.



D'autres opérations:

- Les répétitions pour faire des clones d'un solide.
- La symétrie pour faire un solide cloné et symétrisé par un plan.

Pour aller plus loin vous pouvez vous reporter à cet article du blog:

<https://apprendre-la-cao.com/catia-v5-facile-les-basiques-de-partdesign/>

1 *Le travail de Conception Assistée par Ordinateur*

Dans des temps anciens mais pas si éloignés, la conception d'un produit passait du dessin 2D (à la planche à dessin) vers le modelage physique (prototypage) pour une confrontation avec différentes réalités comme le maquettage, la tenue mécanique, l'évaluation des méthodes de production, etc... Toutes ces étapes demandaient du temps et des moyens financiers importants et il était évident que les pièces devaient retourner au bureau d'étude pour quelques "ajustements".

La géométrie modifiée était de nouveau prototypée et évaluée. Ainsi, le produit finissait lentement par converger vers un optimum avant son lancement.

Si cette démarche de maquettage physique et de validation sur prototype est encore d'actualité de nos jours en toute dernière étape, la majeure partie de l'étude se fait maintenant sur un support virtuel ce qui rend les itérations plus rapides et moins coûteuses.

La démarche de conception par ordinateur présente bien sûr de nombreuses facettes mais dans tous les cas les métiers tourneront autour du produit et de son modèle 3D.

Il y aura donc deux cas de figures dans l'obtention des modèles 3D:

- La conception solide pour les pièces non visibles (classe B)
- La conception surfacique pour les pièces visibles donc de style (Classe A).

1 **Le job de concepteur**

Répondre au cahier des charges, repérer les surfaces fonctionnelles et faire pousser la matière entre celles-ci en respectant les contraintes de la mécanique et celles de la fabrication voilà qui pourrait assez bien résumer une des fonctions de ce métier de concepteur.

Il serait faux de croire que la solution vient d'elle-même et que le 3D pousse rapidement sur l'écran. Non, en vérité, tout commence souvent sur le papier, en 2D, à l'ancienne.

Les vues en coupe griffonnées sont les plus utiles même si tout n'est pas vraiment à l'échelle, cela permet d'orienter ses pensées tout comme une petite perspective à main levée pour faire une première rencontre avec notre futur produit.

Cela peut être du dessin de style comme pour une souris informatique. Souvent, il s'agira plus de dessin technique pour nous guider lors de l'élaboration des esquisses.

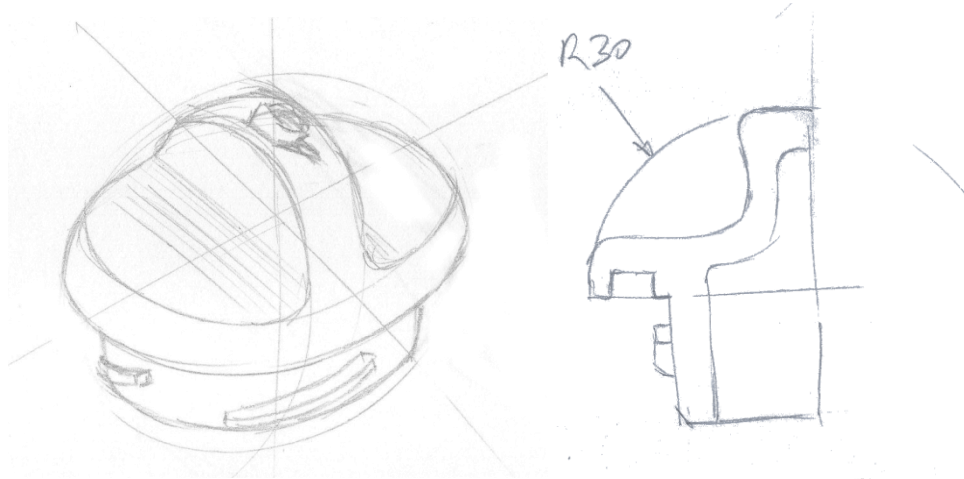
Cela semble un peu archaïque de nos jours mais l'on gagne en efficacité à prendre le temps de la réflexion en posant tout cela sur du papier.

Il m'est trop souvent arrivé de partir bille en tête sur un 3D et de me rendre compte tardivement que je ne pouvais rien en faire car je n'avais pas pris en compte dans ma trop courte réflexion un point de détail qui finalement fait tout capoter... Retour à la case départ avec un nouveau document vierge !

On est forcément plus rapide avec un crayon et une gomme qu'avec un modelleur 3D quel qu'il soit. Dans une coupe, on peut rapidement placer une gorge et un joint à un endroit et se dire que finalement non, il vaut mieux faire l'étanchéité autrement. Alors on gomme et on trace la nouvelle solution en cinq secondes. Sur le 3D, on supprime la gorge, on revient sur une esquisse, et cela à un impact sur autre chose qu'il faut aussi modifier car la nouvelle forme de toutes façon aurait été faite

d'une autre façon... Pfff ! On finit alors par en supprimer les trois quarts et on recommence en perdant clairement son temps.

La morale est qu'en conception comme ailleurs, la pensée précède le geste.



A contrario, il arrive parfois que l'on ait des difficultés à imaginer la forme dans l'espace ou en contexte dans un environnement complexe.

Dans ce cas, on produit directement un 3D mais rien de très évolué, juste le nécessaire avec quelques primitives très cubiques pour se rendre compte de la situation et éclairer sa pensée.

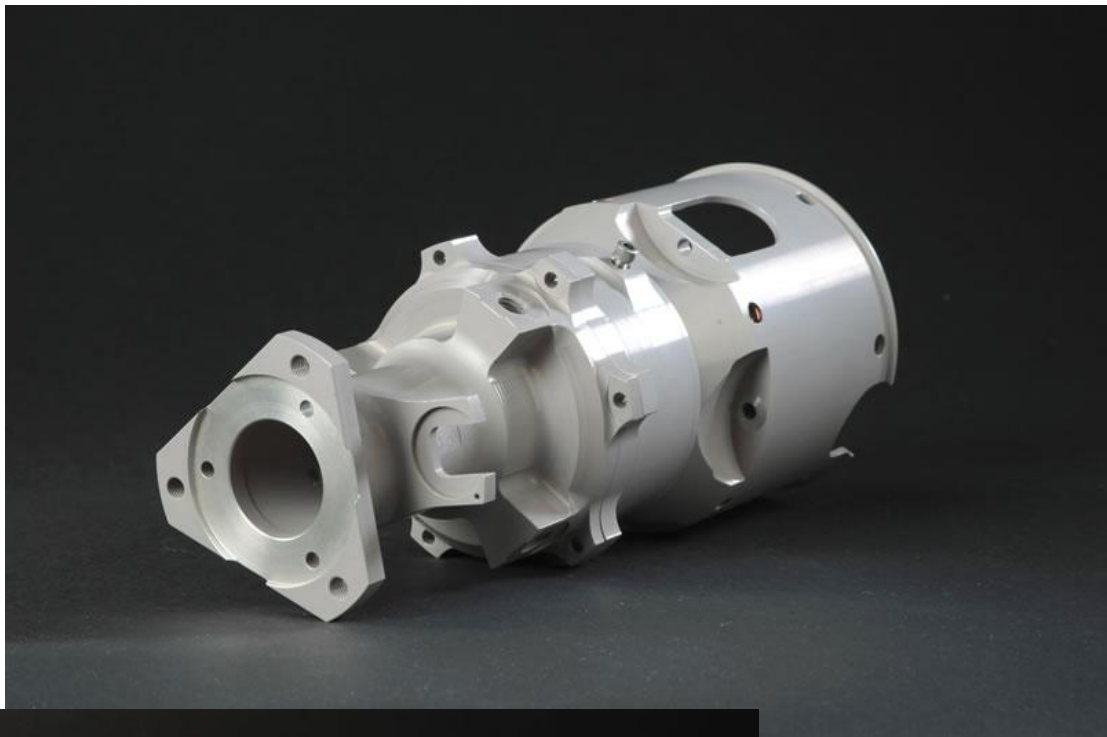
1 Repérer les formes et faces fonctionnelles



[Explication en Vidéo](#)

Tout objet est décomposable en formes primitives ou canoniques.
Dans le cas d'une pièce mécanique, ces formes sont souvent facilement repérables.

Vous remarquerez avec la pratique que les pièces les plus détaillées et apparemment complexes ne sont pas les plus difficiles à modéliser.



A contrario, certaines géométries solides présentant peu de faces sont parfois de vrais casse têtes conduisant à l'impossibilité d'utiliser telle ou telle fonction qui pourtant semblait être adaptée. Le vrai talent sera alors de trouver le meilleur moyen pour contourner cette difficulté sans avoir recours à l'utilisation d'un surfacique explicite.

Un exemple de décomposition sur une pièce mécanique simple



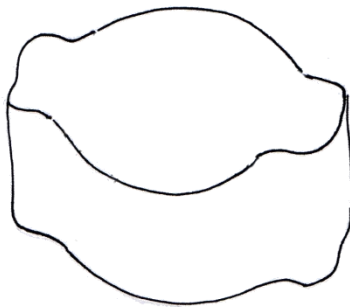
[Explication en Vidéo](#)

Avant de tracer quoique ce soit en 3D, il faut échafauder mentalement une stratégie de construction basée sur la décomposition en formes simples de la pièce à réaliser en commençant par la primitive qui semble être à la base de tout le reste.

Tout sera alors plus simple et la construction 3D sur le logiciel ira très vite.

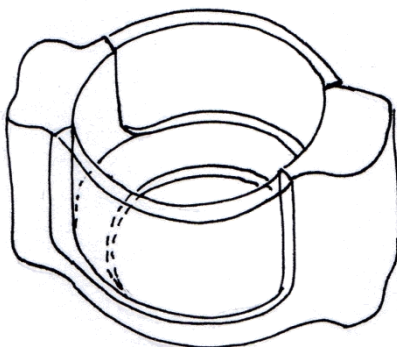
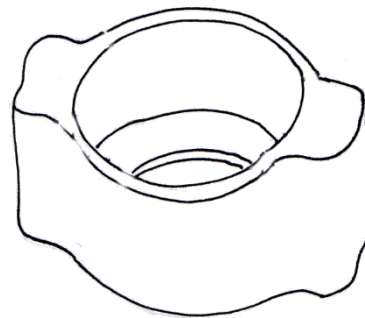
Cette pièce mécanique est un bon exemple pour la reconnaissance des formes qui la compose.

Celle-ci est taillées dans la masse et ne présente donc aucune dépouille ni rayons hormis ceux du profil qui n'est autre que la première opération d'extrusion.

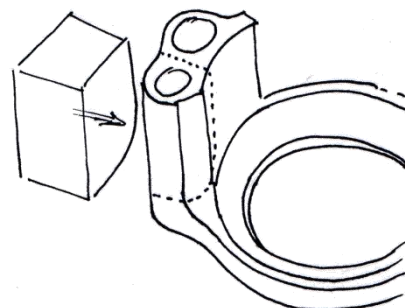


La prochaine opération pourrait être le perçage du trou central.

Puis l'ouverture des deux parois avec un rayon de raccordement en partie basse.



et finalement les dégagements des deux colonnes et leurs perçages.



Les pièces qui ne sont pas taillées dans un bloc sont principalement des pièces de fonderie.

Ici, sur cet alternateur nous voyons deux carters en aluminium dont la forme est finalement relativement simple malgré le nombre important de détails qui la composent.

Le carter qui se trouve au premier plan est à la base une forme creuse de révolution.

Si les pentes ne sont pas prises en compte dans l'esquisse, elle est ensuite affublée de dépouilles à l'intérieur et à l'extérieur. On peut rajouter les différents bossages avec des extrusions qu'il faut également dépouiller et raccorder à la forme principale avec des rayons. Viennent ensuite les enlèvements de matières pour les aérations qu'il faut aussi dépouiller et rayonner.



Les pièces moulées sont donc tout aussi évidentes dans leur interprétation, il faut cependant ajouter les opérations de dépouille et arrondir les arêtes.

Dans la modélisation des pièces de fonderie il est aussi nécessaire de prendre en compte le plan de joint. Celui-ci doit être placé dès le départ de la construction car le solide s'appuiera dessus à chaque fois qu'il y aura une opération de dépouille.

Une pièce de fonderie ne peut donc que rarement être commencée directement en 3D sans passer par une longue réflexion sur la stratégie du processus de moulage.

Dans l'industrie, le dessinateur du produit n'a que rarement une vision aiguisée du métier de fondeur. Ce qui arrive le plus souvent est que le produit soit complètement redessiné par le fondeur pour y inclure le meilleur chemin pour le plan de joint en fonction de son processus de fabrication. Cela ne veut pas dire que le dessinateur est nul en technique, seulement il existe plusieurs façons de mouler une pièce en fonction des outils et du volume à produire.

Nous verrons dans un prochain chapitre un exemple concret de décomposition et d'organisation d'une conception de pièce de fonderie.

Une seule façon de faire pour produire un 3D ?

Non, heureusement il y a mille façons de produire une géométrie est bien souvent diverses méthodes se valent et l'on parvient au but.

Ce qui compte vraiment est de finir sa pièce et de la livrer.

Il y aura bien sûr des méthodes plus directes et acceptant mieux les modifications mais cela s'apprend avec le temps.

Produire quelque chose de modulaire peut paraître long pour une seule pièce mais peut s'avérer aussi utile par la suite si l'on peut réutiliser une partie de la construction.

A titre d'exemple, voici deux articles du blog montrant qu'il existe souvent plusieurs façons de modéliser:

<https://apprendre-la-cao.com/10-facons-de-dessiner-un-tube-droit-sous-catia-v5/>

<https://apprendre-la-cao.com/comment-faire-des-trous-en-surfacique-dans-catia-v5/>

L'important

Livrer son 3D à temps est l'essentiel et dans ce temps il y a bien plus que le travail de CAO. La réflexion initiale visant à trouver le meilleur concept sera déterminant car les changements d'idée en cours de modélisation seront plus pénalisants encore du fait de la reprise du 3D..

Modéliser n'importe quelle pièce ?

Non, tout a ses limites et même si les logiciels sont capables de produire des formes de plus en plus complexes, il arrive quelquefois que nous soyons bloqués sur un point de détail.



Cette vasque, ne semble pas complexe car elle présente finalement peu de surfaces mais sa forme générale requière l'utilisation d'outils surfaciques pour produire quelque chose de correct. Plus question ici d'utiliser les outils de CAO mécanique mais si il n'est pas possible de retrouver des formes canoniques dans cet objet, nous pouvons tout de même le décomposer en surfaces et courbes élémentaires.

2 Dessinez le 3D comme si vous le fabriquez

Modéliser une pièce présentant peu de détails sans utiliser de méthode de travail ne pose pas de problème particulier. Il suffit à la limite d'enchaîner les primitives au grès de ses inspirations pour obtenir un résultat pas très robuste d'un point de vue construction CAO mais "tenant la route" géométriquement. Cela se complique lorsque la pièce présente de nombreuses fonctions comme des usinages, des bossages, des nervures... Plus question ici d'empiler les fonctions les unes en dessous des autres car l'arbre sera d'un part très (ou trop) long et d'autre part la moindre modification à un endroit de l'arbre conduira à impacter toutes les fonctions qui seront en dessous avec le risque majeur de provoquer des problèmes de mise à jour.

Il vaut mieux alors organiser son modèle en zones géométriques (par exemple bossage d'appui de la pompe à huile) ou fonctions (par exemple tous les perçages verticaux).

Si l'on prend l'exemple d'un bloc moteur on voit premièrement des zones identiques clairement liées aux différents cylindres et d'autres correspondant aux fonctions de connexion aux autres organes (cloche d'embrayage, pompe à eau, fixation du tendeur de courroie,...).

Chacun de ces éléments peut alors être, pour ainsi dire, modélisé indépendamment et ensuite combinés. Il s'en suit une meilleure organisation de l'arbre avec des sous ensembles plus courts et surtout une quasi indépendance des différents sous éléments.

Selon le logiciel, on pourra alors mettre ces "sous-constructions" dans des conteneurs dans un même modèle de pièce (par exemple dans des corps de pièce dans une part de Catia) ou encore dans des modèles différents pour ensuite les importer dans un modèle résultat (conception multi-modèles).



Ok sur le principe mais jusqu'où subdiviser mon modèle et quelles devrait être mon découpage ?

Pour modéliser et donc avoir une idée du découpage "logique" de la construction, il sera toujours plus facile de faire du mimétisme vis à vis de la méthode de production. Cela aura pour intérêt de clarifier les choses, dans l'organisation du modèle. Si c'est une pièce de fonderie, imaginez qu'elle est faite à l'ancienne avec des modèles en bois. Ainsi nous aurons la forme générale d'un côté du plan de joint et une autre forme de l'autre côté. Nous aurons une forme pour le noyau. Un bossage doit être ajouté ici... Produisons une pièce en bois tournée et ajoutons là sur le modèle principal. Ce qui était faisable par nos vénérables anciens le sera aussi ici sur notre modèle virtuel.

Alors bien sûr, on ne va pas créer un corps de pièce pour chaque bossage mais l'on sera très avantageux à le faire pour une zone complète comme la protubérance servant à fixer le démarreur sur notre bloc moteur.

L'idée est d'assembler ces sous éléments à l'aide des fonctions booléennes mais aussi de "relimitation partielle" (union booléenne + retrait manuel des parties non souhaitées).

Il sera de ce fait très facile de grouper les usinages au sein d'un conteneur (un corps de pièce dans Catia) et de produire en un étape de retrait et de façon réaliste l'ensemble des usinages sur une pièce brute.

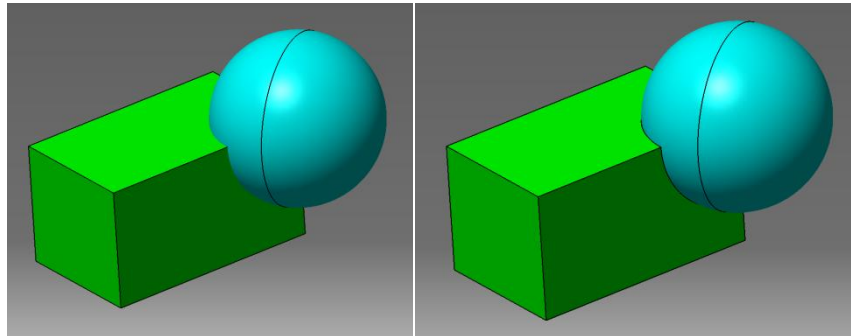
1 Opérations booléennes sur le solide (rappels)

Si les opérations booléennes sont applicables, nous l'avons vu, aux entités surfaciques. Elles exigent une bonne dose de réflexion afin d'en deviner le résultat. Leur application sur le solide est par contre beaucoup plus intuitive et en fait un outil de premier choix dans la conception.

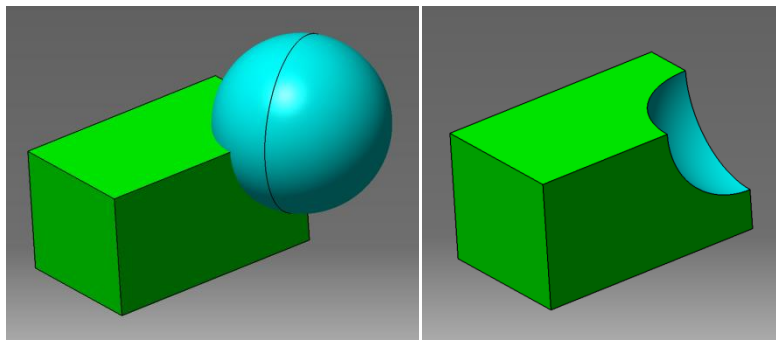
Ces opérations basiques nous permettent de tout faire ou presque.

Dans les exemples ci dessous, à gauche les deux solides sont indépendants et en interférence (il n'y a pas d'arête vive entre le bleu et le vert), les deux formes sont complètes et s'interpénètrent.

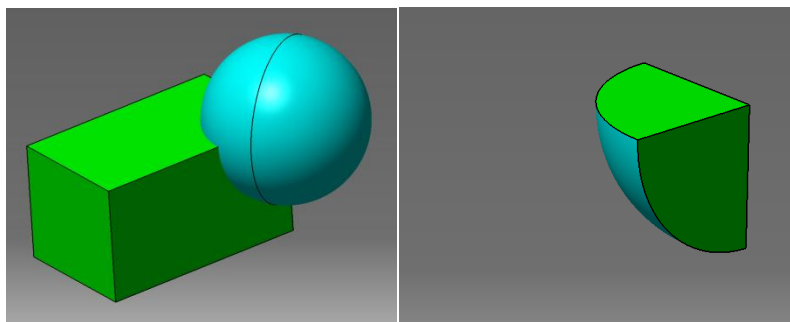
L'Union va souder deux solides et faire disparaître la matière en interférence.



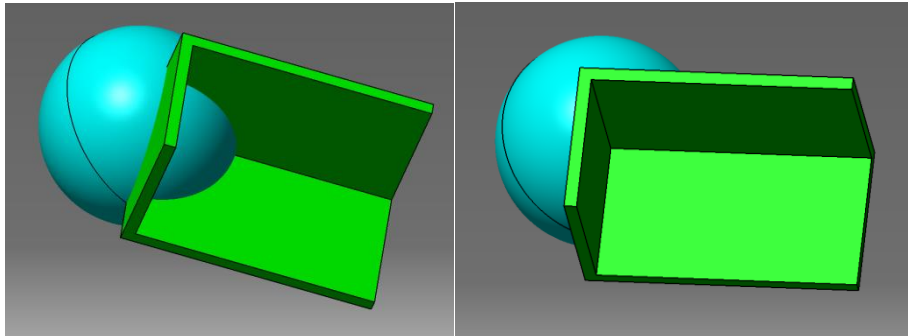
La Soustraction va retirer le deuxième solide au premier



L'Intersection va garder la zone à la fois dans le premier et dans le deuxième solide.



Une quatrième opération est la Relimitation (Relimitation partielle dans Catia). Ici, le bloc vert a subi une opération coque pour illustrer le propos. C'est un peu plus qu'une opération booléenne d'union puisqu'il y a en plus une notion de choix pour conserver une partie des éléments en intersection (la partie extérieure de la sphère dans l'exemple ci-dessous). C'est très pratique pour unir deux solides présentant un débordement.



2 Opérations booléennes (pièce brute)

Venant de Catia V4 j'ai tendance à préférer utiliser les opérations booléennes.

La conception solide de ce logiciel est basée sur ce principe. Pour faire un trou dans un cube, on trace un cube (fonction cuboïde) d'un côté, on trace un cylindre (fonction cylinder) de l'autre côté et ensuite on fait une opération de retrait **Cube-Cylindre = Résultat**.

Si les deux solides sont initialement en intersection l'opération se fait sinon il y a une erreur.

Dans les modeleurs CAO actuels, pour faire un trou, il y a une fonction trou qui de toutes façons fera discrètement une opération booléenne entre notre pièce et un cylindre.

Cela revient sensiblement au même mais l'on a tendance à perdre cette habitude de construction et l'on bâtit de façon linéaire notre modèle.

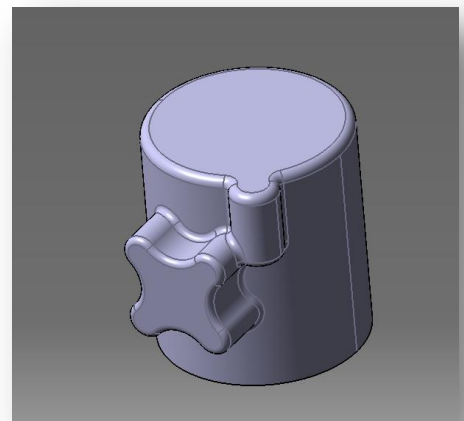
Se servir des opérations booléennes nous permet de construire notre modèle de façon arborescente donc en parallèle ce qui rend les constructions moins longues, plus claires et plus malléables.

Pourquoi ?

Parce qu'il est toujours plus facile d'intervenir sur une portion de la construction, voire de remplacer, plutôt que de modifier quelques opérations disséminées dans l'arbre de construction avec pour conséquence de nombreuses erreurs de mise à jour.

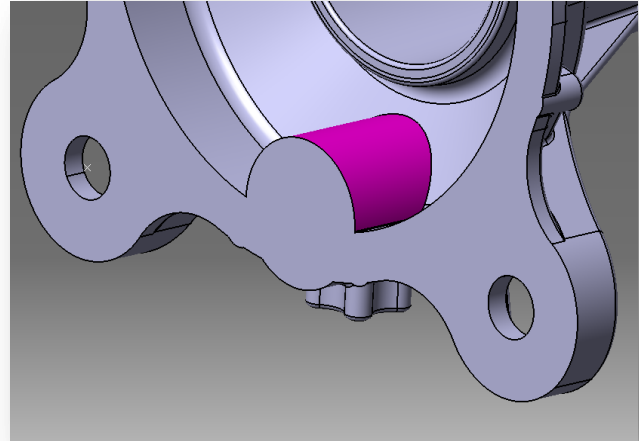
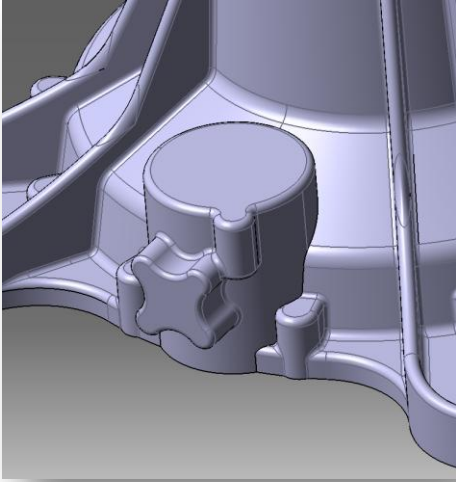
Utiliser les opérations booléennes revient à construire de façon modulaire. Cela prend tout son sens pour une pièce complexe et cela n'est souvent pas nécessaire pour une pièce simple.

Une pièce complexe est par exemple une pièce de fonderie avec de nombreux bossages répondant chacun à une fonction.. Chaque bossage est une construction avec des primitives, des dépouilles, des congés, etc...



Il est alors bien plus simple de produire un solide pour chaque bossage et y placer sa propre construction. Cela fait de nombreuses petites constructions simple à comprendre, à retrouver dans l'arbre et à modifier.

Ces solides sont ensuite chacun leur tour ajoutés à la construction principale à l'aide de fonctions booléennes comme ici une relimitation partielle (les deux solides s'interpénètrent et l'on désigne la partie que l'on souhaite faire disparaître).

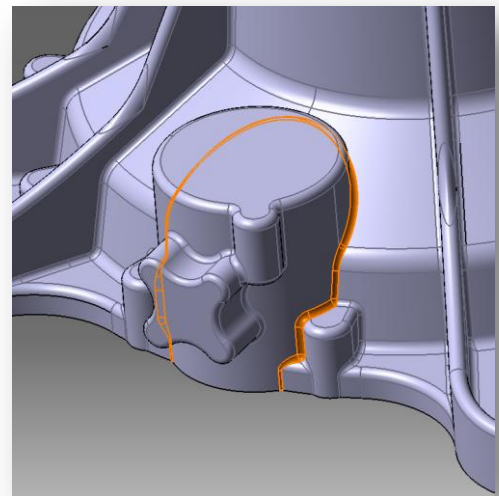


Une opération d'habillage comme le congé de raccordement suit juste après l'Union de chaque bossage.

Astuce:

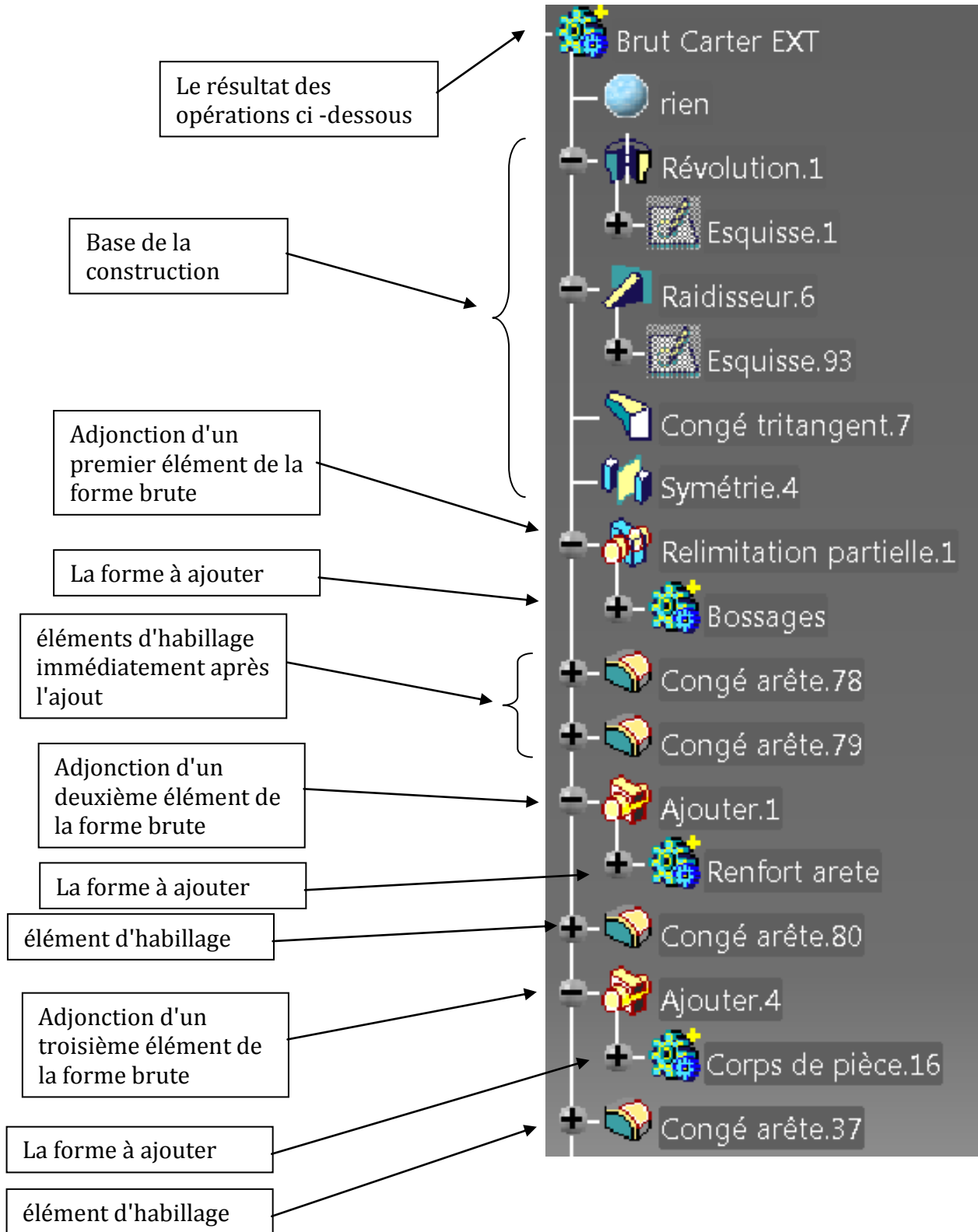
En général, pour réussir les opérations booléennes d'union, quelles soient explicites comme ici ou cachées dans des opérations solides, il est préférable d'avoir une légère interpénétration des primitives.

Les situations d'interférences franches sont préférables à des situations où les primitives sont visiblement tangentes car finalement le sont elles vraiment ou existe t'il un minuscule espace de quelques dixièmes de microns quelque part ?



Cela pose souvent des problèmes car la situation est ambiguë ou l'intersection est "trop complexe" pour être calculée.

Exemple, sur Catia , d'organisation pour la pièce brute précédente



ETC...

3. *Un exemple de construction pour une pièce de fonderie*

L'objectif est de produire un corps de pompe centrifuge moulé à partir d'un cahier des charges fonctionnel dans lequel, d'un point de vue géométrique, nous trouvons:

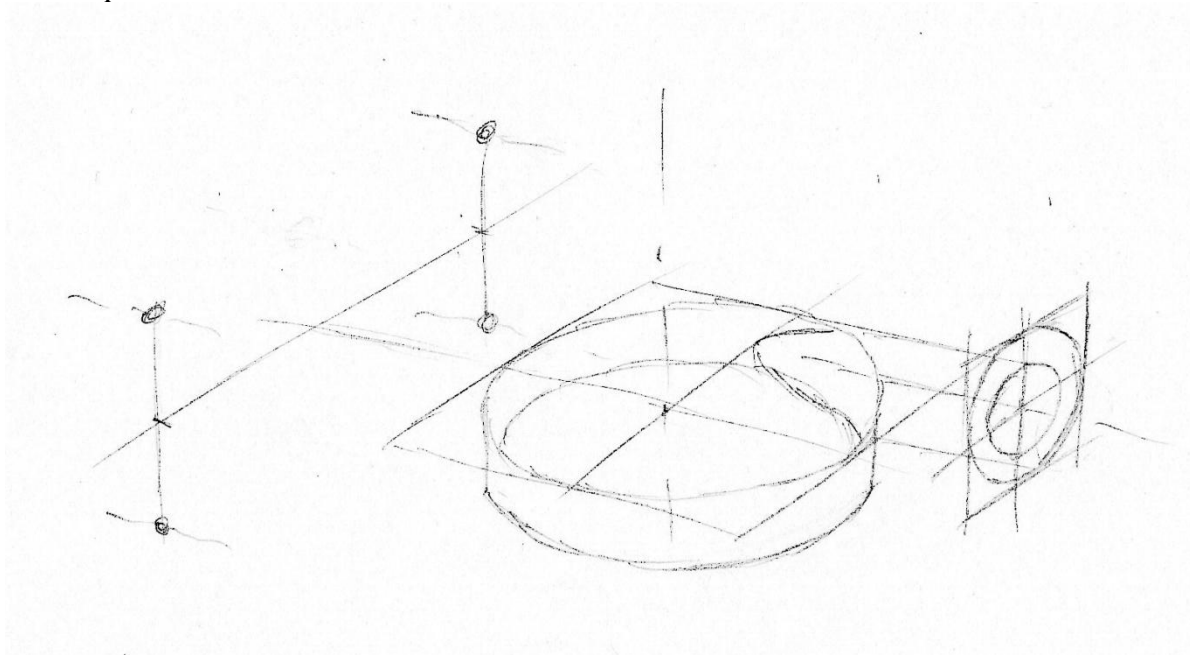
- Les dimensions de la chambre de la turbine
- Les conditions de fixation sur un support plan (4 vis)
- L'interfaçage avec la partie tournante de la pompe (au dessus) et le branchement de la sortie (tube tangent).

Tous les détails fonctionnels ne sont pas représentés mais l'on pourrait y ajouter les plans d'appuis, les positions des trous de fixation de la partie tournante, etc...

Le résultat solide sera une pièce élémentaire constituée d'une seule matière (ni un ensemble ni un assemblage) Il est logique de le construire dans un modèle pièce.

1. **Etape 1 (Les éléments fonctionnels)**

Ces éléments fonctionnels peuvent tout de suite être matérialisés sous forme d'éléments filaires et surfaciques dans un conteneur dit "Fonctionnel".



Ceci est très important car si une modification du cahier des charges fonctionnel venait, il serait alors extrêmement rapide de retrouver ces éléments et de les modifier.

On peut également les piloter à l'aide de paramètres utilisateur.

2 Etape 2 (La réflexion)

Nous allons maintenant diviser notre objet en plusieurs zones.
On trouvera assez aisément, en s'aidant des fonctions de cette pièce:

- La fixation
- Le corps de la chambre
- la tubulure de sortie

Nous pouvons alors préparer 4 conteneurs vides (corps de pièce sous Catia) pour abriter nos différents solides (les trois ci-dessus + un corps qui sera le résultat de l'assemblage des trois autres). Cette organisation va nous permettre de construire indépendamment chaque sous partie en s'arrangeant pour que chacune soit dépendante des éléments fonctionnels qui la concernent.

Avant de dessiner en 3D, nous allons un peu réfléchir au chemin du plan de joint.

Peut-on produire un plan de joint plan ?

La question se pose alors pour chaque sous partie.

Le tube de sortie sera obligatoirement coupé par un plan horizontal passant par son axe. Notez qu'il lui faudra un noyau pour faire le creux à l'intérieur.

La chambre sait-elle s'accommoder du même plan de joint ? ou sait-on facilement raccorder ?

Ici, oui, le plan de joint pourra facilement se propager au même niveau.

Pour les fixations, il serait alors très intéressant de poursuivre avec ce plan de joint (plan horizontal passant par l'axe du tube de sortie).

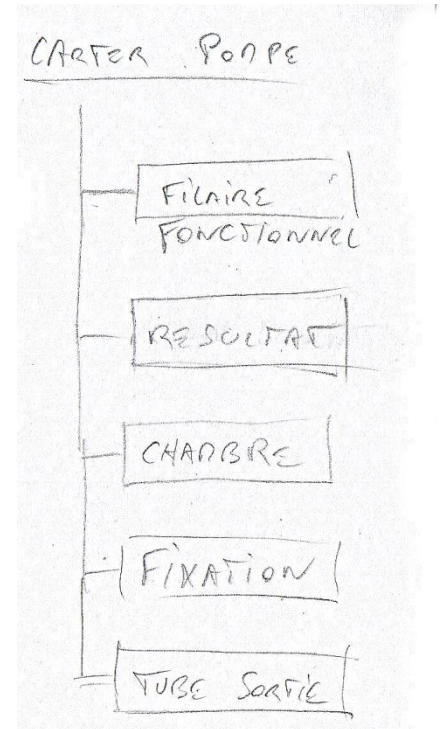
Est-ce faisable ?

On voit sur le fonctionnel que le plan moyen des fixations passe par la face supérieure de la chambre.

Ce n'est pas très éloigné. Il faudra donc juste produire des pattes de fixation asymétriques si l'on ne souhaite pas rediscuter le fonctionnel avec l'architecte du produit.

Les pattes de fixation doivent être pensées de façon à garantir le démoulage tout en apportant le maximum de raideur. On évitera de produire un corps creux bien que très raide car beaucoup plus onéreux à produire.

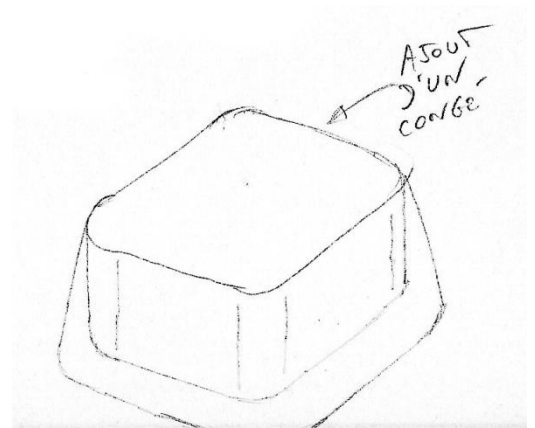
Maintenant que l'on a une idée de la forme du plan de joint (plan ici) nous pouvons l'ajouter à notre conteneur surfacique fonctionnel. Il suffit de produire une surface plane rectangulaire nettement plus grande que la pièce et de la renommer "plan de joint".



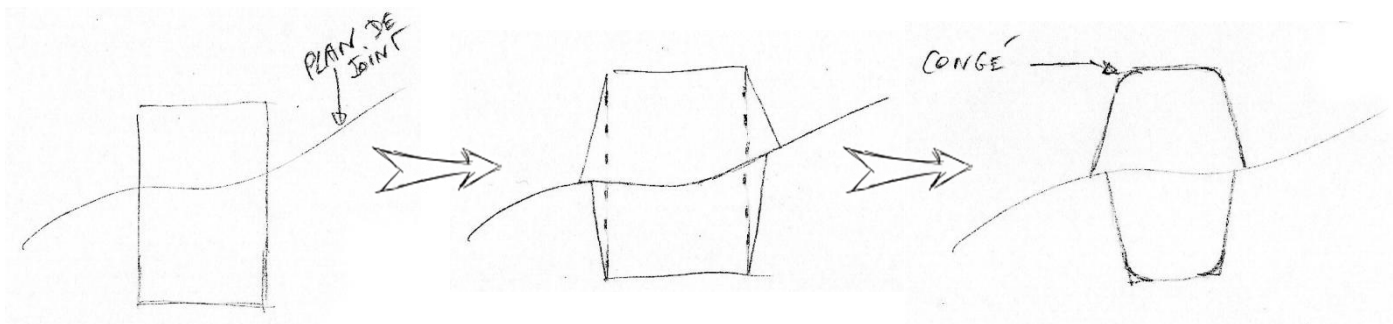
3. Etape 3 (la modélisation de chaque partie)

Une forme de fonderie classique en CAO est faite de préférence à partir des opérations suivantes:

1. Une forme prismatique (extrusion avec coins arrondis ou révolution)
2. Adjonction des dépouilles par rapport au plan de joint
3. Ajout de rayons pour éviter les arêtes saillantes



En fonction du plan de joint, les surfaces des dépouilles peuvent ou non converger à cet endroit. C'est le cas aussi, comme dans cette illustration, si les angles ne sont pas les mêmes d'un côté et de l'autre.

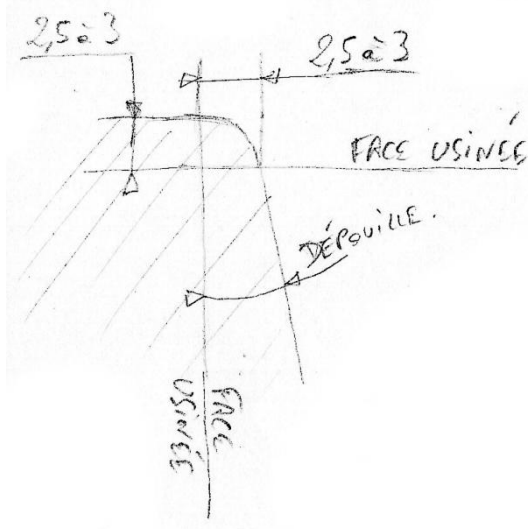


L'important dans la définition de la forme de fonderie, hormis les angles de dépouille, est de garantir qu'il y aura suffisamment de matière à retirer à l'usinage. On compte en mécanique générale une surépaisseur de 2.5 à 3 mm minimum.

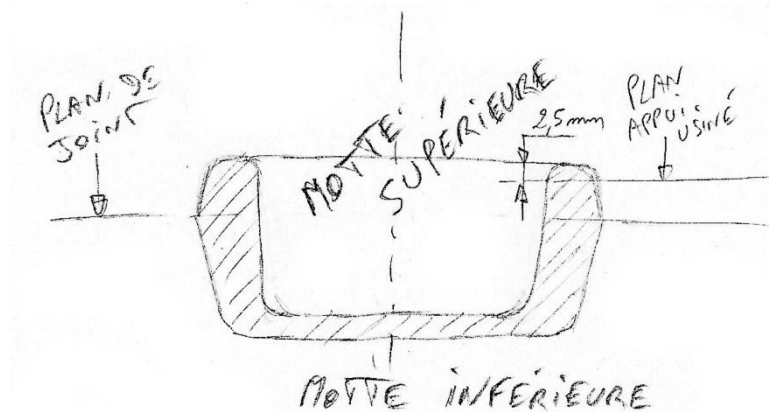
Il faut faire attention au sens de la pente. La surépaisseur minimale doit être ajoutée là où il y aura naturellement le moins de matière.

Dans le cas d'une esquisse pour une forme de révolution présentant les rayons et les dépouilles, cela ne pose pas de problème. On peut d'ailleurs en profiter pour projeter ou intersecter les surfaces fonctionnelles usinées pour s'en servir comme référence.

Dans un cas plus classique avec séparation des fonctions (Prisme, dépouille, rayon) il faudra alors mesurer à plusieurs reprises et corriger si nécessaire.



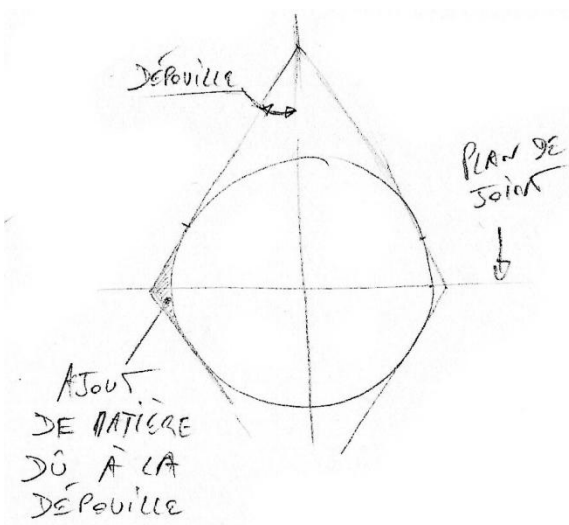
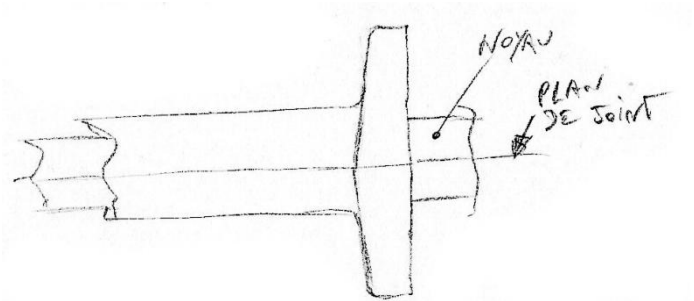
La chambre:



Cette partie est une forme de révolution. Pour se simplifier la vie, on peut la dessiner directement à partir d'une esquisse présentant les dépouilles et les rayons. On s'arrangera pour ajouter les surépaisseurs à usiner là où cela est nécessaire. La partie creuse fera partie de la motte de sable supérieure.

Le tube tangent

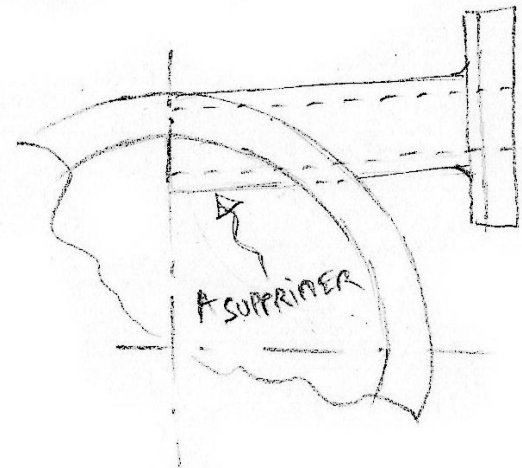
Cette partie est creuse. Il faudra donc la modéliser pleine dans un premier temps puis retirer (opération booléenne) un corps de pièce représentant le noyau.



Naturellement, une pièce cylindrique, présente au niveau du plan de joint une tangente verticale. Ceci n'est pas l'idéal pour le moulage du sable. Ainsi il est utile d'appliquer une opération de dépouille qui aura pour effet d'ajouter un peu de matière à cet endroit en appliquant localement une pente.

Ce résultat solide sera en interférence avec la chambre. Nous ferons par la suite une opération de relimitation partielle au moment de produire le résultat final.

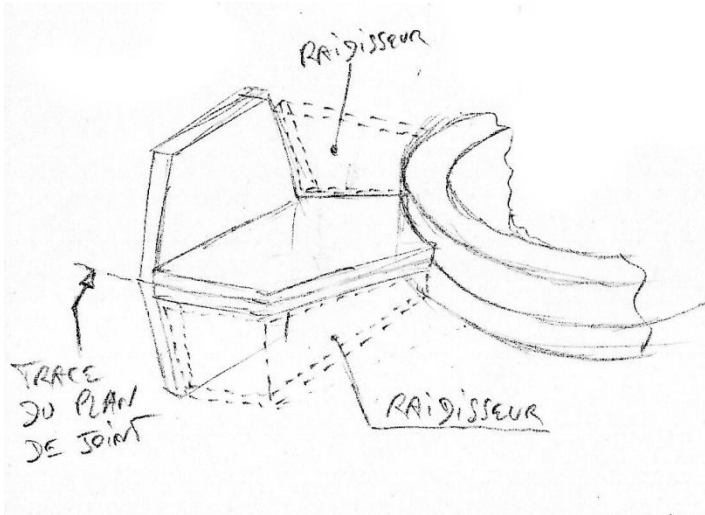
La partie située à l'intérieur sera désignée comme étant une zone à supprimer.



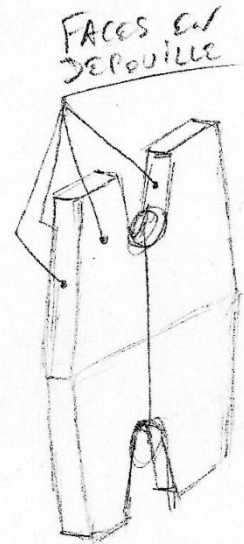
Zone de fixation

Les pattes de fixation sont simplement des platines présentant des trous pour le passage des vis.

Pour ne pas à avoir à percer, on peut ici réaliser, non pas des trous mais des encoches directement en moulage dans la direction de démoulage.



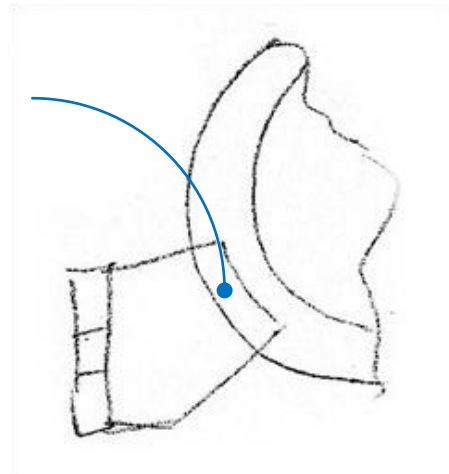
Il faut maintenant faire pousser de la matière entre ces platines et la chambre. On suit naturellement le plan de joint en faisant pousser une plaque horizontale. Ceci donnera de la raideur dans le plan mais la pièce restera fragile en flexion. Il faut donc ajouter des nervures perpendiculaires de façon à avoir le maximum de raideur tout en donnant un accès aux têtes de vis. On peut alors les placer plutôt à l'intérieur ce qui



donne un bon accès aux vis ou encore mieux pour la raideur à l'extérieur des pattes mais dans ce cas les têtes de vis seront moins accessibles.

Tous les éléments solides des pattes de fixation devront respecter les contraintes de moulage et suivre le plan de joint.

Les excroissances en directions de la chambre seront suffisamment grandes pour être en interférence avec celle-ci. Ceci facilitera l'opération booléenne d'ajout en évitant les situations ambiguës si les deux solides sont presque tangents. Ici, il n'est pas nécessaire d'aller trop loin. Dans l'idéal les excroissances s'arrêtent dans l'épaisseur du bord de la chambre cela permet de faire une simple opération d'ajout et évite l'opération de relimitation partielle.



Assemblage des éléments

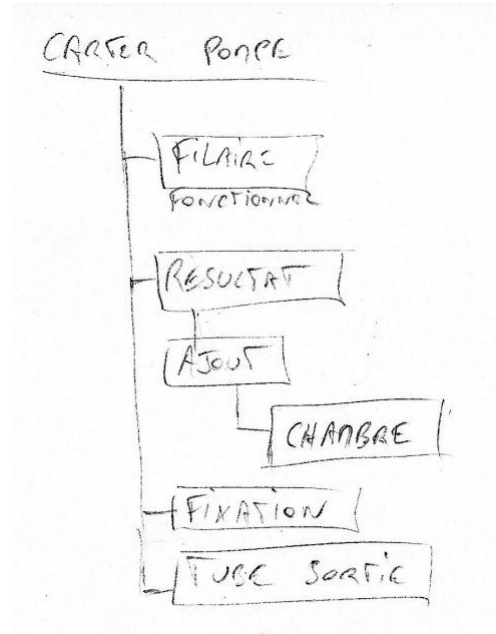
Nous avons maintenant tous les sous-éléments. Il reste à les fusionner par un jeu d'opérations booléennes.

Le conteneur "Résultat" nous servira de base pour l'adjonction progressive des sous-éléments.

La première opération sera, par exemple, l'union booléenne du conteneur "Résultat" avec le conteneur "Chambre". Dans Catia cela revient à faire l'union, ou encore l'assemblage d'un corps de pièce vide ("Résultat") avec un corps de pièce portant une géométrie.

On obtient alors une structure comme celle-ci.

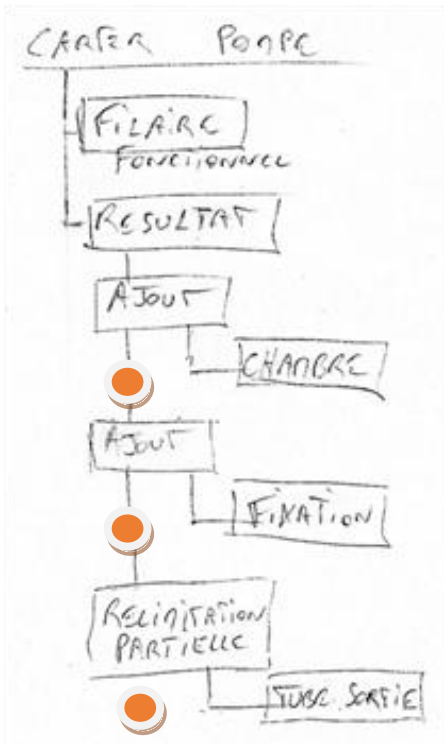
Les autres conteneurs sont toujours à la même place en attente d'une opération booléenne.



On peut alors procéder à la suite des opérations booléennes. Il faut faire attention de bien choisir les éléments pour cette opération. En effet, quelque soit le logiciel, on serait tenté de faire la prochaine opération entre "Fixation" et "Chambre". Techniquement, cela conduira à un résultat équivalent mais l'organisation du modèle ne sera pas très clair.

Ici, pour rester logique dans la construction, les opérations doivent se faire systématiquement avec le conteneur "Résultat".

En produisant les deux autres opérations ("ajout" et "relimitation partielle") on a un arbre comme ceci. La relimitation partielle a pour but de faire disparaître le morceau du tube qui dépasse à l'intérieur de la chambre.



A ce niveau, on peut considérer que le modèle brut est terminé. Il manque seulement les opérations de congé (pastilles oranges dans l'arbre) pour arrondir quelque peu les jonctions des différentes parties.



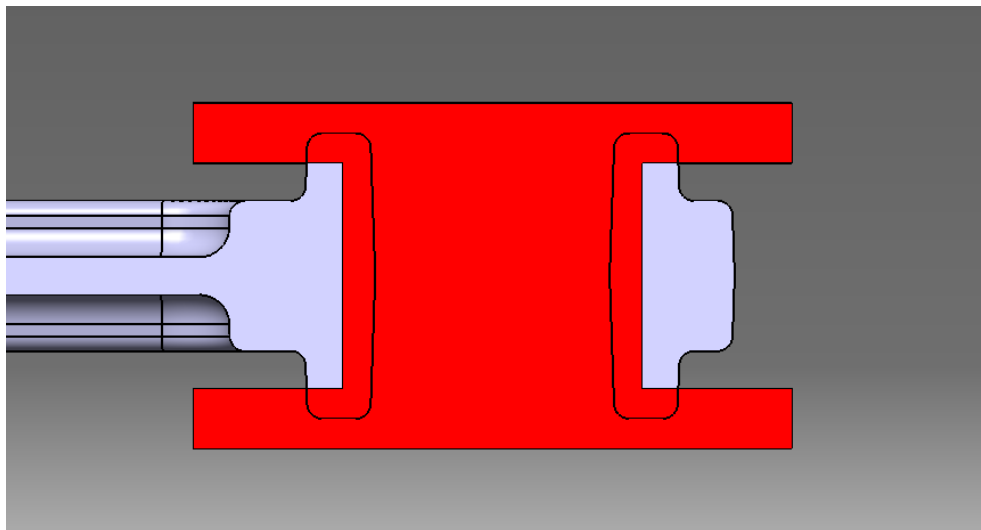
4. Séparation du brut et de l'usinage



[Explication en Vidéo](#)

L'exemple type d'opération mettant en œuvre les opérations booléennes est la séparation du brut et de l'usinage.

Pour illustrer, dans un modèle très simple on peut importer de modèles CAO extérieurs un solide "brut" positif (en gris) et un solide "Usinage" positif lui aussi (en rouge). Parfaitement positionnées l'un par rapport à l'autre, le solide "Usinage" est en interférence juste au niveau des surépaisseurs du "Brut" qui seraient usinées dans la réalité.



En une seule opération de "Soustraction" (ou retrait) du solide "usinage" au solide "Brut" on obtient le solide résultant "Usiné".

Les avantages sont nombreux:

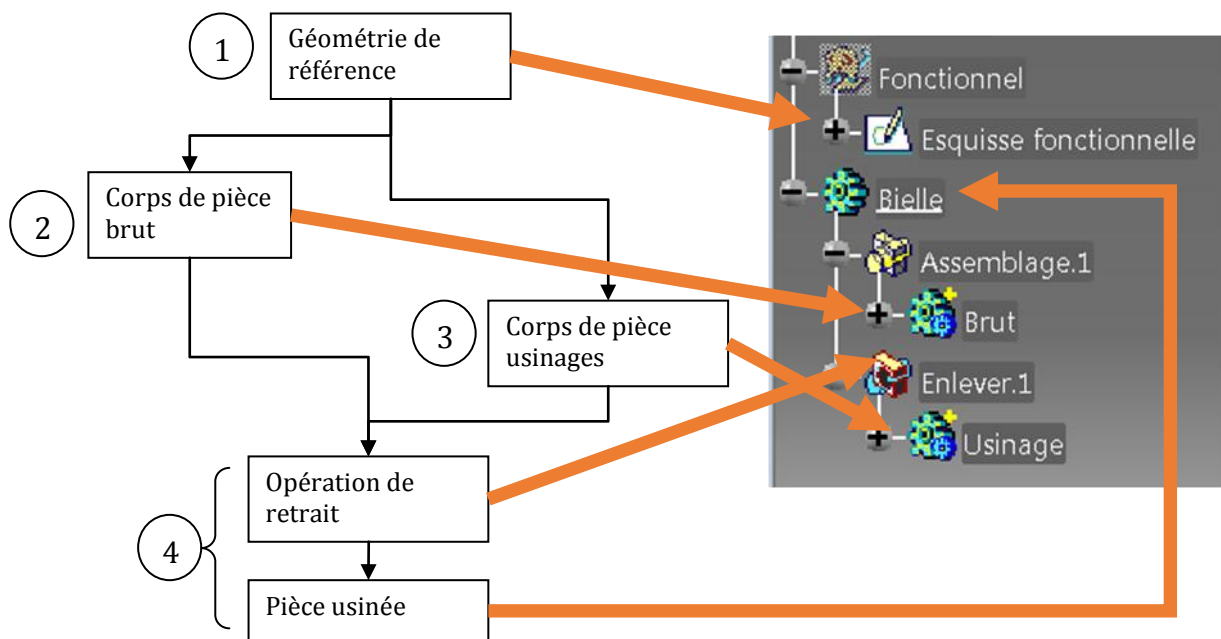
- Il est très facile de modifier séparément chaque sous élément sans risquer de toucher à l'autre grâce à des conteneurs séparés (corps de pièce dans Catia). Ils peuvent être sous la domination de géométrie de référence (axes, plans, ...) placées dans un autre conteneur (set géométrique sur Catia).
- Quelque soit les géométries de l'un ou l'autre solide, l'opération de soustraction donnera toujours un résultat.
- On peut remplacer l'un ou l'autre des solides pour cette opération (remplacement de corps de pièce en entrée de l'opération de retrait). Ceci est encore plus facile si les solides sont importés car il suffit de pointer sur un autre document pour remplacer le solide.
- On peut confier le modèle brut au fondeur sans qu'il soit dans l'obligation de refaire un modèle brut à partir d'un modèle usiné.

- On peut simplement importer le modèle 3D du fondeur si il est en charge de le dessiner et produire uniquement les primitives de l'usinage dans un conteneur "Usinage" puis faire l'opération.
- Il est facile de séparer le solide brut pour l'exporter dans le format souhaité.
- On peut par une opération d'intersection connaître la masse de copeaux

Pour organiser son travail, on a donc le choix entre placer ces solides dans des modèles différents ou bien les garder au sein du même modèle et produire cette opération.

Ci-dessous, tous les éléments sont dans le même modèle mais l'on peut avoir tout cela dans 4 modèles distincts numérotés ici 1,2,3,4.

Le modèle n°4 portant le corps de pièce "Bielle" sera alors le modèle résultat combinant tous les modèles importés.



Un article du blog pour illustrer:

<https://apprendre-la-cao.com/savez-vous-comment-organiser-votre-catpart-sur-catia-v5>

Avec cette organisation, on pourra également en faisant un arrêt dans l'historique de construction, avoir une vue 3D à chaque étape de la réalisation.

Une pièce usinée à partir d'un brut sera beaucoup plus facile à dessiner si l'on produit d'une part un modèle brut et d'autre part les usinages. De même, le modèle brut sera construit en introduisant les contraintes de la fonderie, dépouilles, congés, noyaux, plans de joint, etc...

Cela sera plus clair et plus facile pour tout le monde que de proposer un solide construit linéairement et dans lequel rien ne sera pré établi pour les métiers en aval.

Que faire d'une pièce de fonderie sans dépouille ou d'une pièce que l'on ne peut attraper avec un mandrin pour l'usiner ?

Les métiers de la production devront alors tout redessiner et le produit fabriqué ne sera au final pas celui qui a été étudié et dimensionné. Autant y penser dès le début, sur le papier.

Un fois encore, le dessinateur a un rôle d'intégrateur des contraintes du produit et du processus de fabrication.

5. Préconisations pour la modélisation d'un brut

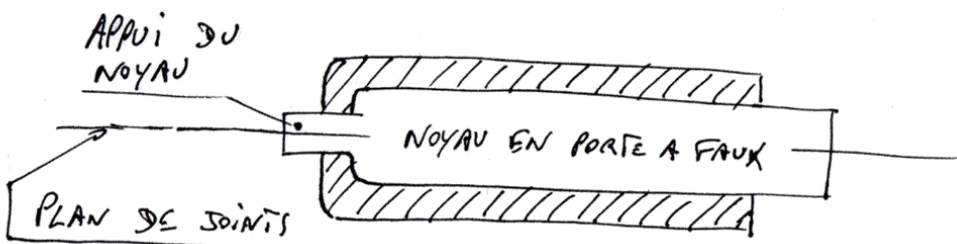
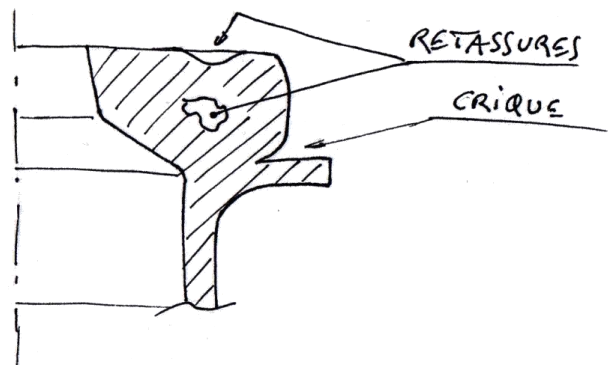
Consulter un fondeur ou un usineur en apportant un 3D plein de bon sens sera un plus indéniable dans l'établissement d'un dialogue. Le dessinateur passe alors pour quelqu'un de sérieux et proche des considérations de ceux qui auront à produire. Ce n'est que trop rarement le cas de nos jours. Pensez- y !

Commencez par dessiner un premier brouillon en prenant en compte les préconisations qui suivent puis confiez-vous à une personne du métier concerné pour confirmer ou affiner ces points:

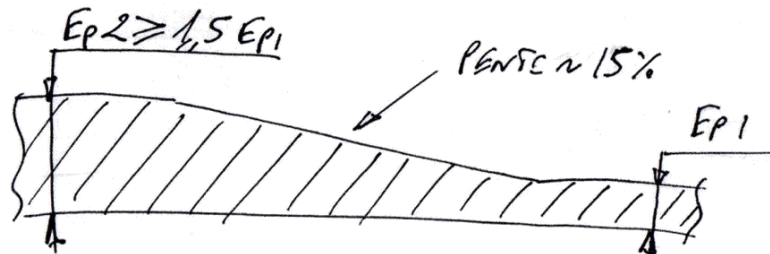
En fonderie, en moulage sable, cela dépend de la hauteur de la pièce , plus la hauteur est importante et moins l'angle est fort mais ne produisez pas de dépouille inférieurs à 1.5° .
Il faut veiller à éviter les variations brusques d'épaisseur.

Surtout pas de masses isolée dans lesquelles la matière va se solidifier de l'extérieur vers l'intérieur en se rétractant au point de former des retassures et des criques.

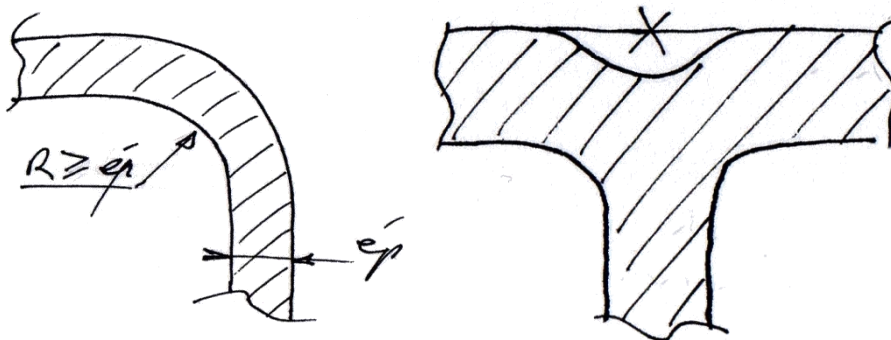
Si un noyau est effilé et en porte à faux, il devra être en appui à son extrémité pour éviter sa déformation à chaud. Il faudra alors prévoir un trou dans la pièce pour qu'il puisse traverser.



On évite les variations brusques d'épaisseur en aménageant des pentes douces.



Dans la même idée, toutes les variations doivent se faire en douceur, pas d'angle vif car cela modifie localement l'épaisseur. Les rayons seront alors d'une valeur proche de l'épaisseur de la paroi. On évitera autant que possible les raccords de plusieurs nervures au même endroit (concentration de matière) et, si cela est possible, on creusera la matière afin de réduire les zones massives où cela est possible.



Les formes creuses constituent des caissons qui sont très favorables à une bonne raideur en torsion. Cela nécessite l'utilisation d'un noyau et augmente donc le prix de la pièce.

Pour éviter l'utilisation d'un noyau, on peut aussi réaliser une pièce nervurée dans le sens de la dépouille mais elle sera moins rigide en torsion.

6. Pièces brutes usinée ou pièce totalement usinée ?

Il est vrai que dans certains domaines (conquête spatiale, aviation, nucléaire, optique,...), on taille directement des pièces dans des blocs de matière. Cela prend énormément de temps, use beaucoup d'outils et produit énormément de copeaux. Ces domaines d'activité peuvent se permettre d'exiger, moyennant un prix fort une qualité irréprochable tant au niveau de la géométrie que dans la qualité de la matière.

Si l'on veut réduire le coût, il ne faut usiner que le strict nécessaire sur une pièce présentant déjà la forme presque finie. Le brut représente à lui seul toute la géométrie d'un produit et il ne lui manque



souvent qu'un peu de précision sur quelques faces afin de la rendre utilisable dans un assemblage. Ces

faces usinées sont purement fonctionnelles et doivent se limiter au strict nécessaire pour assurer leur fonction. Ainsi, un appui autour d'un trou taraudé sera fait préférentiellement lors du fraisage d'un bossage. Il en résultera une surface à peine plus grande que celle de l'objet à accoster.

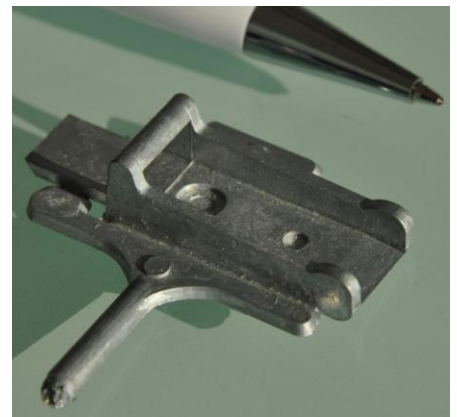
Dans les domaines d'activité sensibles, on préférera usiner dans un bloc de matière plutôt que de produire un brut car les bruts ont souvent tendance à présenter quelques défauts voire quelques contraintes résiduelles qui seraient dommageable à la tenue de pièce de sécurité. Dans l'aéronautique, dans l'aviation, ou dans tout ce qui demande une extrême précision, on préférera usiner un bloc de matière parfaitement caractérisé et exempt de défaut.

Dans la grande série, l'automobile par

exemple, on préférera produire des bruts et gagner du temps sur l'usinage en réduisant le plus possible l'impact des défauts de fonderie.

Les pièces prototypes pourront aussi être taillées dans la masse si cela est intéressant d'un point de vue coût.

Enfin, certaines pièces brutes n'ont pas besoin d'usinage et sortent bonnes pour leur application. On trouvera dans cette famille, les pièces plastiques et les pièces de structure et de décoration en alliage léger (Zamak moulé ou fritté par exemple).



7. Préconisation pour la modélisation de pièces usinées

En usinage en général, il est bon de veiller à usiner le moins possible car les déplacements d'outil prennent du temps. Le brut doit donc être conçu en ce sens. Le mieux est aussi de favoriser la prise de pièce et l'accès des outils. Une bonne répartition des faces usinées autour de la pièce permettra de balancer les temps d'usinage de chaque opération.

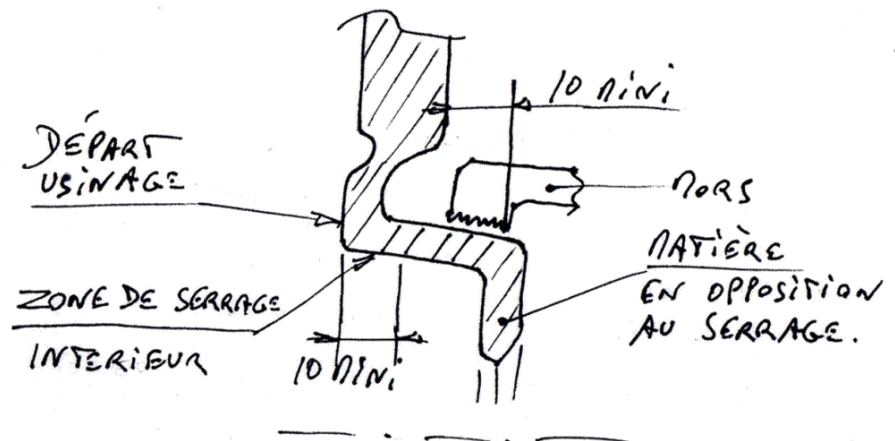
Une pièce doit souvent être retournée pour pouvoir usiner la deuxième face. Si la première face est trop riche en usinages, elle prendra plus de temps que la deuxième. La conséquence sera une attente de la machine dédiée à la deuxième opération. On parlera alors de temps menant sur la première opération. Si les deux opérations sont dites équilibrées, il n'y aura pas d'attente et le prix de la pièce baissera.

Il est bon de s'arranger pour que les trajectoires puissent s'enchaîner naturellement avec des surfaces proches et usinables avec le même outil. Les trajectoires, même en déplacement rapide coûtent du temps. C'est encore pire pour les changements d'outil.

Cela fait bien sûr beaucoup de choses à intégrer dans un dessin. Bien souvent, tout sera affaire de compromis. Rappelez-vous qu'avant tout cela, le produit doit répondre à une fonction et être suffisamment résistant. L'intégration de toutes les contraintes feront un produit d'exception.

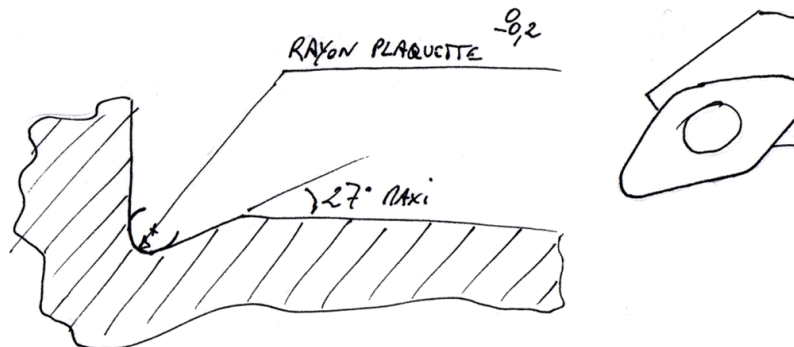
En tournage ce qui compte est de pouvoir tenir la pièce dans le mandrin et de garantir l'accès des outils.

Pour un mandrin équipé de mors durs sur de la fonte brute ou de mors doux sur une surface usinée il faut compter 10mm mini dans le sens axial mais il est préférable dans tous les cas d'avoir une plus grande longueur de serrage. On s'arrangera aussi pour qu'il y ait de la matière en face de la zone serrée afin de reprendre les efforts de serrage et ne pas trop déformer la pièce.



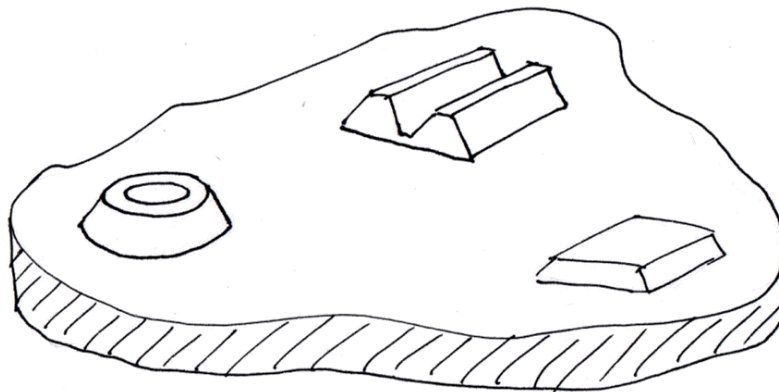
On aménagera aussi des plans d'appui perpendiculaires à l'axe de révolution comme départ d'usinage (DU).

Si l'on doit dessiner des gorges, les pentes et accès doivent être compatibles de la géométrie des outils. Le mieux est encore une fois de produire un brouillon et de consulter très tôt l'usineur.



En fraisage, il faudra prendre en compte également des départs d'usinage ainsi que des zones de serrage.

Les départs usinage (DU) sur le brut constituent un plan formé de 3 appuis qui devront être le plus écartés possible pour mieux maîtriser la mise en position. Ces trois appuis sont différents. Le premier est une cavité destinée à recevoir une sphère (blocage de 3 translations); cela donne la position. Le deuxième est un appui en V et recevra également un bout sphérique (blocage de deux degrés de liberté), le troisième est un plan servant d'appui ponctuel pour le dernier degré de liberté. Les serrages sont dans le meilleurs des cas en face des appuis sinon contenus dans le triangle formé par les appuis mais attention aux déformations.



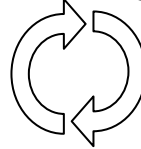
POSAGE ISOSTATIQUE
D.U. PREMIERE OPERATION

8. Cycles de vie et intégration des contraintes en conception

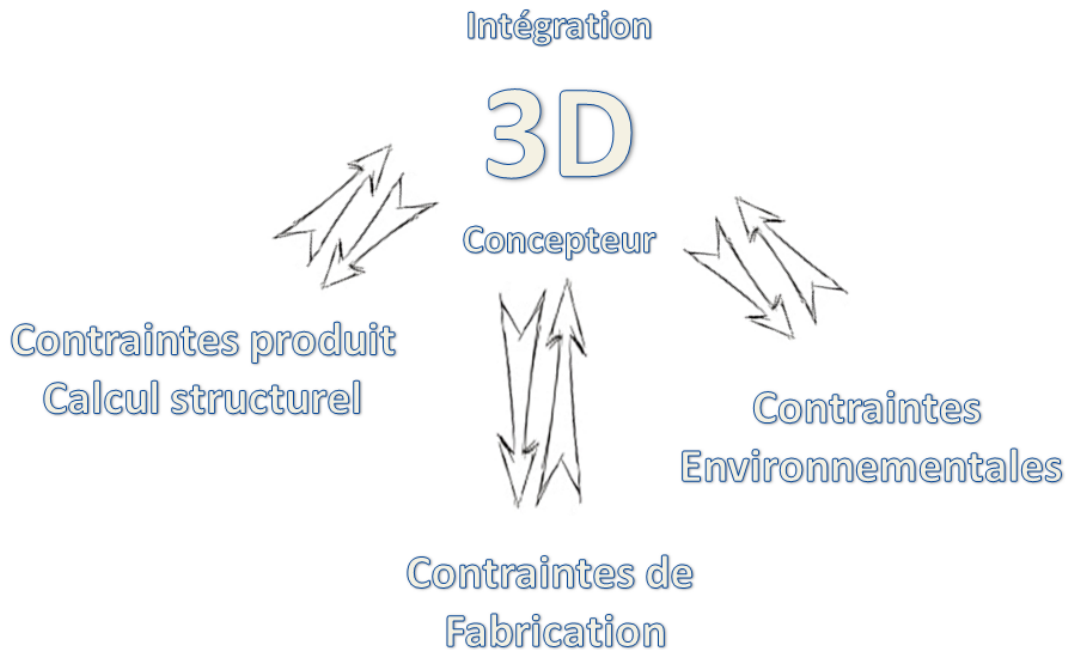
1. Conception solide

La production d'un modèle en CAO doit s'intégrer dans une boucle itérative visant à optimiser la pièce. On parcourra alors en boucle ces trois étapes jusqu'à convergence:

- Définition/modification de la pièce 3D
- Analyse structurelle et environnementale.
- Vérification de la faisabilité.



L'intérêt d'une suite de logiciels CAO est de permettre l'intégration partielle ou totale de ces 3 étapes dans un seul et unique environnement de travail, le passage d'une étape à l'autre étant simplifiée par une totale compatibilité des ateliers et de l'absence d'export et d'import. Il faudra tout de même veiller à ce que la définition du modèle soit propre de façon à garantir sa parfaite intégration en tant qu'élément d'entrée dans un atelier aval.



Les étapes d'analyse de structure et de faisabilité seront directement pilotantes d'un point de vue géométrique. Il est donc primordial de vérifier la validité de leur résultat avant de modifier le 3D.

Utiliser un logiciel de CAO ne se réduit donc pas à définir du premier coup et le plus rapidement possible une géométrie parfaite.

La démarche itérative est faite pour converger vers la solution optimale. Modéliser complètement une pièce prend du temps alors, n'attendez pas que votre modèle soit complet et parfaitement défini.

Soumettez assez rapidement un brouillon de votre pièce pour confronter votre première idée au calcul, aux méthodes de fabrication, etc...

Il sera alors temps de produire une nouvelle idée et de la perfectionner plus tard.

2 Conception surfacique

Par nature, finalement moins libre, il s'agit ici d'une démarche visant à reproduire aussi fidèlement que possible une forme initiale donnée par un designer (au sens artiste) sur la base d'un modèle 2D ou 3D (physique ou virtuel) en utilisant des surfaces Nurbs.

Il n'y a ici pas nécessairement de démarche itérative même si l'on peut imaginer des allers-retours entre le dessinateur 3D Nurbs et le designer pour peaufiner la forme et optimiser les reflets.

Comme dans le cas précédent (pièce mécanique), il est souhaitable de partager rapidement son travail avec les métiers connexes avant d'ajouter nombre de détails qu'il faudra reprendre si la forme générale n'est pas acceptable.

9. Les 5 principes de base de la CAO



[Explication en Vidéo](#)

Assez simples à retenir, ces 5 principes apporteront du sérieux et du professionnalisme à vos modélisations.

Principe 1: *Etre le plus fainéant possible*

Cela veut dire que vous ne devez pas redessiner quelque chose que vous avez déjà dessiné et que vous ne devez pas dessiner deux fois la même chose. Ainsi, si la pièce présente des symétries ou des répétitions il est préférable de ne dessiner qu'une partie et de cloner pour en obtenir les autres.

Principe 2: *Préparer le modèle pour ce qui suit*

Il est préférable de construire le modèle en anticipant sur l'avenir de ce modèle. A quoi est il destiné ? Produire un maillage, servir en CFAO pour de l'usinage, produire un modèle brut...

Pour vous faire gagner du temps et également faciliter le travail des gens qui utiliseront votre modèle CAO il est bon de le prédisposer en faisant par exemple la séparation du brut et de l'usinage ou en proposant une extraction surfacique en vue du maillage pour les éléments finis.

Principe 3: *Calquer à la réalité*

Cela veut dire qu'il est toujours préférable de modéliser l'objet tel qu'il sera fabriqué en respectant autant que possible les étapes de la fabrication. On pourra pour une pièce métallique usinée séparer le modèle en deux sous parties brut et usinage. On pourra encore produire toutes les pièces métalliques pliées dans plusieurs modèles 3D et dans un assemblage (ASS) faire appel à celles-ci pour les souder les unes aux autres. On aura alors accès aisément aux différentes pièce alors que toute une construction dans un même modèle nécessiterait une extraction et certainement des complications.

Principe 4: *Ne pas chercher tout de suite la perfection*

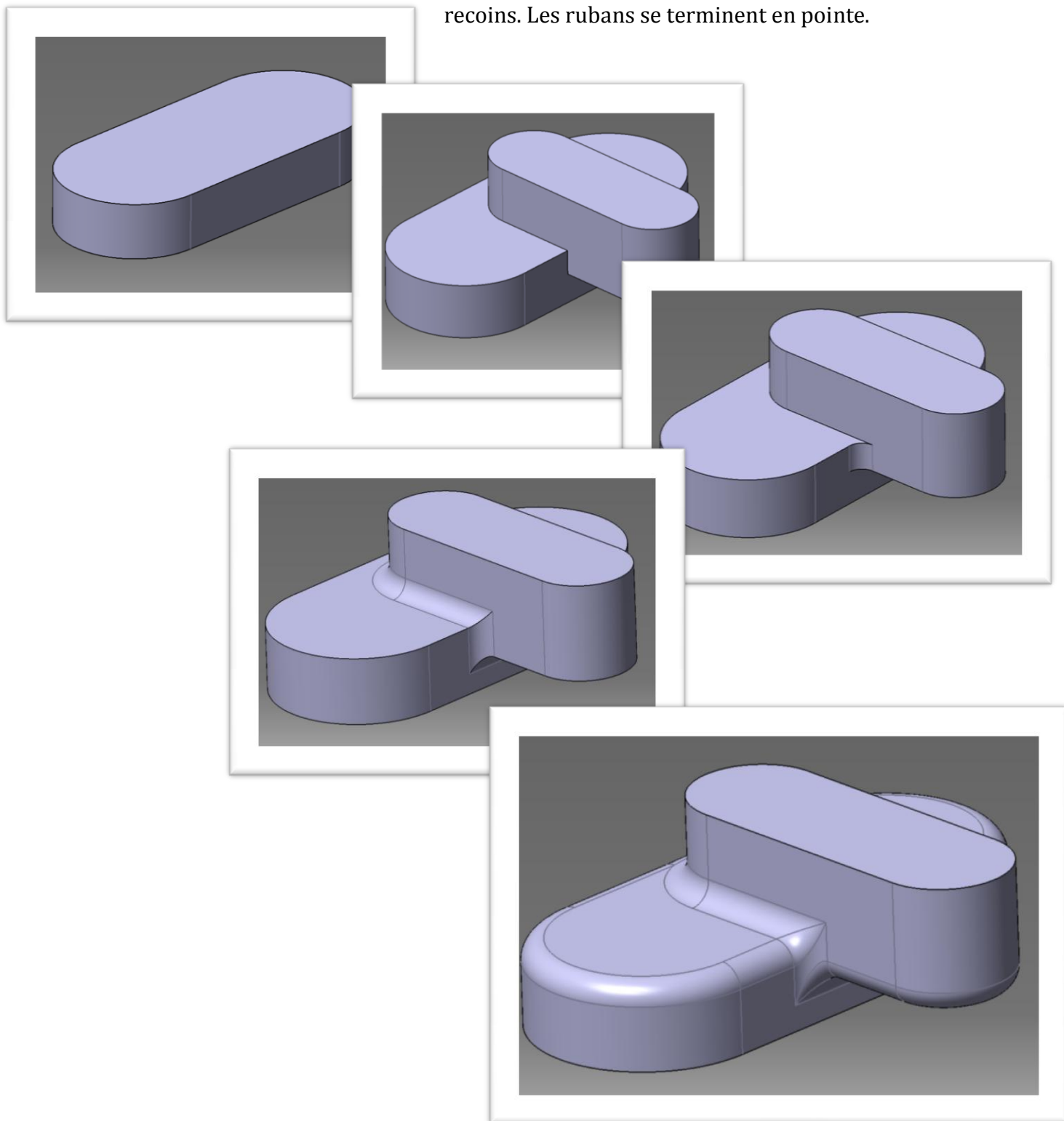
Il vaut mieux échanger dès le début du projet avec son client ou les métiers connexes sur la base d'un brouillon plutôt que de passer du temps à finaliser son modèle et s'apercevoir qu'il ne répond pas à certains critères. De la même façon, il vaut mieux ajouter les détails à la fin de la modélisation sur une base qui réponde pleinement aux exigences du produit et du process de fabrication et qui plus est soit aisément malléable lorsque l'on modifie les paramètres en entrée.

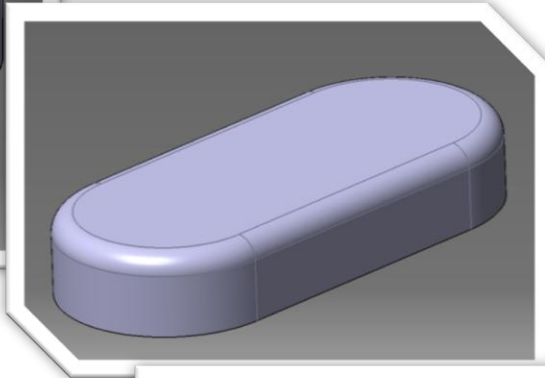
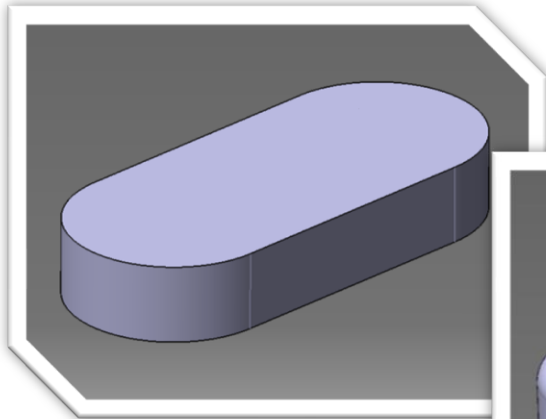
Principe 5: *Renommer les objets*

Pour y voir plus clair lorsque vous reprendrez votre modélisation dans le futur et aussi pour faciliter le travail de ceux qui l'utiliseront par la suite, il est toujours mieux de renommer les principaux éléments de la structure du modèle. Cela organise et fait gagner du temps par la suite.

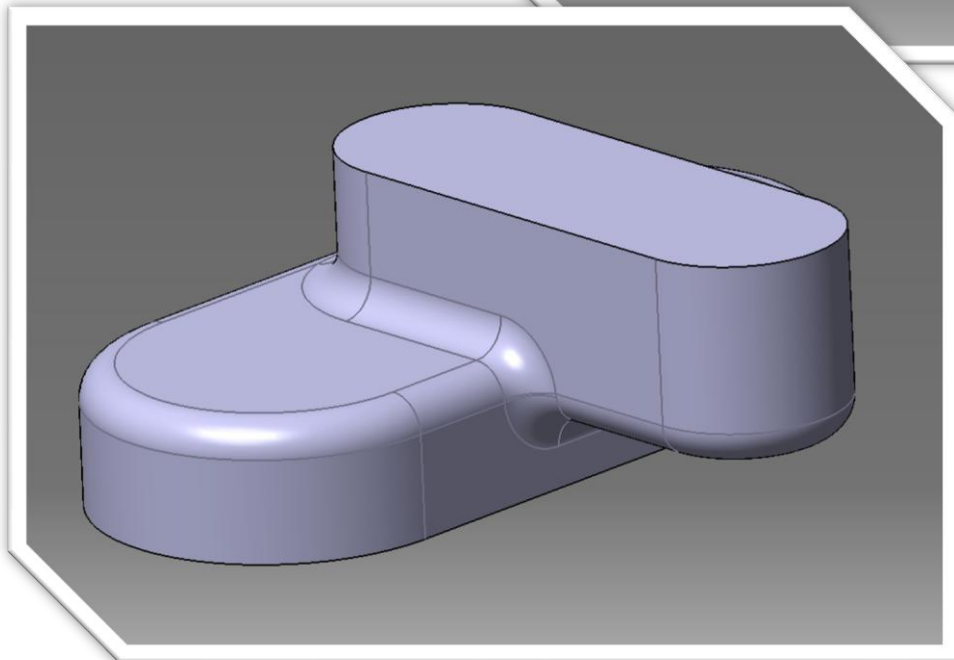
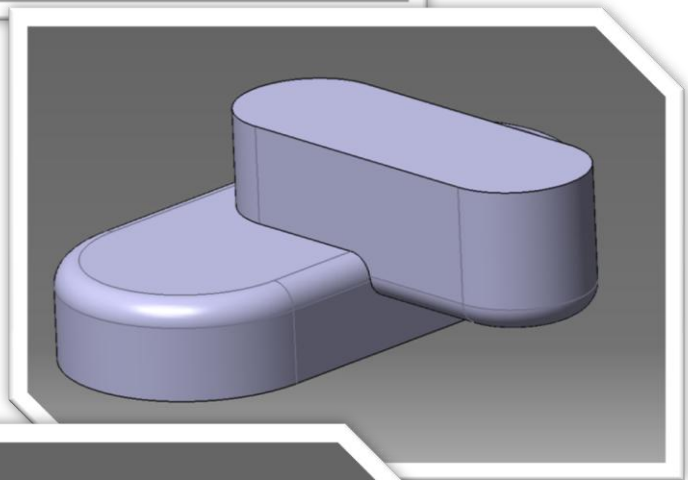
10. Quand placer les éléments d'habillage ?

En général, il faut placer les éléments d'habillage au plus proche de leur primitive. Dans la première séquence les deux blocs sont soudés et l'on cherche après coup à placer successivement les congés qui auront grand peine à trouver une place dans certains recoins. Les rubans se terminent en pointe.





Dans cette deuxième séquence les blocs sont tout de suite habillés avec un rayon. Un dernier rayon vient alors naturellement courir le long de la dernière arête vive en formant un ruban parfaitement continu et arrondi.

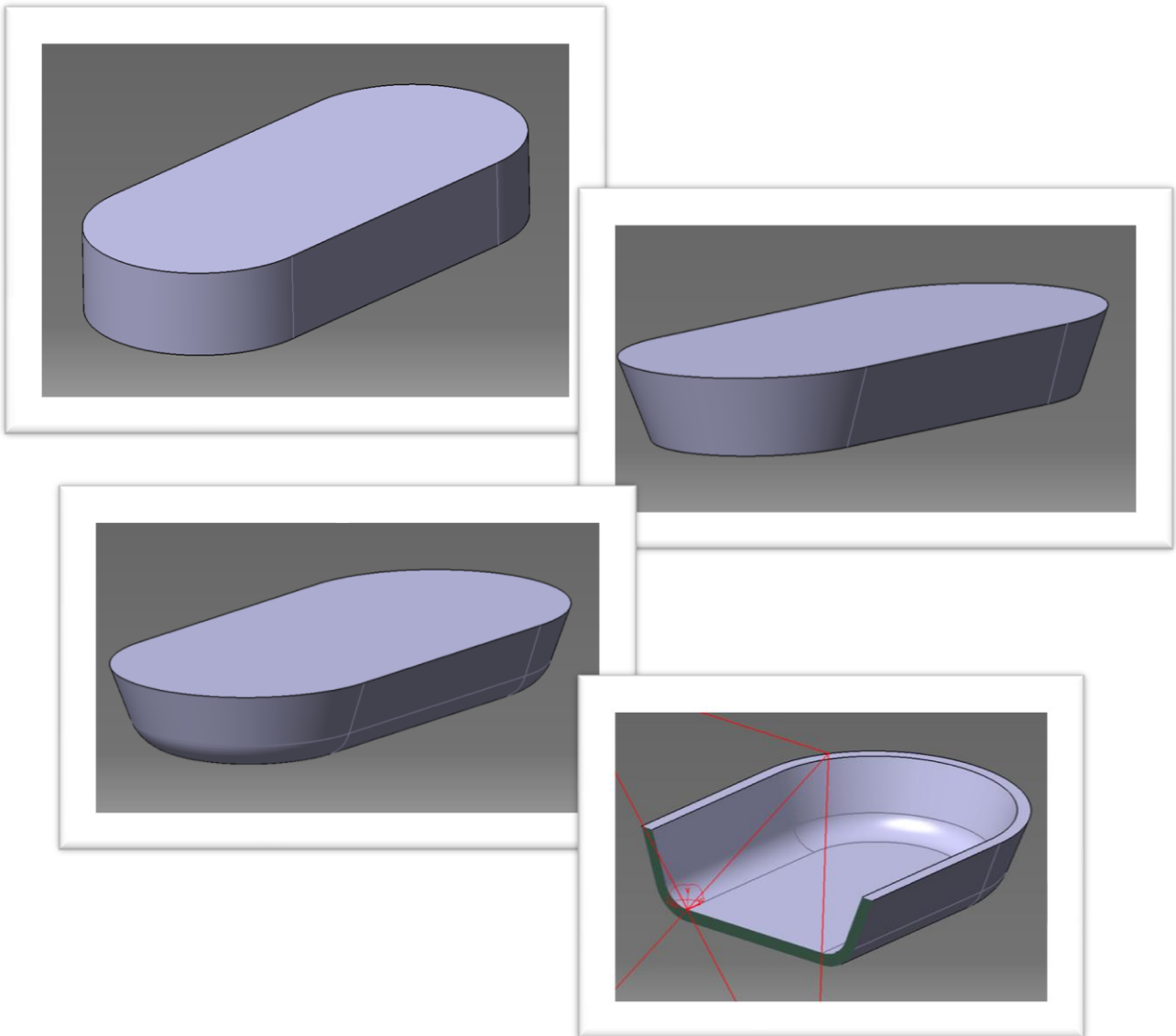


11. Ordre des éléments d'habillage

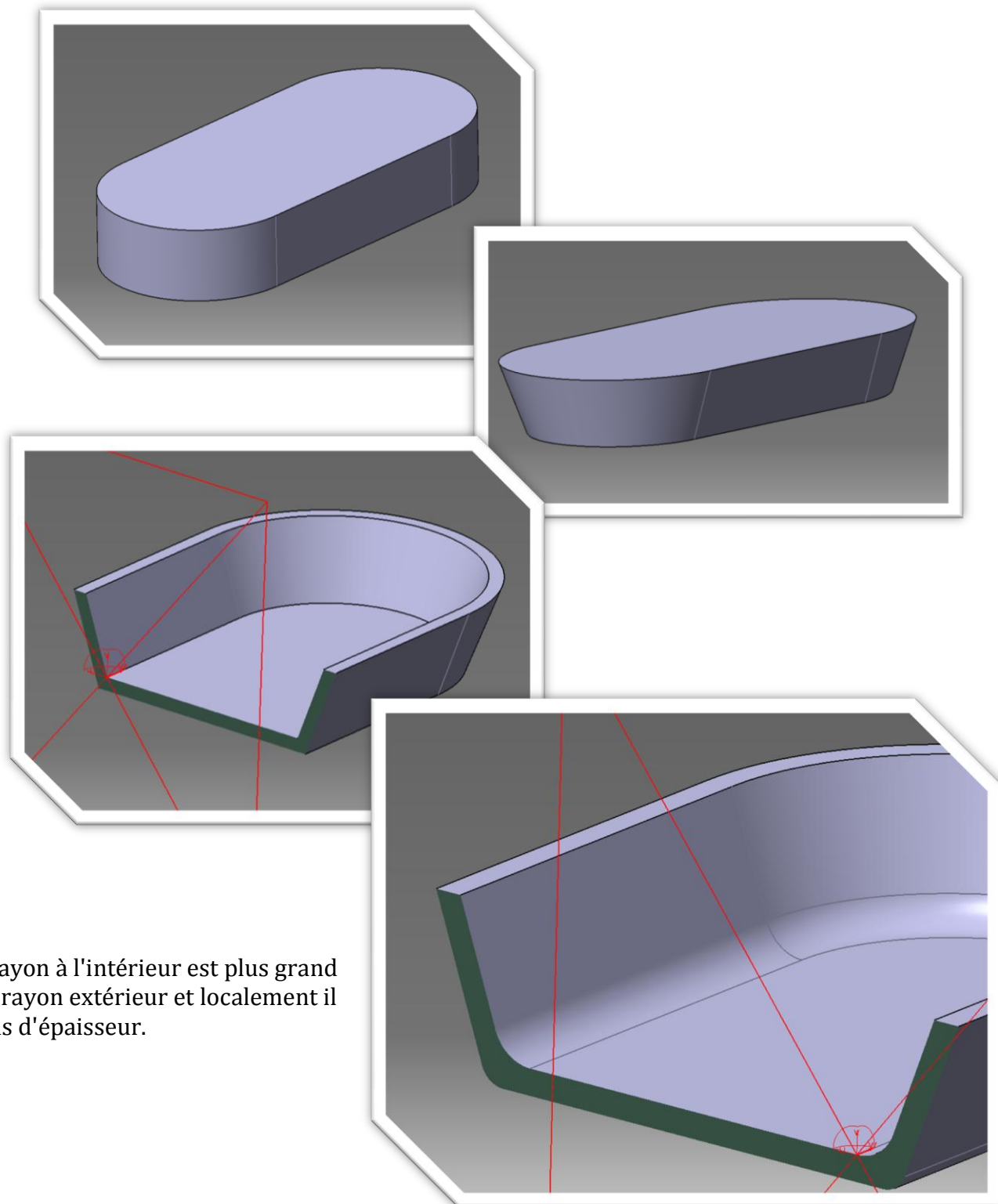
Toujours commencer par les dépouilles puis ce sont les chanfreins et congés.

Les opérations "coque" et "épaissir" sont plus litigieuses car cela dépend si l'on souhaite avoir une épaisseur constante ou non.

Dans le cas d'une épaisseur constante, il vaut mieux terminer par ces opérations qui fera un décalage global de la peau mais il faut veiller à ce que les rayons soient plus grands que l'épaisseur imposée.



Dans le cas où l'on souhaite garantir que l'opération d'épaississement ou coque se termine sans problème, on commence par cette opération et l'on impose les congés ensuite mais il existera alors certainement le double d'arêtes à traiter pour ajouter les congés et l'épaisseur locale pourra également si besoin être différente au niveau de ceux-ci.



Ici le rayon à l'intérieur est plus grand que le rayon extérieur et localement il y a plus d'épaisseur.

5. Les formats d'import et d'export

1. *Un formalisme nécessaire*

Les modèles 3D/2D sont stockés en interne avec des formats **spécifiques et propriétaire** à chaque logiciel de CAO. Ils sont cryptés en binaire et sont surtout incompatible avec les autres logiciels du marché.

Les formats peuvent donc être totalement différents d'une entreprise à l'autre et certains logiciels sont même incompatibles d'une version à l'autre (compatibilité descendante bien souvent).

Pour que les entreprises partagent leurs conceptions dans les **différents outils 3D**, leurs données doivent être **formatées dans un langage commun**. Ainsi, à l'import et à l'export, en utilisant les formats neutres **basés sur des normes internationales**, les données CAO sont converties en formats **compatibles**, qui peuvent être utilisés par d'autres logiciels de CAO, calcul ou FAO capables de les lire. Bien sûr, pour des raisons de confidentialité et pour éviter que les utilisateurs partent à la concurrence avec l'intégralité de leurs données, ces formats neutres ne transportent que la géométrie finale.

TYPES DE FORMATS NEUTRES

Les formats largement utilisés aujourd'hui sont les suivants:

Basés sur des normes officielles:

1. Initial Graphics Exchange Specification (IGES)
2. Stereolithography Tessellated Language (STL)
3. Standard for Exchange of Product data (STEP)
4. Virtual Reality Modeling Language (VRML)
5. Verband Der Automobilindustrie (VDA)

Basés sur un standard industriel:

1. Data exchange format (DXF)
2. AutoCAD Drawing (DWG)

1 Initial Graphics Exchange Specification (IGES)

IGES est utilisé comme un **outil universel**, fournissant un format neutre pour transférer les données d'ingénierie entre les systèmes de CAO / FAO. Le format IGES porte donc les surfaces et courbes mathématiques Nurbs. IGES est principalement un format **surfacique** mais les versions les plus récentes **intègrent** pleinement les modèles **solides**.
Le format IGES permet:



- La **définition** du produit comprend des données géométriques, topologiques et non géométriques
- La partie **géométrique** définit les entités géométriques à utiliser. (Wireframes, Surfaces ... etc)
- La partie **topologie** définit les entités pour décrire les relations entre les entités géométriques.
- La forme géométrique d'un produit est décrite en utilisant ces deux parties (la géométrie et la topologie).
- La **partie non géométrique peut être divisée en annotation, définition et organisation**. La catégorie d'annotation comprend des dimensions, des notations de rédaction, du texte, etc.

La catégorie de **définition** permet aux utilisateurs de définir des propriétés spécifiques par entité ou de collections d'entités. La catégorie d'organisation définit le regroupement d'éléments géométriques, d'annotations ou de propriétés.

Désavantages

- Quelque fois les échanges de données au format IGES entraînent **de légères pertes de données**. Mais même une perte mineure rend le fichier **inutilisable** pour la fabrication (FAO) ou le maillage (préparation au calcul).
- La **correction des erreurs** dans un fichier IGES importé à partir de différents logiciels CAO demande des **efforts considérables**, entraînant une perte de productivité (perte de temps)

IGES est le **premier réflexe** lors du choix d'un format d'échange neutre.

Dans le monde professionnel, ce format s'est imposé comme **une évidence** au tout **début** car il était le seul permettant un véritable échange. Il reste donc de nos jours encore **très présent dans l'intellect** des ingénieurs et il faut souvent expliquer que l'IGES est assez **peu fiable** (vous recevrez assez souvent des pièces dont certaines faces ont **disparues**).

Il est préférable de ne plus l'utiliser et **choisir** le format **STEP**.

2 Stereolithography Tessellated Language (STL)

Le format STL est largement utilisé dans le système de **prototypage rapide**. Le fichier STL est généré à partir d'un modèle CAO précis à l'aide d'un **processus de tessellation** (le format **génère les triangles** en peau pour **approximer** le modèle CAO).

Le format STL ne peut donc porter que des modèles polygonaux.

- Le fichier STL se compose **d'une liste non ordonnée de facettes triangulaires** représentant la surface extérieure de l'objet
- Ces facettes triangulaires sont décrites par un ensemble de **coordonnées X, Y et Z** pour chacun des trois sommets et un **vecteur normal unitaire** pour indiquer de quel côté de la facette se trouve à l'intérieur de l'objet.
- Les surfaces courbes doivent être décomposées en un certain nombre de facettes par le système de CAO avant d'exporter. Une **facetisation plus élevée** donne une surface plus **précise**, mais **augmente la mémoire** et l'exigence de calcul
- C'est le format **préféré** pour les programmes de **visualisation et d'analyse**, car ils ne nécessitent pas de données de surface précises. Il n'est cependant **pas approprié** pour la fabrication en **commande numérique** (CN), en particulier avec des facettes grossières.



3. Standard for Exchange of Product Data (STEP)



STEP (Standard for Exchange of Product data), comprendre “La Norme pour l’échange de données sur les produits” est proposée et gérée par l’Organisation internationale de normalisation (**ISO**).

Le STEP gère la géométrie **solide**, les **surfaces** et le **filaire**.

STEP ne définit pas seulement la forme géométrique d’un produit. Il comprend également la **topologie**, les caractéristiques, les spécifications de tolérance, les **propriétés des matériaux**, etc., nécessaires pour définir **complètement** le produit aux fins de conception, d’analyse, de fabrication, d’essai, d’inspection du produit.

STEP est un **ensemble de normes** pour représenter et échanger des informations sur les produits. Le développement est réalisé sous le contrôle de l’Organisation internationale de normalisation (**ISO**).

Si vous devez échanger en 3D, **n’hésitez pas une seconde**, prenez le STEP.

Par expérience, c’est le moyen d’échange **le plus fiable** et le plus **propre** pour donner ou recevoir un 3D.

Tous les modelleurs 3D savent le lire.

Avec ce format, on est sûr de recevoir un solide et donc de pouvoir travailler avec alors qu’un IGES même propre et fermé (ce qui est rare) ne sera jamais qu’un volume creux formé de surfaces qu’il faudra remplir souvent avec difficulté pour le transformer en solide.

4. Virtual Reality Modeling Language (VRML) ou WRL



VRML est un format de fichier pour décrire des **objets 3D interactifs**. Il est également un format d’échange pour les **graphiques 3D intégrés** et **multimédia** (pages HTML). L’objectif de VRML est d’intégrer des modèles 3D dans des **environnements virtuels**.

Les modèles peuvent être créés avec la **géométrie**, la **texture** et la **couleur**.

En outre, ces modèles peuvent être **animés** et les **effets sonores** peuvent également être incorporés.

Les graphiques VRML sont affichés à l’aide d’un **navigateur VRML**.

Les formats de fichier VRML sont aussi utilisés dans le prototypage rapide.

Un des avantages des fichiers VRML est qu’il contient moins de données redondantes par rapport aux fichiers STL

Les fichiers VRML sont très pratiques pour stocker les informations de couleur, textures... d'un modèle.

5. Verband Der Automobilindustrie (VDA)



VDA est une norme allemande et développée par l'Association allemande des constructeurs automobiles.

Il est principalement destiné au transfert de données surfaciques. Ce format n'est pas universellement utilisé. Il s'agit d'un format promu par les consortiums de l'industrie allemande.



6. Data exchange format (DXF)

DXF (Data exchange Format) a été développé par Autodesk. Il est largement utilisé pour échanger des données de trames 2D / 3D.

- Un fichier DXF est une représentation complète de la base de données de dessin **AutoCAD**. Certaines fonctionnalités ou concepts ne peuvent pas être utilisés par d'autres systèmes de CAO.
- La version DXF R13 prend en charge les représentations filaires, surfaciques et **solides**.
- Un fichier DXF se compose de quatre sections: En-tête, Table, Bloc et Entité.
- La section en-tête contient des informations générales sur le dessin. Chaque paramètre possède un nom de variable et une valeur associée. La section du tableau contient des définitions de types de lignes, de calques, de styles de texte, de vues, etc.
- La section bloc contient des entités pour les définitions de blocs. Ces entités définissent les blocs utilisés dans le dessin.
- Le format des entités dans la section bloc est identique à des entités dans la section entité.
- La section entité contient les entités de dessin, y compris les références de bloc. Les éléments dans la section entité existent dans la section bloc et les apparitions des entités dans les deux sections sont identiques.

DXF est un format lisible car il est au format ASCII.

Les 2D DXF sont vectoriels et peuvent servir de passerelle entre un logiciel de dessin vectoriel (Par exemple Inkscape format SVG) et un logiciel de CAO ou un logiciel de pilotage de machine de découpe laser.

De façon générale préférez échanger les 2D au format DXF.

7. AutoCAD Drawing (DWG)



DWG («dessin») est un format utilisé pour stocker des données de conception à deux ou trois dimensions. Le format DWG est développé par Autodesk et il est largement utilisé pour échanger des données de trames 2D / 3D.

DWG transfère la géométrie du modèle dans les fichiers binaires, alors que DXF représente les données au format ASCII.

8. CGM (Computer Graphics Metafile)



Comme le DXF et le DWG, le CGM est aussi une image vectoriel. Le format est libre, standard, ouvert et international. Il est défini par la norme ISO 8632. Certains logiciel de CAO comme Catia proposent une sortie CGM. Les logiciels de traitement de texte sont capables nativement de lire et d'incorporer ce type d'image.

Puisqu'il s'agit de vectoriel, le gros avantage est de garder la netteté de l'image quelque soit le niveau de zoom.

9. SVG (Scalable Vector Graphics)



Comme les précédents il s'agit d'une image vectorielle standard libre et ouvert. Les images sont codées dans un fichier texte lisible au format XML. Certains logiciels de découpe laser se basent sur ce format pour produire le code machine et piloter les axes.

2 Traducteurs

En fonction des exigences, les entreprises peuvent choisir de migrer leurs données CAO d'un logiciel vers un autre **sans passer par un format neutre**. Le modèle CAO créé dans le logiciel d'origine doit **être converti** dans un autre format **propriétaire**.

Dans ce cas, **un traducteur** est utilisé pour convertir les données CAO entre les deux logiciels. Il existe de nombreux traducteurs disponibles sur le marché.

Par exemple, si le modèle CAO original a été conçu et développé dans CREO, le traducteur aide à convertir les données CAO de CREO en CATIA (en précisant la version).

Certains traducteurs permettent de **recupérer l'historique** de construction (l'arbre). Ceci rend alors par exemple un modèle SolidWorks complètement **utilisable et modifiable** dans CATIA.

On peut alors **continuer l'étude** en changeant de logiciel.

Applications

- Les traducteurs sont très utiles pour migrer les données d'un outil de CAO vers un autre outil de CAO.
- La conversion par le traducteur est plus économique et plus rapide que le remodelage des données CAO
- Le processus de "reconditionnement des données manuel" peut être éliminé.

1 Quelques traducteurs CAO

- [3D evolution](#) (Il est indiqué qu'il conserve l'historique de construction)

- TransMagic Expert
- [Cat5Works](#)

2 Conclusion

Les éditeurs de modeleurs CAO **n'ont pas intérêt** à rendre leur produit compatible des autres modeleurs **concurrents**. Il est par contre **nécessaire**, pour une entreprise, de pouvoir **échanger** le strict minimum (3D, couleur, matière, ...) avec ses **clients et fournisseurs**.

Les **formats neutres** ou l'utilisation d'un **traducteur** répondent à cette problématique et sont largement utilisés pour échanger les données entre logiciels CAO. Cela permet surtout une **collaboration efficace** et surtout **sans risque** entre entreprises dans le cadre de l'élaboration d'un produit.

En guise de **conseil**:

Finalement, **oubliez l'IGES** et préférez le **STEP** pour les échanges 3D.

dans tous les cas, c'est du solide ou de la surface morte

6. 3D et Mise en plan



Explication en Vidéo

En CAO, on modélise au nominal. Seules les surfaces Nurbs (surfacique et solide) permettent la création de vue projetées très propres comme étant les projections et intersections de l'objet 3D avec le plan de la planche. Cela produit des courbes mathématiques sur lesquelles il est possible d'accrocher des cotes exactes. Produire un plan à partir d'un maillage polygonal ne générerait que des poly-lignes inexploitable.

Les tolérances ne seront généralement posées qu'au niveau du plan.

Il existe souvent un possibilité de mettre une tolérance sur une cote dès le début du travail dans les esquisses et de les prendre en compte ainsi que les tolérances géométriques dans le 3D pour notamment produire une chaine de cotes.

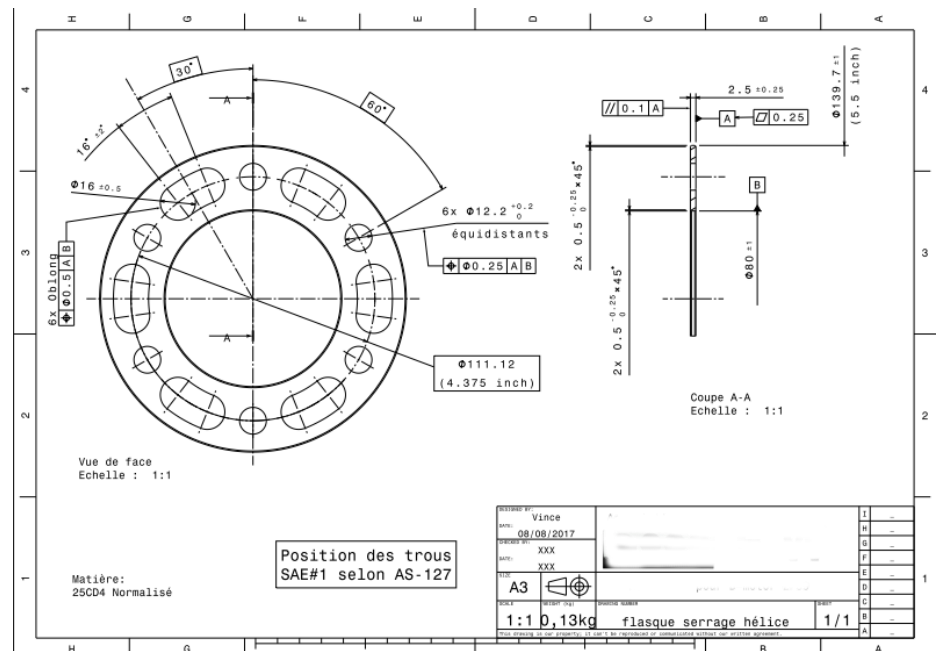
En 3D, on évite de représenter les petits détails géométriques comme les filets des vis ou les moletages.

Un série de trous ou de dents ne sera représentée que partiellement en 3D pour éviter de surcharger la mémoire et la carte graphique avec un grand nombre de faces. Cela limite également le temps nécessaire à la projection du 3D sur le plan.

1 Les vues

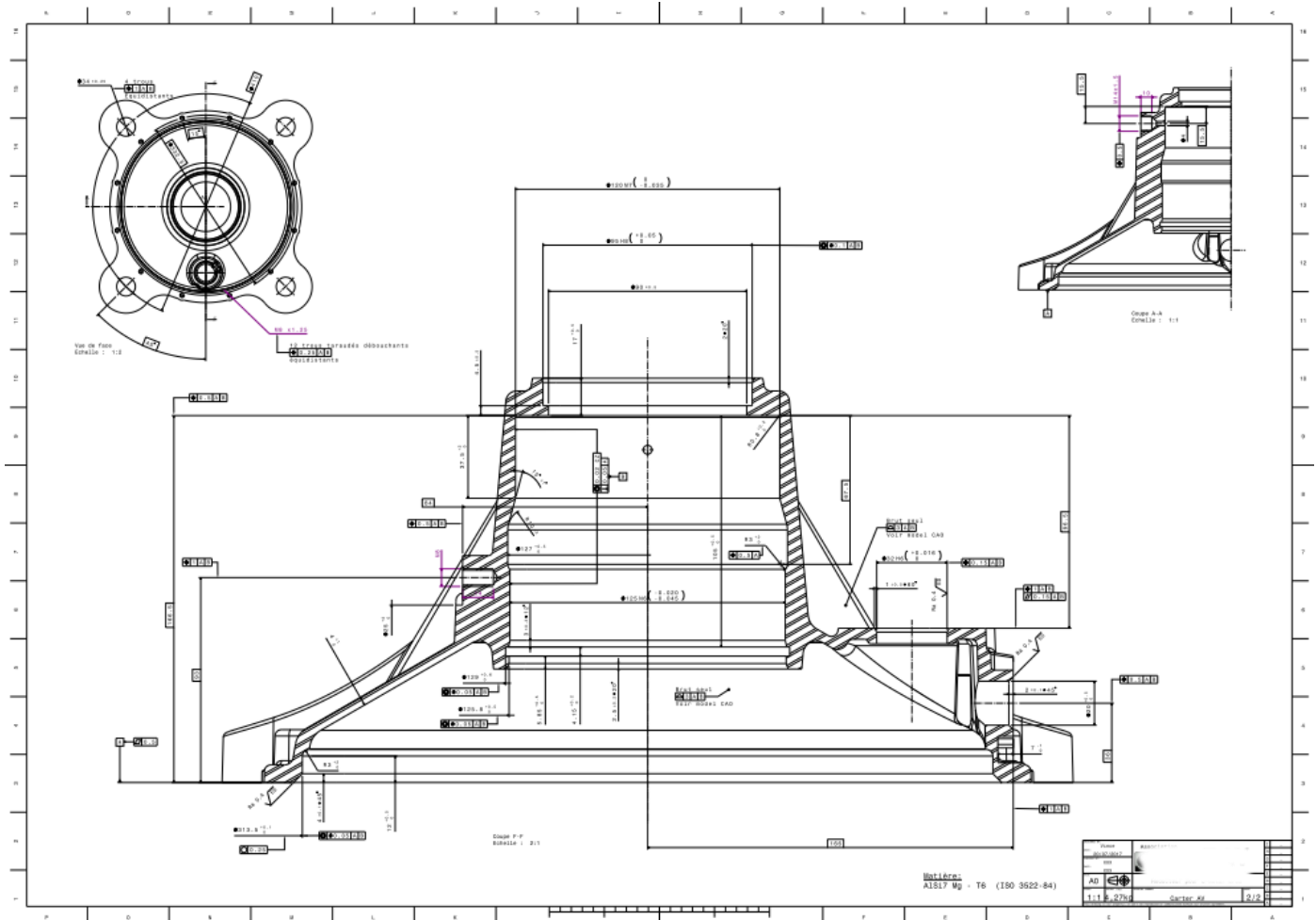
Minimiser le nombre de vues sur les planches. Si cela s'avère utile, faite plusieurs planches aérées plutôt qu'une seul surchargée. Toutes les vues projetées ne sont pas forcément utiles.

Une révolution n'a besoin par exemple que d'une ou deux vues (en coupe et de face) pour être comprise.



Préférer les grandes échelles car il y aura toujours beaucoup de choses à ajouter et les petits détails de forme sont générateurs de cotes.

Une vue globale assez grande vaut mieux qu'un jeu de piste avec des détails agrandis à tous les coins de la pièce qu'il faut chercher dans la planche.



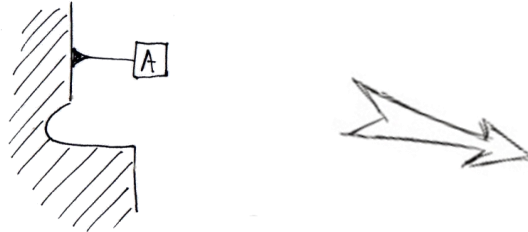
Dans cet exemple, ce carter est principalement représenté en coupe à une échelle importante. Le but est de montrer de façon globale l'ensemble des faces fonctionnelles (les cylindres en son centre et la grande face horizontale en bas) ainsi que les relations (cotation) qu'il existe entre ces surfaces.

On a ainsi, une vision globale et aérée du produit même si il est nécessaire de produire dans une autre planche quelques vues pour présenter le reste de la géométrie sous un autre angle.

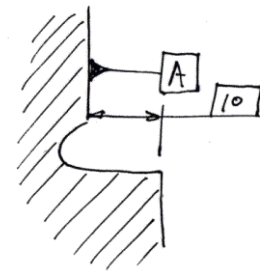
2 Cotes et tolérancement

Les cotes ne doivent pas être surabondantes. Pour bien coter un plan, il est préférable de procéder de la façon suivante:

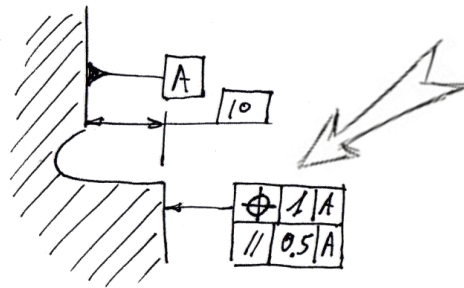
- Indiquer les faces fonctionnelles en les repérant.



- Traiter chaque face en vous assurant que vous avez mis les cotes nécessaires et suffisantes pour les positionner par rapport aux faces fonctionnelles avec des cotes encadrées ou des cotes directes si cela est faisable.



- Ajouter les tolérances et tolérances géométriques.



Il est aussi important de bien séparer les cotes et tolérances géométriques de façon à aérer le plus possible le plan. On peut également, pour plus de clarté même si cela n'est généralement pas d'usage, grouper les cotes et tolérances géométriques par couleur (une par surface fonctionnelle).

Les valeurs de tolérances impactent directement le prix d'un produit. Demander 5 centièmes de millimètre de tolérance sur une cote coûte plus cher que de demander 1 dixième.

N'abusez pas des valeurs serrées, bien au contraire, élargissez autant que possible vos tolérances là où cela est possible. Cela donnera de l'aisance au processus de fabrication et diminuera le coût de la pièce. Rappelez vous aussi que si la réussite de votre produit tient à une tolérance de quelques microns alors cela veut dire que c'est une mauvaise conception car au final il y aura soit beaucoup de rebuts soit beaucoup de retour de clients mécontents.

Une bonne conception doit admettre les petites dérives de la production sans pour autant mettre en péril son fonctionnement.

Pour aller plus loin:

<https://apprendre-la-cao.com/comment-faire-une-vue-en-couleur-dans-un-plan-de-catia/>

<https://apprendre-la-cao.com/comment-rendre-un-texte-dynamique-dans-un-drawing-de-catia-v5-en-2-etapes>

<https://apprendre-la-cao.com/comment-manipuler-les-tableaux-dans-un-drawing-de-catia-v5>

7. Produits standards de mécanique générale



[Explication en Vidéo](#)



Les 3D des pièces et fournitures de mécanique générale sont très facile à obtenir auprès des fabricants et distributeurs. Il serait dommage de consacrer du temps à modéliser ces pièces alors qu'elles sont disponibles et téléchargeables sur le net.

Il est facile de les trouver dans tous les formats de fichier 3D sur des sites comme [TracepartsOnline](#).

Les cas particuliers sont les engrenages, les cannelures dont la diversité est telle qu'il est plus commode de les dessiner. Identiquement, les courroies et les ressorts adaptés à leur environnement seront spécifiques à chaque études. On pourra toutefois se créer quelques automatismes et jouer de la paramétrie pour gagner du temps dans cette tâche.

Le site [GrabCad](#) est aussi une source de modèles 3D mis à disposition gratuitement par une communauté d'utilisateurs modélisant pour plaisir dans différents formats 3D.



leur

8. Devenir autonome sur un soft CAO

1. Les grandes étapes de l'apprentissage

Quelque soit le logiciel CAO professionnel voici, dans un cadre **Ab initio**, les éléments à découvrir et acquérir pour **être rapidement "à l'aise"** en modélisation de pièces **mécaniques solides** voire de style (dans une certaine mesure):

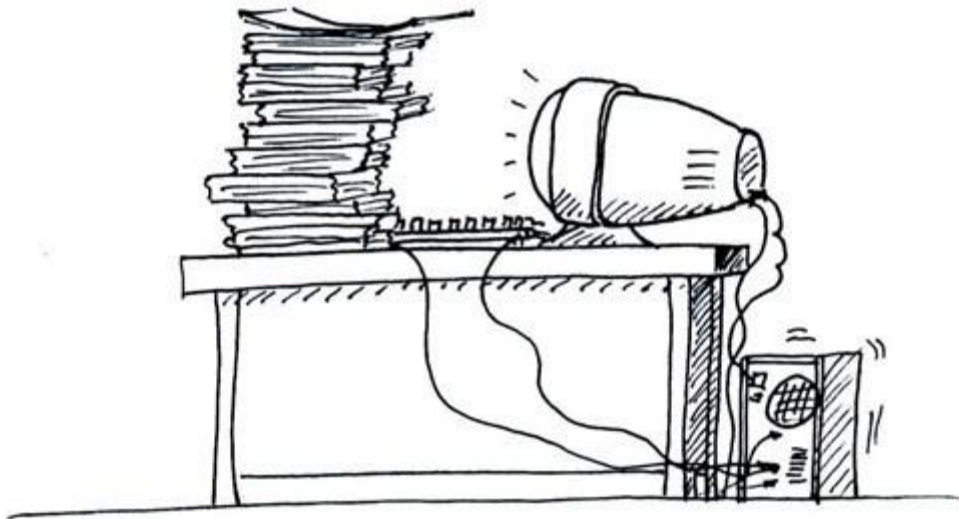
- 1- **Comprendre l'interface du logiciel** (ateliers, fenêtrage, boites d'outils, arbre des spécifications,...) et la manipulation de la souris pour manipuler aisément le 3D.
- 2- **Comprendre qu'il existe des environnements** de travail pour les « pièce » et les « assemblage » principalement.
- 3- **Comprendre l'organisation des éléments** à l'écran vis à vis de l'associativité (pour les modeleurs paramétriques et associatifs)
- 4- Savoir **qu'il existe des éléments solides et des éléments surfaciques** et qu'ils peuvent interagir.
- 5- Savoir **construire une esquisse ou un profil filaire**.
- 6- Savoir **produire une forme basique solide** à partir d'un profil (extrusion, révolution,...)
- 7- Utiliser les **éléments d'habillage** (chanfrein, rayons, dépouilles,...).
- 8- Savoir agir sur les **relations** « parent/enfant » entre les éléments.
- 9- Comprendre et utiliser la **paramétrie** en liant des cotes et en **créant des formules** pilotantes.
- 10- **Produire des assemblages** vivants avec des **contraintes** de positionnement.
- 11- Produire des **plans 2D** pour communiquer.

Ces **étapes** sont celles de la **modélisation solide** et cela couvre **95% des besoins** de l'industrie (hors pièces de robe et de style).

C'est le **niveau de connaissance** que l'on demande à un **technicien en BE** ou à un **élève ingénieur**. Avec ça et **un peu d'expérience**, on peut modéliser des **pièces assez complexes** avec toutes les **contraintes** inhérentes à la fabrication des **pièces classiques** (Pièces brutes et usinées, pièces moulées, pièces forgées, ...).

Et puis, une fois que l'on a **atteint un niveau** tel que l'on arrive à modéliser **à peu près tout ce que l'on veut**, il s'ouvre, dans les suites de logiciels CAO, tout **un univers d'ateliers** qui vous permettra d'aller **encore plus loin dans vos conceptions** comme le calcul aux éléments finis, la cinématique, la robotique, l'ergonomie, etc...

Quoi qu'il en soit, les logiciels CAO sont **par nature très ergonomiques** et l'on trouve **rapidement une aisance** en l'utilisant régulièrement.



Il m'arrive de m'attaquer à la découverte d'un logiciel de modélisation 3D.

je procède toujours de la même façon en découvrant l'interface graphique (comment sont rangés les outils ?) puis en me faisant la main sur la manipulation du 3D (rotation, translation, zoom). Cela demande un temps d'adaptation et il est déstabilisant de changer de logiciel rien que pour ça car, avant que de nouvelles connexions neuronales se fassent et nous rendent à l'aise, cela exige une attention assez forte que l'on ne peut pas consacrer à autre chose.

Viennent ensuite à chaque étape les questions classiques:

J'aimerais bien faire maintenant un balayage. Ah, le bouton est là. Bon comment ça marche ? Ah oui, il faut mettre les profils là et le guide ici, OK... Bon ça ne marche pas !

Et l'on est parti pour quelques minutes de recherche sur le net ou dans la documentation du logiciel...

Quoi qu'il en soit, on finit par arriver à nos fins car on a la démarche en tête. On sait où l'on va, par quelles étapes il faut passer pour produire ce 3D. C'est juste qu'il faut passer du temps à trouver ses outils.

2 Manque de temps

Si il est entendu que l'apprentissage de la conception solide est plus facilement accessible que la conception surfacique, il y a tout de même bien deux choses consommatrices de temps pour le débutant en CAO :

- La connaissance de l'interface
- La logique de construction

La connaissance de l'interface et de ses outils demande une adaptation de l'utilisateur donc un apprentissage qui peut être plus ou moins long en fonction du temps que l'on peut y consacrer. Il faut alors chercher dans la documentation ou des exemples sur le net pour comprendre la philosophie de l'outil.

Plus contraignant encore est la faculté des algorithmes à accepter en entrée des choses plus ou moins propres. Certains logiciels présentent des automatismes permettant d'améliorer les éléments d'entrée ou d'être plus permissif, d'autres exigeront la perfection de la part de l'utilisateur pour produire de nouveaux éléments.

C'est ce que l'on pourrait appeler la prise en main du logiciel.

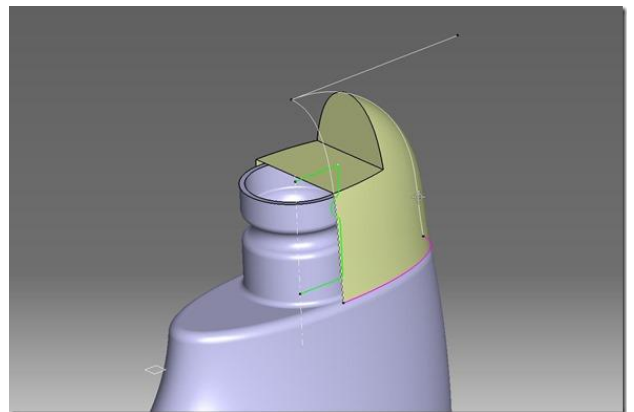
La logique de construction, par contre est le point sur lequel vous pouvez rattraper le temps que vous dépenserez à apprivoiser votre logiciel.

Quelque soit le soft, vous construirez votre pièce de la même façon car l'approche solide ou même surfacique est pour ainsi dire la même pour chaque modelleur CAO.

9. Solide ou surfacique ?

Le solide est bel et bien basé lui aussi sur des surfaces Nurbs. Qu'il soit d'une construction simplement basée sur des opérations booléennes entre primitives canoniques comme dans Catia V4 ou sur des esquisses comme dans les outils de CAO du moment, il fait bien intervenir discrètement des opérations d'intersection, d'unions, etc... entre surfaces Nurbs.

La chose est entièrement automatisée ce qui fait gagner énormément de temps à l'utilisateur qui n'a plus qu'à se concentrer sur l'essentiel de son métier. Pour s'en convaincre, on pourrait tout à fait construire un modèle en utilisant des surfaces Nurbs que l'on ferait s'intersecter pour les découper et récupérer le bon côté. On les assemblerait pour fermer ce que l'on pourrait appeler un volume. A l'œil, on aurait alors l'impression d'avoir devant nous un solide mais il n'en est rien du fait qu'il s'agit ici d'une boîte creuse.



Le solide apporte une notion supplémentaire de sens matière permettant de creuser le modèle comme si il s'agissait d'un objet massif mais également d'obtenir des informations comme la masse et les moments d'inertie.

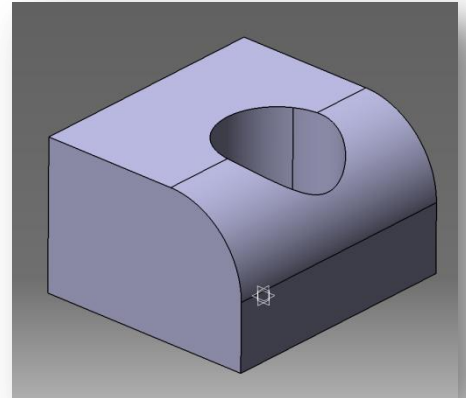
1 *Faire le bon choix*

Si il est entendu que les constructions solides sont par nature des constructions surfaciques automatisées il est important de comprendre qu'il existe une limite technique à l'utilisation des constructions solides.

Prenons un exemple simple en faisant un trou cylindrique dans une pièce à cheval entre une face plane et un congé cylindrique.

Pour réaliser cela, la machine va devoir prendre en compte l'intersection de deux solides (des volumes dont la matière et orientée).

L'intersection des deux surfaces fermées va donner une courbe. Celle-ci va servir à découper chacun des éléments d'entrée. Nous aurons alors quatre morceaux surfaciques. Certains vont être simplement supprimés et les autres conservés pour former la nouvelle géométrie souhaitée pour cette opération. C'est alors l'orientation de la matière qui apportera au logiciel l'information manquante quant au choix des parties à conserver. Par rapport à la conception volumique (surfacique fermé sans notion de sens matière) la conception solide apporte cette intelligence qui nous rapproche de la matière physique et donne tout son sens à une modélisation intuitive pour l'humain qui n'a plus à ce stade à intervenir pour indiquer à la machine si telle ou telle partie doit être conservée.



La construction solide, afin d'être robuste dans ses opérations doit être limitée au simple fait de proposer des continuités en tangence.

Il n'est pas impossible de proposer des continuités en courbures. Certains modeleurs solides comme Catia Part Design proposent par endroit cette possibilité mais cela complexifie inutilement les opérations et risque de faire intervenir l'utilisateur dans la résolution de problèmes de mise à jour.

Le solide propose donc par défaut des continuité en point (G0) et en tangence (G1) pour des raisons calculatoires.

G0 est une obligation car un solide est nécessairement fermé. G1 n'est utilisé qu'au niveau des rayons de raccordement comme les congés d'arêtes.

Comme il n'y a pas de sens matière dans l'élaboration d'une construction surfacique, il n'est pas possible de l'automatiser. La machine ne peut pas décider si il faut garder un coté plutôt qu'un autre et l'opérateur doit prendre cette décision à chaque étape.

Le solide, du fait de la présence de cette notion de sens matière est l'outil de prédilection de la conception mécanique. Que ce soit une pièce massive ou une tôle fine, il existe toujours une épaisseur et une orientation permettant à la machine de différencier d'elle-même le coté extérieur du coté intérieur. Ceci facilite grandement la production du 3D en automatisant les opération surfaciques qui sont à la base du solide. Cela présente toutefois certaines limites techniques en limitant les continuités en G1 (tangence) ce qui exclut cette démarche de la production de surfaces de style.

En surfacique, on ne peut pas automatiser grand chose car la machine ne peut pas deviner quelle partie il faut garder lors des opérations booléennes car il n'y a pas de sens matière. Cette conception

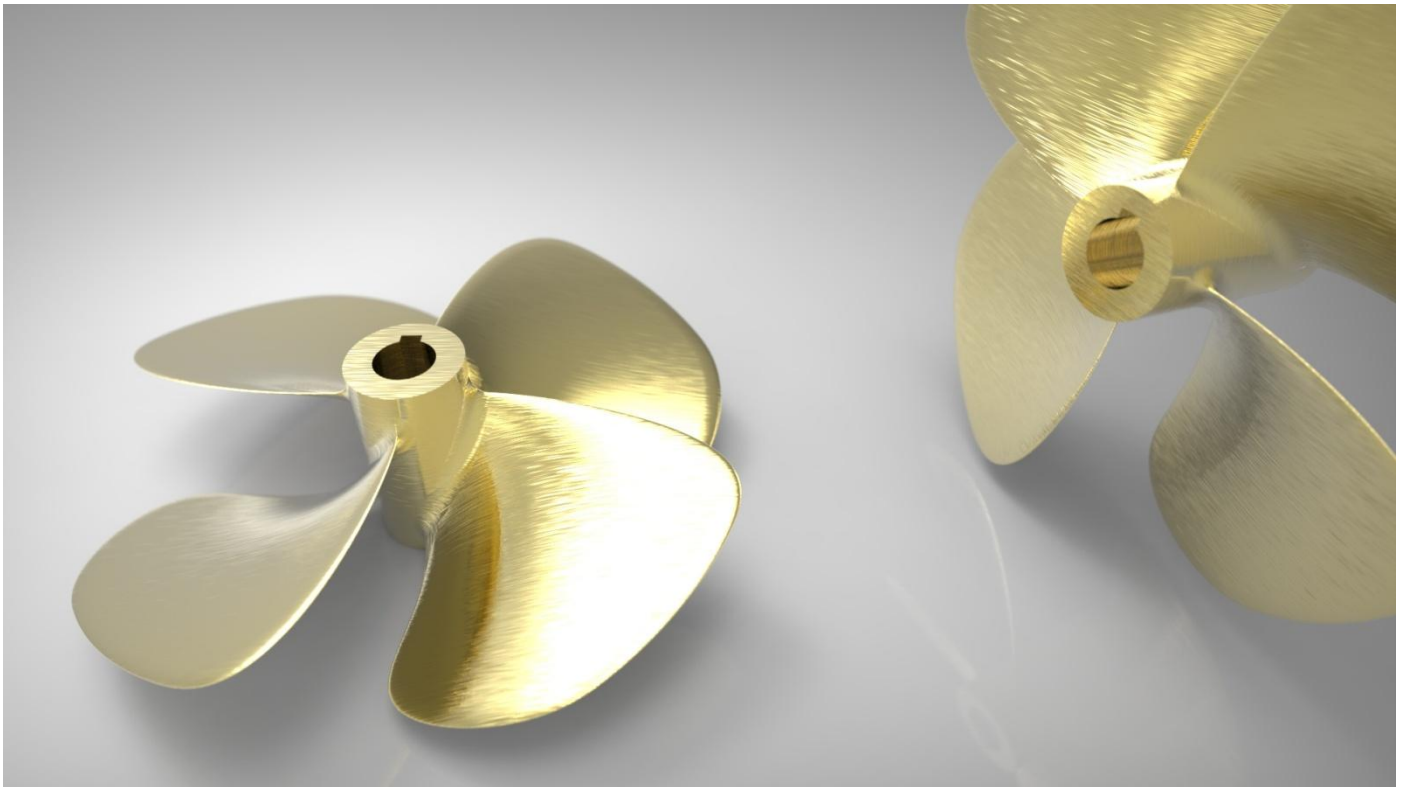
surfaccique est donc complètement explicite c'est à dire que l'opérateur doit en permanence intervenir dans le choix des opérations.

Le solide présente un grand intérêt également dans le sens où il représente très fidèlement la réalité de la matière et permet d'en extraire les masses et surfaces ainsi que les moments d'inertie qui sont des informations très utiles pour le concepteur. Ce genre d'information est impossible à fournir avec un modèle surfaccique ou volumique.

2 Pourquoi pas les deux ?

Aujourd'hui, la frontière entre ces deux domaines est moins marquée du fait que les suites de logiciels comme Catia, Nx, Solidworks,... proposent une parfaite mixité entre les éléments purement solides et surfacciques.

Un objet surfaccique pourra être épaissi ou rempli pour en faire un solide et ainsi représenter physiquement les choses. La surface de style d'un capot d'automobile, sans épaisseur, pourra facilement être épaissie de quelques dixièmes de millimètre et affublée de la masse volumique d'un acier afin d'en obtenir la masse.



On pourra aussi très bien faire l'inverse en faisant l'extraction de la surface d'un solide pour faire une amélioration surfaccique avec pourquoi pas un autre outil que celui qui a produit le solide.

Dans ces deux cas, il n'y a pas forcément de lien dynamique entre le surfaccique et le solide et il peut y avoir des oublis dans les mises à jour.

Dans Catia GSD et dans d'autres logiciels, le surfaccique implicite s'y prête particulièrement bien en apportant les outils parfaitement couplés et permettant de pallier aux manques des 'ateliers de conception solide.

Apporter un peu de mixité solide/surfacique impose de à l'utilisateur de montrer explicitement, au moins la première fois à la création, les cotés à conserver dans les opérations booléennes.

Cela est une nécessité pour que le solide soit bien fermé mais ce n'est pas suffisant car pour que les automatismes de mise à jour se déroulent correctement, il est obligatoire d'avoir une parfaite associativité entre les éléments solides et surfaciques. En effet, en cas de mise à jour, les éléments surfaciques doivent suivre les déplacements des surfaces du solide pour ne pas créer d'ouvertures. Dans Catia V5, seul l'atelier GSD propose des éléments surfaciques parfaitement vivants, c'est à dire présentant une associativité avec les éléments qui sont leurs parents.

Dans cet exemple, du fait des limitations de la conception solide (plans, cylindres, cônes, tores, etc...) ce raccord est impossible à obtenir facilement en utilisant les outils de Part Design.

On a alors intercalé une construction surfacique dans l'arborescence solide au moyen d'un set géométrique.

Ceci fonctionne assez bien mais il faut que la construction surfacique soit bien faite pour qu'il n'y ait jamais d'apparition de trous lors d'une mise à jour.

Il arrive parfois qu'une surface ou une courbe change d'orientation pendant une mise à jour. Cela conduit à une géométrie imprévue et à l'échec de la mise à jour du solide maintenant ouvert.

Dans ce type de construction, il faut veiller à bien identifier les entités solides qui sont en liaison avec la construction surfacique afin de ne pas provoquer de boucle de mise à jour.

Sur le même principe, on peut imaginer d'autres constructions solides pour lesquelles l'ajout d'éléments surfaciques apporte une dimension intéressante:

Découpage de la surface, Construction autour d'un plan de joint, Etc...

Le surfacique associatif comme dans Catia GSD permet de faire ce lien entre le solide et le surfacique afin de surpasser les limitations de la conception purement solide. Cela permet de conserver une bonne partie des automatismes de mise à jour et aussi de garder cette notion importante de sens matière qui nous est si familière.

Si cela apporte un plus dans le travail du concepteur mécanique, cela n'en est pas moins une contrainte pour le styliste dont le seul but n'est pas de garantir une mise à jour de son modèle 3D mais d'avoir une complète maîtrise des formes sans avoir la contrainte des automatismes liés à l'épaisseur de la matière.

Dans ce cas, l'associativité entre les éléments sera une aide, bien sûr mais pas une obligation. Le Styliste aura pour objectif de retravailler localement des formes, il ne souhaitera pas que les mises à jours, par une cascade, déforment globalement son produit.

Pour illustrer le couplage solide / surfacique, un article du blog:

<https://apprendre-la-cao.com/construction-d-une-helice-marine-en-surfacique-catia-v5/>

10. Solide paramétrique et associatif

1. La paramétrie



[Explication en Vidéo](#)

La paramétrie est un des pans les plus intéressants des outils de CAO du moment. Présent dans tous les logiciels associatifs, cela permet réellement de concevoir en apportant une intelligence à la conception de la pièce.

On pourra alors créer des relations entre les paramètres de manière à les rendre dépendants ou proportionnels.



FreeCad, basé sur le moteur Nurbs OpenCASCAD présente les principaux outils des logiciels de CAO du moment. Il présente une associativité entre les éléments et possède un outil permettant de produire des relations entre les paramètres.

Un logiciel 3D est dit paramétrique lorsqu'il est possible de modifier les attributs (longueurs, matière et autres paramètres...) au moins à la création de l'élément.

Bien entendu cela prend une dimension bien plus intéressante lorsque l'on peut intervenir sur ces paramètres après coup pour revenir sur la construction des primitives.

Certains logiciels le sont plus ou moins. Lorsque l'on a comme dans Catia, Solidworks, Nx, Créo, ... la possibilité de modifier tous les paramètres du modèle dans les moindres détails et que cela aura un impact sur la construction dans sa globalité (mise à jour), la construction est alors orientée objet.

En informatique, une construction orientée Objet veut dire qu'il y a un lien de parenté entre les éléments.

Dans Catia, par exemple, une extrusion est objet du corps de pièce qui est objet de la Catpart qui peut aussi être objet d'une Catproduct.

Tout est objet et les objets sont imbriqués les uns dans les autres. Lorsque l'on modifie par exemple l'esquisse de notre extrusion, on modifie une entrée de l'objet extrusion et celui-ci est forcément impacté par ce changement puisqu'il n'existe que par la présence de cette entrée (son parent).

Lorsque l'on n'a pas de construction Orientée Objet, chaque élément est produit à partir de données d'entrée fixe sur lesquelles on ne pourra pas revenir.

C'est le cas de Rhinoceros 3D par exemple dans lequel une modification à posteriori de d'une courbe à l'origine d'une surface ne produira aucun changement sur cette dernière.

Nous l'avons vu dans la première partie (livre 1), ce comportement s'appelle l'associativité. C'est essentiel pour l'ergonomie et l'efficacité du travail est cela est purement dicté par un choix initial de programmation informatique sur le cœur même du moteur 3D du logiciel.

Transformer un logiciel pour le rendre associatif (donc Orienté Objet) reviendrait donc à le réécrire complètement.

Rien d'étonnant alors à ce que le prix de vente d'un logiciel de style pourtant Classe A comme Rhinoceros soit grandement inférieur à celui d'un logiciels de modélisation classe A associatif comme Alias Automotive par exemple.

Quelques articles du blog pour illustrer la paramétrie sur Catia:

<https://apprendre-la-cao.com/la-parametrie-dans-catiav5-comment-a-marche>

<https://apprendre-la-cao.com/les-formules-dans-catiav5-a-sert-quoi>

<https://apprendre-la-cao.com/catiav5-comment-optimiser-facilement-la-taille-dun-bidon-vers-un-volume-cible>

<https://apprendre-la-cao.com/un-moule-a-tarte-parametre-sur-catia-v5/>

<https://apprendre-la-cao.com/catiav5-lhomognit-des-formules-ou-la-conformit-des-magnitudes/>

2 Rôle des liens (conception Multi-modèles)



Explication en Vidéo

En conception associative il est possible de faire des liens de parenté entre les éléments au cœur du modèle mais également de lier des éléments qui se trouvent dans des modèles différents.

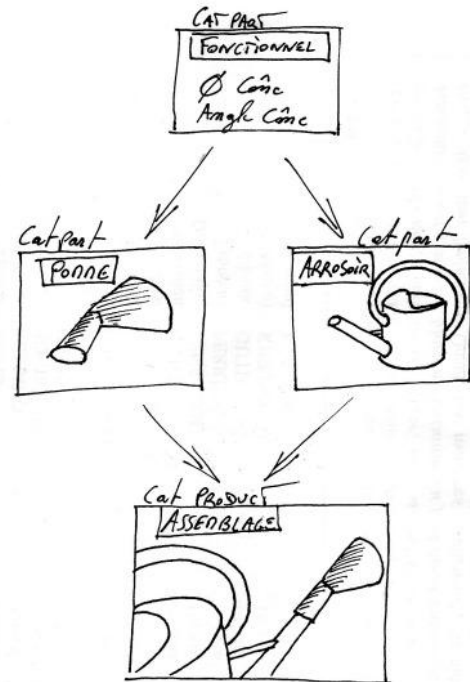
On pourra ainsi construire en contexte en s'appuyant par exemple, dans un environnement d'assemblage (Product sur Catia), sur des éléments qui ne sont pas dans le modèle que l'on est en train de produire.

Il sera alors possible de travailler en groupe sur un produit où chacun aura en charge une pièce d'un assemblage.

La conception multi-modèles permet de transmettre de l'information d'un modèle à un autre en utilisant des "liens multi-modèles". Les objets transmis peuvent être de différents types allant de la simple variable à des éléments 3D complets.

Les intérêts sont nombreux pour le ou les concepteurs:

- Un modèle dit fonctionnel peut en "piloter" un ou plusieurs autres en imposant des variables (longueurs, angles, nombre entiers, valeur de surface, forme d'esquisse, etc..).
- Un modèle source peut imposer une géométrie standard pour plusieurs produits comme la forme d'une découpe que l'on retrouvera sur tous les produits d'une gamme.
- Un modèle complexe peut être décomposé en plusieurs sous parties afin d'alléger le fichier
- Un modèle complexe peut être décomposé en plusieurs sous parties pour répartir la charge de travail sur plusieurs dessinateurs et/ou concepteurs.



Dans cette suite d'articles du blog on voit comment s'organise une construction multi modèles avec un arrosoir, sa pomme et le modèle d'architecture fonctionnelle qui les chapeaute:

<http://apprendre-la-cao.com/comment-realiser-une-pomme-darrosair-catia-v5>

<https://apprendre-la-cao.com/dessiner-un-arrosair-en-surfacique-sur-catia-v5>

<http://apprendre-la-cao.com/dessiner-un-arrosair-en-surfacique-sur-catia-v5-part-2>

11. Pièce ou assemblage ?



[Explication en Vidéo](#)

Une pièce primaire est un objet qui est constitué d'un ou de plusieurs constituants et est produit par ajout (moulage, soudure, rivetage) ou enlèvement de matière (usinage) et est par nature indémontable.

Par opposition, il existe des produits constitués de pièces primaires et qui sont par nature démontables.

En conception mécanique, il convient donc de faire une distinction entre un assemblage (ASS) et un ensemble (ENS):

- Un assemblage (ASS) est un produit (pièce primaire) constitué de sous parties qui sont indémontables sans meurtrir ou détruire une partie de ses composants.



- Une ensemble (ENS) est un produit constitué de sous parties qui sont démontables facilement sans abîmer les composants qui seront alors réutilisables.

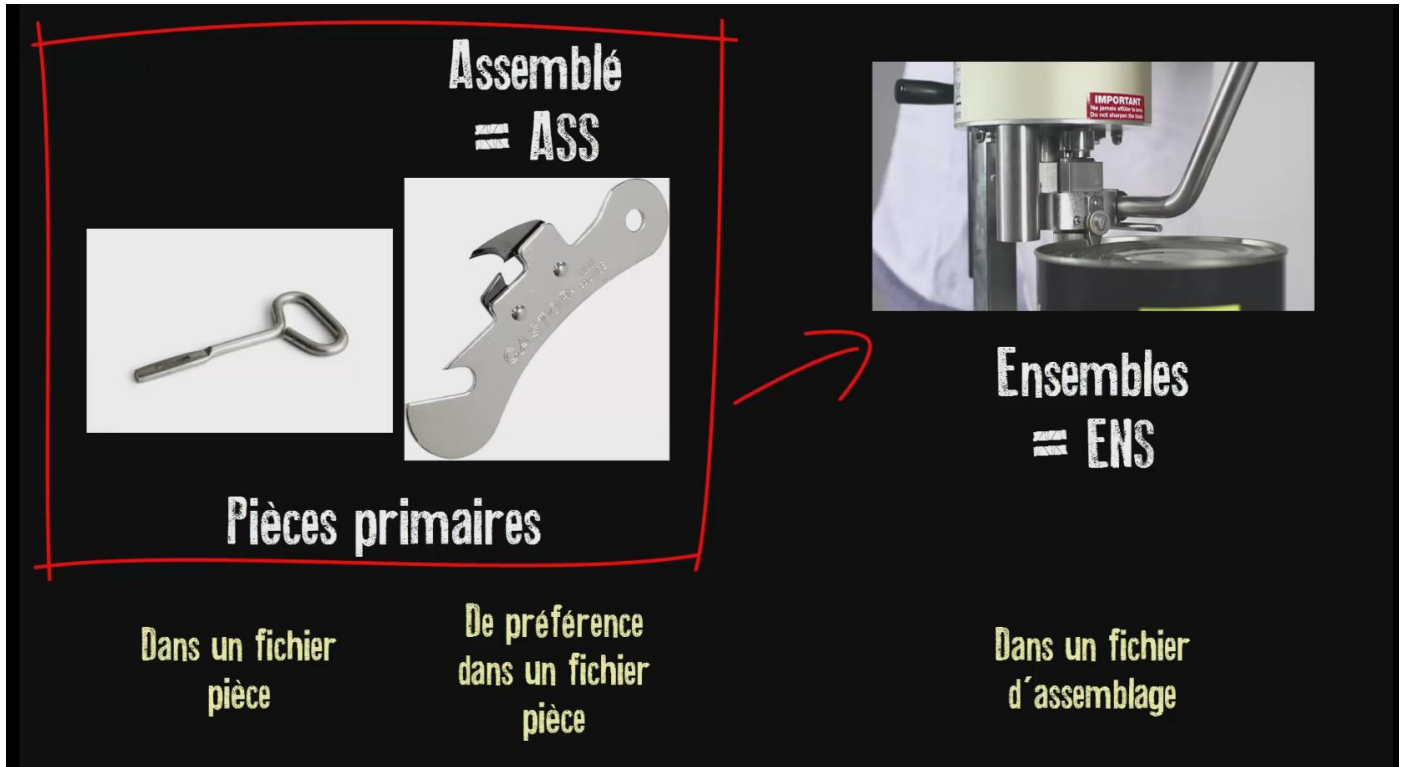


Ainsi, un produit fabriqué à partir de pièces définitivement collées, rivetées ou soudées sera un assemblage (forcément une pièce primaire) alors qu'un produit constitué de pièces vissées sera un ensemble.

D'un point de vue CAO, il est bon de respecter au mieux le découpage physique d'un objet réel.

Puisque les logiciels 3D nous offrent la possibilité de faire une distinction entre un produit ensemble et une pièce primaire, il est d'usage de modéliser les Assemblages (pièces liées définitivement) dans un modèle de pièce primaire (Une part dans Catia) et les Ensembles dans un modèle dit "d'assemblage" (une product dans Catia).

Un Ensemble sera donc constitué de pièces primaires et éventuellement d'autres Ensembles (sous-ensembles).



Si l'on prend pour exemple Catia:

Les pièces primaires constituées d'une seule matière seront dessinées dans un seul corps de pièce dans une Catpart

Les pièces primaires constituées de plusieurs matières mais indémontables seront dessinées dans une seule Catpart mais en mettant chaque élément de matière différente dans des corps de pièce différents.

Les produits constitués d'un ensemble de pièces vissées ou clipées mais démontables auront leurs pièces primaires dessinées dans des fichiers pièce différents (Catpart dans Catia) et mises en position dans un fichier d'assemblage (Catproduct dans Catia).

12. Organisation du modèle pièce.

Comme nous venons de le voir, les modèles CAO seront soit:

- Modélisés dans un fichier de type pièce (catpart dans Catia) pour les produits/pièces primaires d'une seule matière ou encore ASS (assemblé = surmoulé, riveté, soudé, collé, etc...)
- Modélisés dans un fichier de type assemblage (Catproduct dans Catia) pour les produits ENS (ensemble) totalement ou partiellement démontables.

Un modèle ENS est constitué de pièces primaires et son organisation sera vue dans le prochain chapitre. Nous allons ici voir comment organiser au mieux un modèle CAO de pièce primaire qu'il soit constitué d'une seule matière ou de plusieurs.

L'organisation dépendra bien sûr du logiciel et de ses capacités à rendre possible la structuration de votre travail. Quoi qu'il en soit, il sera toujours mieux de calquer le plus possible à la réalité physique des pièces, ce que ne fera pas un styliste.

Pour une pièce très simple comme l'ouvre boîte en forme de clé, l'organisation du modèle tombera sous le sens avec un conteneur pour y abriter la construction solide (corps de pièce dans Catia) et éventuellement un conteneur pour y mettre quelques épures filaires pour nous aider à produire le solide.



Un produit un peu plus complexe méritera alors plus de réflexion.

Par exemple: si un designer modélise une brosse à dent dont le manche est doté de zones en plastique caoutchouteux, il ne dessinera qu'un surfacique en imposant une texture différente si il s'agit de caoutchouc ou du plastique plus rigide sans se soucier de ce qui se passe en dessous.

Le concepteur traitera le modèle solide différemment puisqu'il devra s'intéresser à la géométrie exacte de chacune des parties qui la constitue dans le but ultime de produire les outillages et donc des brosse à dents physiques.



Le modèle CAO devra donc au minimum retranscrire la réalité de cette brosse à dent avec des conteneurs représentant les différentes parties que l'on pourra facilement identifier ici par la matière ou simplement par le fait qu'il s'agira dans l'atelier de composants parfaitement identifiés.

les différents composants (plastique blanc, poils, caoutchouc) sans la détruire (impossibilité de revenir en arrière = produit dans son état d'origine).

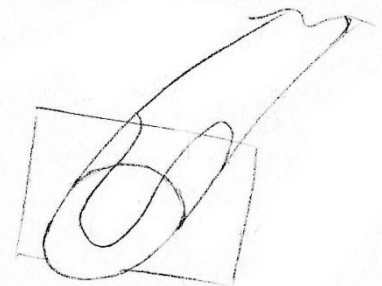
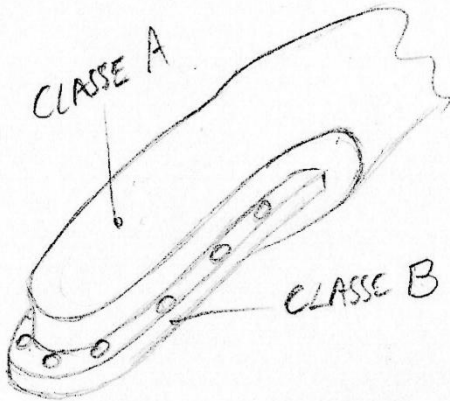
Chaque composant, même si il est "soudé" aux autres sera une construction solide à part entière. Chaque partie sera ici bornée extérieurement par le surfacique de style de la brosse.

Ainsi, l'on choisira par exemple pour cette brosse à dent, de commencer par la modélisation de la partie blanche en plastique donnant une cohésion structurelle au produit.

Dans un conteneur pour la géométrie solide (corps de pièce dans Catia), on fera simplement le remplissage du surfacique de style comme si la brosse n'était faite que de plastique blanc (1).

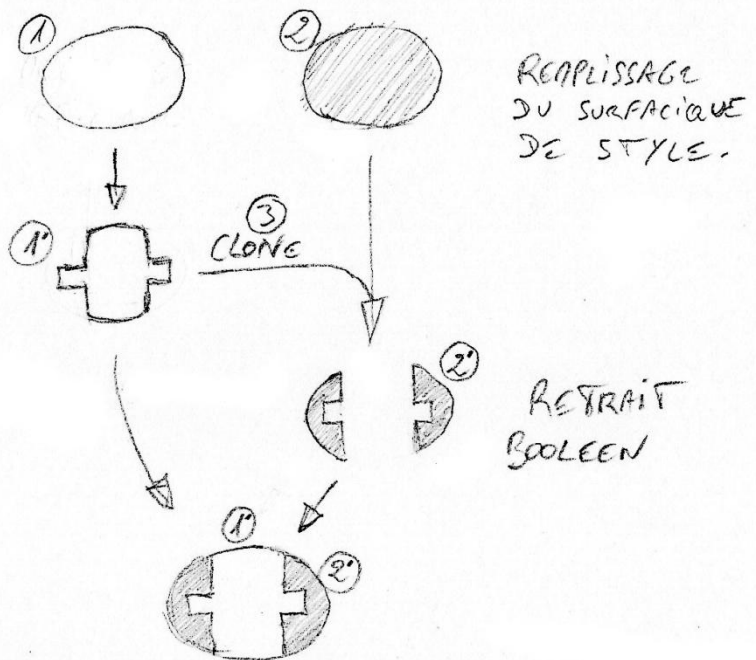
L'opération suivante consistera alors à produire les retraits de matière dans lesquels le matériau caoutchouteux bleu prendra la place. On pensera alors à faire des trous pour faciliter l'accrochage du plastique bleu lors du surmoulage. La pièce blanche (1') n'est à ce stade pas très élégante et présente à la fois des surface de classe A (style) et B (techniques).

Faisons un clone (3) de ce solide dans un autre conteneur (corps de pièce sur Catia).



Le composant bleu caoutchouteux sera construit aussi à partir du remplissage de la surface totale de style du produit. Cette pièce représente donc une brosse à dent complète totalement bleue (2).

Pour ne représenter que le surmoulage il suffit alors de faire le retrait booléen avec le clone (3) de la partie blanche pourvue de ses cavités. Nous obtenons alors précisément le solide bleu (2') qui s'arrêtera sur les faces techniques de la partie blanche (remplissage des trous pour l'accrochage également).



L'organisation d'un modèle pièce 3D (par exemple Catpart de Catia) pourra dans la majorité des cas s'organiser comme suit:

Un conteneur dit "architecture" contenant le filaire et/ou le surfacique présente les épures de la géométrie (set géométrique sur Catia). C'est en 3D la même approche qu'en dessin technique à la planche (Exemple de la bielle).

Un conteneur pour chaque solide composant la pièce comme ici pour la brosse à dent, un pour le plastique blanc, un autre pour le bleu et un dernier pour les poils. Les constructions s'appuient sur les éléments filaires et surfaciques.

Il sera possible, pour une meilleure organisation, d'ajouter des conteneurs pour le solide (corps de pièce) afin de produire des géométries locales puis de les assembler (opération booléennes) pour produire la pièce finale. Des conteneurs pour des éléments surfaciques (set géométrique) peuvent être ajoutés un peu partout pour, localement, produire une géométrie particulière (exemple de la tasse à café).

Enfin, pour alléger encore la construction, nous pouvons importer des géométries de l'extérieur dans une conception multi-modèles.

Il n'y a pas vraiment de règle pour l'organisation d'un modèle. Il convient seulement d'appliquer ces quelques conseils:

- Toujours renommer les conteneurs et les principaux éléments
- Partir sur des éléments architecturaux fiables
- Partir sur une structure la plus simple possible
- Ne pas hésiter à limiter la longueur de l'arbre en produisant des sous éléments simples que l'on assemble ensuite.

Pour illustrer ces propos voici encore un exemple de construction montré sur le blog alliant solide et surfacique:

<https://apprendre-la-cao.com/une-bouteille-de-shampoing-facile-sur-part-design/>

<https://apprendre-la-cao.com/dessiner-le-bouchon-du-bidon-de-shampoing-1-catia-v5/>

<https://apprendre-la-cao.com/dessiner-le-bouchon-du-bidon-de-shampoing-2-catia-v5/>

<https://apprendre-la-cao.com/dessiner-le-bouchon-du-bidon-de-shampoing-3-catia-v5/>

Et un autre montrant sur une brosse à dent plus simple l'organisation de l'arbre pour les différents constituants de celle-ci.

<https://apprendre-la-cao.com/comment-faire-une-brosse-a-dent-en-solide-sur-catia/>

13. Organisation d'un projet complet.

Il y a deux grandes façons d'organiser sa construction lorsqu'il s'agit d'un gros produit ENS (ensemble).

Tout dépendra du fait qu'il s'agisse d'un produit contenu dans une enveloppe comme un véhicule ou un produit électroménager ou bien un produit articulé comme peuvent l'être un bras robotisé ou une lampe de bureau.

Dans le deuxième cas, des éléments distincts seront dessinés indépendamment ou presque les uns des autres. On peut concevoir que seules les zones de liaison devront trouver des affinités (diamètres, etc...). On s'arrangera alors pour passer des paramètres plutôt numériques d'une pièce à l'autre pour garantir la montabilité au niveau des fixations.

Dans le premier cas (non articulé), la forme même des pièces dépendra de leur localisation au sein de l'assemblage. Certaines auront purement la forme de la peau extérieure fonctionnelle (comme la tôle d'un capot). D'autre, plus au cœur de l'ensemble, devront s'adapter à la présence de leurs voisines. Dans ce cas, il faudra transmettre d'une pièce à l'autre, via l'assemblage, des éléments 3D (points, axes, surfaces, solides). On parlera alors de conception en **contexte d'assemblage** ou conception **en session**. La définition des pièces dépendra alors de l'assemblage.

1 *Qui est le maître ?*

Dans un cas général (contexte d'assemblage ou non), il n'est pas obligatoire mais vivement conseillé de centraliser les infos fonctionnelles de son étude. Cela permet de les retrouver très rapidement et d'impacter en une fois les modèles pilotés sans en oublier un seul.

Pour organiser alors au mieux son projet, on peut se poser la question suivante:

"Où finalement placer les infos fonctionnelles qui vont impacter chacun de mes produits ?"

La meilleure réponse à cela serait de dire que l'ensemble (donc toutes les pièces impactées) sera sous la domination d'un modèle Fonctionnel pilotant (modèle impactant) qui pourra, le cas échéant être soit un modèle (fichier de type "pièce") contenu dans l'assemblage soit le modèle d'assemblage lui-même. Le choix dépendra du concepteur mais il paraît assez logique de se servir du modèle d'assemblage pour stocker les paramètres fonctionnels le concernant.

On y mettra ainsi tout ce qui garanti la bonne adaptation des pièces comme le diamètre et l'angle à la jonction de la pomme d'arrosoir avec l'arrosoir lui-même.

Mais jusqu'où doit on aller dans ce dictat paramétrique ?

Cela masque en fait encore un choix organisationnel.

Personnellement, je suis d'avis de ne mettre dans le modèle fonctionnel pilotant que ce qui touche à la définition macroscopique du modèle. On évitera par exemple des paramètres détaillant les dimensions de l'allume cigare à la racine de l'assemblage d'un véhicule. Ces informations seront toutefois parfaitement à leur place au niveau du sous-assemblage de la planche de bord.

On retrouve ainsi la logique du découpage induit par le cycle en V.

Dans le cas d'une conception en contexte d'assemblage (en session) la forme des pièces dépendra éventuellement des paramètres centralisés qui les impacteront et également:

- de leur position dans la maquette compte tenu du lien géométrique avec d'autres pièces
- du lien avec le modèle fonctionnel pilotant l'architecture globale
- éventuellement des liens paramétriques avec des pièces voisines

On voit à travers tout cela qu'il est très facile de lier les modèles en tout sens et que cette grande liberté peut également nous conduire dans de sombres dédales.

Voyons alors deux exemples pour illustrer ces propos et essayons de schématiser l'organisation des produits.

2 Exemple d'un ensemble articulé



Prenons l'exemple d'une lampe de bureau.

Ici, les éléments peuvent être dessinés indépendamment (pied, barres, plaques de jonction, etc...).

On aura alors uniquement des mises en position relatives des pièces à l'aide de contraintes et la forme globale de l'assemblage ne remettra pas en cause la définition de chaque pièce. Si l'on souhaite modifier l'allure globale du produit on reviendra alors sur la longueur des barres ou la forme des plaques,... sans que cela impacte les pièces

environnantes. De retour dans le modèle d'assemblage, la mise à jour des contraintes repositionne toutes les pièces.

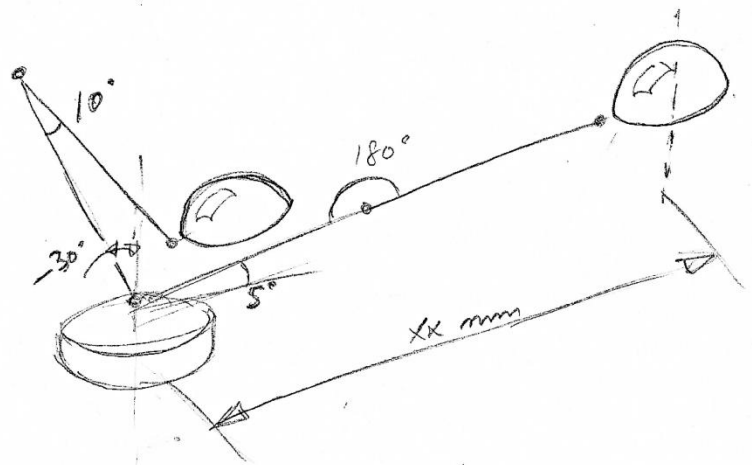
1 La lampe de bureau d'un point de vue fonctionnel

Macroscopiquement la lampe est constituée, d'un pied, d'un projecteur et de quelque chose qui les lie. Fonctionnellement nous voulons tenir dans l'espace une ampoule d'un certain type à une distance variable du pied en donnant à la lumière une orientation.

Il y a plusieurs façons de répondre à ce besoin (spécification technique de besoin = la haut de la branche de gauche du cycle en V). Retenons ici la solution technique à deux parallélogrammes.

Dans cette architecture, nous pouvons ramener le problème à des longueurs et des angles.

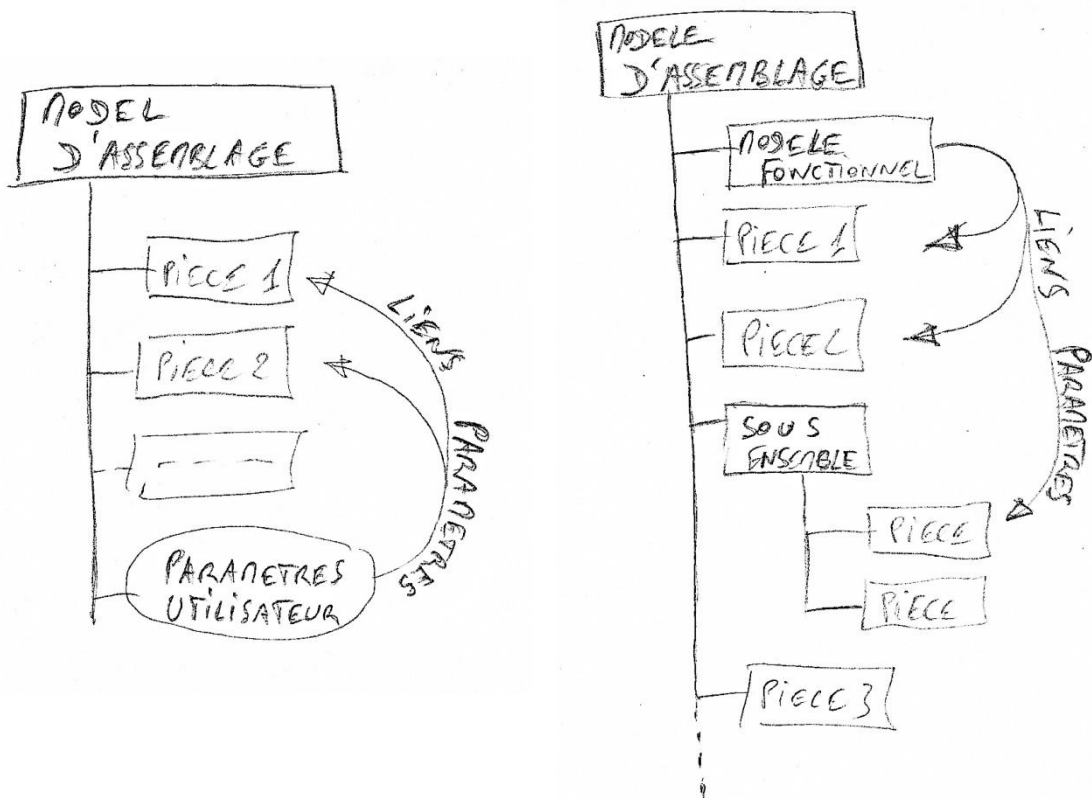
Un petit dessin filaire dans les positions extrêmes nous permettra d'éclaircir nos idées et déterminer les paramètres vraiment essentiels et surtout liés aux besoins du client.



Notez que la démarche de modélisation de cette lampe serait la même pour un bras robotisé, un portique 3 axes, une chaise longue ou de jardin pliable, une machine à vapeur bourrée de bielles, etc... bref tout objet articulé !

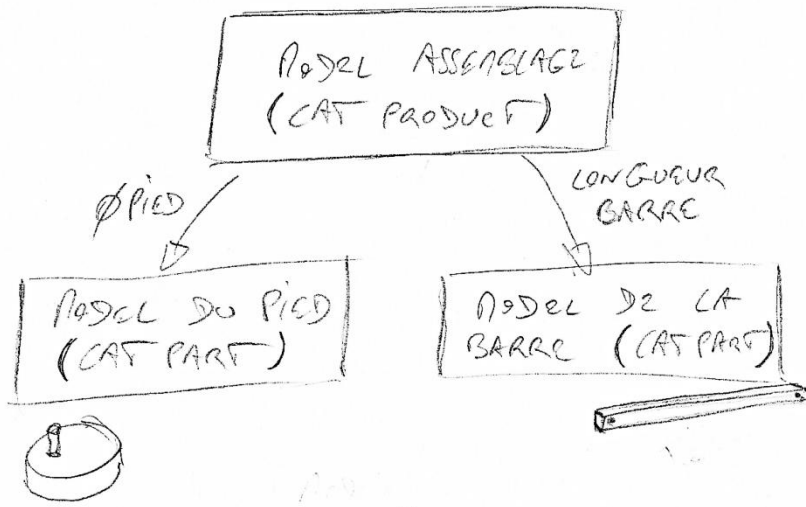
2 L'organisation du modèle de la lampe de bureau (première possibilité)

Dans cet exemple nous allons ranger les paramètres fonctionnels dans le modèle d'assemblage (illustration de gauche ci-dessous). Il reste toutefois possible de les mettre dans un fichier de type pièce (nommé fonctionnel) ne présentant pas de géométrie 3D mais uniquement des paramètres utilisateur (illustration de droite ci-dessous).



Nous aurons alors:

- La longueur des barres
- Le diamètre du projecteur
- Le diamètre du pied
- La masse du pied
- L'angle maximal de débattement du premier parallélogramme
- L'angle maximal de débattement du deuxième parallélogramme



Le premier modèle de pièce à constituer cet ensemble sera le pied. Le paramètre "Ø pied" sera copié/collé avec lien dans ce modèle et servira à construire le solide. L'épaisseur de la pièce sera arbitrairement fixée pour le moment mais l'on pourra facilement comparer la masse mesurée sur le solide avec le paramètre de masse importé depuis le modèle d'assemblage (dans Catia, on peut par exemple produire un avertissement si la masse est dépassée).

Les autres modèles sous le même principe hériteront des paramètres qui les concerneront.

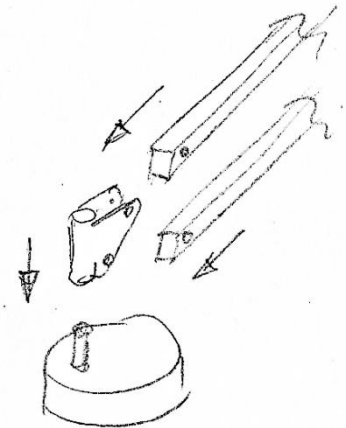
Ainsi, nous aurons toutes les pièces de notre lampe et il suffira de les positionner grâce à des contraintes dans l'environnement d'assemblage (Catproduct sur Catia).

Parmi ces contraintes, nous pourrons ajouter des angles pilotant les degrés de liberté en rotation sur les différentes articulations.

Ces deux articles du blog montrent l'assemblage de cette lampe sur Catia et sur ZW3D:

<https://apprendre-la-cao.com/tuto-debutant-premier-assemblage-sur-catia-v5/>

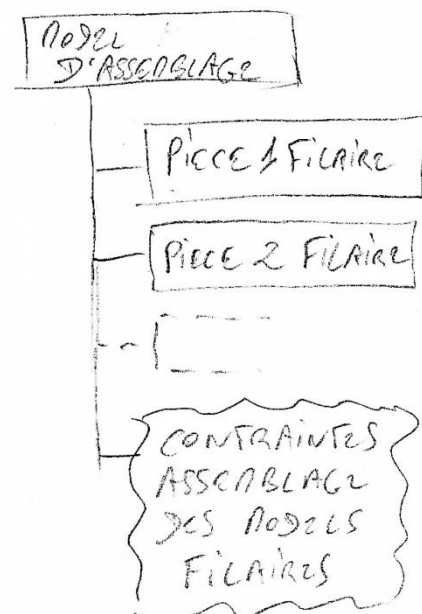
<https://apprendre-la-cao.com/zw3d-assemblage-de-la-lampe-de-bureau/>

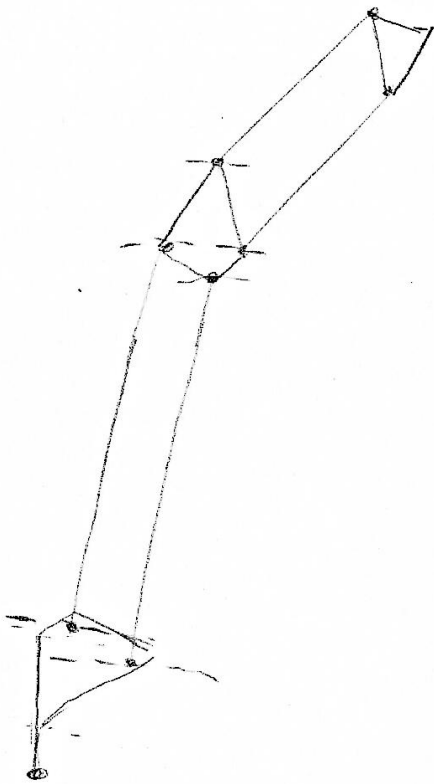


3. L'organisation du modèle de la lampe de bureau (deuxième possibilité)

Cette autre façon de faire est quasi identique à la précédente et est un peu plus complexe car demande la création de modèles filaires supplémentaires.

Dans un premier temps, on ne parle pas de pièces solides ou volumiques. Tout tient dans l'élaboration d'un modèle d'assemblage constitué d'éléments filaires. Des pièces comme les barres sont représentées simplement par une ligne avec un point et un petit bout d'axe à chaque extrémité.

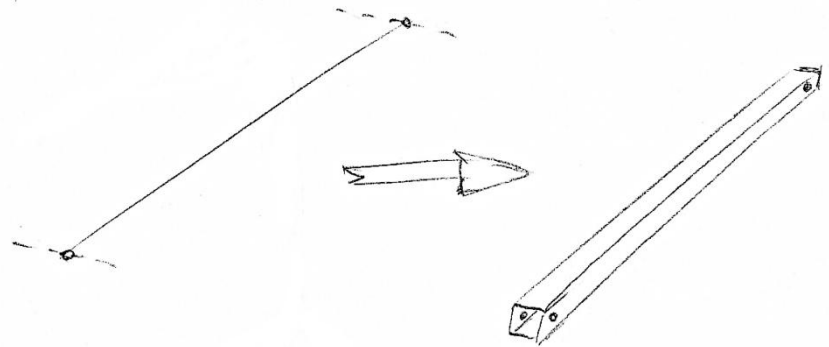
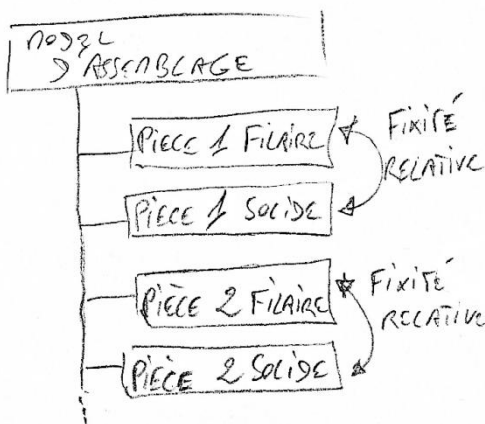
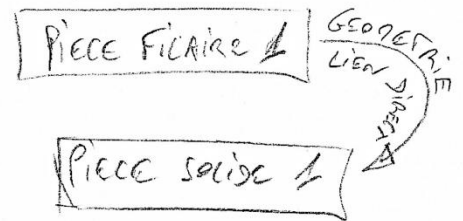




Les platines de jonction sont représentées par des segments symbolisant la forme des pièces avec de petits axes perpendiculaires. Des contraintes d'assemblage lient les différents modèles filaires. Nous avons ainsi l'architecture d'une lampe filaire très légère que l'on peut retravailler et dont la cinématique peut être évaluée rapidement.

Les éléments solides n'interviennent qu'après.

Chaque modèle filaire purement fonctionnel transmet alors directement sa géométrie au modèle solide qui lui correspond (sans passer par le contexte d'assemblage). Pour les barres, nous pouvons importer les deux petits axes pour positionner les trous ainsi que le paramètre de largeur du profil puis construire l'extrusion, un peu plus longue, de ce tube carré.



Ceci étant fait pour chaque pièce, il suffit d'importer les modèles solides dans le modèle d'assemblage et de les superposer exactement à leurs images filaires et imposer une fixité relative.

Le pilotage de la cinématique filaire fonctionnelle met alors en mouvement les pièces solides comme si nous avions créé des contraintes de positionnement classiques entre celles-ci.

Cette façon de faire est pratiquée dans l'industrie automobile pour, par exemple, concevoir les liaisons au sol.

4. Finalisation du modèle de la lampe

On pourra également vérifier pour toutes les positions des bras si la projection du centre de gravité de la lampe est contenue dans la surface d'appui du pied.

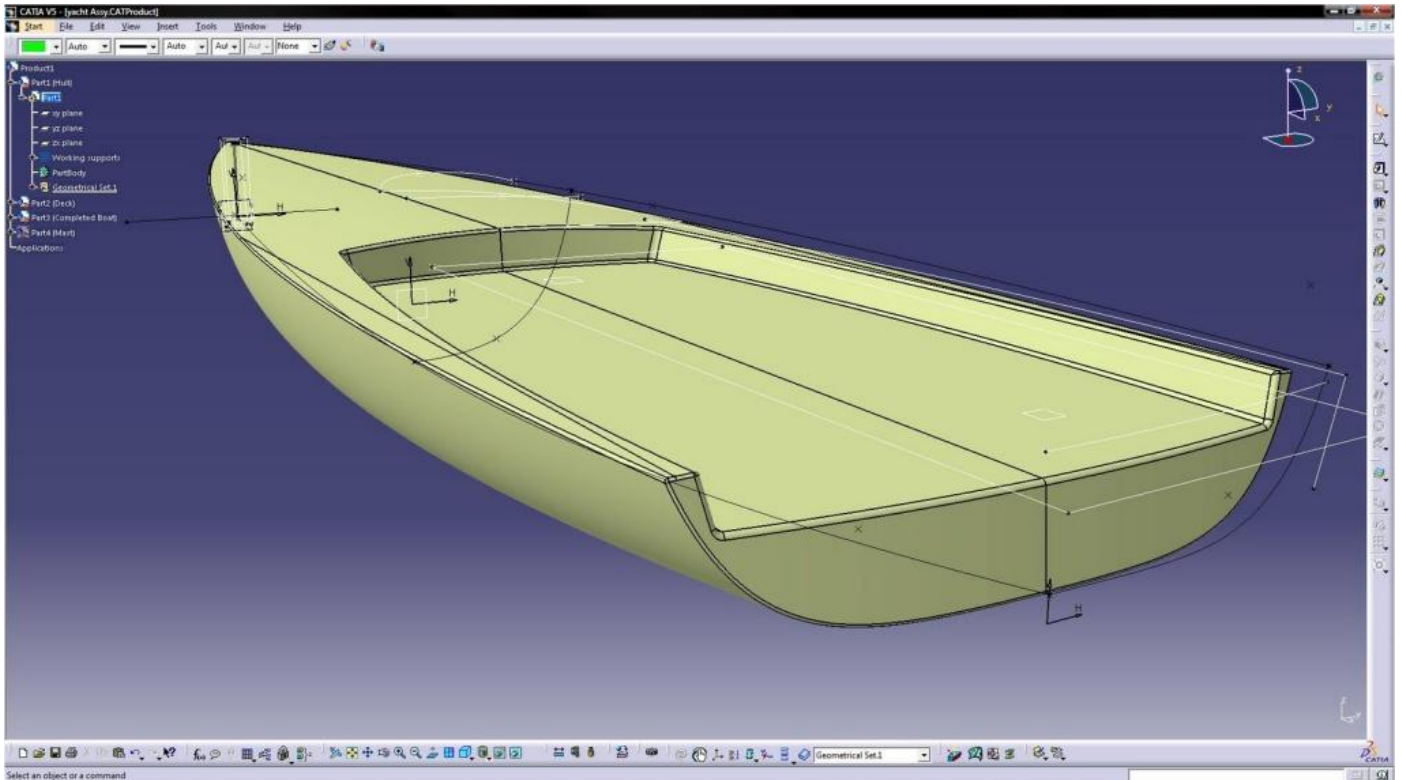
Voir cet exemple sur le blog:

<https://apprendre-la-cao.com/catia-v5-cdg-dun-product/>

3. Exemple d'un produit contenu dans une enveloppe (bateau)

Prenons maintenant l'exemple de la structure d'un navire. Ici, on peut dire que l'ensemble des pièces est contenu à l'intérieur de la surface de la coque (la carène).

Cette surface est réellement fonctionnelle comme pourrait l'être la surface d'un avion ou celle d'une bouilloire électrique pour son côté design.



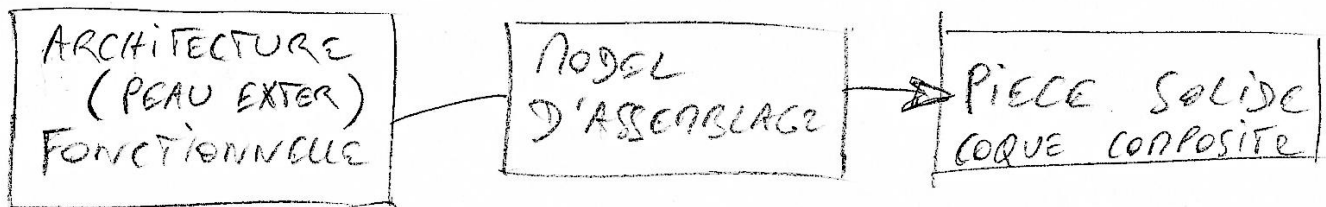
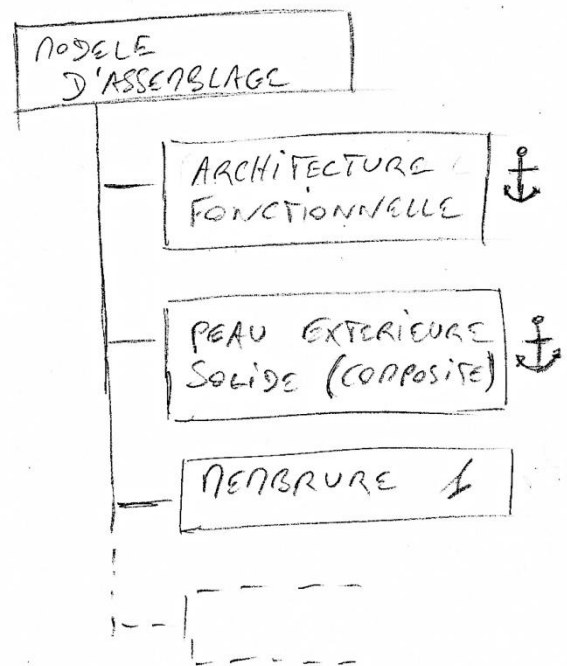
Pour un navire en composite (pour simplifier), nous pouvons considérer le modèle complet comme l'assemblage collé d'un certain nombre de pièces de structure. Comme celles-ci sont collées, donc non démontables sans destruction d'une partie des pièces il s'agira d'un assemblage (ASS) que nous devrions modéliser au sein d'un modèle de type pièce (une CATpart dans Catia). Toutefois il sera plus judicieux, puisqu'il s'agit d'un modèle complexe et présentant de nombreuses pièces de le modéliser au sein d'un fichier de type assemblage (une CATproduct dans Catia).

Dans tous les cas, les formes des pièces dépendront de la surface de cette carène (objet surfacique) qui sera contenue dans un modèle pièce (une CATpart) dit d'architecture fonctionnelle intégré dans le modèle d'assemblage complet (la CATproduct).

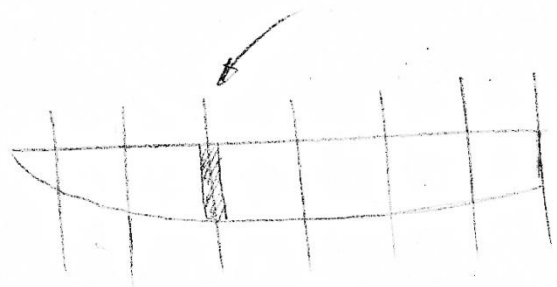
Ce modèle d'architecture imposera sa géométrie en contexte d'assemblage. Il faudra donc que sa position soit fixe au sein du modèle global. Les autres pièces seront alors positionnées dans cet espace à l'aide de contraintes ou seront affublées d'une fixité relative par rapport au modèle fonctionnel.

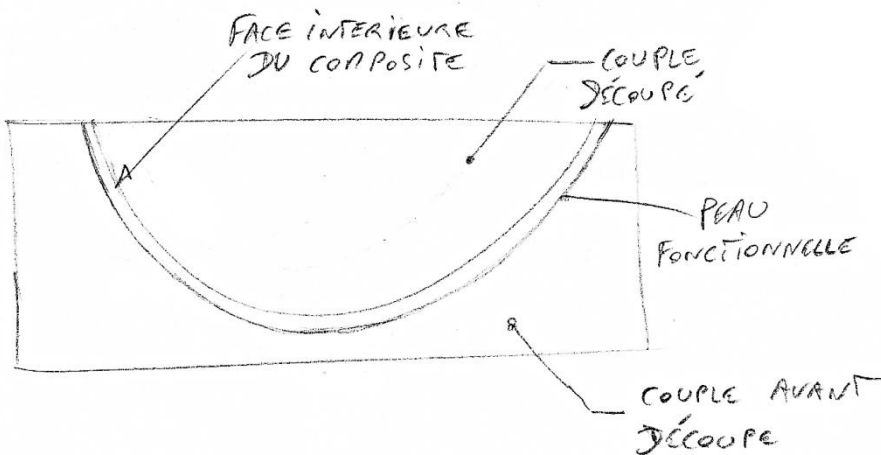
Le premier élément de structure et le plus évident serait la peau en composite de cette coque. Celle-ci sera simplement un épaissement vers l'intérieur de la peau fonctionnelle contenue dans le modèle d'architecture. Ce modèle peut être lui aussi fixé dans l'espace (il n'y a plus aucune raison de le déplacer par la suite).

Pour importer la surface fonctionnelle dans ce modèle, il suffit de copier/coller l'élément surfacique du fonctionnel vers le modèle de la coque solide à partir de l'environnement d'assemblage. Il y aura alors une copie dynamiquement liée dans le modèle solide de la peau de la coque. Ici, l'information ne passe pas directement du modèle fonctionnel au modèle solide de la peau de la coque mais se trouve délivrée par le modèle d'assemblage lui-même. Le lien établi est donc un lien multi-modèle en contexte d'assemblage.



La seconde pièce pourrait être une membrure perpendiculaire à l'axe principal du bateau (un couple). Même si elle n'est pas encore tracée, l'origine de cette pièce pourra être placée à l'intersection du plan de symétrie et d'un plan perpendiculaire situé entre la proue et la poupe. Ces plans peuvent être placés dans le modèle fonctionnel. Dans l'environnement d'assemblage, on positionne ce modèle sur le plan correspondant à l'aide de contraintes d'assemblage.



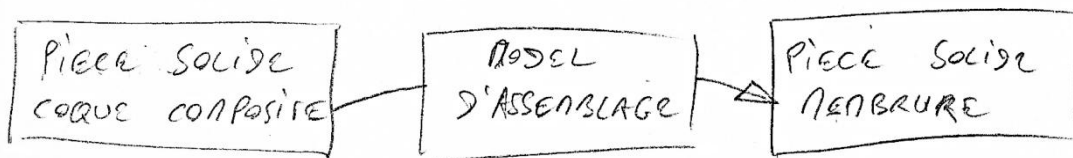


Pour obtenir la forme de cette pièce, il suffit de tracer un rectangle plus grand que la largeur de la coque et de le recouper à l'aide de l'extraction de la surface interne de la peau en composite (première pièce) que nous venons de produire.

Il se crée alors un lien entre les deux modèles solides prenant en compte la position relative de chacune dans l'environnement d'assemblage.

Nous avons pris soin de

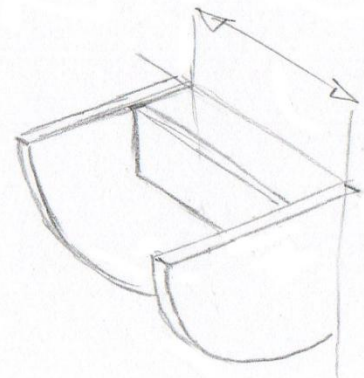
positionner relativement les pièces au sein du modèle d'assemblage mais si nous déplaçons l'un des deux (par exemple déplaçons le plan de positionnement de la membrure), cela aurait pour effet de repositionner la copie de la surface au sein du modèle solide de la membrure et donc de modifier sa forme par mise à jour de la découpe.



Grâce à cela, la forme de la membrure est toujours adaptée à celle de la peau en composite quelque soit sa position. On dit que la membrure est modélisée "en contexte d'assemblage".

Une prochaine cloison, par exemple entre deux membrures, sera limitée par les surfaces extraites des deux membrures qui l'encadrent.

écartons un peu les membrures dans le modèle d'assemblage et le modèle de la cloison verra s'éloigner les deux surfaces qui la bornent et la découpent. La cloison prend alors immédiatement la bonne longueur.



Toutes les autres pièces seront ainsi liées les unes aux autres à travers l'existence du modèle d'assemblage. Il y aura beaucoup de liens mais cela fonctionnera très bien si l'on s'arrange pour que les opérations sur les solides soient fiables (garantir par exemple que les éléments surfaciques importés servant aux découpes soient toujours plus grands que les solides).

4. *Le conseil supplémentaire*

Un gros projet demande beaucoup d'attention et tout peut vous paraître clair tant que vous êtes dans l'action. Qu'en sera-t'il lorsque vous reprendrez le projet quelques semaines ou mois plus tard ?

Il y a alors deux bonnes attitudes à adopter:

- La première est, vous vous en doutez, de nommer explicitement les modèles et les paramètres pour les retrouver facilement.
- La deuxième est de produire un document qui représentera synthétiquement l'organisation de votre construction. On peut imaginer un simple papier sur lequel vous écrirez en bon Français que "la longueur du bras est dictée par le paramètre présent dans l'assemblage et que le diamètre du trou de passage de la vis est lié au modèle de la vis"
- Sur Catia, la troisième est de limiter le passage des éléments et paramètres d'un modèle à l'autre uniquement aux éléments publiés. Cela vous force à réfléchir en profondeur avant de pointer sur une nouvelle source. Cela permet aussi de vous obliger à jeter un coup d'œil aux éléments déjà publiés dans lesquels vous trouverez peut-être un élément encore plus adapté à votre demande.

14. Boucle de mise à jour



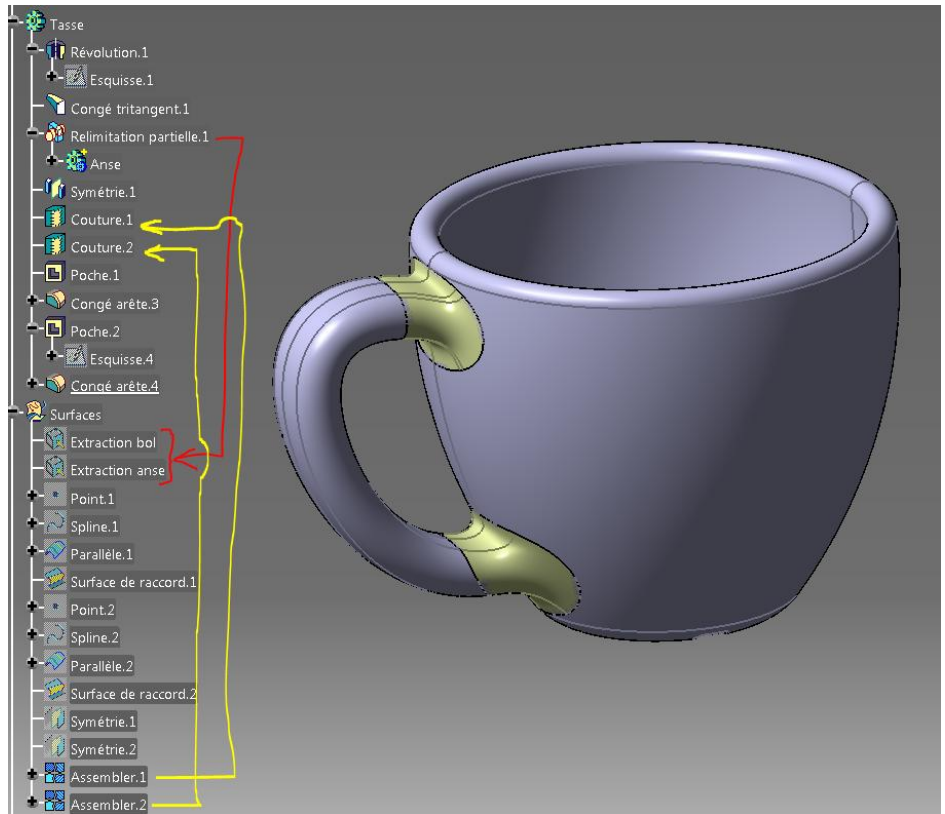
Explication en Vidéo

Une boucle de mise à jour ne peut exister que dans un logiciel associatif.

Cela se produit lorsque l'on impose comme parent à un élément un de ses descendants.

Cela se produit assez facilement dans la construction surfacique implicite lorsque l'on fait un remplacement d'un parent sur un élément très en amont de la construction en proposant un élément qui est un de ses petits-petits-petits-petits enfants.

En modélisation paramétrique, il est important de rester en permanence conscient des actions que l'on effectue.



Désigner un élément en entrée d'une opération n'est pas anodin. Dans un environnement surchargé, il est très facile de pointer un élément inadéquat car superposé à celui que l'on voulait choisir.

Si cela passe en général inaperçu, il arrive que cela produise des effets indésirables au fil de la construction lors des modifications.

Désigner par exemple la surface d'extraction d'un solide à la place de la surface du solide pour construire quelque chose n'aura pas tout à fait la même signification si plus tard on vient à supprimer cette surface. Notre construction perdra alors son parent et il faudra repointer la bonne surface (celle du solide). Pire, notre construction disparaîtra simplement avec si l'on n'y prend pas garde (suppression des enfants impactés).

Dans de grandes constructions, il m'est souvent arrivé de croire que je n'avais supprimé que quelques éléments et de m'apercevoir bien trop tard que des corps de pièces complets avaient été également supprimés.

Quelque soit le logiciel, gardez toujours ce réflexe de vérifier l'origine de l'objet que vous choisissez en entrée de chaque fonction.

Autre conseil, choisissez toujours, en entrée des fonctions, les éléments les plus fiables voire les plus anciens. Par exemple, la direction de la nouvelle opération de dépouille ne sera pas le petit bout de face plane du bossage caché là-bas dans le coin mais la direction Z du trièdre de départ qui est aussi la direction principale du démoulage. C'est donc dans cet esprit qu'il faut utiliser les éléments du modèle fonctionnel. Ce sont des géométrie fiables et anciennes qui seront toujours présente dans votre construction... Utilisez-les le plus possible !

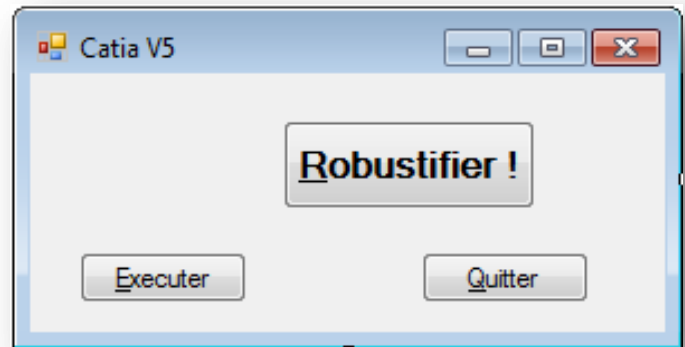
15. La "Robustification" des constructions :)

Rendre ses constructions robustes est certainement la chose qui vous fera gagner le plus de temps dans un cycle de conception.

Si, en CAO paramétrique, tous les chemins "mènent à Rome" et vous permettent d'atteindre tant bien que mal le résultat 3D que vous souhaitez, qu'en est-il du temps perdu lorsque les modifications d'un seul paramètre en amont conduit à une série d'erreurs de mise à jour.

Il vous est certainement déjà arrivé de tenter de mettre au point une forme et de corriger mille erreurs chaque fois que vous modifiez ne serait-ce qu'un peu la valeur d'un paramètre.

Cela devient évidemment très lourd et vous fait perdre beaucoup de temps. Vous perdez également le fil de votre pensée à force de repointer les éléments et ne savez plus pourquoi vous aviez tenté de modifier ce paramètre.



Un bonne construction est donc plus qu'un résultat 3D atteint, c'est d'abord une construction malléable acceptant les modifications paramétriques jusqu'à un certain point.

Une construction, même "bonne" est rarement parfaitement robuste. Il y aura forcément une valeur extrême à ne pas dépasser sur les paramètres ou simplement la combinaison de deux valeurs de paramètres conduira à une impossibilité géométrique. Ceci n'est pas grave en soit. L'important est de retrouver dans l'arbre l'élément en erreur (la conséquence) mais, par dessus tout, de savoir quelle est la cause de ce blocage. Cette information est certainement la plus importante dans la résolution du problème et dans l'amélioration du modèle. Car l'objectif n'est pas de corriger l'erreur mais bien de l'empêcher de se reproduire.

Quoi qu'il en soit un modèle sera dit robuste sur une certaine plage de valeurs que nous pourrons borner afin d'éviter les valeurs inappropriées conduisant à des erreur de mise à jour.

Rendre son modèle robuste est affaire de compréhension du mécanisme qui à conduit à l'erreur de mise à jour. Cela devient plus facile si l'on a connaissance de la dernière action effectuée.

On entrera alors dans un jeu de piste où l'on cherchera à visualiser les impacts sur la descendance du parent modifié. Des outils d'analyse de la hiérarchie (recherche des parents/enfants) ou le parcours de l'arbre en s'y déplaçant en suivant l'historique de création seront très utiles dans ces investigations.

Ceci peut paraître un peu abstrait alors, hormis corriger à postériori les erreurs du modèle, comment rendre une définition la plus robuste possible à sa création ?

1 Quelques préconisations pour les esquisses

Positionnement de l'esquisse

Avant de parler des éléments d'esquisse, il est bon de rappeler que les esquisses elles-mêmes doivent, dans l'idéal, être positionnées dans l'espace. Catia V5 comme ZW3D autorisent les esquisses dites glissantes et les esquisses positionnées. La façon la plus propre de travailler est de n'utiliser que les esquisses positionnées afin qu'elles "suivent" la géométrie (position et orientation).

Un exemple pour illustrer les esquisses positionnées sur le blog:

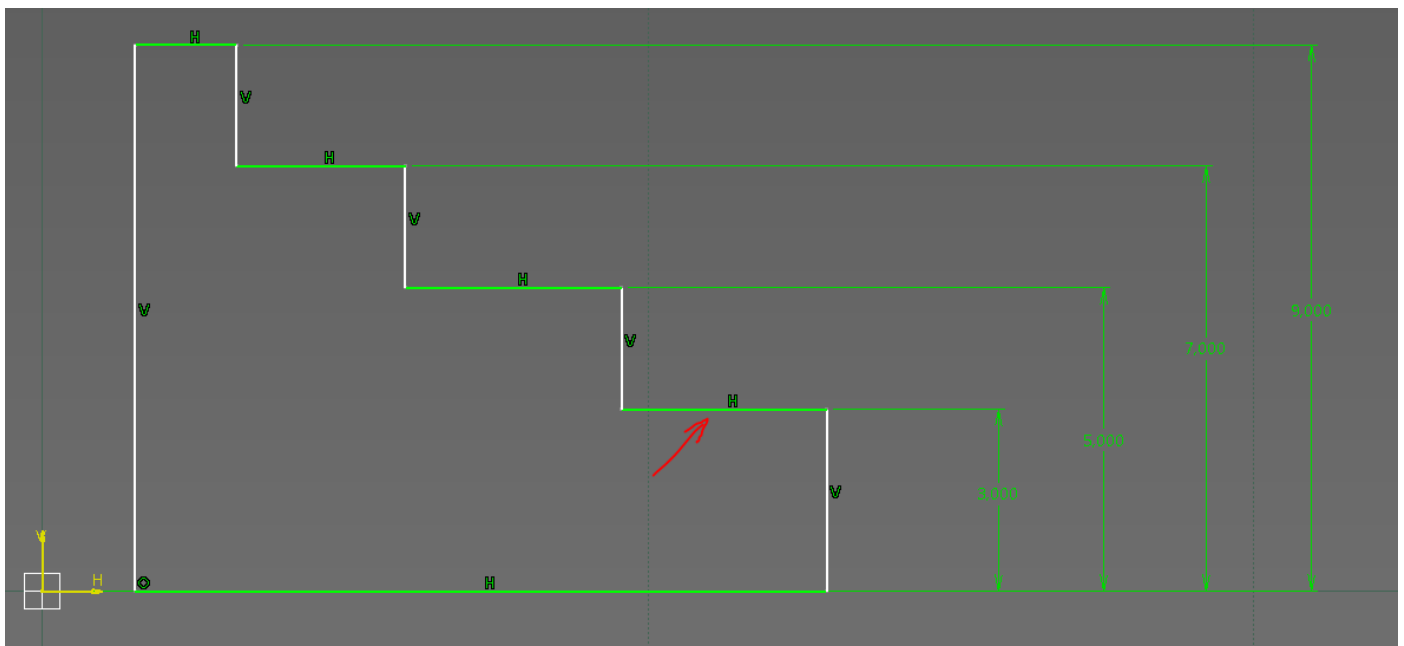
<https://apprendre-la-cao.com/catia-v5-les-esquisses-positionnees-et-glissantes/>

Agencement des cotes

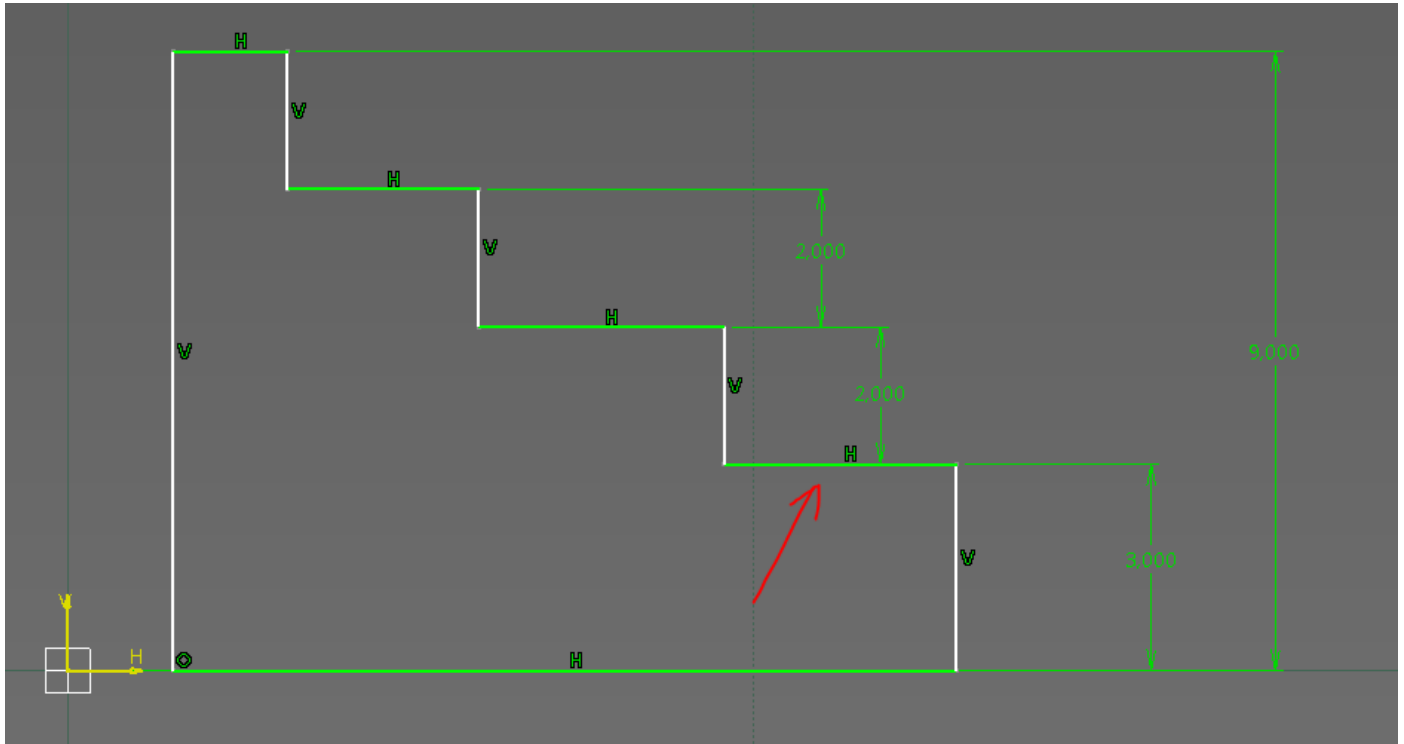
On peut facilement rendre une esquisse iso-contrainte en imposant des cotes sur le profil. Il suffit d'ajouter ce qu'il faut pour que les éléments deviennent vert (pour Catia) les uns après les autres. D'un point de vue statique, l'ordre avec lequel on ajoute les contraintes n'a que peu d'importance et toutes ces façons de coter reviennent finalement au même puisque les éléments sont correctement positionnés dans le plan. Mais faut-il considérer l'esquisse comme quelque chose de figé ?

En fait, non puisque l'intérêt d'un logiciel paramétrique est bien de rendre la conception malléable. Nous aurons ainsi besoin de jouer sur ces cotes d'esquisse (entre autres) et celle-ci deviendra quelque chose de dynamique. La façon dont les cotes seront enchaînées sera donc primordiale sur l'évolution de la forme du profil et par conséquent sur le comportement de la géométrie.

Si l'on modifie par exemple la valeur de positionnement du premier "palier" dans cette esquisse cela n'aura aucun effet sur la position des autres paliers:

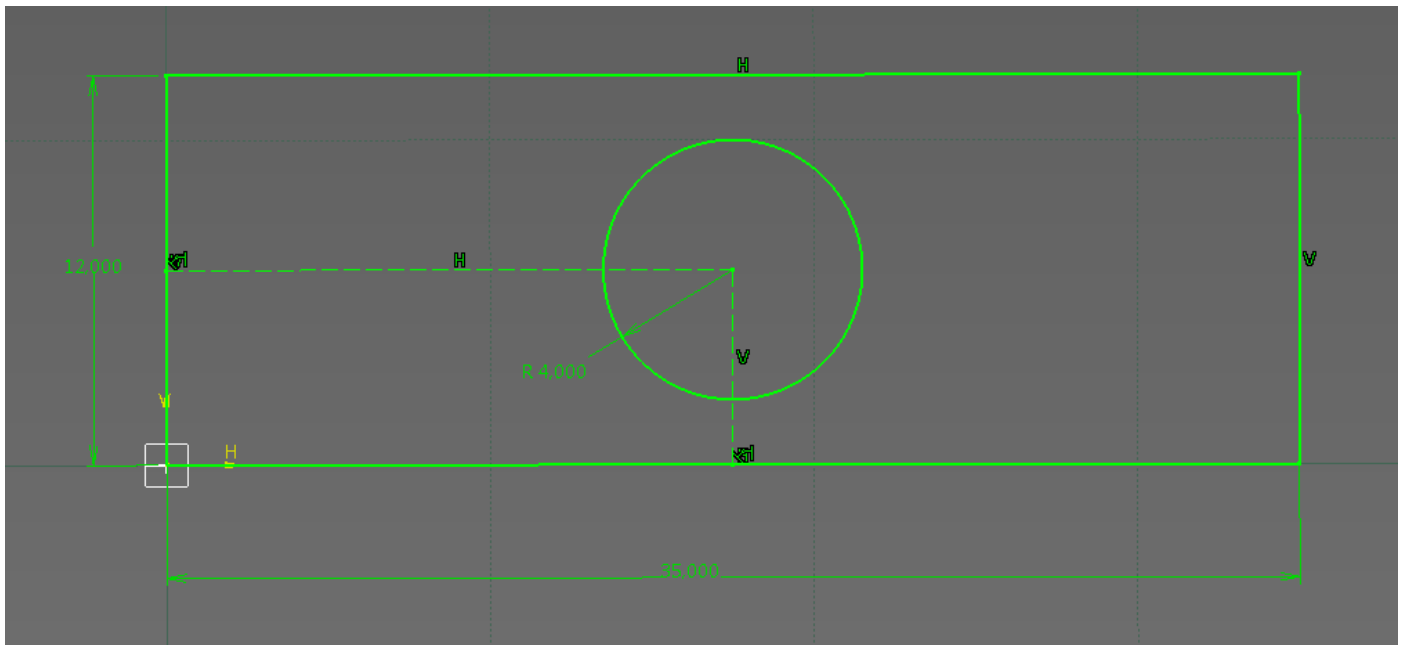


Alors que dans cet enchainement de cotes la modification de la position du premier palier aura une conséquence sur la position des autres "paliers".

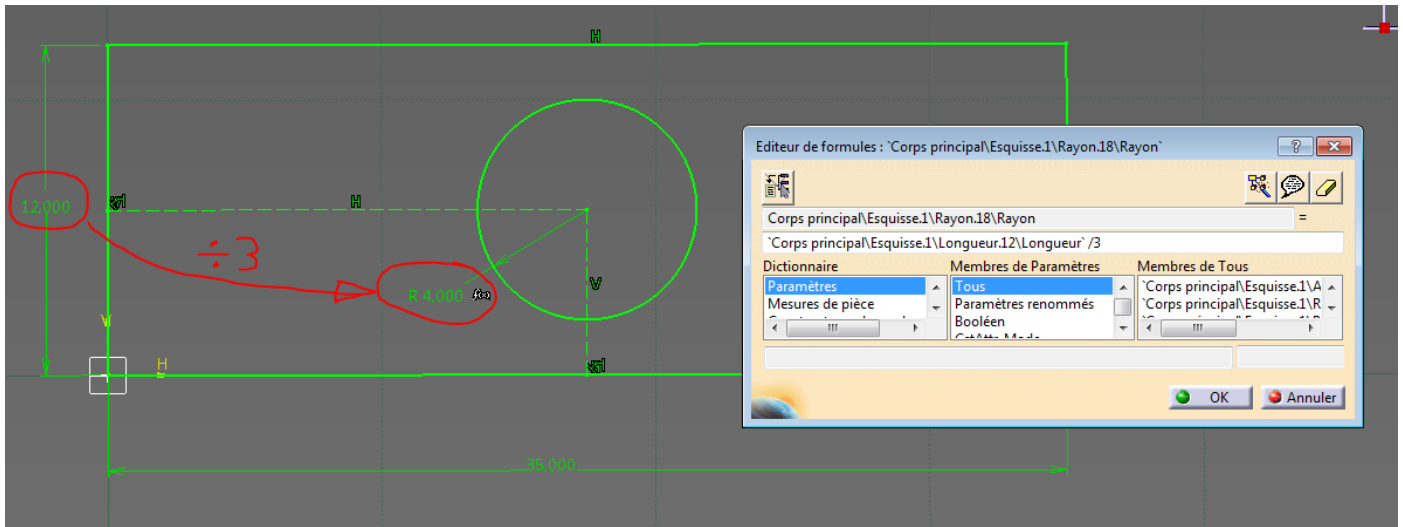


Relations entre les cotes

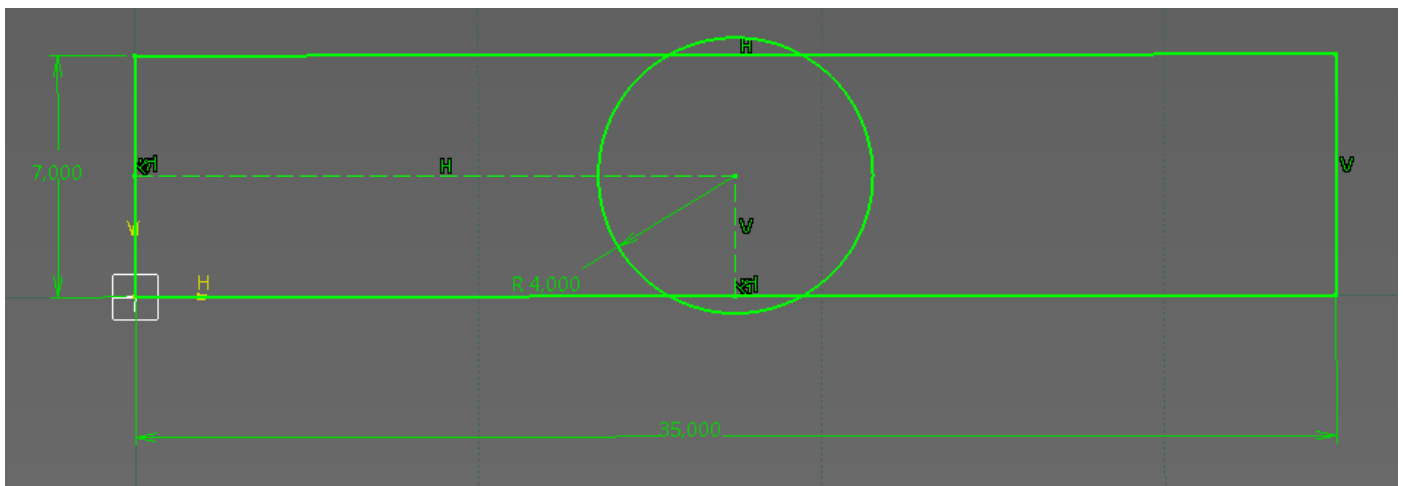
Quelle différence y a t'il entre cette façon de coter:



et celle-ci ?:



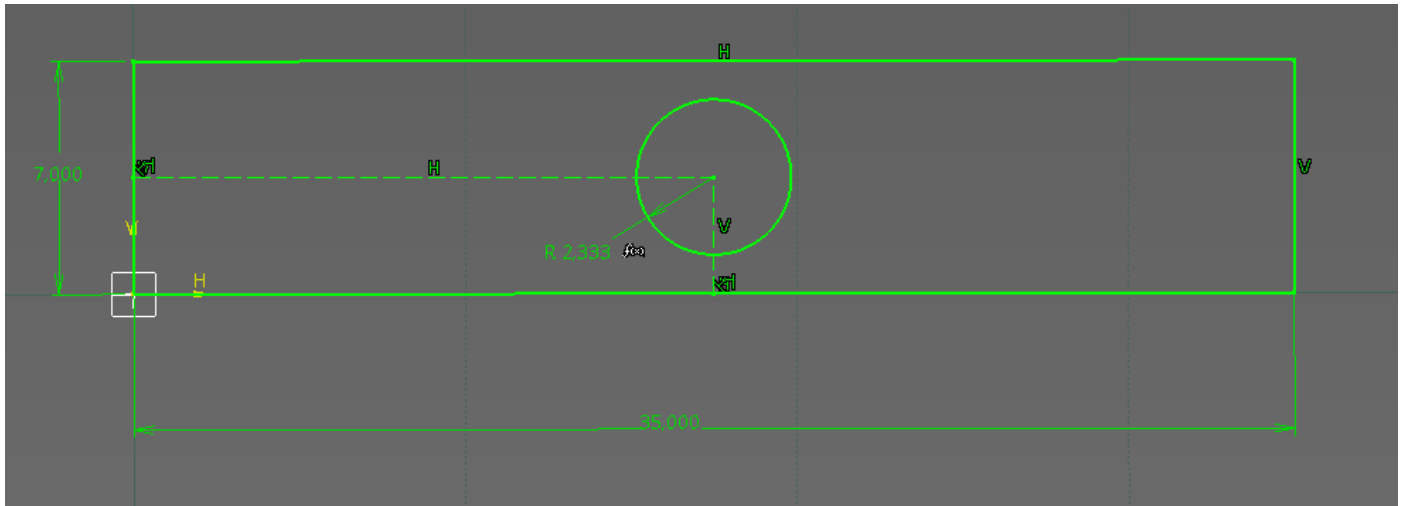
Dans le premier cas, si la cote de largeur du rectangle atteint et passe en dessous de 8mm le cercle touche le rectangle et l'opération solide ou surfacique qui suit ne peut pas se faire.



Dans le deuxième cas, le diamètre du cercle sera toujours inférieur et proportionnel à la largeur du rectangle.

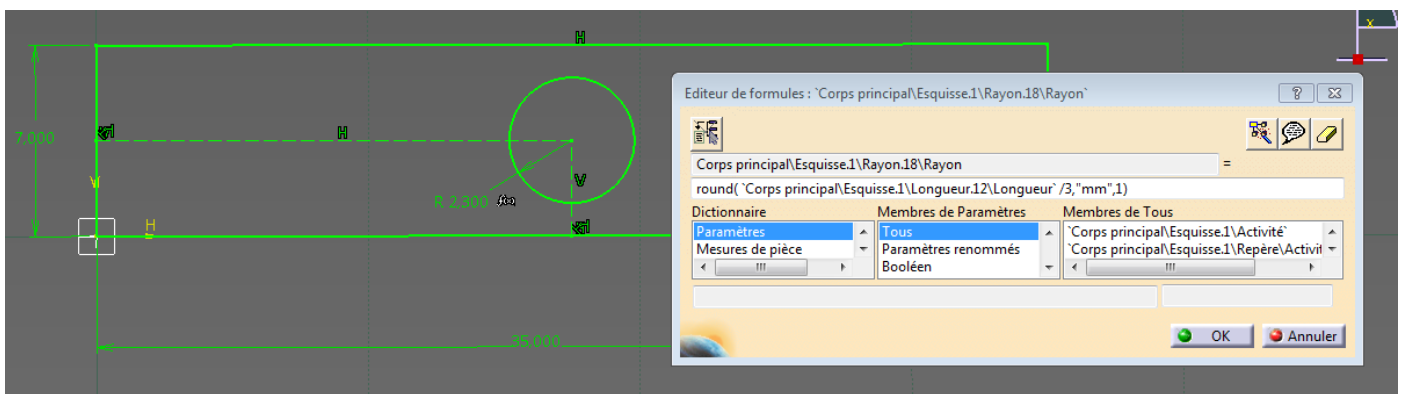
Si l'on est sûr que la cote de largeur du rectangle ne variera pas excessivement, on pourra aussi imposer une épaisseur minimale de matière de part et d'autre du cercle. Le rayon du cercle devenu mesure sera une conséquence du reste de la construction.

Quelle méthode pour mon modèle 3D ?



Nous obtenons ici une cote de 2.333 mm pour le rayon. Cela peut quelquefois être gênant si l'on souhaite avoir des cotes arrondies au moins au dixième de millimètre.

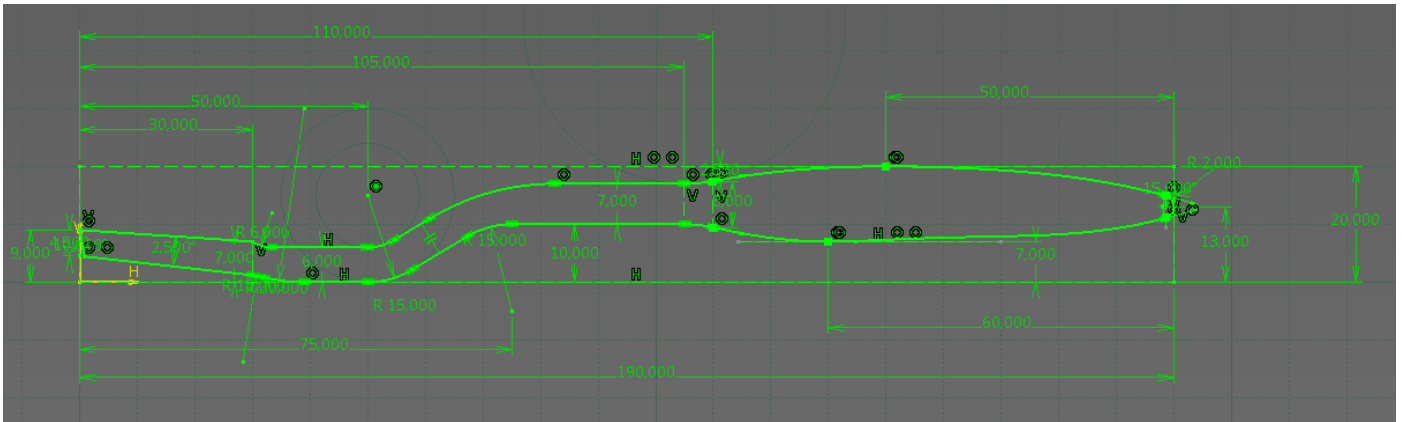
Dans un logiciel comme Catia ou ZW3D, il est possible d'arrondir la cote tout en restant "proportionnel" et donc en évitant les erreurs de mise à jour.



Cet exemple basé sur une valeur de cote proportionnelle à une autre est une des options consistant à rendre proportionnelles des longueurs dans une esquisse. L'autre solution est d'utiliser des contraintes géométriques comme "milieu" qui dans cet exemple économise l'adjonction de cotes avec formule pour positionner le cercle au centre du rectangle. On fera en sorte de rendre l'esquisse la plus simple possible en s'aidant des contraintes géométriques et ainsi réduire tant que possible l'utilisation des cotes. On aura par exemple le centre d'un rayon dans le prolongement d'un segment.

Simplifier les esquisses

Évitez les esquisses trop complexes, au moins au début afin de ne pas vous y perdre.



Toujours pour alléger le tracé, il n'est pas nécessaire de mettre le maximum d'informations dans les esquisses comme les petites gorges, les rayons, les dépouilles, etc... Celles-ci pourront être exécutées par la suite en séparant bien les fonctions ce qui rendra la construction plus claire.

Il est vrai que dans le cas d'une pièce de révolution, on soit tenté de décrire complètement le profil dans une seule esquisse. Ceci n'est pas gênant si l'on se sent suffisamment à l'aise avec quelquefois de nombreux détails. Gardez tout de même à l'esprit qu'il serait mieux de séparer le brut de l'usinage et de séparer aussi les opérations d'usinage afin de mieux communiquer avec les métiers connexes. Ceci ira dans le sens d'un allègement visuel puisque le profil global sera réparti dans plusieurs esquisses.

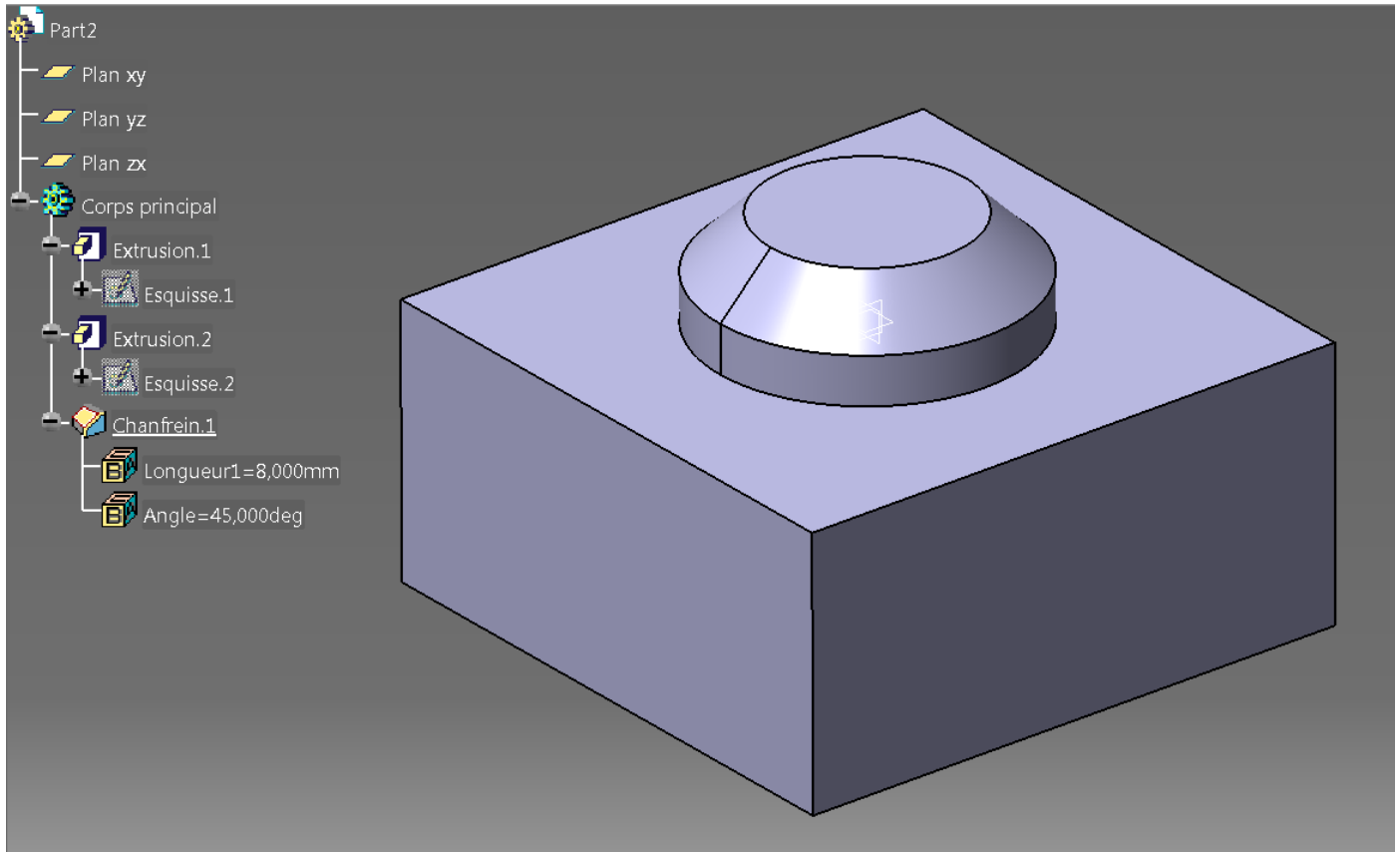
Une esquisse doit dans l'idéal être iso-contrainte (verte sur Catia) mais il arrive que pour gagner du temps dans la construction rapide d'hypothèses géométriques vous deviez laisser temporairement des esquisses sous-contraintes (blanches dans Catia). Pensez simplement à revenir sur celles-ci après validation de votre concept.

2 Quelques préconisations pour la construction solide

Un modèle CAO est constitué de surfaces Nurbs ajustées les unes aux autres sur des frontières communes (modélisation Brep). Ajuster une forme en faisant varier ses paramètres implique donc, directement ou indirectement, le déplacement et/ou le changement de taille de certaines surfaces. Dans certains cas, il y a disparition de primitives et pourquoi pas contact/interférence entre deux primitives. Cela entraîne quelque fois des erreurs de mise à jour.

Il faudra donc s'arranger pour sauvegarder la topologie de notre construction pendant la mise au point de la forme.

Dans cet exemple, le cylindre "Extrusion.2" d'une longueur 15 mm porte un chanfrein de 8mm.

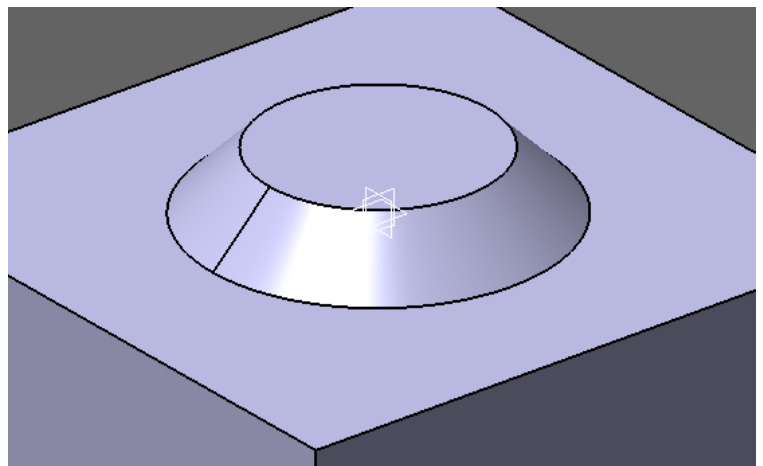


Si l'on réduit directement (ou par l'intermédiaire d'une formule) la hauteur du cylindre, la primitive cylindrique devient de plus en plus courte jusqu'à disparaître si la hauteur de l'extrusion atteint 8mm (la hauteur du chanfrein). On peut alors avoir un message d'erreur du type "Brep non trouvé" si ce cylindre sert quelque part de référence à une autre fonction.

Si "Extrusion.2" voit son paramètre de hauteur passer en dessous de 8mm alors il y a une erreur de mise à jour.

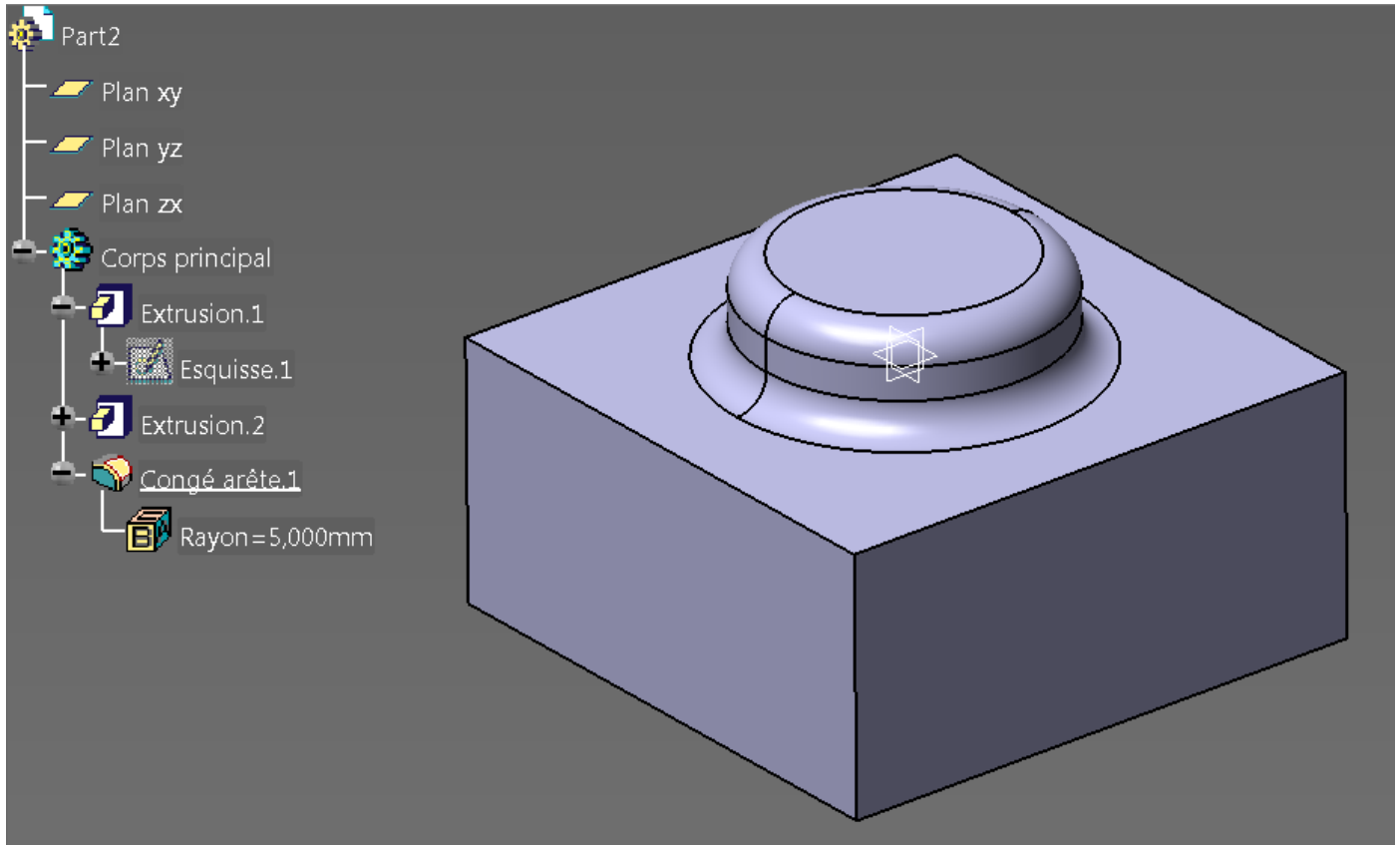
La disparition de la primitive cylindrique n'a ici aucune conséquence sur la mise à jour de cette pièce mais cette situation est assez instable et donc peu robuste dans le cas d'une construction plus complète.

Il est donc préférable de construire le modèle différemment en imposant par exemple une taille de chanfrein proportionnelle à la hauteur de cette extrusion.



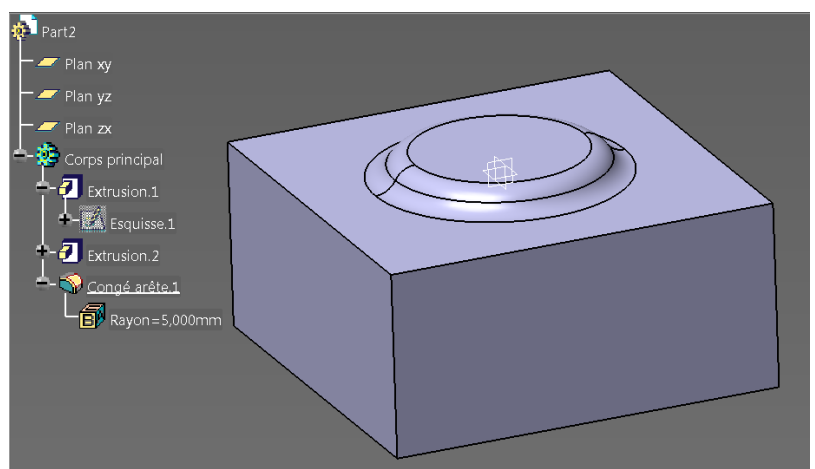
Les logiciels de CAO ne sont pas aussi performants vis à vis de la gestion de situations particulières dans lesquelles les primitives des opérations d'habillage comme les congés convergent dans une même zone.

Sur Catia, une situation comme celle-ci peut paraître inconfortable si la taille de l'extrusion vient à diminuer.



Pourtant même après disparition de la primitive cylindrique (dans une certaines limite tout de même), le logiciel est capable de raccorder tangentiellement les deux primitives toriques de ces congés.

Dans la même idée, on évitera de projeter dans une esquisse une succession d'arêtes formant le contour d'un solide. On préférera passer, dans le 3D, par une opération préalable d'extraction de ces arêtes en utilisant une continuité puis projeter ce seul élément dans l'esquisse.

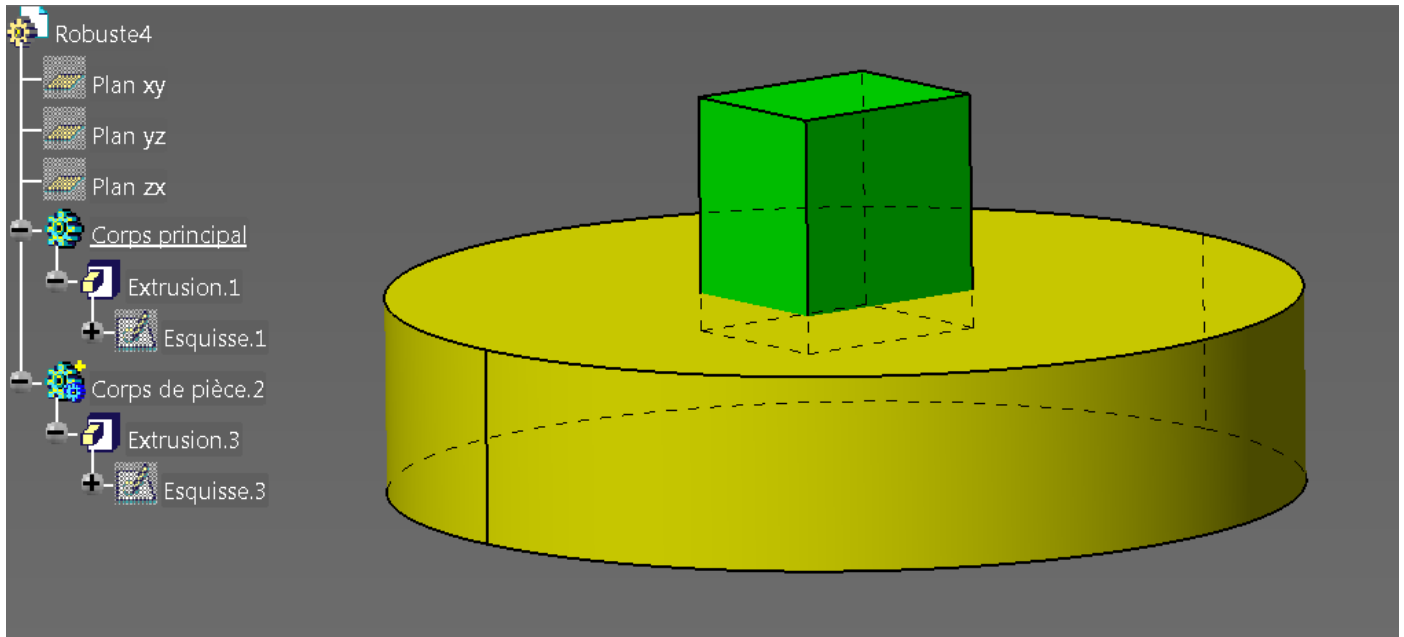


Opérations d'ajout ou de retrait

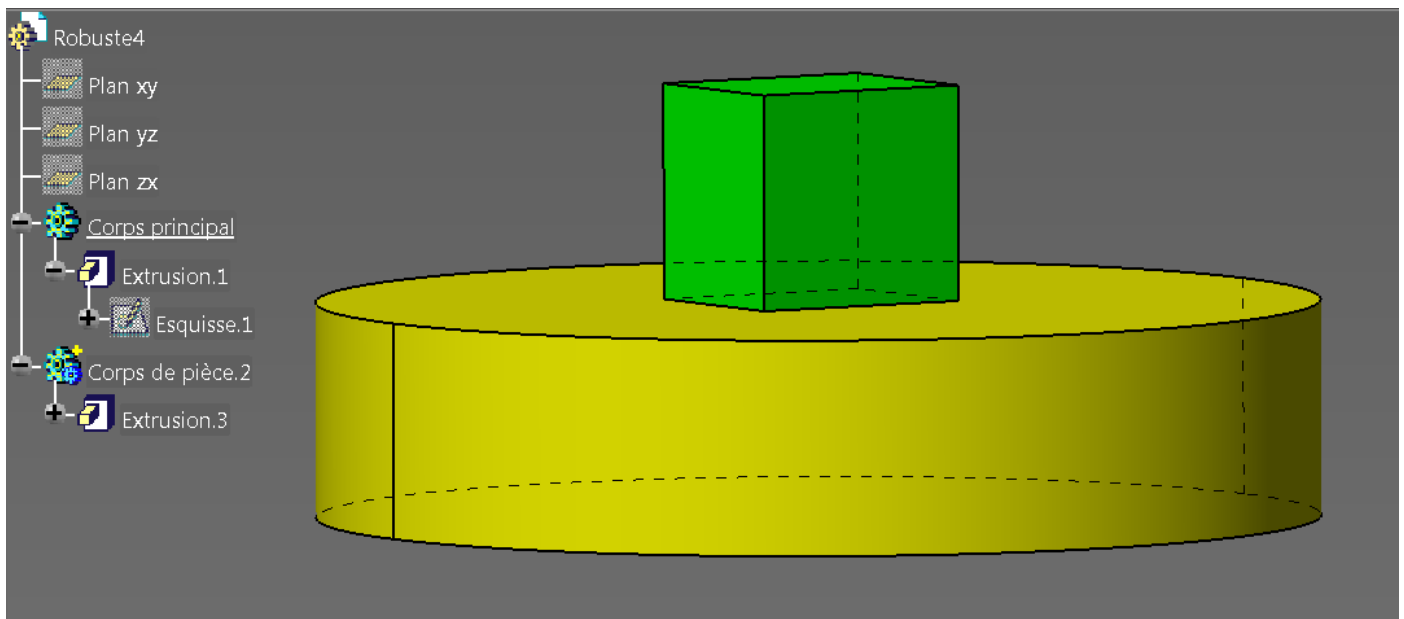
Une source d'erreur fréquente et de vouloir faire trop bien en construisant des éléments parfaitement en appui sur les autres. Nous l'avons vu, en CAO, tout est affaire d'opérations booléennes.

Il faut donc s'arranger pour faciliter ces opérations automatiques en produisant volontairement des situations simples à calculer pour la machine.

Pour une union, préférez alors ce genre de chose où les deux objets s'interpénètrent



à celle-ci où les objets sont, semble-t-il, parfaitement tangents.



La CAO semble être une science exacte pourtant il n'en est rien puisqu'au regard de la complexité de la définition mathématique d'une surface il serait miraculeux d'avoir une autre surface du modèle présentant exactement les mêmes équations au coefficients près.

Ainsi, un logiciel de CAO admet une petite tolérance (de l'ordre du centième de micron) pour dire que deux objets sont identiques et par voie de fait autoriser une opération booléenne.

Imaginons que le cube vert ne soit pas parfaitement en appui sur la face jaune du cylindre et qu'un coin soit à peine levé (non perceptible à l'œil même en zoomant beaucoup) au delà de la tolérance de confusion. Si nous voulons faire l'union des deux cubes alors la machine tentera de faire la découpe de la face jaune par l'intersection avec les quatre faces verticales du cube mais seulement une ou deux d'entre elles permettront cette opération masquée et l'opération globale ne pourra pas se faire.

Dans un autre cas, si le cube vert est à peine de travers, la machine comprendra qu'il y a une interpénétration dans un coin et fera l'opération. A l'œil, nous verrons alors quatre arêtes vives comme si l'opération s'était faite comme nous le souhaitions mais en y regardant de très près, nous verrons une fissure entre les deux pièces sur une portion de la surface de contact entre les deux cubes. C'est une situation assez classique dans laquelle rien de choquant n'apparaît mais qui devient bloquante par la suite lorsque l'on souhaite, par exemple, passer une opération dans cette zone comme un congé.

D'une manière générale, évitez d'ajouter, retirer ou couper des objets qui ne sont pas franchement en interférence. Servez-vous alors des deux directions d'extrusion pour qu'il y ait à chaque opération un peu de "Rentre dedans".

De la même façon, si vous devez découper un objet par un autre, faites dépasser franchement l'objet coupant.

Quelques préconisations pour les assemblages

Les assemblages peuvent aussi poser des problèmes de mise à jour consécutivement à la perte d'une référence sur un de ses composants. En effet, si un solide est en erreur ou si une face d'appui déclarée dans une contrainte d'assemblage vient à disparaître alors cette contrainte est à son tour également en erreur. Dans ce cas évidemment la structure de l'assemblage elle-même n'est pas responsable du problème mais il est toujours bon de clarifier l'organisation en sous-ensembles et en groupant les contraintes de positionnement dans des conteneurs en fonction des composants (revoir [l'article sur la lampe de bureau](#)).

Dans le cadre d'une modélisation en contexte d'assemblage, le modèle d'assemblage aura un impact majeur sur la géométrie des composants impactés. Il conviendra donc de s'assurer que les positions des pièces sont toujours cohérentes dans l'assemblage sans quoi les projections d'éléments d'un modèle à l'autre donneraient des résultats incohérents ou provoqueraient des erreurs de mise à jour.

Avoir des entrées sûres pour ses opérations.

Nous l'avons vu, il est plus opportun de choisir en entrée d'une opération un élément parfaitement identifié et le plus ancien possible. L'idéal est donc de s'appuyer sur des éléments d'architecture fonctionnelle pour indiquer une direction d'extrusion plutôt que sur une petite arête du solide qui semble avoir la même direction mais qui risquera de disparaître au gré des modifications.

Attention aussi à la superposition d'éléments dans le 3D. Vous pensez pointer "Ligne.3" et c'est en fait "Extraction.12" que vous venez de choisir en entrée de l'opération. Si ce n'est pas tout de suite détecté, on risque d'avoir de mauvaises surprises par la suite. Cela vaut toujours la peine de vérifier dans l'arbre l'origine de l'objet pointé voire de pointer directement dans l'arbre plutôt que dans

l'environnement 3D pour éviter les erreurs. Encore une fois, si "Ligne.3" est renommé par exemple "Dir_Initiale_Balayage" il y a beaucoup moins de risque de se tromper durant la sélection.

3. Les choses à retenir

A l'intérieur d'une esquisse la façon de contraindre les éléments par des cotes et des contraintes géométriques aura un impact très important sur la déformation du profil lorsque les valeurs varieront.

D'une manière générale, lorsque l'on construit une esquisse ou un élément quelconque il est nécessaire de prendre un moment pour valider la robustesse de l'étape que l'on vient de créer en faisant varier légèrement les valeurs des paramètres. Tous ne sont évidemment pas à prendre en compte car lors d'une conception mais l'on a une petite idée des principales cotes qui seront à adapter pour arriver à nos fins. Cela ne demandera que peu de temps et permettra de vérifier voire corriger la construction de l'arbre (construire autrement parfois) au fur et à mesure de la conception.

Une construction doit avoir autant que possible des valeurs de paramètre en proportion les uns des autres. Les rayons feront par exemple un quart de la hauteur d'un bossage non R5 mm car si le bossage voit sa hauteur baisser il est possible que les rayons se touchent

Les parents des opérations doivent être choisis en conscience et avec certitude. Pointez autant que possible les éléments dans l'arbre des spécifications.

Les primitives doivent être conçues de façon à faciliter le travail du logiciel de CAO (interpénétration et débordement de l'objet coupant).

Nous avons également vu que l'ordre des opérations d'habillage conduit à des résultats assez différents. Rappelez-vous qu'il faut placer les éléments d'habillage au plus proche des primitives.

Un modèle doit impérativement être robuste si l'on souhaite se servir d'un algorithme d'optimisation. Une optimisation fera varier des paramètres choisis en entrée d'un modèle (des épaisseur par exemple) afin d'avoir une réponse en sortie (la masse par exemple) et de trouver parmi tous ces essais (les tirs) la solution optimale au problème posé (minimisation de la masse par exemple). Les paramètres d'entrée doivent être bornés (valeurs extrêmes que l'on impose) sans quoi la machine prendra des valeurs extrêmes. Sur toute la plage autorisée pour ces paramètres, il ne devra pas y avoir d'erreur de mise à jour sans quoi de nombreux tirs ne serviront à rien et rendront la réponse de l'expérience inappropriée.

Enfin, si une construction ne vous paraît pas performante, prenez le temps de la réflexion pour trouver une autre façon de modéliser. Il y a souvent plusieurs façons de faire mais certaines seront plus robustes que d'autres.

16. La conception surfacique

1. *Le surfacique implicite*



[Explication en Vidéo](#)

La conception surfacique est dite implicite lorsque les courbes et surfaces produites ne sont pas explicitement manipulables via les points de contrôles par l'utilisateur.

C'est par exemple le cas des éléments de l'atelier GSD de Catia V5.

Si la construction surfacique peut paraître plus proche de l'utilisateur habitué à manipuler du solide, elle n'en sera pas moins difficile à mettre en œuvre car l'utilisateur aura moins de latitudes pour imposer les formes que dans une démarche plus libre comme FreeStyle.

Un cas typique d'utilisation du surfacique implicite est, comme dans l'exemple de cette tasse, le détour par le surfacique lors de la construction solide.



Ici, les fonctions solides ne permettent pas de produire une forme de raccordement correct.

On fait donc l'extraction de certaines surfaces pour construire, dans un set géométrique, les surfaces qui seront

cousues sur le solide en aval du résultat solide sur lequel on a fait l'extraction.

L'intérêt du surfacique implicite est de suivre les évolutions du solide. Si l'anse se déplace ou grossit un peu, alors la construction surfacique est recalculée et s'adapte parfaitement au solide pour l'opération de couture.

Il faut donc veiller à produire une construction surfacique robuste pour que cette dernière suive aisément les évolutions de forme du solide.

Les courbes ne posent pas vraiment de problème. Par contre les balayages sont souvent difficiles à maîtriser pour les non initiés.

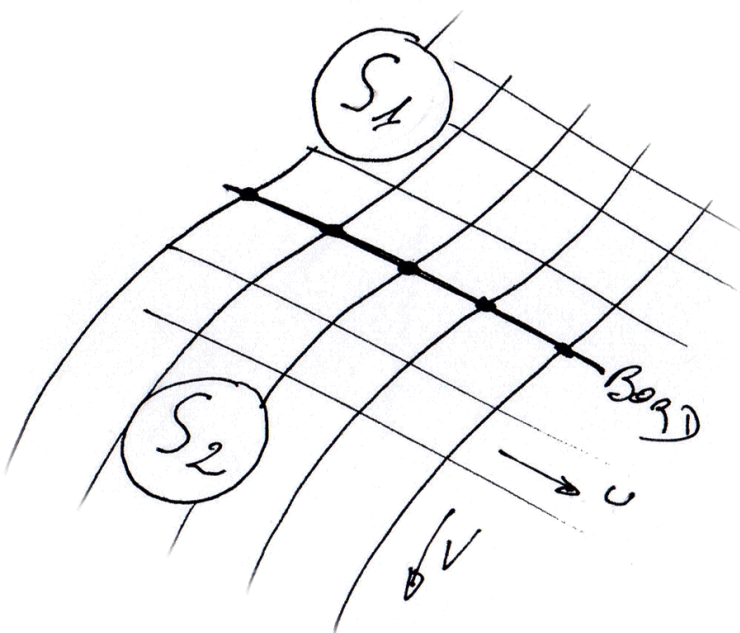
2 Les balayages

1 Représentation mentale de la surface Nurbs.

Produire un balayage entre plusieurs sections avec un ou deux guides (ou rail) comme nous l'avons explicité précédemment n'est pas un problème en soit.

Cela devient un peu plus complexe lorsqu'il s'agit de garantir une continuité avec les surfaces adjacentes.

Pour mieux comprendre les problèmes relatifs aux raccordements de surfaces en général, il est bon de faire un zoom sur les surfaces elles-mêmes et de les considérer non pas comme les peaux que nous voyons mais bien comme une sorte de tissus composé de fils perpendiculaires (les directions U et V) que sont les courbes mathématiques que l'on pourrait générer en leur sein.



Dans ce schéma, voici deux surfaces S_1 et S_2 . En regardant de très près on peut imaginer que chacune d'elle est en fait une succession de courbes parallèles dans les directions U et V.

Si l'on s'attarde sur un des points de jonction à la frontière de ces surfaces (le bord) on peut alors observer la qualité de la continuité entre les courbes de S_1 et de S_2 selon la direction V.

Deux surfaces raccordées en tangence auront alors chacune de leurs courbes raccordées en tangence.

Cette représentation, peut-être simpliste va être utile pour

comprendre les problèmes de raccordement lors des balayages ou d'autre fonctions.

On peut alors également se rappeler qu'il existe des courbes particulièrement importantes dans des surfaces; ce sont les bords à partir desquels la surface va être calculée.

2 Continuité entre deux surfaces sur un bord

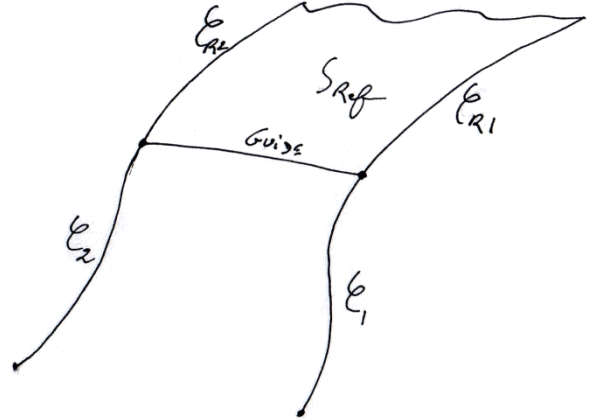
D'une manière générale, il est préférable de s'appuyer sur le bord de la surface que sur la courbe qui éventuellement longe le bord de la surface.



[Explication en Vidéo](#)

Prolonger proprement une surface de référence est assez aisé si l'on prend soin de produire des courbes (ici C1 et C2) de qualité à partir des bords de la surface de référence (Cr1 et Cr2). Si les courbes sont continues en tangence alors les deux surfaces pourront se raccorder en tangence ou en point.

Si elles sont continues en courbure alors les deux surfaces pourront se raccorder en courbure ou en tangence.



3. Avoir des entrées sûres pour ses surfaces



[Explication en Vidéo](#)

Le meilleur moyen pour réussir à raccorder correctement une surface avec une autre surface de référence est de produire les courbes issues de cette dernière (en pointillé ici). Elles peuvent être obtenues par projection, intersection, extraction de courbe UV,... Elles serviront à produire les bords de la nouvelle surface en choisissant la continuité voulue.

Ainsi l'on est sûr de suivre parfaitement la forme de la référence et de réussir le raccord. Dans un cas contraire, si la courbe n'est pas parfaitement plaquée sur la surface de référence (le cas de la courbe de référence de C2 dans l'illustration) il est impossible de demander au logiciel de produire une surface avec une continuité autre qu'en point (G0) avec la surface de référence.



4. Peignes

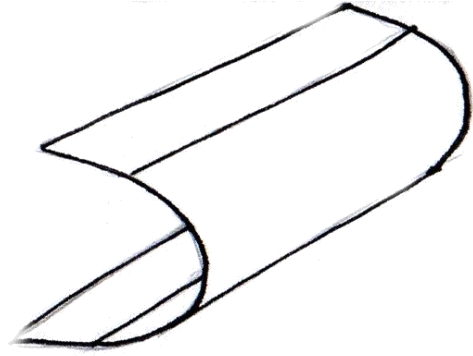


[Explication en Vidéo](#)

Les peignes sont de petites surfaces créées par le dessinateur destinée à donner la direction de la surface au niveau de ses bords.

Il peut donc y avoir autant de peignes que de bords. Le but est de maîtriser totalement l'orientation là où cela est nécessaire, il n'est donc pas obligatoire d'en mettre sur chaque frontière

Les peignes ne servent que pour la construction et ne seront pas représentés sur le produit.
Dans un logiciel associatif, il faudra alors les cacher.



Dans cette représentation deux arêtes de la surface cylindrique sont affublées de peignes droits. Ce sont simplement des petites surfaces que l'on réalise d'une façon appropriée en fonction de la continuité que l'on souhaite avoir sur la surface à produire. Ce seront principalement des extrusions ou des balayages le long du filaire qui servira à produire la surface du produit.

Au départ de la construction, il n'y a donc souvent que le filaire et les peignes.

La surface à créer est donc produite à partir de ces derniers.

Selon que l'on souhaite ou non débiter notre surface avec une courbure il est alors possible de commencer la construction par des peignes droits ou courbes.

Le peigne droit sera l'extrusion ou le balayage d'un profil droit. Lors de la création de la surface la continuité imposée localement par le peigne sera une tangence avec une courbure nulle (un rayon infini)



Le peigne courbe sera l'extrusion ou le balayage d'un profil en arc de cercle dont le rayon sera volontairement choisi. Lors de la création de la surface la continuité imposée localement par le peigne sera, en plus de la tangence, une courbure non nulle (le rayon du peigne)

Les peignes sont donc souvent le point de départ d'une construction surfacique.

L'utilisation la plus fréquente des peignes se fait au niveau des plans de symétrie. Dans ce cas, qu'il soit droit ou courbe, la direction du peigne doit être normale au plan de symétrie.

Le clone symétrique aura localement naturellement la même courbure que son parent. La symétrie conserve donc toutes les continuités.

Un article du blog pour illustrer l'utilisation des peignes:

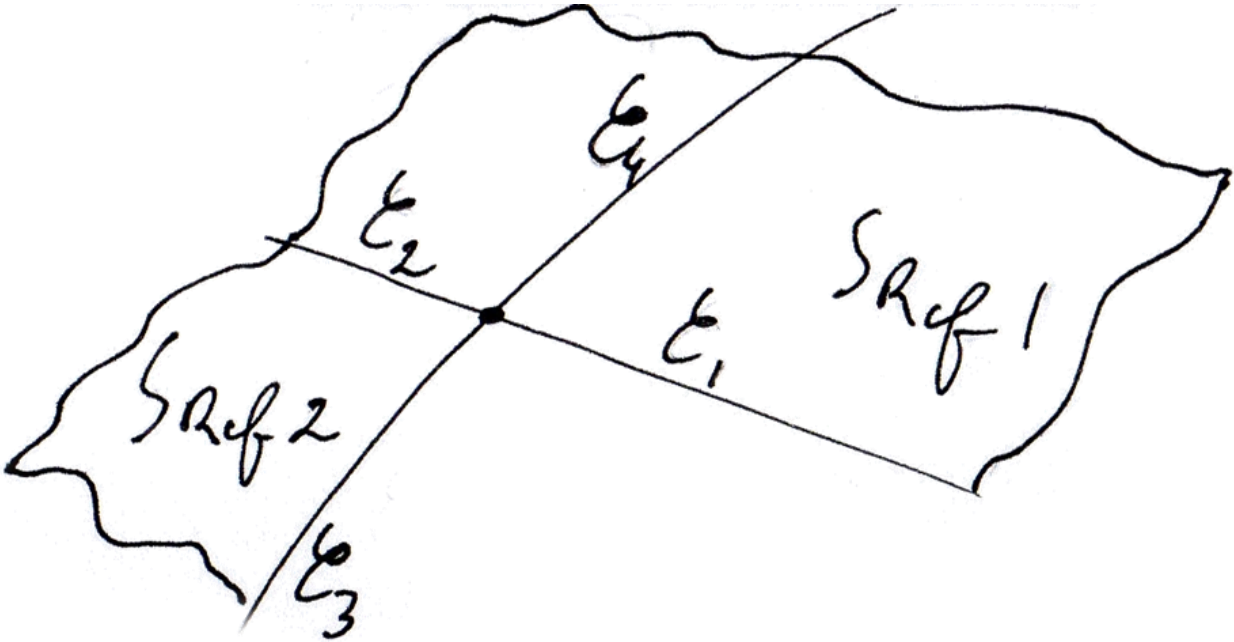
<https://apprendre-la-cao.com/conception-dun-fuselage-de-planeur-sur-catia-v5>

5. Ca se complique !



[Explication en Vidéo](#)

Les discours précédents ne mettent en œuvre que deux surfaces et une frontière commune. Que se passe-t-il si l'on doit se raccorder comme ici sur deux surfaces S_{ref1} et S_{ref2} le long des courbes $C1$ et $C3$?



Le principe reste le même mais comme précédemment, il faudra veiller à ce que les courbes $C1$, $C2$ et respectivement $C3$, $C4$ soient raccordées avec la bonne continuité vis à vis de la continuité souhaitée pour les surfaces.

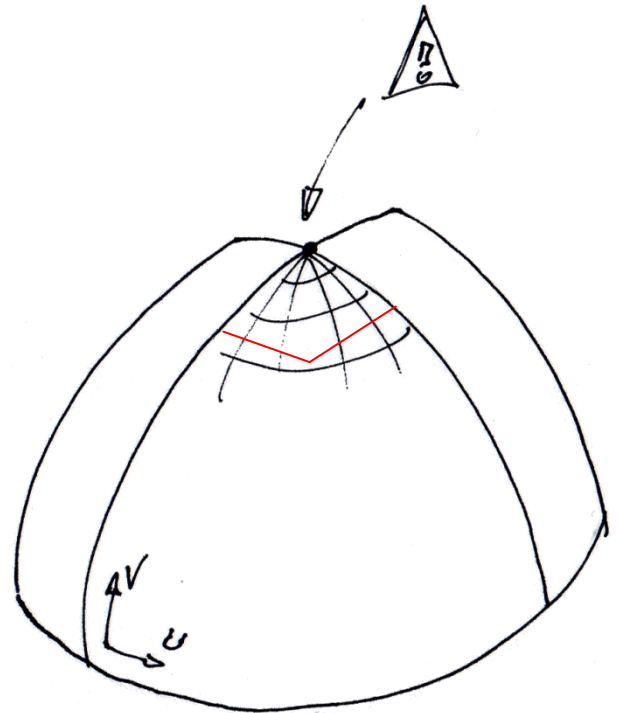
C'est la condition de réussite pour ajouter cette surface. On voit alors très bien qu'il est nécessaire de passer du temps à vérifier les entrées avant de tracer chaque surface ou, si l'on est pressé, à chercher d'où provient l'échec si l'opération ne s'est pas faite.

Evidemment, si l'on construit proprement son modèle, il n'est pas nécessaire de tout vérifier et en principe tout s'enchaîne correctement.

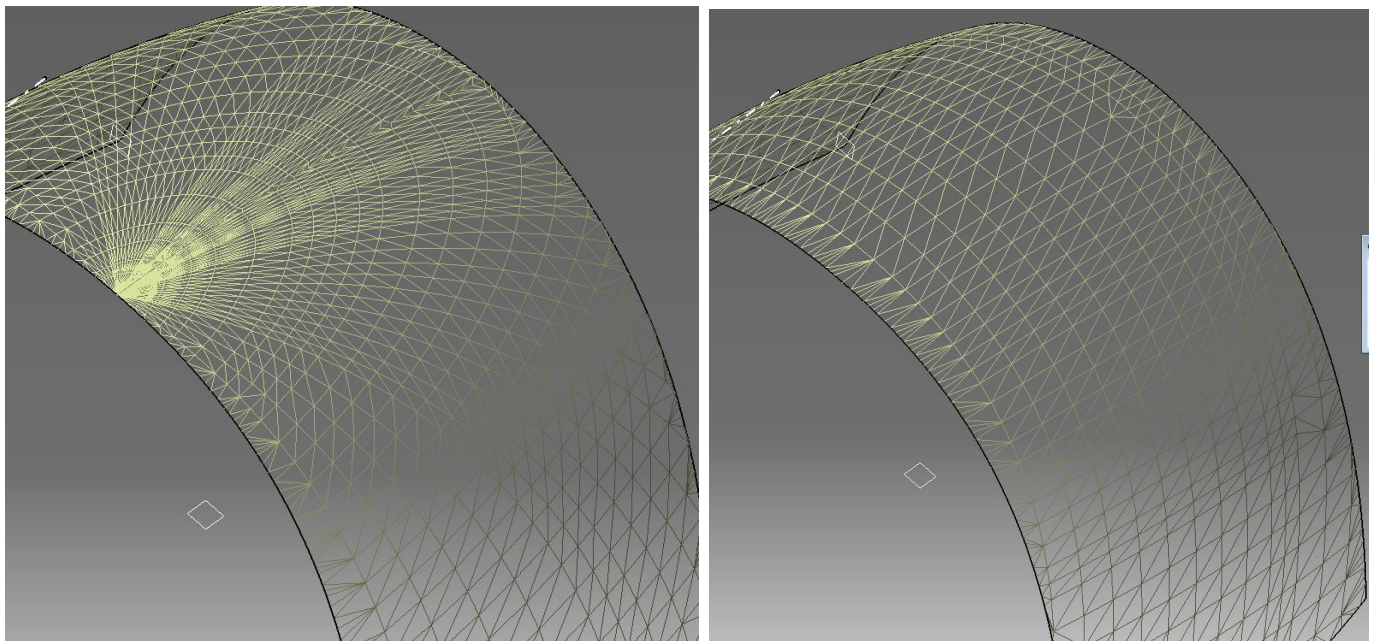
6. Surface à 3 bords

Un cas particulier mais qui arrive souvent est celui des surfaces à 3 bords. Comme pour les révolutions où les surfaces touchent l'axe, les courbes U ou V se rejoignent toutes en un point. Dans l'exemple ci-contre, les courbes selon la direction V et U se retrouvent théoriquement concentrées en un point. à cet endroit, difficile alors de trouver la direction de tangence, la valeur de la courbure, etc... Ceci explique que souvent l'opération qui utilise cette surface ne fonctionne pas (une symétrie par exemple).

De façon classique, il est possible de découper le haut de la surface triangulaire pour former ensuite une surface à 4 côtés se raccordant avec les bonnes continuités comme indiqué ici en rouge.



Dans cet exemple, sur Catia, un traitement grâce à une fonction spéciale a été effectué sur cette surface pour simplifier ses UV.



3. Les balayages sur Catia

Les logiciels de CAO proposent des fonctions de balayage plus ou moins complexes dans leur utilisation.

Catia, comme d'autre, proposent des outils dans lesquels un profil suivra une ou plusieurs courbes guide mais également permettra d'imposer ce que l'on appelle une Spine (une armature ou colonne vertébrale). Ce dernier élément est important et l'ignorance de cette entrée est souvent la cause d'un échec dans la création du balayage.



Nous aurons par exemple le "Balayage d'un **profil explicite**" (une esquisse par exemple) à l'aide de cet outil.

Ici, le profil sera guidé soit:

- le long d'une ou deux courbes guides (ici, la première courbe guide sert de spine par défaut)
- le long d'une ou deux courbes guides, en tenant compte de la spine
- le profil est balayé dans les plans normaux à la spine

A savoir au sujet des spines vis à vis des surfaces de balayage

Ne pas confondre Spline et spine.

Une spline est une courbe passant par une série de points

Une spine est une courbe passant de façon normale par une série de plans. Elle est donc tout à fait indiquée pour positionner en tout point le profil de balayage de façon perpendiculaire à la direction à suivre.

Dit autrement dans le cas d'un balayage, une spine (ou armature) dans un balayage est la direction par laquelle le profil reste normal. Alors que la courbe de guidage (spline ou autres assemblage de courbes) définit les bords sur lesquels le profil suit.

Les spines sont quelquefois optionnelles mais apportent une maîtrise de la définition de la surface.

Il faut garder à l'esprit que :

- Si la spine présente une continuité en courbure, la surface présentera au moins une continuité en tangence.
- Si la spine présente une continuité en tangence, la surface présentera au moins une continuité en point.

Il est donc important de garantir au moins une continuité en tangence pour la spine proposée par l'utilisateur en tant que parent d'un balayage.

1 Courbe Spine



[Explication en Vidéo](#)

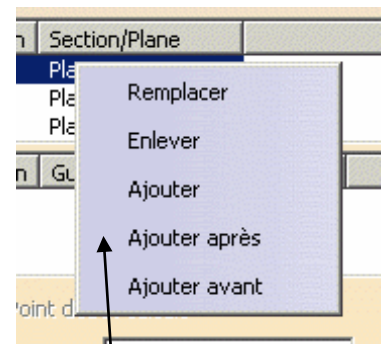
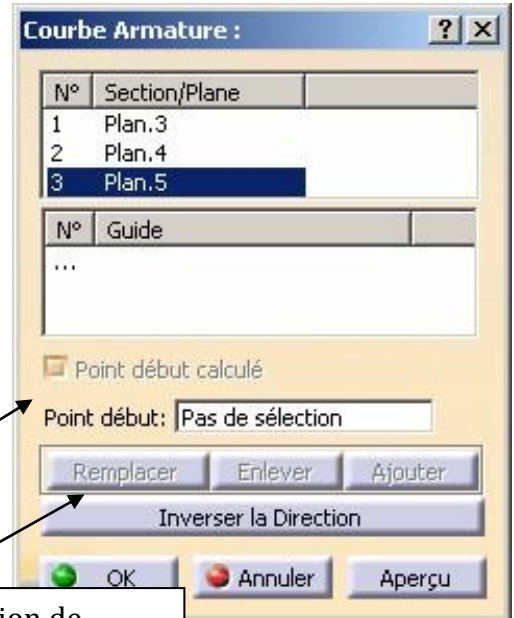


"Courbe spine" produit une courbe normale a une série de plan . Ces courbes seront très utiles pour diriger les surfaces de balayage.

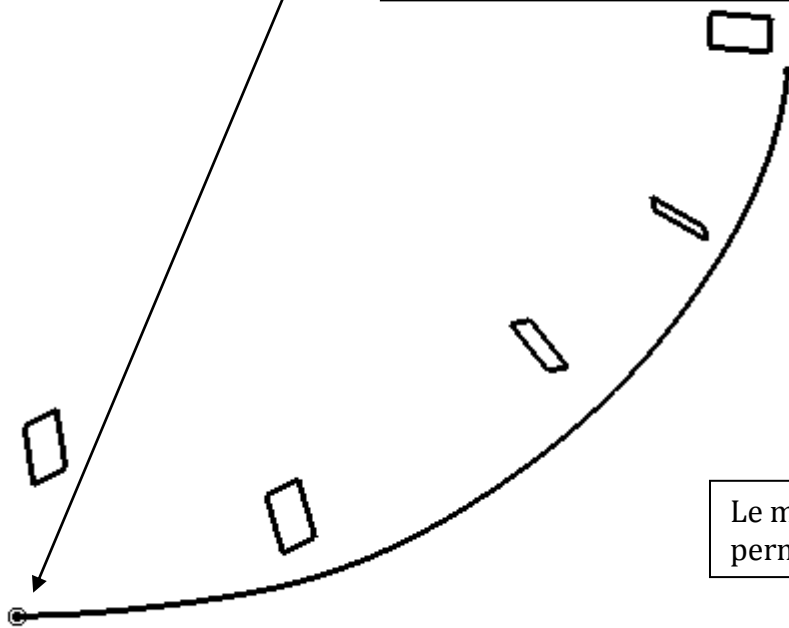
- Sélection du premier plan
- Sélection du deuxième plan
-
- Sélection du dernier plan

On guide plus précisément la courbe en imposant le point de début sur le premier plan.

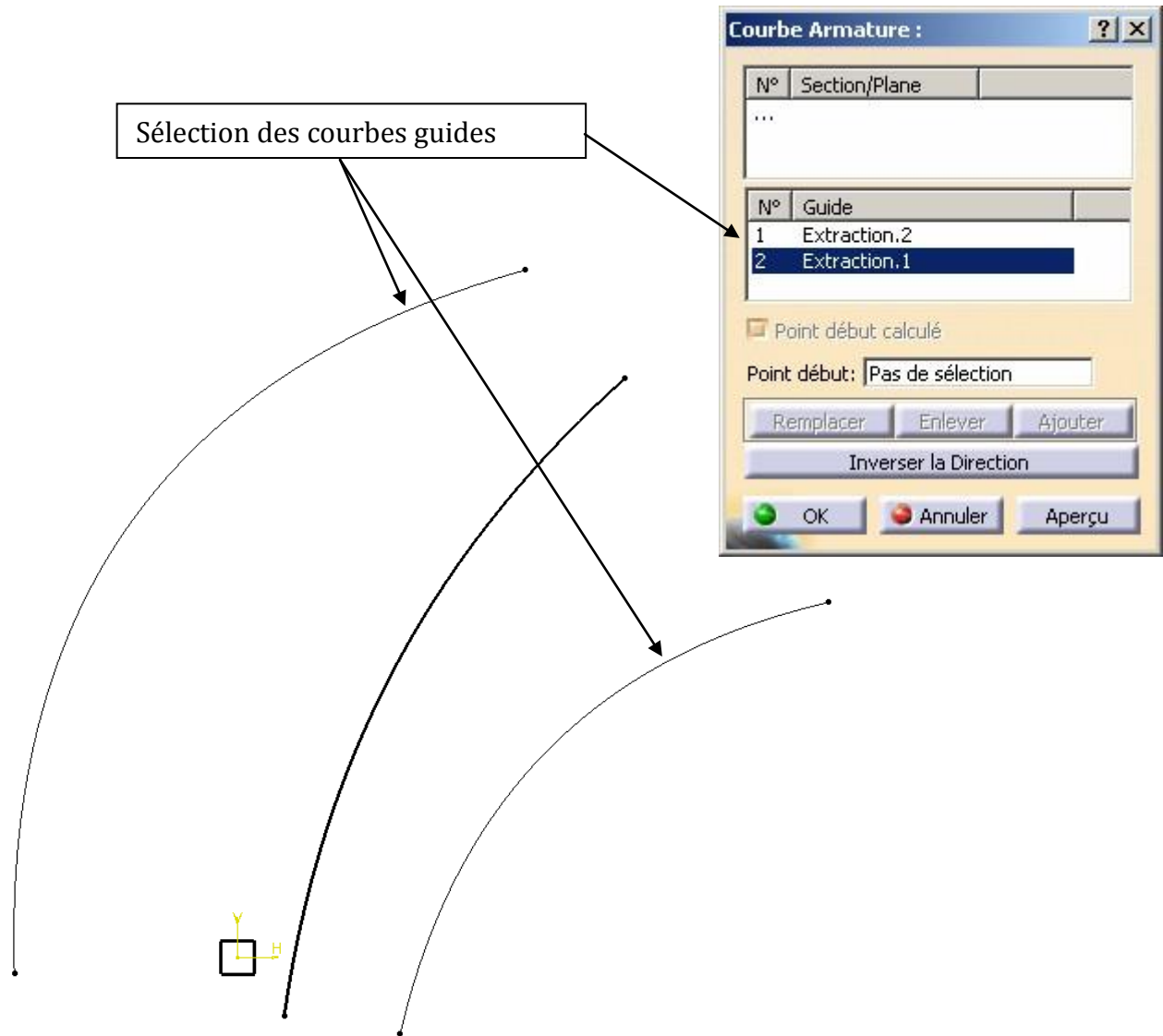
On peut inverser la direction de départ de la courbe.



Le menu contextuel sur la liste permet de modifier la sélection



Créer une courbe Spine à partir de deux courbes guides



2 balayage linéaire

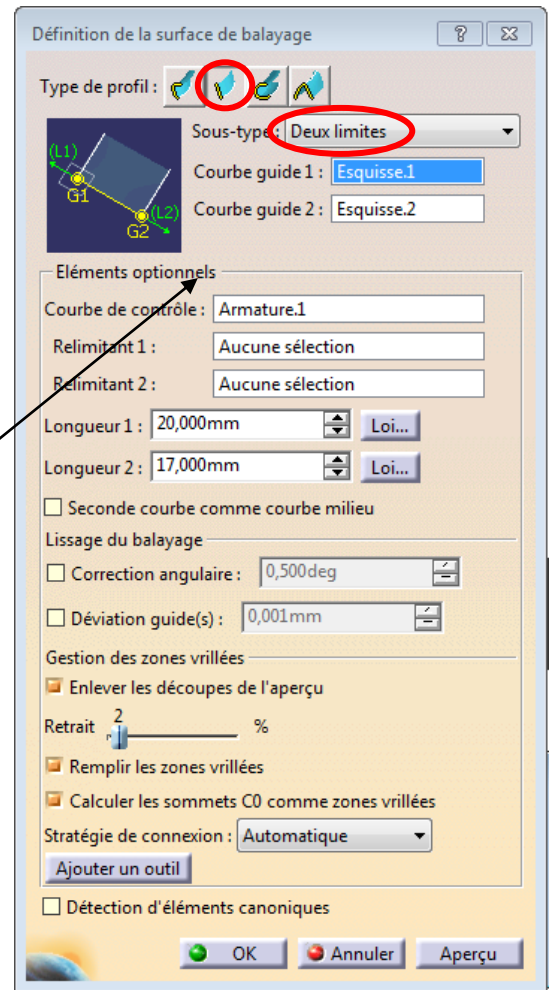


[Explication en Vidéo](#)

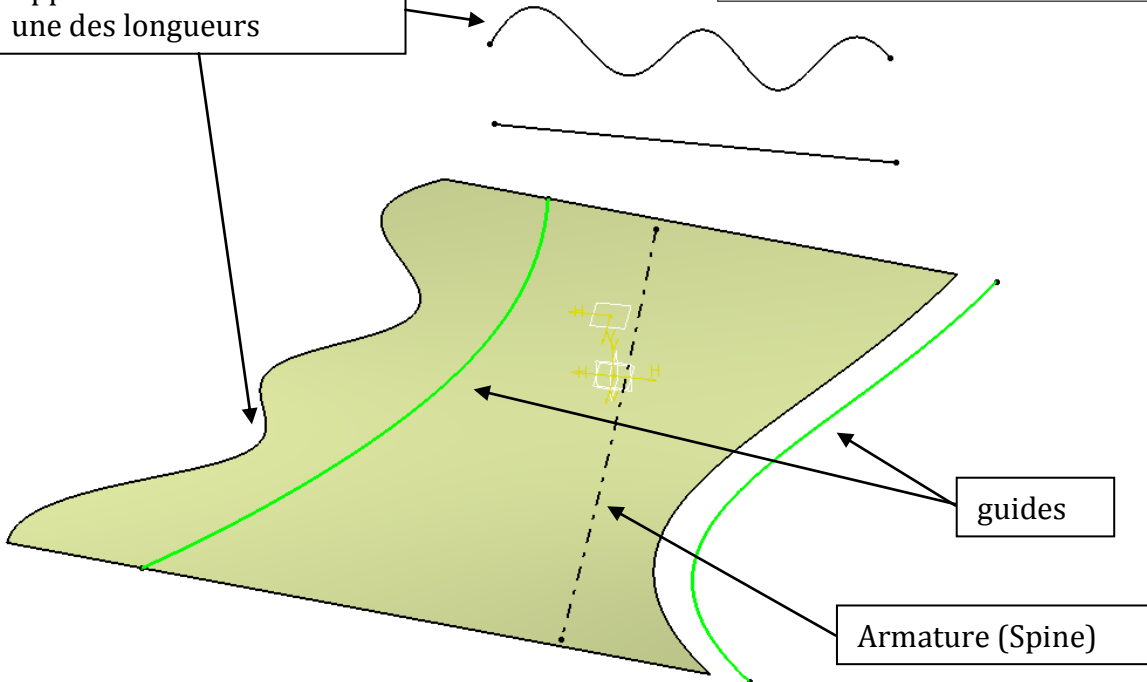
Le balayage "**Segment / Deux limites**" permet de générer une surface par balayage en suivant deux guides:

- Sélection des deux courbes guide
- Sélection de l'armature (spine)
- Ajustement des longueurs (optionnel)

Pensez à ajouter une courbe spine pour guider correctement le profil et parcourir l'intégralité des courbes guides (vertes).



Application d'une loi sur une des longueurs



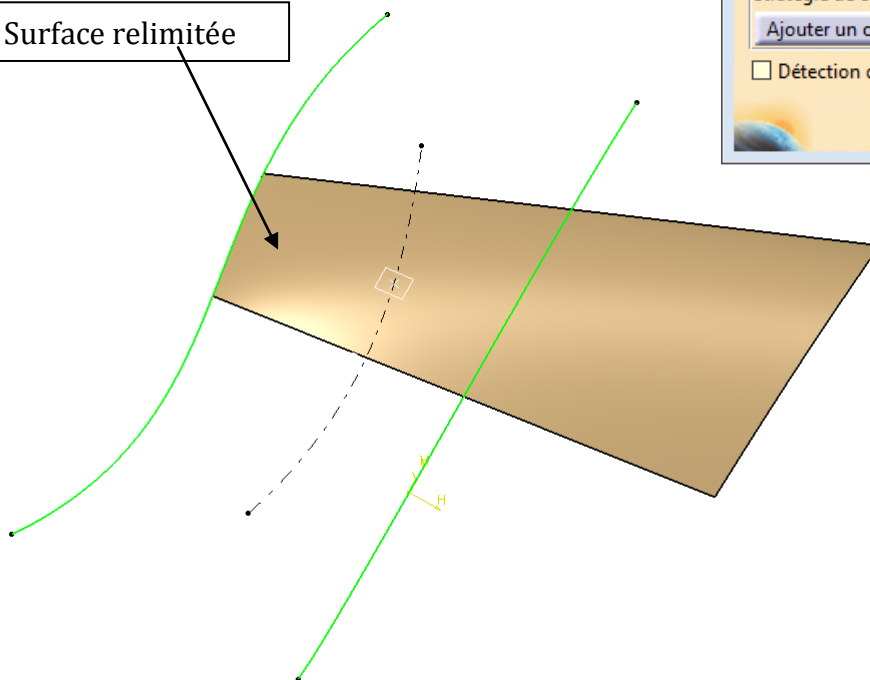
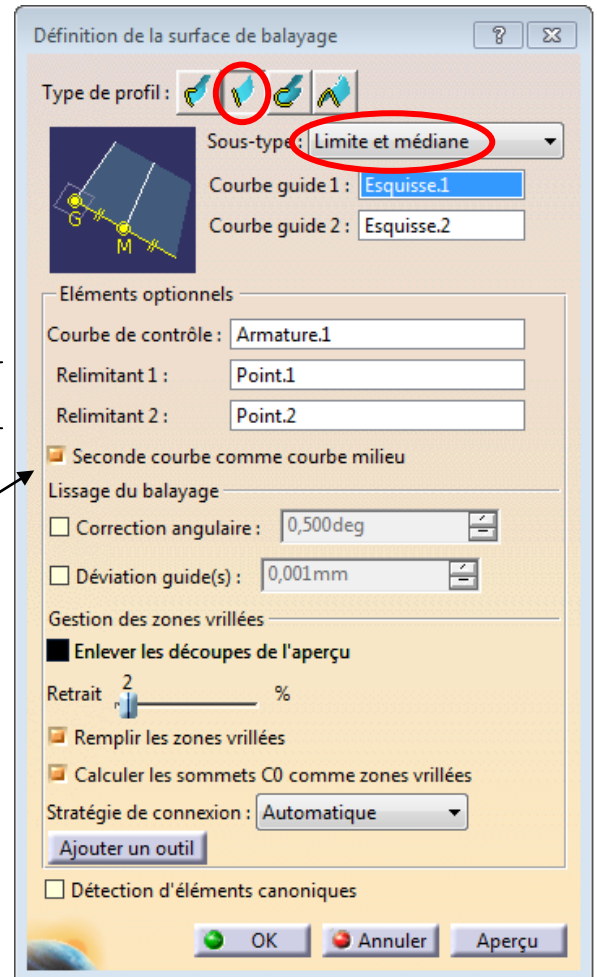
Le balayage "**Segment / Limite et médiane**" permet de générer une surface par balayage en suivant deux guides mais la deuxième courbe sera au milieu de la surface:

- Sélection des deux courbes guide
- Sélection de l'armature (spine)

Dans la plupart des cas, il est possible de relimiter le balayage par des points placés sur la spine ou par des plans normaux à celle-ci.

Ce bouton permet de basculer sur le sous type précédent

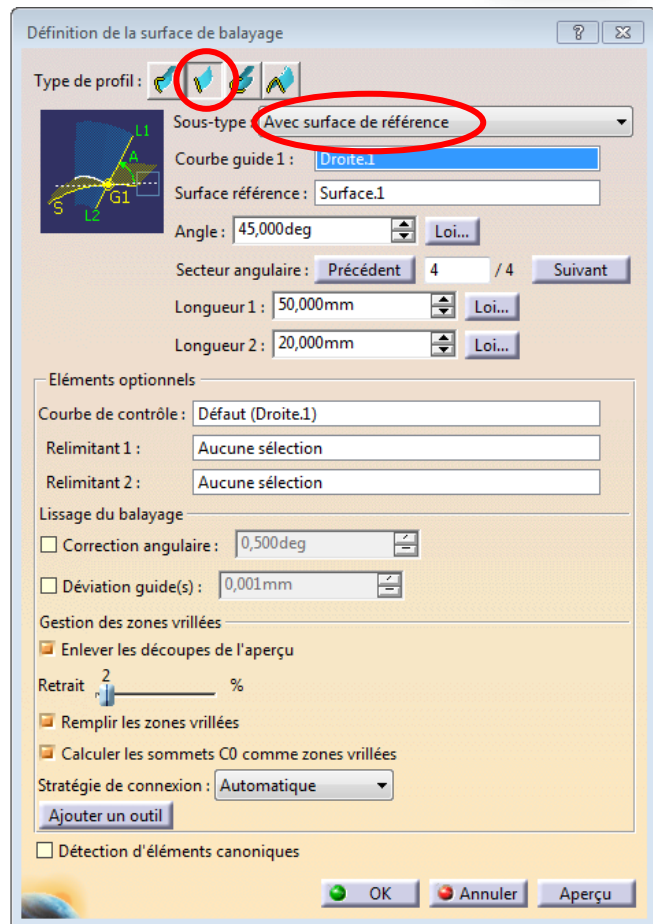
Surface relimitée



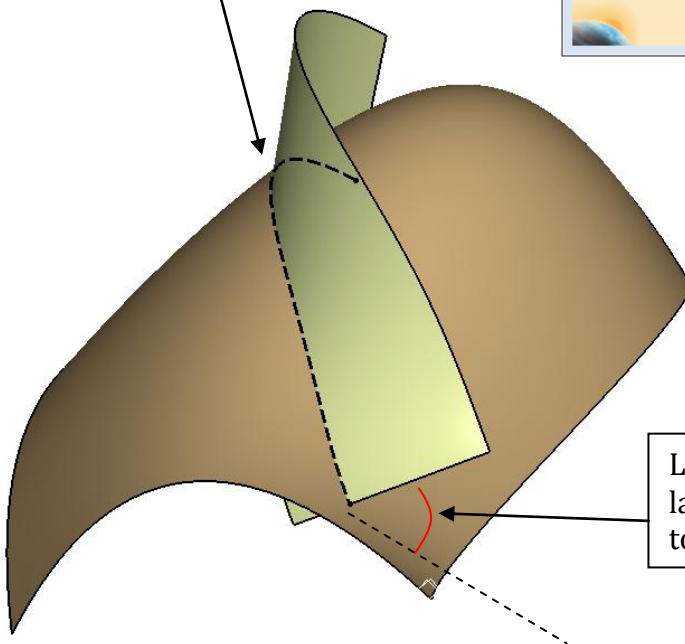
Le balayage "**Segment / Avec surface de référence**" permet de générer une surface par balayage en suivant un guide plaqué sur une surface avec un certain angle.



- Sélection de la courbe guide
- Sélection de la surface
- Renseignement de l'angle

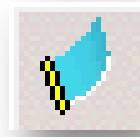


Très important, il faut que le guide soit bien plaqué sur la surface de référence (ici brune).



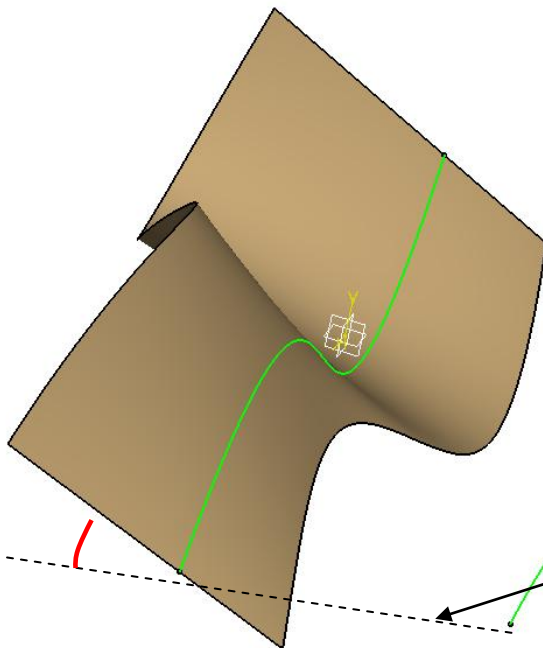
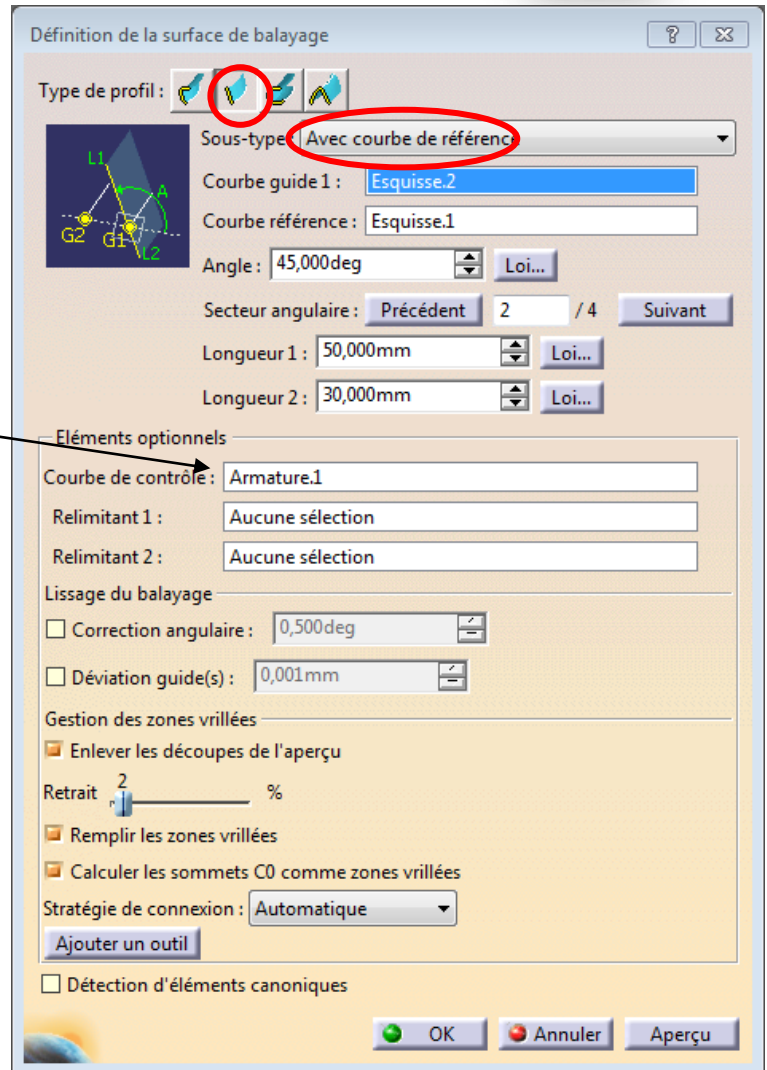
La droite balayée forme un angle avec la tangente à la surface de référence en tous points du guide

Le balayage "**Segment / Avec courbe de référence**" permet de générer une surface par balayage en suivant deux guides liés virtuellement par une droite les joignant.



- Sélection de la courbe guide
- Sélection de la courbe de référence
- Renseignement de l'angle

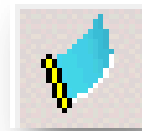
Ne pas hésiter à ajouter une courbe de contrôle (spine) pour une meilleure maîtrise de la forme



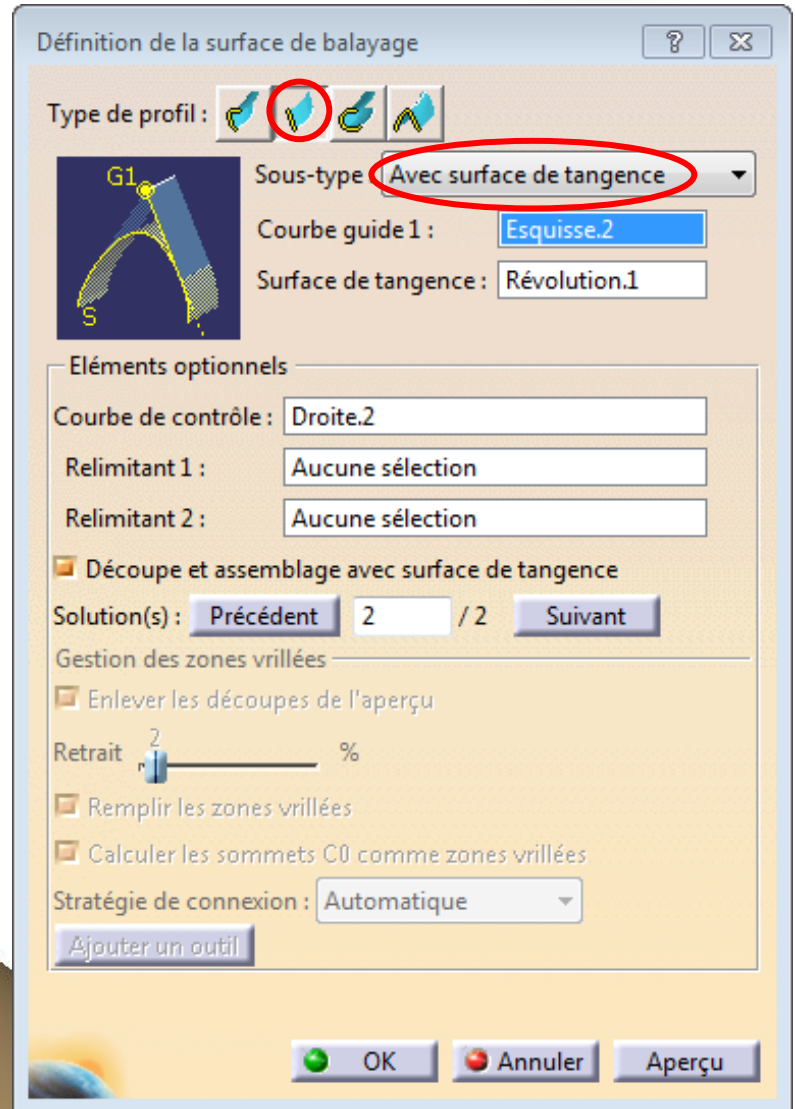
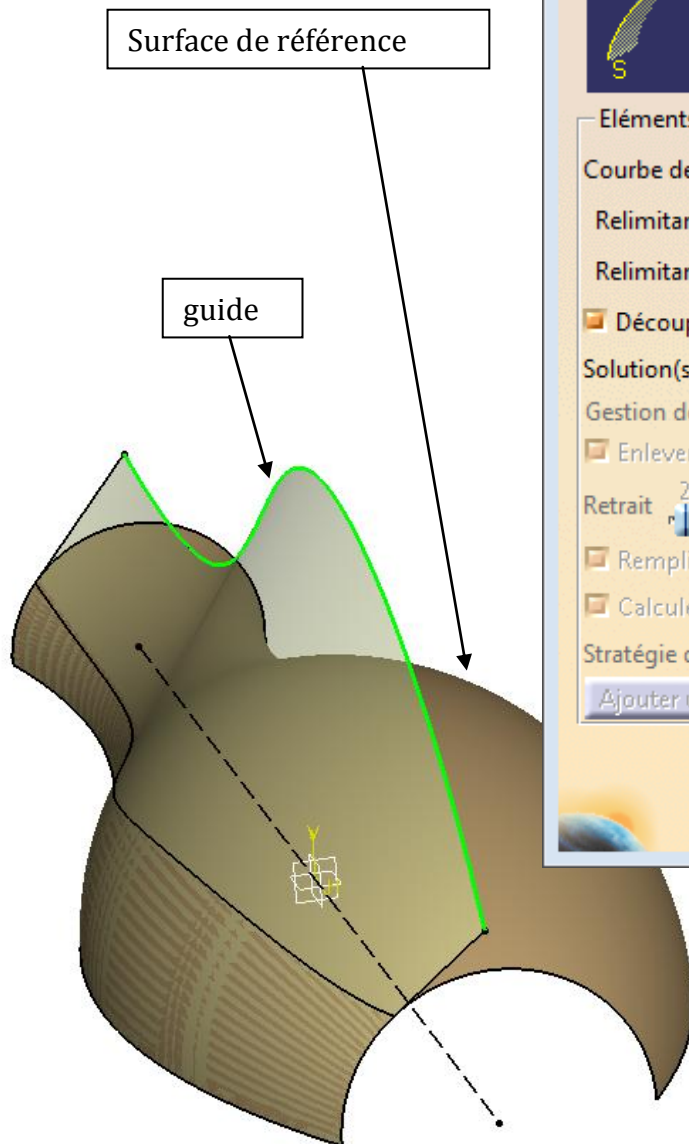
Courbe de référence

ligne de référence virtuelle

Le balayage "**Segment / Avec surface de tangence**" permet de générer une surface par balayage en suivant un guide et en recherchant la tangence avec une surface



- Sélection de la courbe guide
- Sélection de la surface tangente



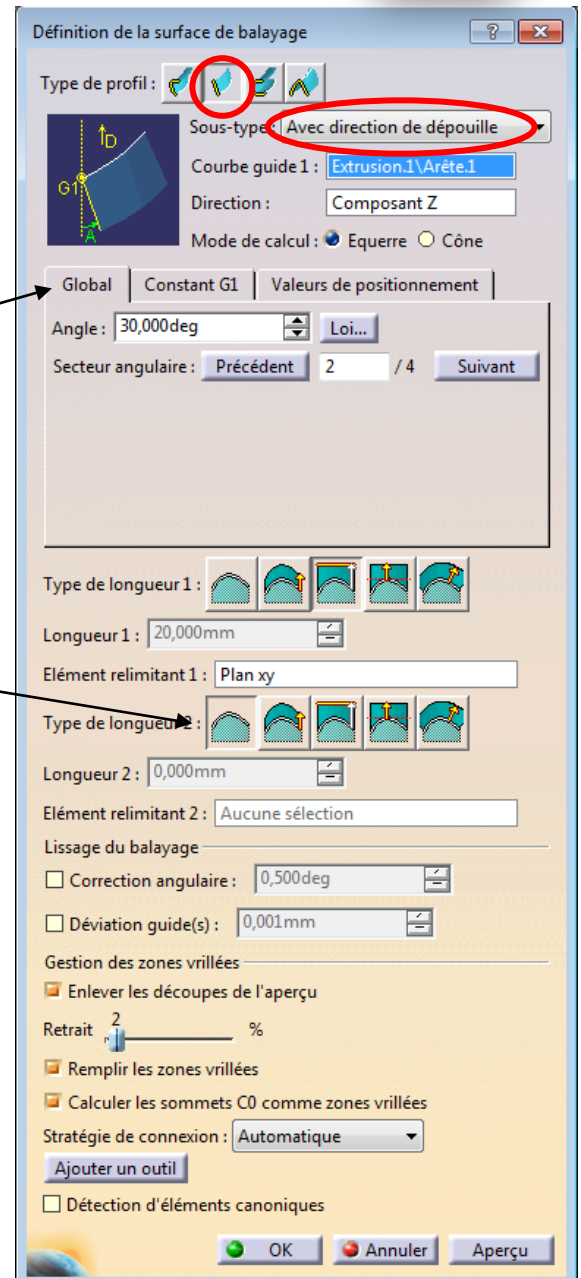
Entrenez vous avec le modèle :
["Surf balayage segment avec surface de tangence.stp"](#)

Le balayage "**Segment / Avec direction de dépouille**" permet de générer une surface par balayage en suivant un guide et en maintenant un angle avec une direction de référence.

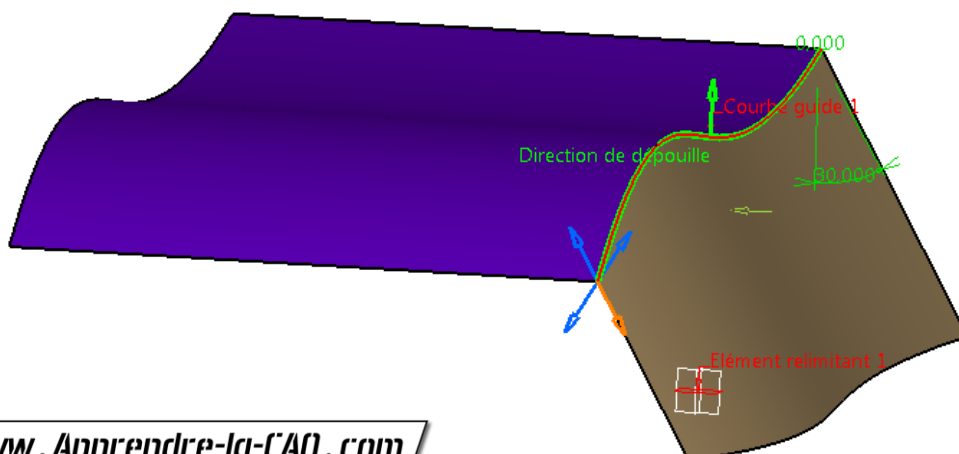


- Sélection de la courbe guide
- Sélection de la direction de dépouille
- Application d'un angle

3 onglets pour l'application de l'angle de dépouille. Chaque onglet est un mode différent. Seul celui activé est appliqué.

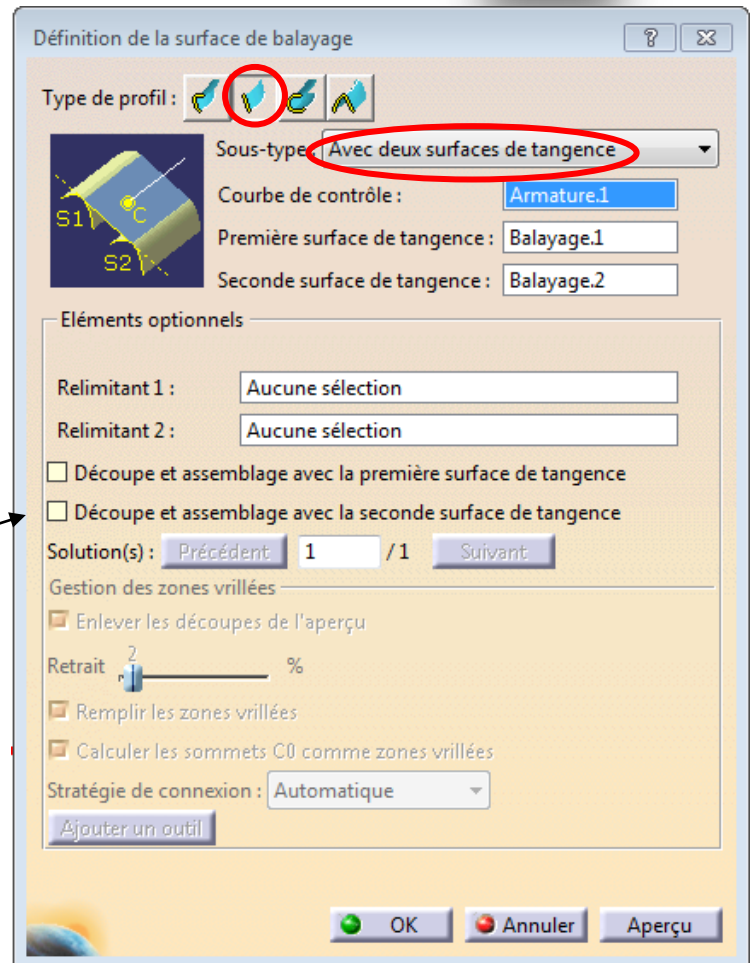


Entrenez vous avec le modèle :
"[Surf balayage segment avec direction de depouille.stp](#)"

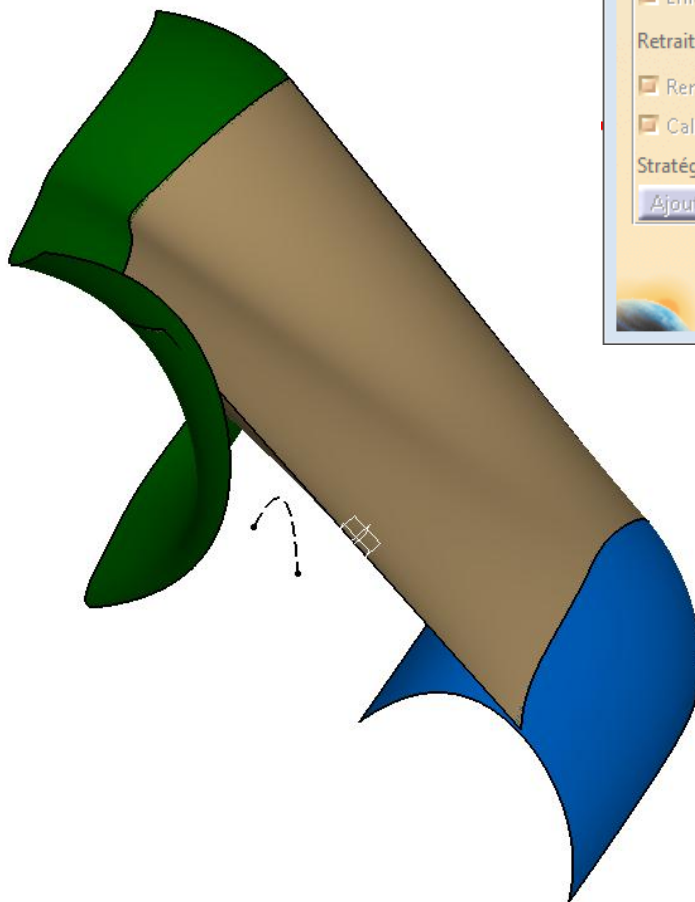


Le balayage "**Segment / Avec deux surfaces de tangence**" permet de générer une surface par balayage en s'appuyant sur deux autres surfaces.

- Sélection de la spine
- Sélection des deux surfaces



Découpage et assemblage possible avec les surfaces de départ



Entrenez vous avec le modèle :
["Surf balayage segment avec deux surface tangentes.stp"](#)

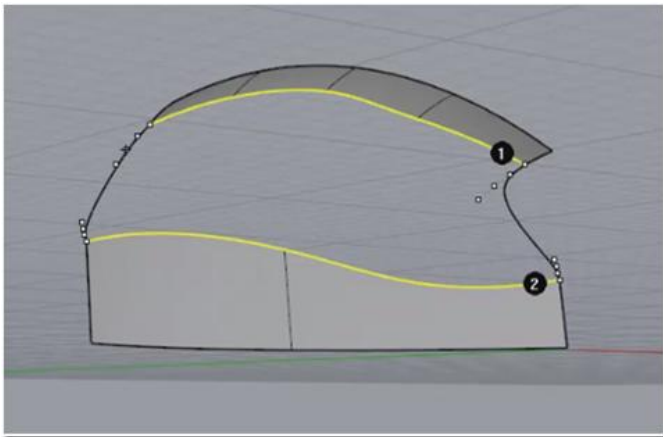
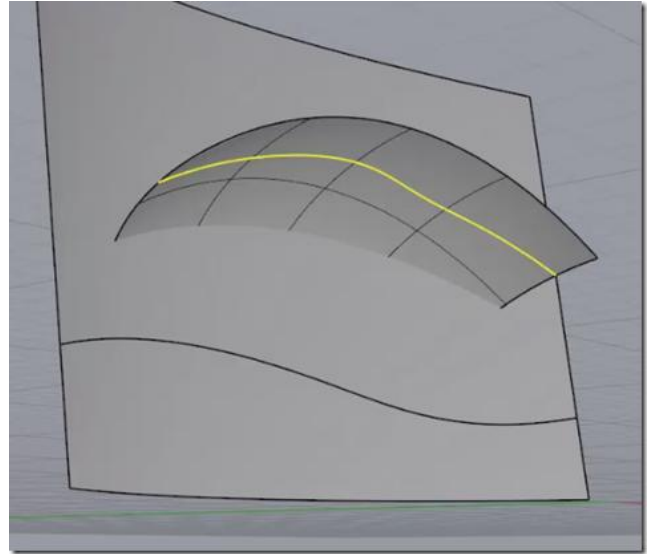
4. La démarche de conception en surfacique



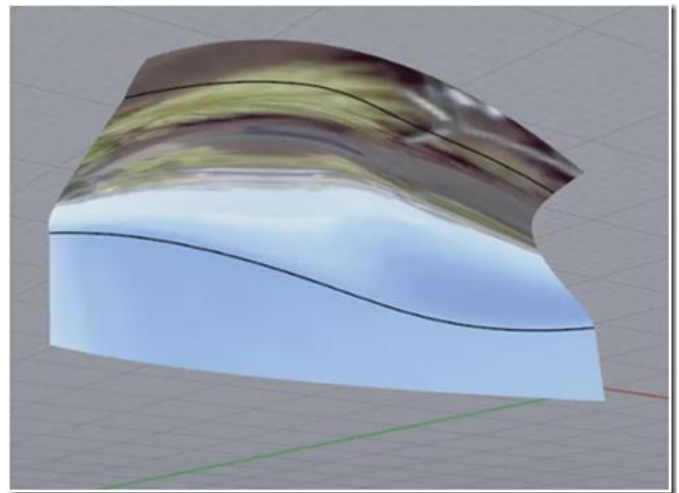
[Explication en Vidéo](#)

Qu'il s'agisse d'explicite ou d'implicite, la démarche de construction est toujours sensiblement la même puisqu'il s'agit de tendre des surfaces Nurbs entre des courbes en s'appuyant sur la présence ou non de surfaces voisines afin d'imposer localement les directions et courbures de la nouvelle surface (continuités G0, G1 et G2).

Les surfaces voisines peuvent alors servir de peigne pour donner les directions et courbures.



Une construction partira donc d'un filaire afin de produire les surfaces essentielles du modèle (extrusion, balayage,...). Celles-ci seront alors retravaillées par découpage à l'aide de courbes qui y seront appuyées comme ici.



Conclusion

17. Conclusion

Ce livre, vous a donné une vision globale du travail de modélisation 3D Nurbs en CAO.

Solide paramétrique ou bien surfacique Nurbs, vous avez maintenant les connaissances nécessaires pour orienter votre modélisation dans la bonne direction et produire vos modèles 3D efficacement.

Dans le prochains livre, nous aborderons, de façon plus ludique mais en détail, la modélisation polygonale afin de découvrir un autre pan de la modélisation 3D.

www.Apprendre-la-CAO.com

Le blog de la modélisation 3D accessible à tous

Ce livre numérique est protégé par le droit d'auteur. Tous les droits sont exclusivement réservés à Vincent PUISEUX et aucune partie de cet ouvrage ne peut être republiée, sous quelque forme que ce soit, sans le consentement écrit de l'auteur. Vous n'avez aucun des droits de revente, ni de diffusion, ni d'utilisation de cet ouvrage sans accord préalable de l'auteur. Vous ne disposez d'aucun droit de label privé. Toute violation de ces termes entraînerait des poursuites à votre égard.

Copyright 2018 – Vincent PUISEUX, Apprendre-la-CAO.com. Tous Droits Réservés

Livre 2

APPRENDRE-LA-CAO.COM

Quelle méthode pour mon modèle 3D ?

www.Apprendre-Ici-CAO.com

Le blog de la modélisation 3D accessible à tous