

Concevoir autrement avec les modeleurs paramétriques

JEAN-CLAUDE JOUANNE¹

La conception de produits assistée par ordinateur (CAO) est en pleine évolution, et beaucoup d'enseignants sont confrontés à des changements dont le rythme et l'ampleur ne peuvent être assumés individuellement. Bien sûr, nous sommes tous convaincus de l'utilité d'intégrer les maquettes virtuelles dans nos enseignements, mais il devient aujourd'hui indispensable de s'intéresser aux fonctionnalités des logiciels paramétriques et de se poser

la question du « comment concevoir » avec ces outils en se plaçant selon deux points de vue, celui du technicien et celui du professeur. Cet article a le mérite de proposer une méthodologie en conception de produit, en partant du principe que la nouveauté n'est pas seulement dans la 3D, mais surtout dans la dimension paramétrique.

MOTS-CLÉS CAO et DAO, conception et définition, lycée technologique, postbac

L'apparition et la large diffusion des modeleurs paramétriques semblent devoir poser plusieurs interrogations quant à notre enseignement ; celles-ci sont liées d'une part à l'utilisation industrielle de ces modeleurs et d'autre part aux problèmes spécifiques de formation. En effet, la démarche de conception a évolué.

Prenons un exemple simple, connu de tous les mécaniciens : la conception d'un engrenage.

Dans la conception traditionnelle, une note de calcul permet de fixer la valeur du module (condition de résistance) et le nombre de dents (cinématique, encombrement...). Le dessin est ensuite réalisé, il constitue un ensemble figé, ou alors il faut le refaire presque entièrement si des contraintes ont évolué.

Analysons maintenant une conception dans un cadre paramétrable, c'est-à-dire avec la capacité d'établir des relations mathématiques entre les cotes d'une même pièce ou de pièces différentes.

On va créer des paramètres tels que le module, le nombre de dents, le coefficient de largeur. Ces paramètres nous permettent de générer les cotes de la maquette virtuelle : diamètre de tête du pignon = module \times (nombre de dents pignon + 2) ; entraxe = ...

Rien n'est figé ; en agissant sur un des paramètres d'entrée, la maquette est mise à jour (figure 1).

Cela correspond bien à une démarche d'avant-projet en conception où le travail évolue par modifications successives pour optimiser la solution.

Le paramétrage peut d'ailleurs facilement s'étendre à des calculs de vérification (action entre les dents, contraintes...) qui permettent de suivre en direct l'optimisation de la conception.

À travers cet exemple, on voit que les logiciels 3D correctement utilisés imposent un travail de structuration dont la base reste l'analyse fonctionnelle du mécanisme. En effet, les cotes pilotantes sont des cotes fonctionnelles ; il faut donc à travers

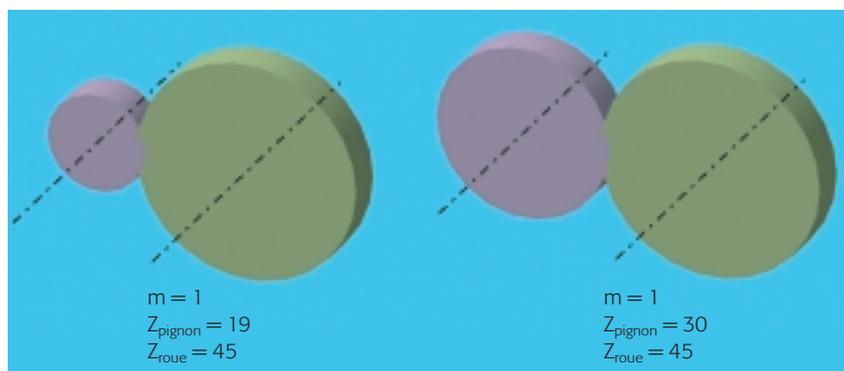


Figure 1. Évolution d'une maquette numérique

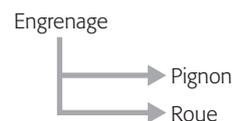
les « croquis d'intention de conception » mettre en évidence les conditions fonctionnelles.

On voit également qu'il serait extrêmement lourd de tout paramétrer, il faut donc donner un objectif au paramétrage.

UNE PROPOSITION DE MÉTHODE

L'exemple simple développé précédemment montre qu'il est nécessaire d'avoir une méthode permettant de mettre en œuvre une intention de conception.

- À partir des schémas cinématiques, architecturaux..., élaborer des croquis détaillés des fonctions à assurer. Un commentaire associé exprime les conditions fonctionnelles à réaliser. Celles-ci forment la base du paramétrage.
- Structurer la maquette en décomposant le produit en ensembles et sous-ensembles fonctionnels (cinématiques par exemple) jusqu'aux pièces. Ces ensembles et pièces doivent être nommés afin de garantir une traçabilité.



- Mettre en évidence les cotes fonctionnelles de chaque pièce, les nommer et éventuellement les paramétrer. Par exemple :

1. Professeur agrégé de mécanique au lycée Jean-Jaurès d'Argenteuil.

- diamètre de tête du pignon = module \times (nombre de dents pignon + 2), condition d'encombrement;
- diamètre primitif du pignon = module \times nombre de dents du pignon pour la condition cinématique.

- **Établir les relations** entre les cotes fonctionnelles des différentes pièces comme :
 - entraxe = (diamètre primitif du pignon + diamètre primitif de la roue)/2 ;
 - module du pignon = module de la roue.

Tout cela est sans doute plus facile à dire qu'à faire, car le paramétrage peut devenir rapidement trop lourd. Rappelons que l'objectif du paramétrage est de pouvoir faire évoluer la conception ; il est donc inutile de paramétrer des données qui ne risquent pas d'évoluer. Il s'agit de trouver un compromis entre le temps, la flexibilité et la complexité.

UN TD DE CONCEPTION PARAMÉTRÉE

Pour sensibiliser les élèves de première année en TS GPI à cet objectif, une conception, où la démarche est explicitée, est proposée. Ce TD est développé sous Catia, mais il pourrait être fait avec d'autres logiciels, tels SolidWorks, Inventor, ... La possibilité de modification est explicitée, il s'agit de tenir compte de l'industrialisation (outils, bruts différents). Le paramétrage est donc établi suivant cet objectif ; il n'est pas complet, certaines modifications seront faites manuellement ou par l'intermédiaire d'un tableur.

L'objectif de conception

Afin de concevoir un dispositif d'arrosage autonome et programmable d'une serre, nous désirons disposer d'une alimentation en énergie électrique par des photopiles installées sur un support 5 (figure 2). L'utilisateur doit pouvoir orienter au mieux les photopiles ; il est donc prévu un réglage en azimut (R_z) et en altitude (R_y). Une fois ce réglage réalisé, un maintien en position sera effectué.

La modélisation se fera à partir des indications de conception indiquées ci-après. Lorsque plusieurs dimensions sont possibles, la modélisation initiale se fera à partir des valeurs en rouge. Elle devra permettre de prendre en compte rapidement la possibilité de variation de certains facteurs : capteurs différents, disponibilité d'outils, disponibilité de bruts...

Les choix technologiques

- Pour des raisons de résistance à la corrosion, de soudabilité, d'esthétisme (possibilité d'anodisation), le support sera réalisé à partir de barres filées en alliage d'aluminium (6060).
- Pour des raisons de coût et compte tenu de la bonne qualité des surfaces des barres brutes, on limitera au maximum les usinages.
- Pour des raisons de rigidité :
 - le support de cellule aura une épaisseur minimale de 5 ;
 - les tiges 3 et 4 auront un diamètre minimal de 20 ;

- la semelle aura une épaisseur minimale de 10.
- Les bruts présélectionnés seront donc :
 - des ronds de diamètre 22, **25** ou 28 suivant le stock ;
 - des méplats de **100 \times 5** pour le support de cellules ;
 - des méplats de 120 \times 10, **100 \times 10** ou 80 \times 10 suivant le stock pour la semelle ;
 - des méplats de **60 \times 40** ou 50 \times 50 suivant le stock pour le pied.
- Les serrages nécessaires à l'immobilisation des réglages seront réalisés par des écrous moletés standard M8.

La structuration « cinématique »

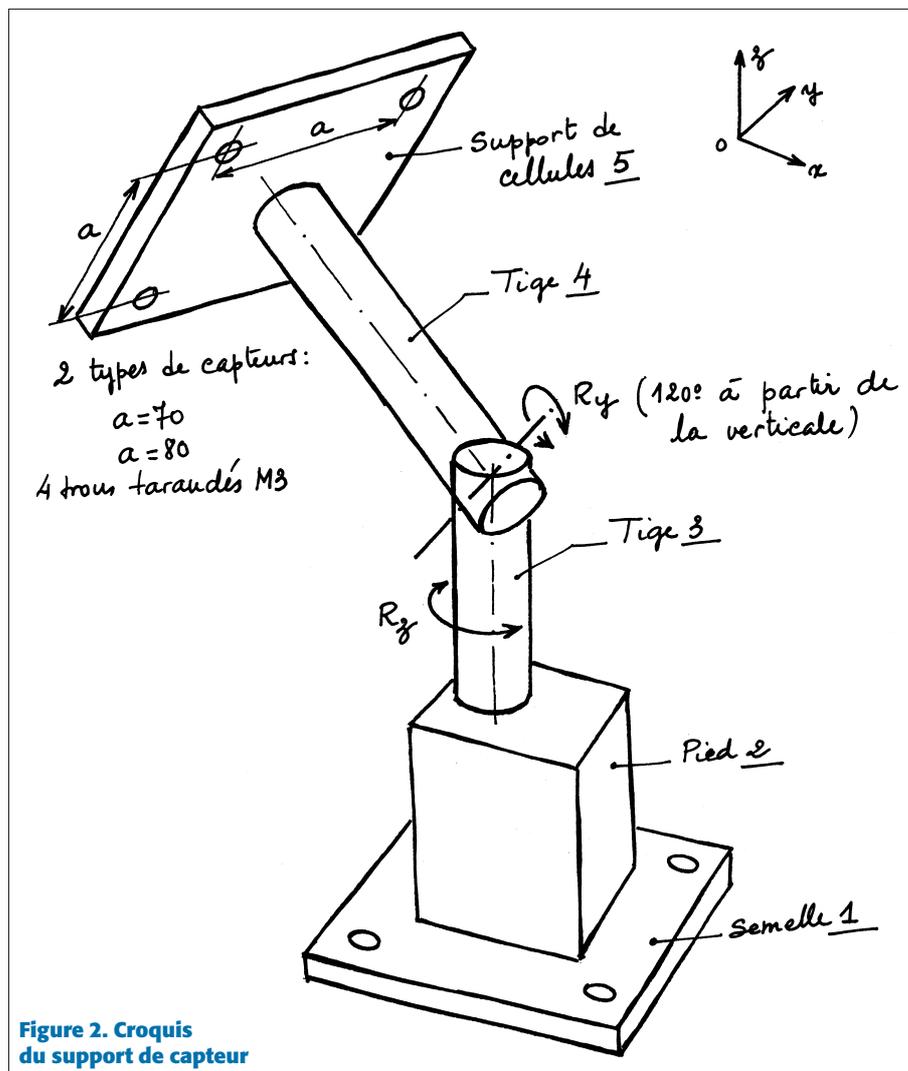
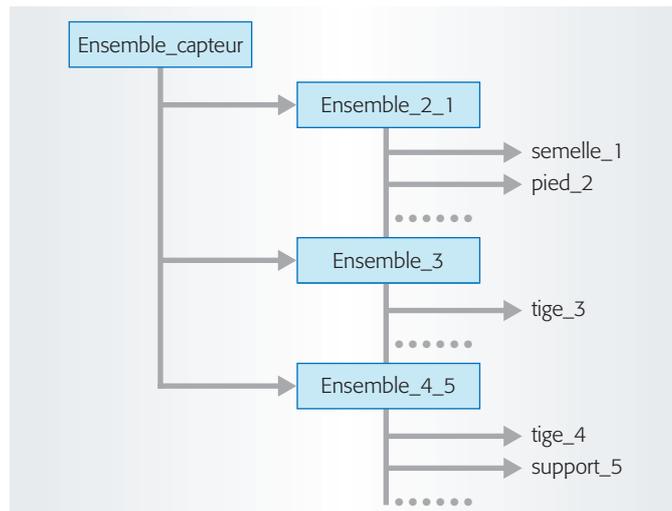


Figure 2. Croquis du support de capteur

Les principes de solution retenus

La recherche de solutions se fait à main levée ; il s'agit de croquis, des cotes fonctionnelles justifiées, et du nom des différents paramètres. Ceci constitue le préalable au travail sur ordinateur.

Les cotes mises en place sur ces croquis ne visent pas à définir les pièces, mais à indiquer des intentions de conception par l'expression de certaines conditions fonctionnelles.

Liaison de la semelle 1 avec le pied 2

Cette liaison est nécessaire uniquement pour des raisons dues à l'obtention.

Nous avons choisi une liaison par adhérence sur une surface plane, sans aucune surface de mise en position supplémentaire (figure 3).

Le flux bouclé de serrage sera réalisé par deux vis ISO 4762 CHC M4-12 dont les têtes seront noyées dans un lamage de la semelle.

Les vis seront freinées par des rondelles Grower WZ4.

Comme on peut le constater, certaines cotes ne sont pas nommées ; le concepteur a considéré qu'il n'y aura pas de modification. Par exemple, le choix de vis CHC M4 ne sera pas à priori remis en cause ; sinon, on aurait pu paramétrer les différentes cotes du pied et de la semelle en fonction des dimensions de la vis choisie, mais cela a un coût (temps, complexité).

Certaines cotes ne sont même pas mentionnées ici (chanfreins de la semelle par exemple) car ces formes ne sont pas fonctionnelles et pourront être définies directement lors de la maquetisation.

Liaison du pied 2 avec la tige 3

C'est une liaison fixe temporaire qui doit permettre un réglage en Rz (la mise en position axiale n'est pas nécessaire).

Le principe retenu est une liaison par pincement (figure 4).

Le pied 2 sera rendu déformable grâce à deux fentes.

Le flux bouclé de serrage sera réalisé par un boulon composé d'une vis ISO 4017 H M8-55 et d'un écrou moleté standard. Il conviendra de vérifier la longueur de filet en prise (mesure) pour les différents bruts du pied 2.

La tête de la vis sera immobilisée en rotation.

La fente sera réalisée à priori par une fraise de rayon 80 et de largeur 3, mais cela doit être modulable en fonction des outils disponibles, d'où une largeur de 2 à 5 (paramètre : largeur_fraise) et un rayon de 60 à 120 (paramètre : rayon_fraise). Il conviendra de vérifier le passage de la broche (interférence) ; pour cela, on pourra réaliser un volume représentant l'axe de la broche de diamètre 30.

Les figures 5 et 6 mettent en évidence :

- l'arbre de construction du pied 2 (sur Catia) ;
- la maquette virtuelle de l'Ensemble_2_1.

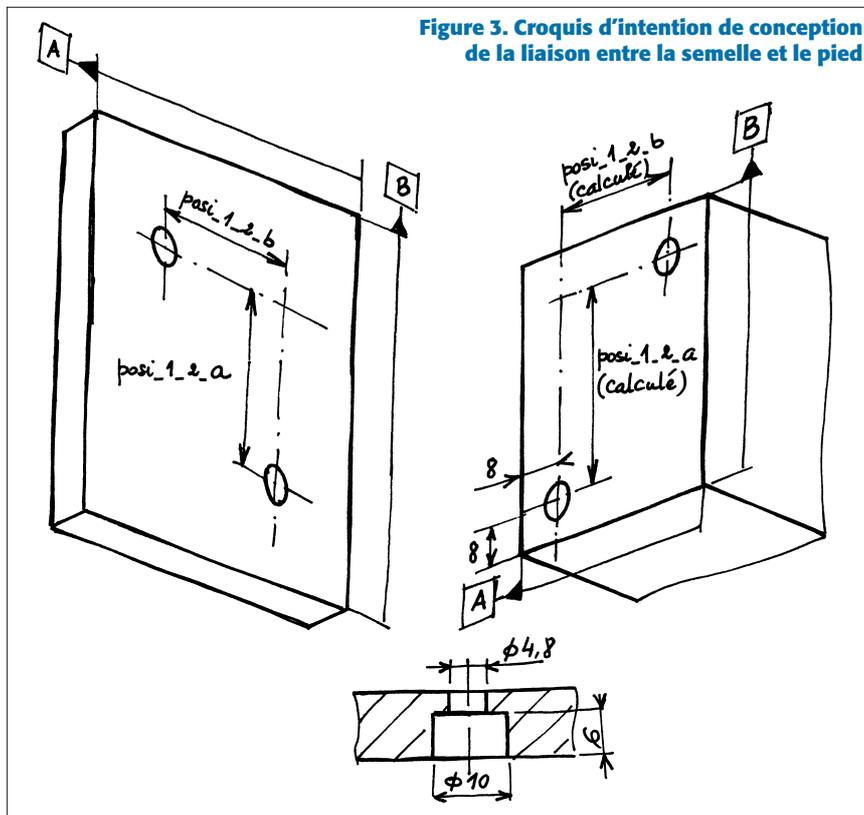


Figure 3. Croquis d'intention de conception de la liaison entre la semelle et le pied

Ensemble_2_1		
pied_2		
Nom du paramètre	Valeur du paramètre	Condition liée
largeur_totale	= 40 mm	Choix du brut
longueur_totale	= 60 mm	Choix du brut
hauteur_totale	= à définir	
réserve_matière_trous	= 8 mm	Résistance des taraudages
(1)	= 10 mm	Réserve de taraudage (longueur taraudée)
posi_1_2_a	= largeur_totale-2 * réserve_matière_trous	Montage de la semelle
posi_1_2_b	= longueur_totale-2 * réserve_matière_trous	Montage de la semelle
semelle_1		
Nom du paramètre	Valeur du paramètre	Condition liée
largeur_totale	100 mm	Dimension du brut
longueur_totale	100 mm	
hauteur_totale	10 mm	Dimension du brut
(1)	6 mm	Permet le jeu fonctionnel entre la tête de vis et le sol
(1)	Ø 4,8 mm	Trou de passage série large (H14)
(1)	Ø 10 mm	Lamage minimal pour vis type CHC
posi_1_2_a posi_1_2_b		Positionnement par rapport au plan de contact et aux plans médians A et B (esthétique)
Relations au niveau de l'Ensemble_2_1		
Relation	Justification	
pied_2/posi_1_2_a=semelle_1/posi_1_2_a	Concordance des trous lisses de 1 avec les trous taraudés de 2 (montage)	
pied_2/posi_1_2_b=semelle_1/posi_1_2_b	Concordance des trous lisses de 1 avec les trous taraudés de 2 (montage)	

(1) : paramètre non renommé

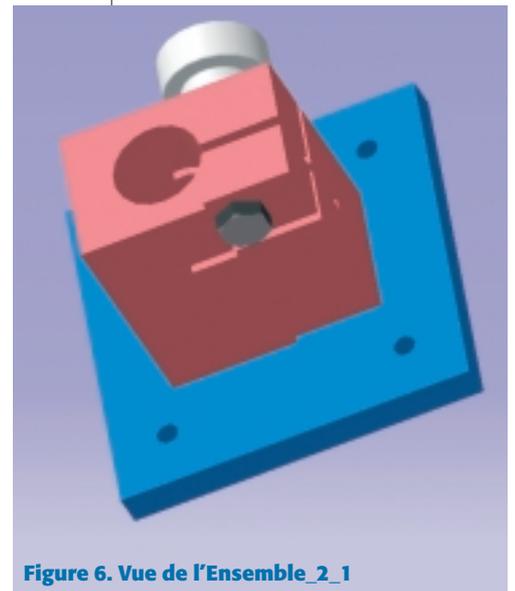
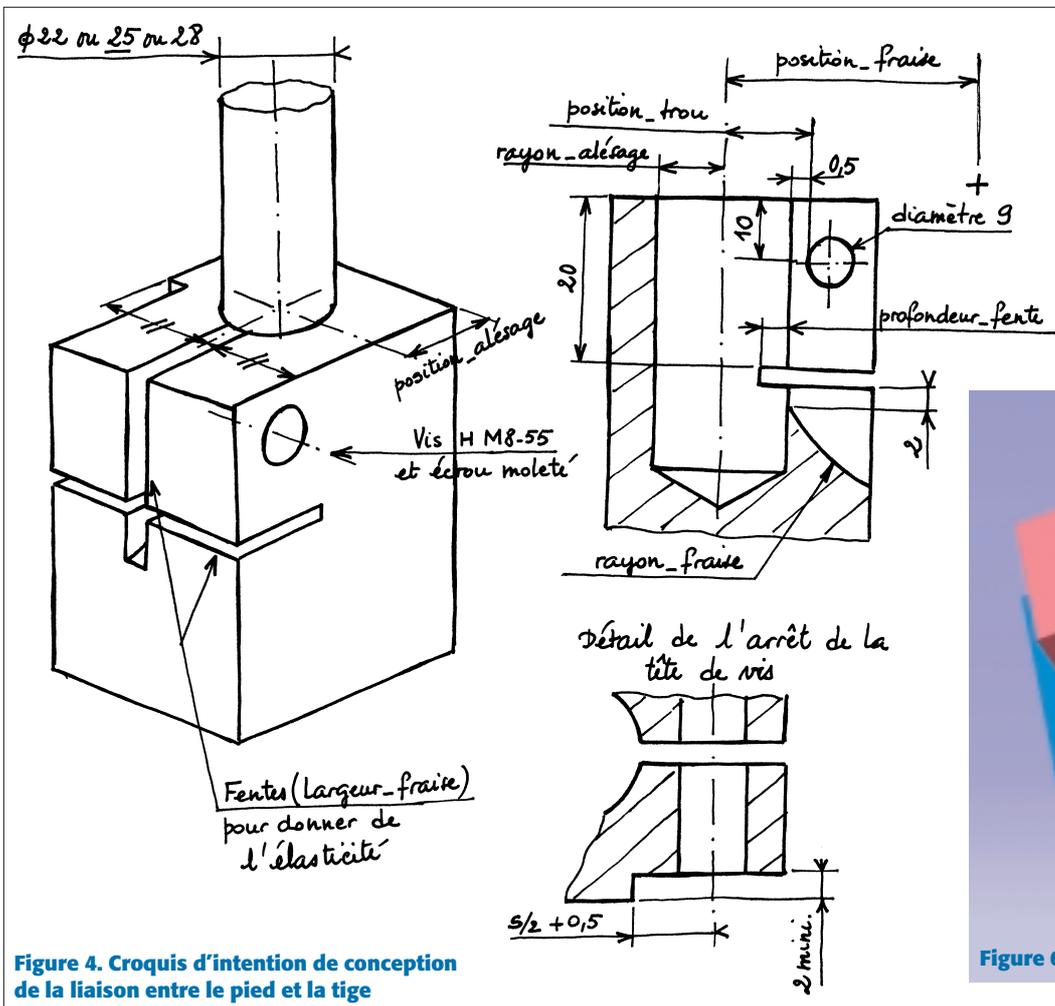


Figure 4. Croquis d'intention de conception de la liaison entre le pied et la tige

Figure 6. Vue de l'Ensemble_2_1

Ensemble_captteur

Ensemble_3

tige_3

Nom du paramètre	Valeur du paramètre	Condition liée
diam_rond	25 mm	Choix du brut
longueur_utile	= à définir	

Ensemble_2_1

piéd_2

Nom du paramètre	Valeur du paramètre	Condition liée
rayon_alesage	12,5 mm	Ajustement
position_alesage	= à définir	Résistance et élasticité
position_trou	= rayon_alesage + 0,5 mm	Le trou de passage de la vis de serrage doit être proche de la tige à serrer
(1)	20	Longueur de serrage
(1)	2	Les fentes doivent déboucher pour rendre la pièce élastique
profondeur_fente	= à définir	Rendre la pièce élastique
position_arret_vis	= 7 mm	Arrêt de la tête en rotation ($S_{vis}/2 + 0,5$)
arret_vis	= 2 mm	Minimum pour un arrêt de la tête de vis
position_fraise	= À définir	Usinabilité
largeur_fraise	= 3 mm	Outil disponible
rayon_fraise	= 80 mm	Outil disponible

Relations au niveau de l'Ensemble_captteur entre piéd_2 et tige_3

Relation	Justification
piéd_2/diam_alesage = tige_3/diam_rond	ajustement tige 3 / piéd 2

(1) : paramètre non renommé

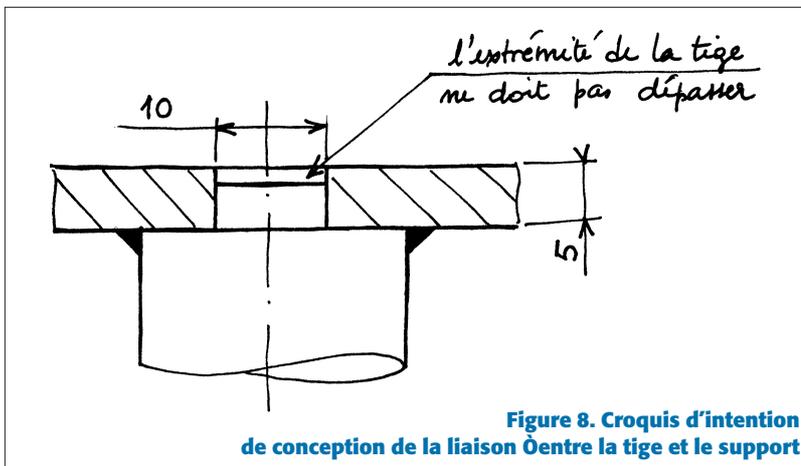


Figure 8. Croquis d'intention de conception de la liaison entre la tige et le support

Discussion des différentes solutions

À l'issue de la modélisation de l'ensemble, une table de paramétrage sera réalisée, contenant notamment les paramètres d'entrée (dimensions des bruts, des outils...), mais aussi certains paramètres internes dont on n'a pas pu établir une loi de variation simple sous la forme d'une équation (position de l'alésage dans le pied par exemple).

Paramètres	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5
semelle_1/largeur_totale	100	120	80	100	100
pied_2/largeur_totale	40	40	40	50	50
pied_2/longueur_totale	60	60	60	50	50
pied_2/position_alésage					
pied_2/arrêt_rotation?					
pied_2/arrêt_vis					
pied_2/Position_fraise					
pied_2/profondeur_fente					
tige_3/diam_rond	25	22	28	25	22
tige_3/hauteur_plat					
support_5/entraxe_capteur	70	70	70	80	80

Pour chaque cas, on peut vérifier l'évolution de la maquette (figures 9 et 11), la non-interférence, l'usinabilité des fentes ainsi que l'élasticité et la résistance du pied.

La table de paramétrage permet de changer rapidement de configuration (figure 10).

On remarque que si l'on veut garder la même vis de serrage on est obligé de faire varier la valeur de pied_2\arrêt_rotation pour assurer une longueur de filet en prise suffisante.

Suivant les bruts utilisés, l'élasticité ne concernera pas les mêmes volumes de matière sur le pied, la profondeur de la fente (profondeur_fente) sera donc modifiée.

CONCLUSION

Il est encore trop tôt pour lister toutes les questions et les conséquences découlant de l'utilisation en conception des modèles paramétrés. Deux d'entre elles paraissent intéressantes à développer :

- la pérennité de la maquette ;
- l'évaluation d'un travail de conception d'un élève.

Concernant le premier point, la maquette numérique doit pouvoir être reprise pour une modification ou pour servir de base à un nouveau modèle, ceci éventuellement après un délai de plusieurs mois et par

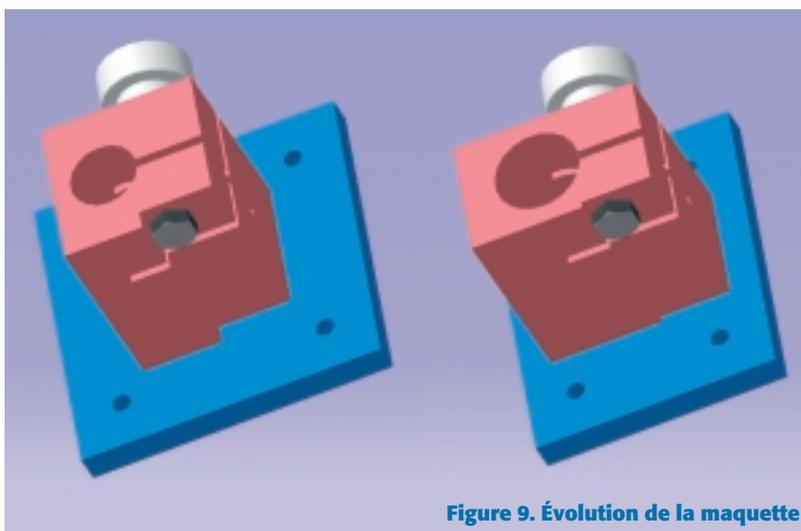
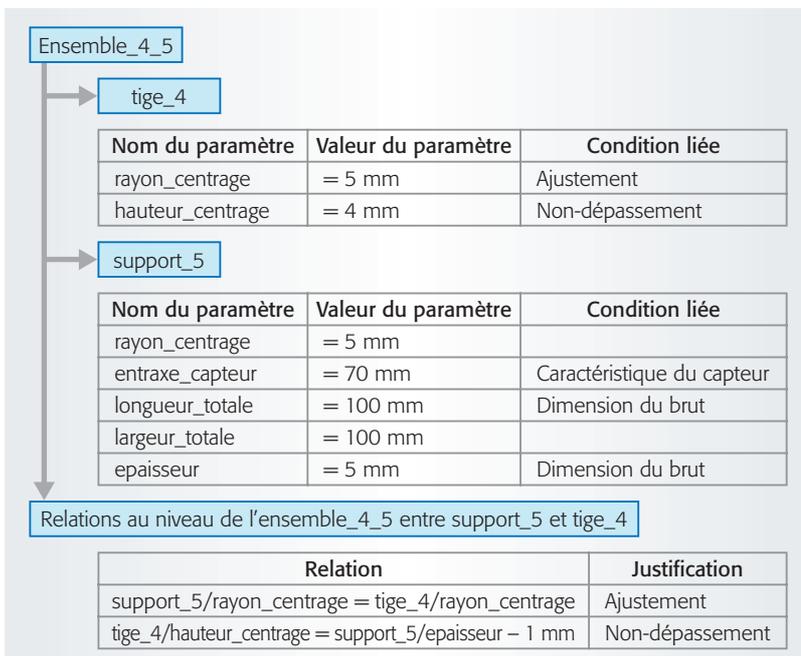


Figure 9. Évolution de la maquette

	A	B	C	D	E	F	G
1	'semelle_1/largeur_totale' (mm)	'pied_2/longueur_totale' (mm)	'pied_2/largeur_totale' (mm)	'pied_2/pos_alésage' (mm)	'pied_2/arrêt_vis' (mm)	'tige_3/rayon_rond' (mm)	'support_5/entraxe_capteur'
2	100	60	40	25	2	12,5	70
3	120	60	40	25	2	11	70
4	80	60	40	25	2	14	70
5	100	50	50	18	6	12,5	80
6	100	50	50	17	6	11	80
7							
8							

Figure 10. Vue partielle de la table de paramétrage de Catia

Liaison de la tige 3 avec la tige 4

C'est une liaison fixe temporaire qui doit permettre un réglage en Ry. La précision de l'axe de cette rotation est très faible. Seul le plan fera une mise en position (figure 7).

Le flux bouclé de serrage sera réalisé par un boulon composé d'une vis ISO 4017 M8-40 et d'un écrou moleté standard.

La tête de la vis sera immobilisée en rotation.

Il conviendra de vérifier que la largeur du plat est suffisante pour un bon appui de la vis ou de l'écrou.

Les tiges 3 et 4 auront intérêt à être le plus semblables possible.

Il conviendra de procéder à :

- la vérification de la possibilité de rotation Ry demandée ;

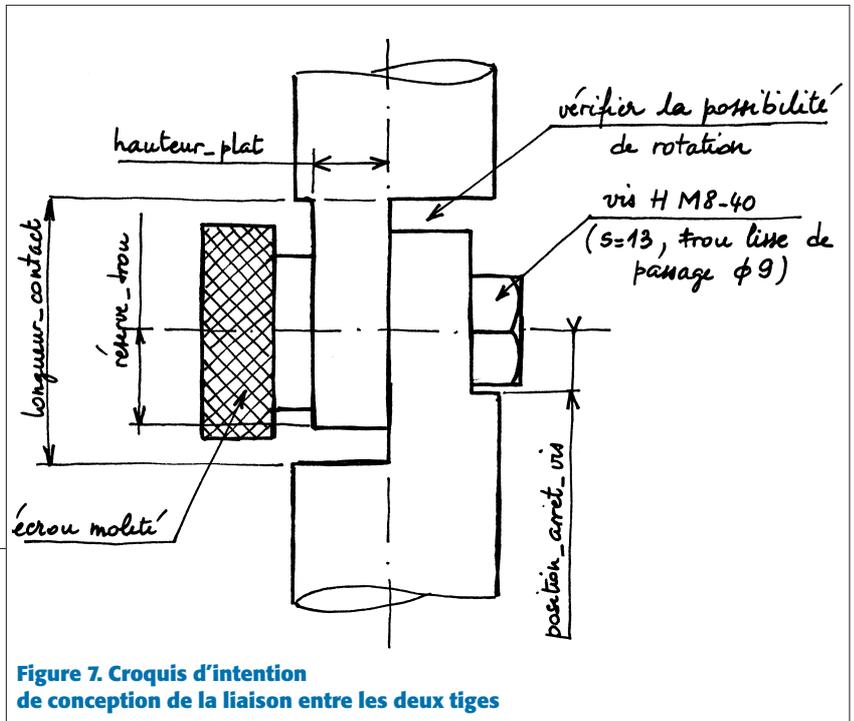


Figure 7. Croquis d'intention de conception de la liaison entre les deux tiges

- la vérification du bon appui de la tête de vis et de l'écrou moleté.

Liaison de la tige 4 et du support 5

Cette liaison sera réalisée par soudure (ce qui justifie le choix de l'alliage 6080).

Pour donner plus de résistance et pour faciliter la mise en position de 5 sur 4, on réalisera un centrage (figure 8).

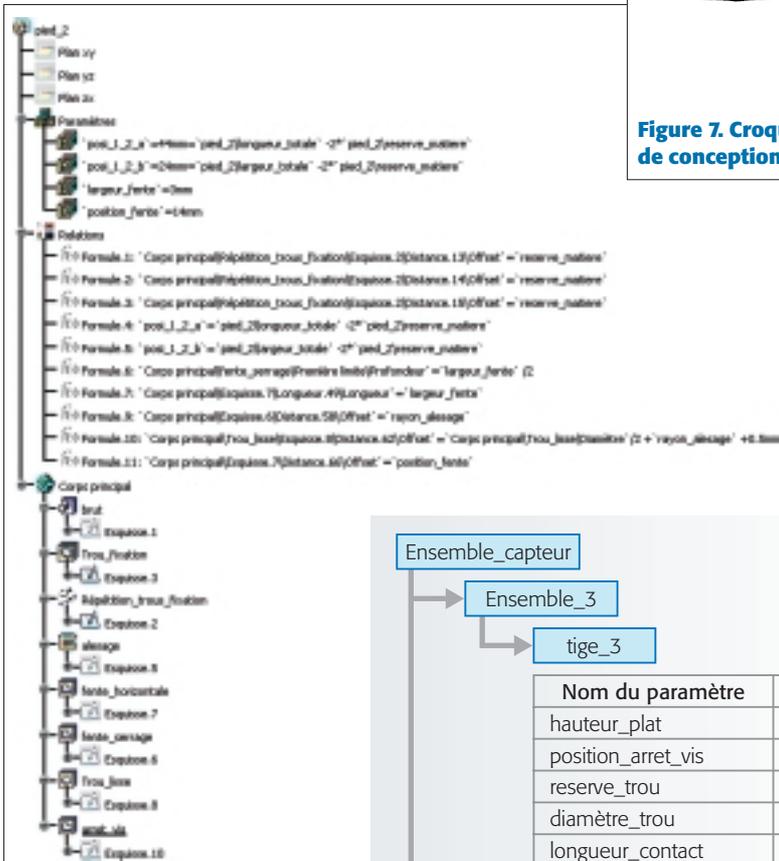
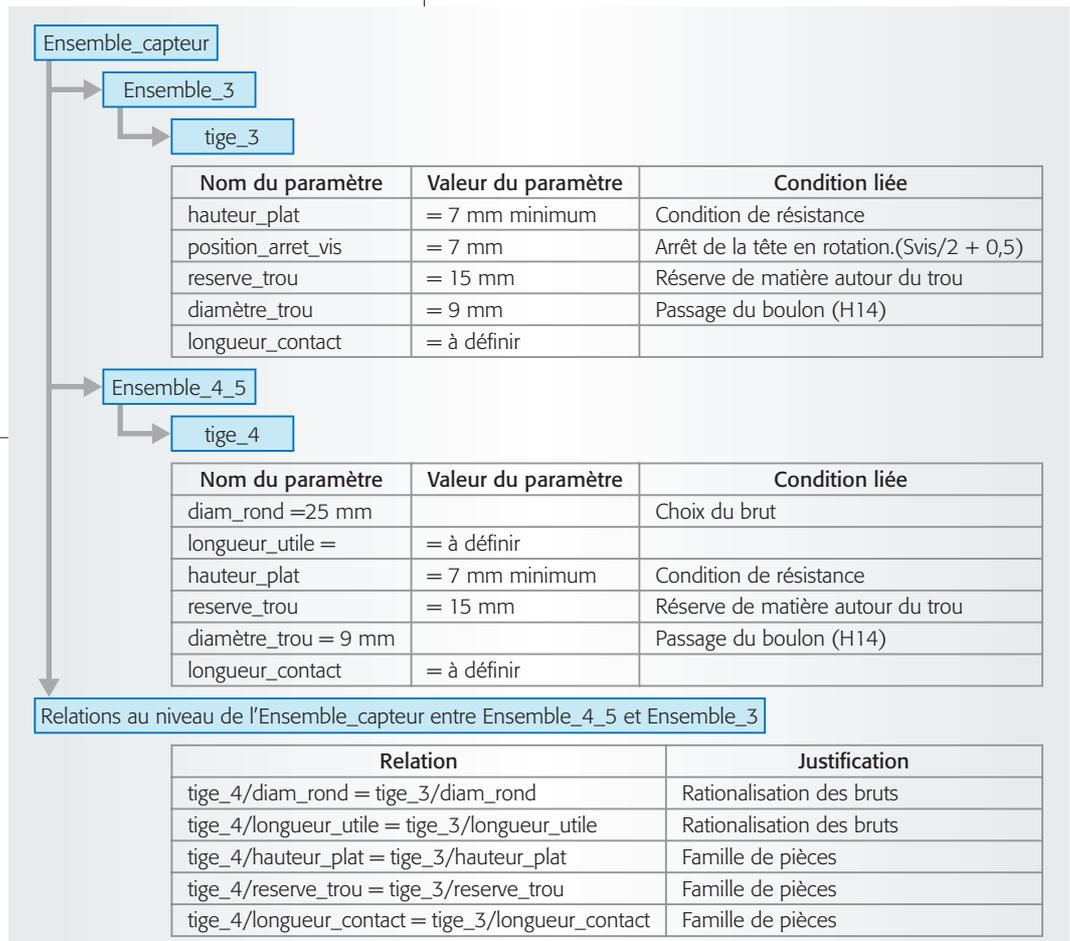
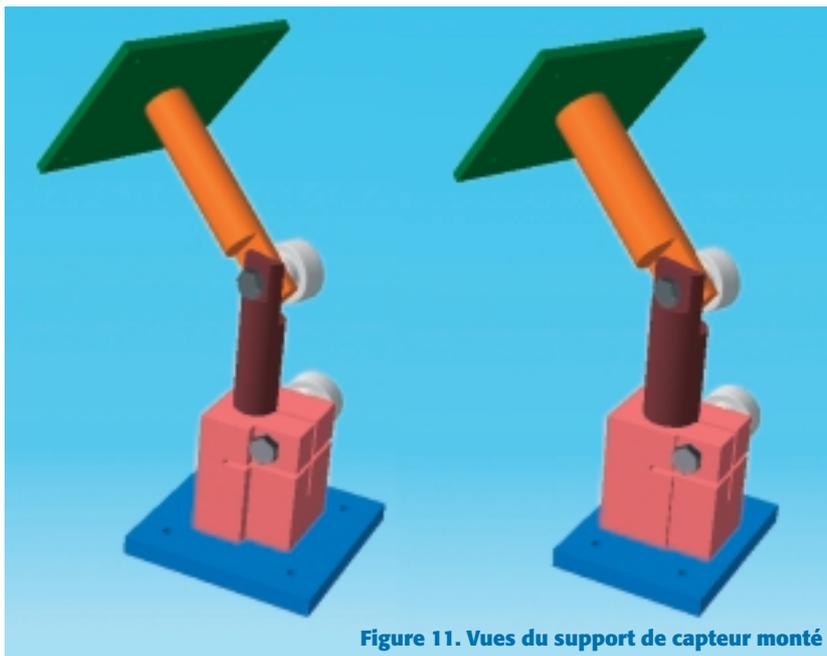


Figure 5. Arbre de construction du pied 2





d'autres techniciens. Il faut donc que la maquette numérique résulte d'un programme informatique structuré et commenté.

Pour ce qui est du deuxième point, nous sommes des techniciens et non des infographes. Nous ne pouvons donc nous satisfaire du résultat apparaissant à l'écran ; il faut aussi contrôler les dimensions de la maquette, mais en rester là revient à ne pas utiliser les possibilités des logiciels. Il faut donc évaluer la structuration de la maquette et sa possibilité d'évolution. ■