

Les chaînes de cotes avec le modelleur 3D

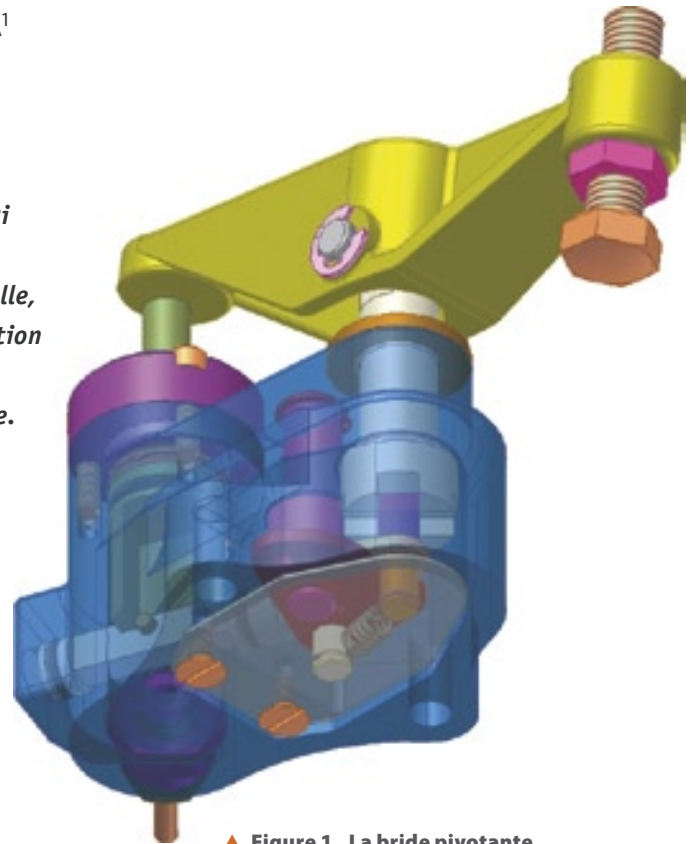
PASCAL FIEVET, JACQUES PIGLIA¹

Les élèves de lycée professionnel rencontrent de grosses difficultés dès qu'ils travaillent sur des données théoriques. Mais il existe des moyens pédagogiques imagés et animés qui permettent aux enseignants de faire passer plus facilement le message. Ainsi, dans le domaine de la cotation fonctionnelle, le modelleur 3D peut être un outil très intéressant de réalisation et d'analyse des chaînes de cotes pour des élèves de BEP ou de Bac Pro... à condition de disposer d'une méthode détaillée. C'est ce que propose le présent article.

MOTS-CLÉS informatique, lycée professionnel, prébac, travaux dirigés, analyse fonctionnelle, simulation, communication

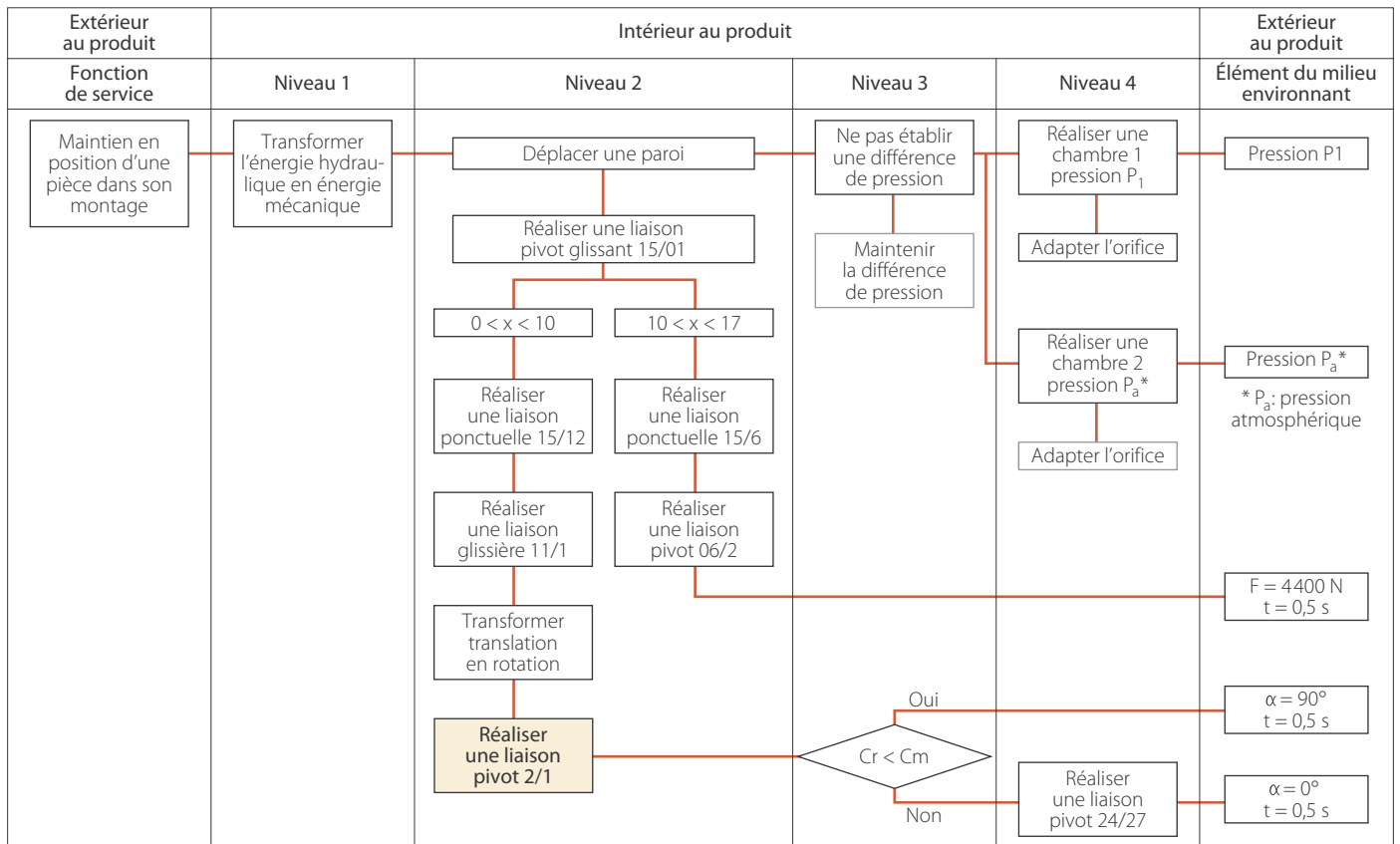
Le thème

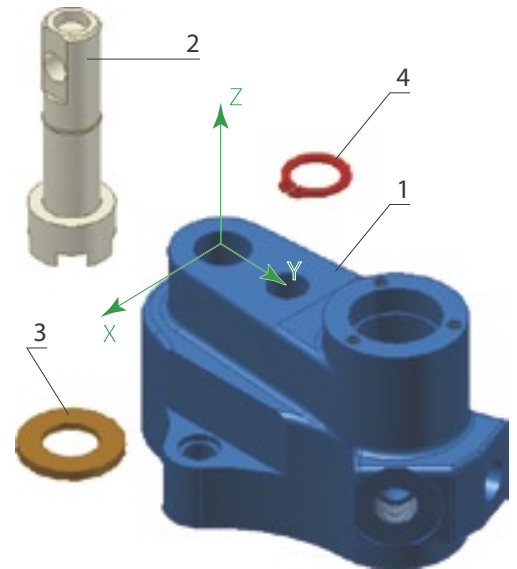
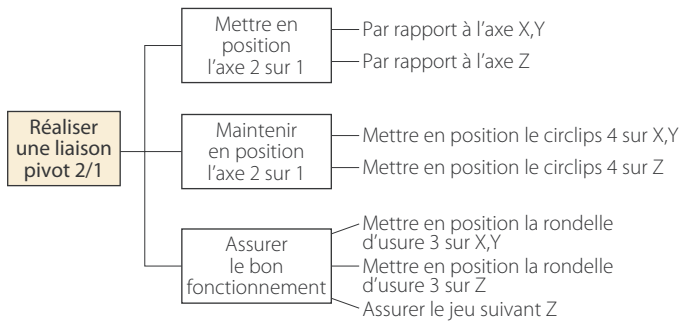
Le thème proposé est une bride pivotante (figure 1) utilisée dans une chaîne transfert, permettant de réaliser le maintien en position des pièces sur le montage d'usinage. Cette bride escamotable doit laisser le passage à la pièce à usiner, puis se positionner au-dessus de la pièce. Son fonctionnement est détaillé dans l'article « La cotation fonctionnelle avec l'outil informatique » du numéro 129 de *Technologie*.



▲ Figure 1. La bride pivotante

La fonction de service étudiée

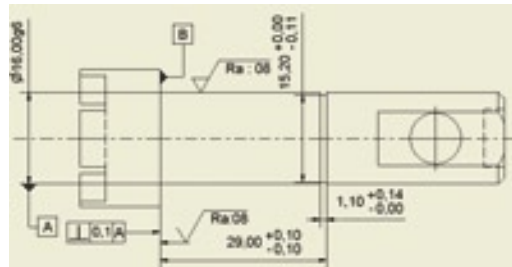
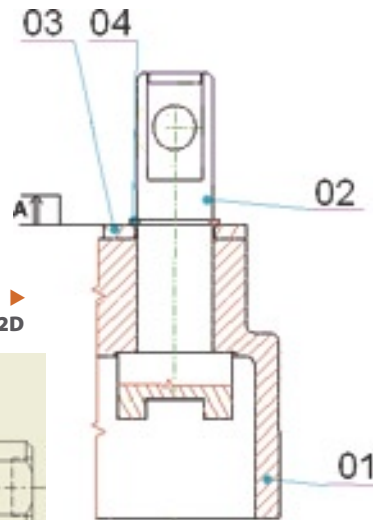




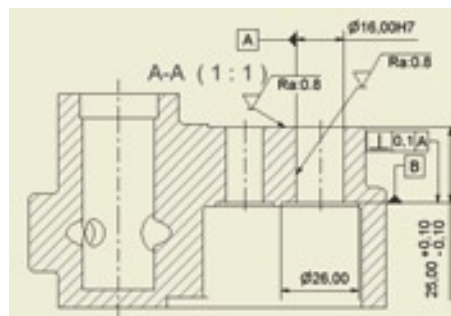
▲ Figure 3. Le groupe fonctionnel

La fonction étudiée permet de définir un **groupe fonctionnel** composé des pièces 1, 2, 3, 4 (figures 2 et 3), la cotation fonctionnelle des différentes pièces (figures 4 et 5) et les dimensions des pièces normalisées (figures 6 et 7).

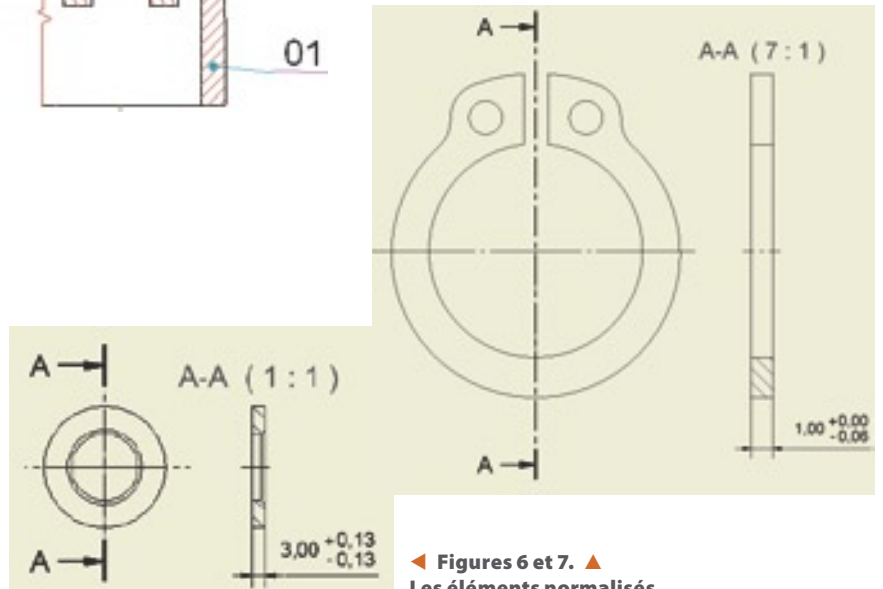
Figure 2. ► Le dessin 2D



▲ Figure 4. La cotation fonctionnelle de l'axe 2



▲ Figure 5. La cotation fonctionnelle du corps 1



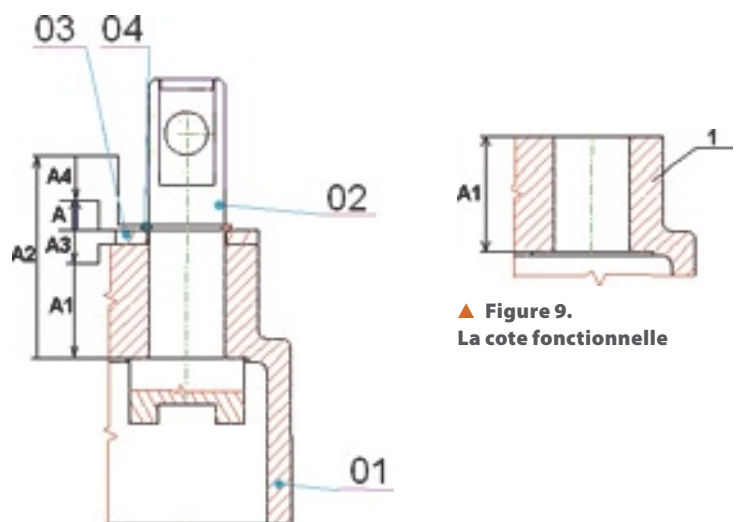
◀ Figures 6 et 7. ▲ Les éléments normalisés

La règle du jeu

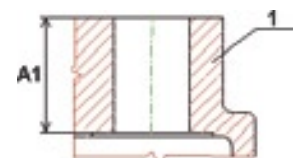
On suppose le problème résolu (figure 8).

Quelques définitions

- **La condition:** C'est l'intervalle, entre deux surfaces appartenant à deux pièces, nécessaire au fonctionnement ou au montage des groupes fonctionnels, représenté par un vecteur (A).
- **La chaîne de cotes:** C'est une succession de maillons partant de l'origine de la condition pour arriver à son extrémité (A3, A1, A2, A4). Chaque maillon est représenté par un vecteur.
- **Les cotes fonctionnelles:** Chaque maillon est associé à une pièce (A1 associé à la pièce 1). Il sera alors transformé sur le dessin de définition de la pièce concernée par une cote A1 (figure 9).



▲ Figure 8. La chaîne de cotes



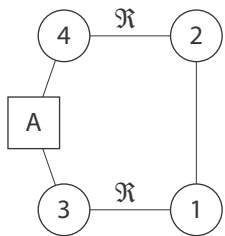
▲ Figure 9. La cote fonctionnelle

1. (Note de la page 45). Professeurs de génie mécanique - construction au lycée Frédéric-Joliot-Curie de Dammarie-les-Lys.

Quelques constatations

Maillon	Départ	Arrivée
A3	Origine de la condition A	Mi.p* de 3 suivant l'axe Z sur 1
A1	Extrémité d'A3	Mi.p de 2 suivant l'axe Z sur 1
A2	Extrémité d'A1	Mi.p de 4 suivant l'axe Z sur 2
A4	Extrémité d'A2	Extrémité de la condition A

* Mi.p: mise en position



▲ Figure 10. Le circuit

On constate que l'axe de mise en position a la même direction que la condition A. On peut donc établir un circuit de pièces (figure 10) en appliquant comme relation \mathcal{R} : « est mis en position suivant la direction de la condition avec ».

Remarque: on peut commencer par l'origine ou l'extrémité de la condition.

La méthode

L'élaboration du circuit

Mettre en place la condition et définir l'axe relatif à la mise en position considérée (l'axe Z).

Avec le modeleur 3D, charger le modèle composé des pièces du groupe fonctionnel (figure 3).

Mettre des contraintes de telle manière qu'il ne reste que la mobilité suivant Z.

Sélectionner le cylindre 1 puis 2 et appliquer (écran 1).

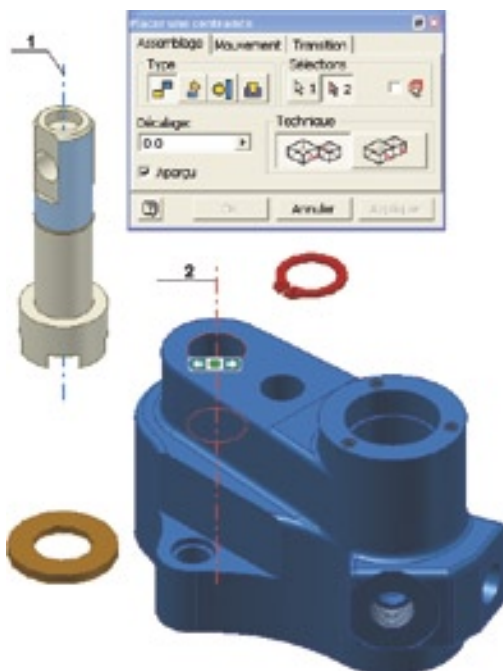
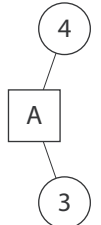
Vérifier, en manipulant la souris sur la pièce 2, la mobilité demandée.

Répéter cette opération pour les autres pièces (écran 2).

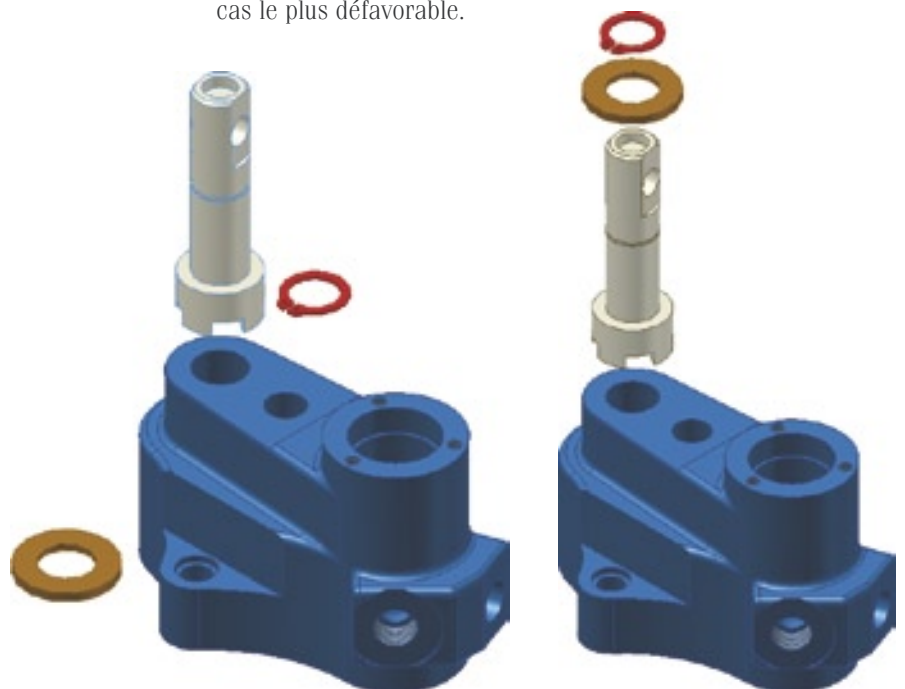
À l'aide de la souris, déplacer la pièce 4, et compléter le graphe (écran 3) en respectant la règle du jeu: 4 est mis en position suivant Z sur 2.

Préciser la surface d'appui (écran 4).

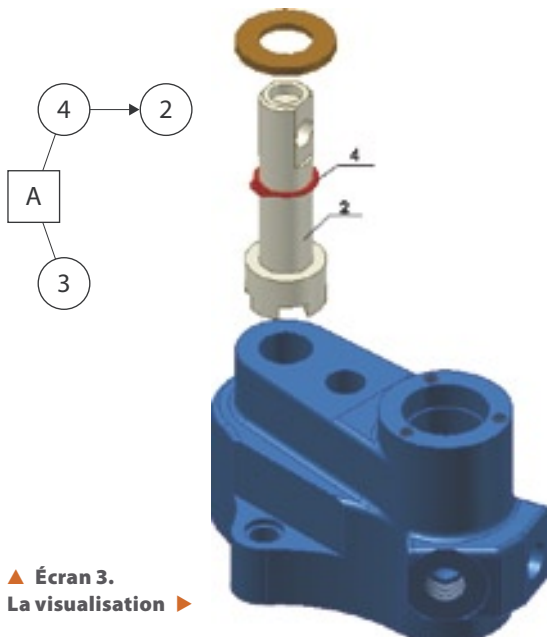
Sélectionner les faces 1 puis 2 et appliquer. Il convient de choisir la face du haut de la gorge pour être dans le cas le plus défavorable.



▲ Écran 1. La mobilité de l'axe 2 ▲



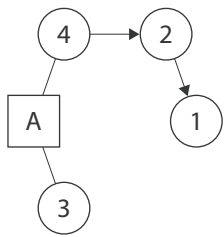
▲ Écran 2. Les mobilités



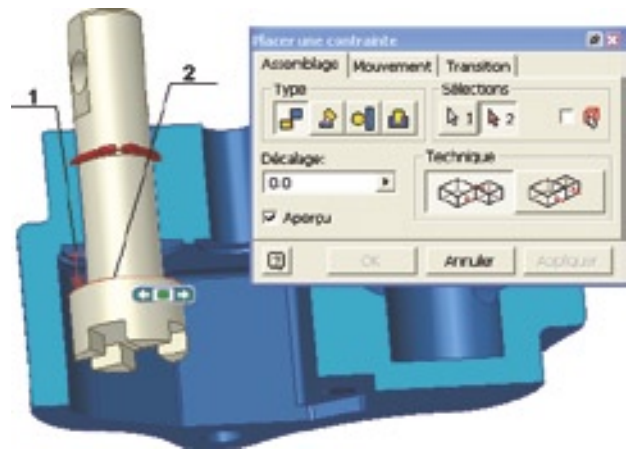
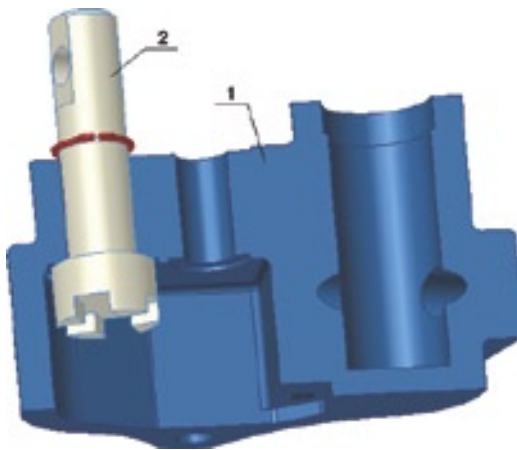
▲ Écran 3. La visualisation ▶



▲ Écran 4. La mise en position de 4 sur 2 ▶



▲ Écran 5. La visualisation ▶



À l'aide de la souris, déplacer la pièce 2, et compléter le graphe (écran 5) en respectant la règle du jeu (afin de bien visualiser la mise en position, on demande à l'élève de modifier le corps de telle manière qu'il soit coupé par son plan de symétrie) : 2 est mis en position suivant Z sur 1.

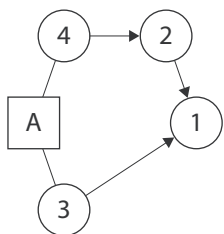
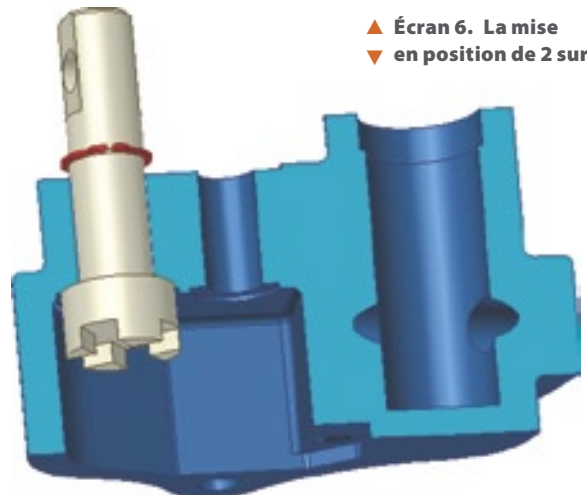
▲ Écran 6. La mise en position de 2 sur 1 ▼

Préciser la surface d'appui (écran 6).

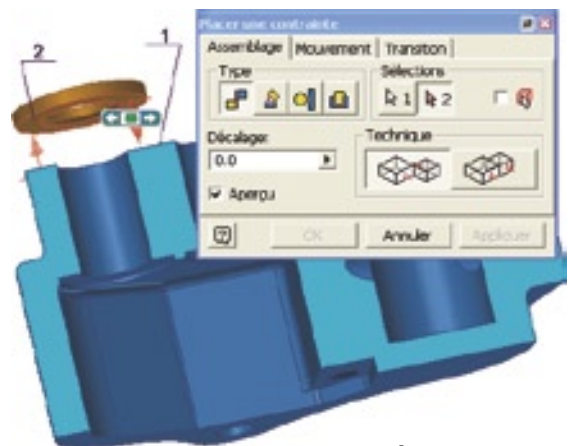
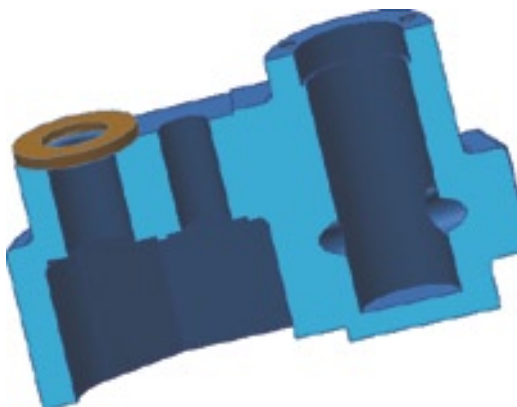
Sélectionner la face 1 puis 2 et appliquer.

À l'aide de la souris, déplacer la pièce 1. On constate qu'elle ne se déplace pas. Cela s'explique par le fait que l'on ne sait pas comment est réalisée la mise en position du corps suivant Z dans l'ensemble.

On va alors s'intéresser à l'autre pièce qui borne la condition. À l'aide de la souris, déplacer la pièce 3 et compléter le graphe (écran 7) en respectant la règle du jeu : 3 est mis en position suivant Z sur 1.



▲ Écran 7. La visualisation ▶

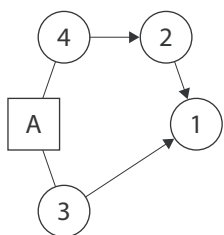


▲ Écran 8. La mise en position de 3 sur 1 ▼

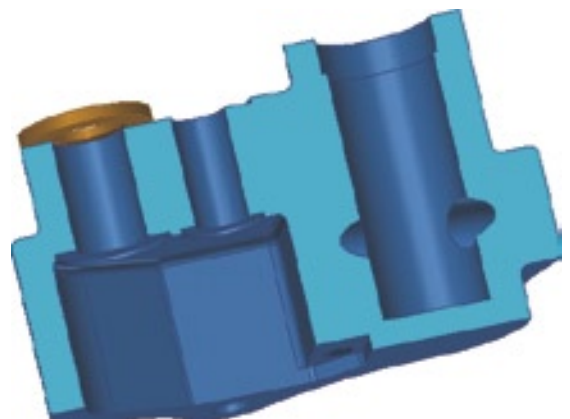
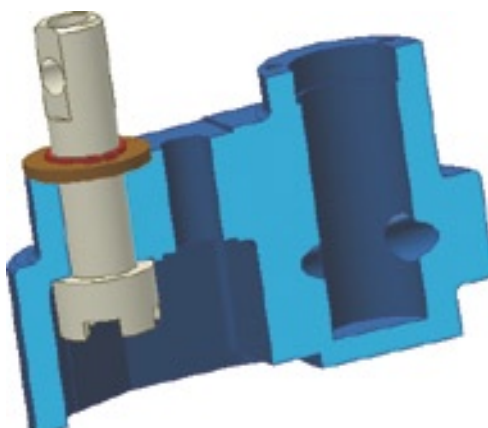
Préciser la surface d'appui (écran 8).

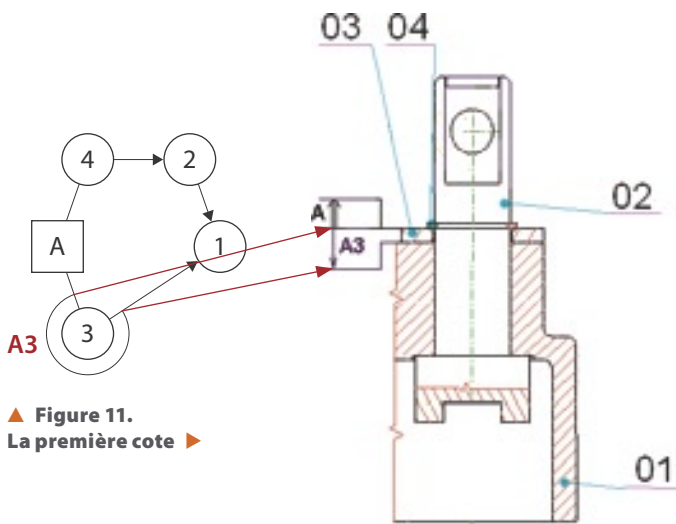
Sélectionner les faces 1 puis 2 et appliquer.

Cette étape vient terminer le circuit de mise en position suivant Z (écran 9).

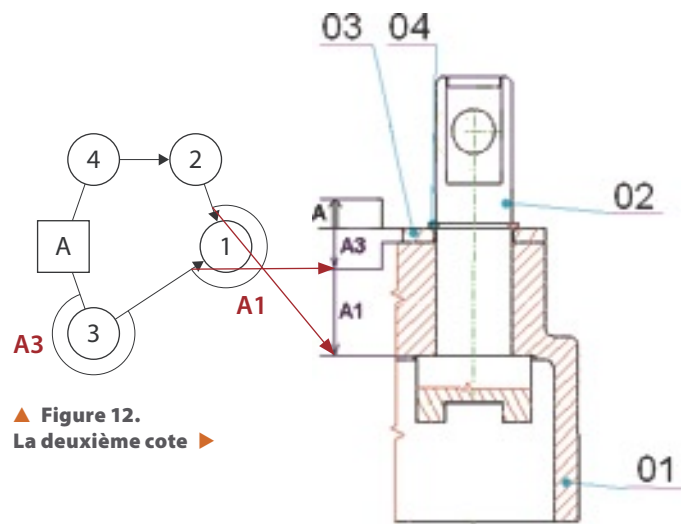


▲ Écran 9. Les mises en position ▶

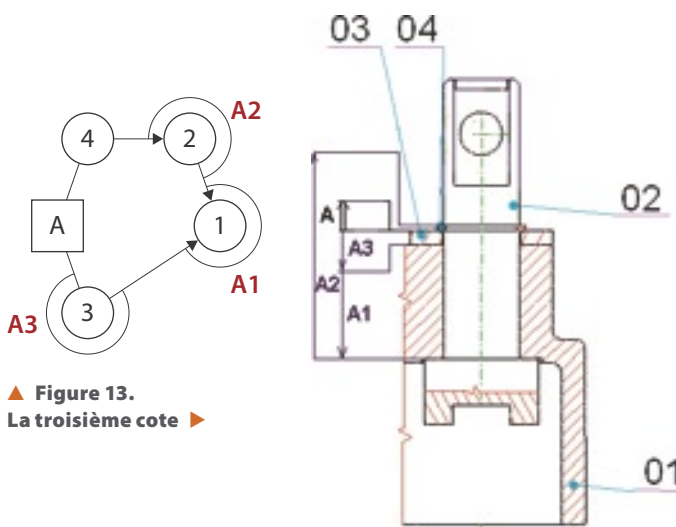




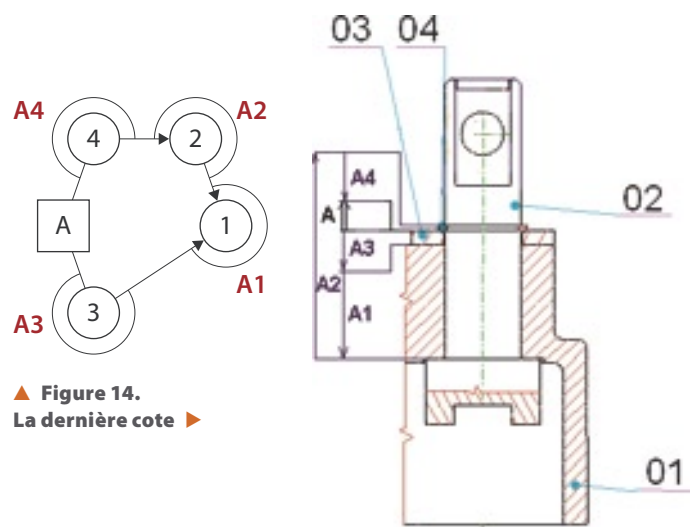
▲ Figure 11. La première cote ▶



▲ Figure 12. La deuxième cote ▶



▲ Figure 13. La troisième cote ▶



▲ Figure 14. La dernière cote ▶

L'élaboration de la chaîne de cotes

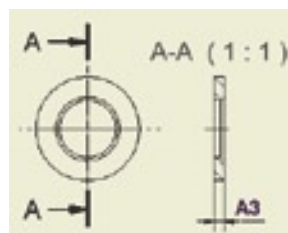
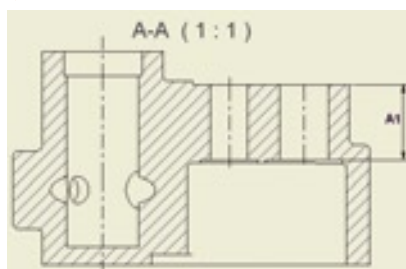
Le départ de la chaîne de cotes correspondra à l'origine de la condition, et la cote sera matérialisée par une boucle sur le graphe. Le nom de la cote portera le nom de la condition suivi du repère de la pièce concernée (figures 11, 12, 13 et 14).

Le report des cotes

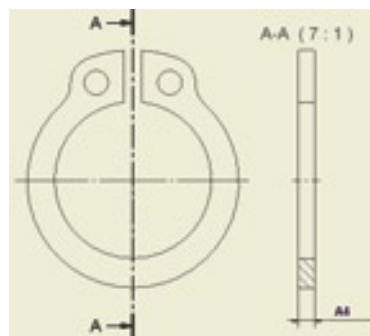
Dans la chaîne de cotes, chaque maillon correspond à une cote d'une pièce. L'opération consiste à reporter le maillon, qui se transformera en cote, sur la pièce concernée (figures 15, 16, 17 et 18).



▲ Figures 15 et 16. Le report des cotes sur les pièces 1 et 2



▲ Figures 17 et 18. Le report des cotes sur les pièces 3 et 4



La méthode de calcul

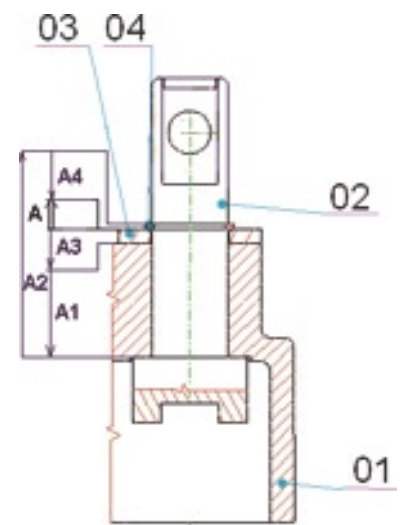
En observant la chaîne de cotes (figure 19), on constate que la condition A sera maximale quand la cote A2 sera maximale et les cotes A4, A3, A1 minimales.

D'où l'équation :

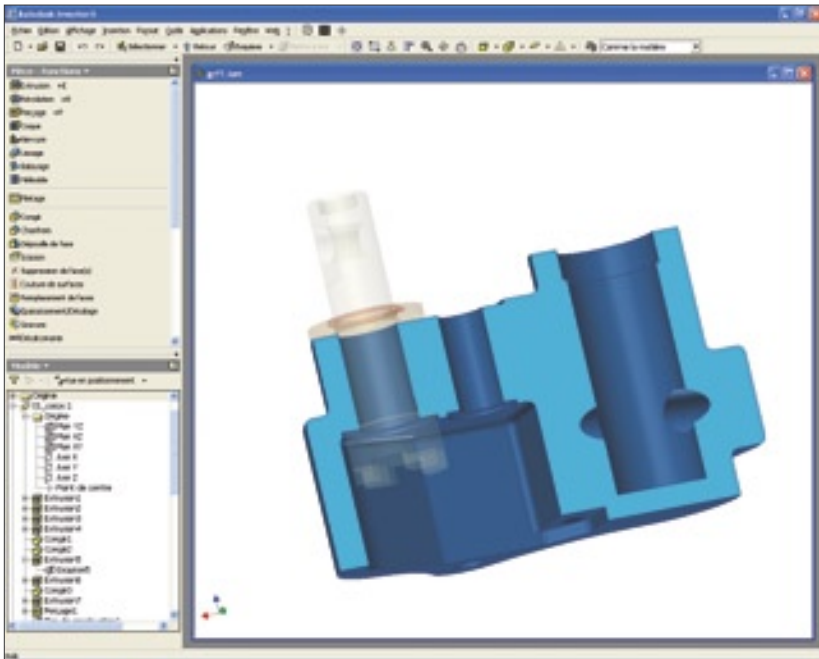
$$AM = A2M - (A4m + A3m + A1m).$$

De la même manière, on peut écrire :

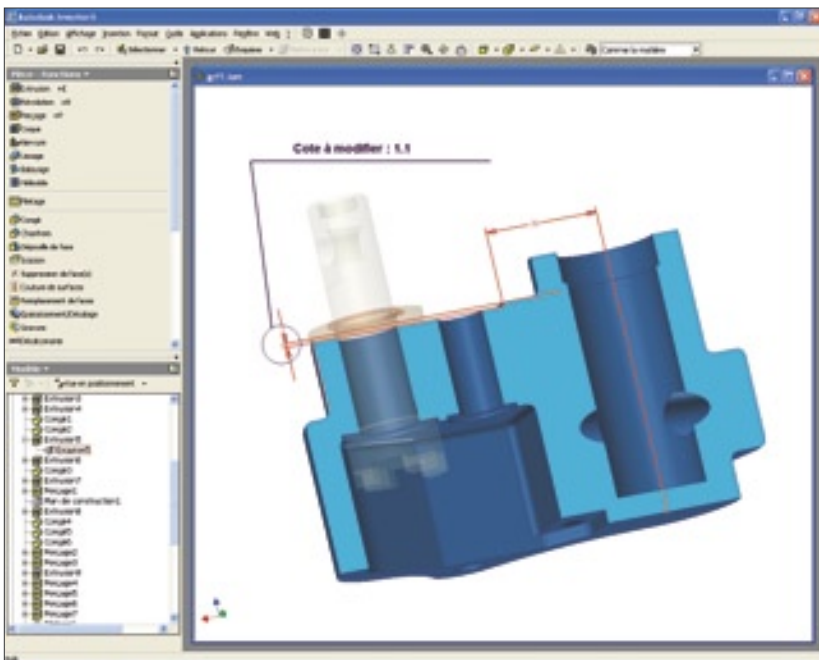
$$Am = A2m - (A4M + A3M + A1M).$$



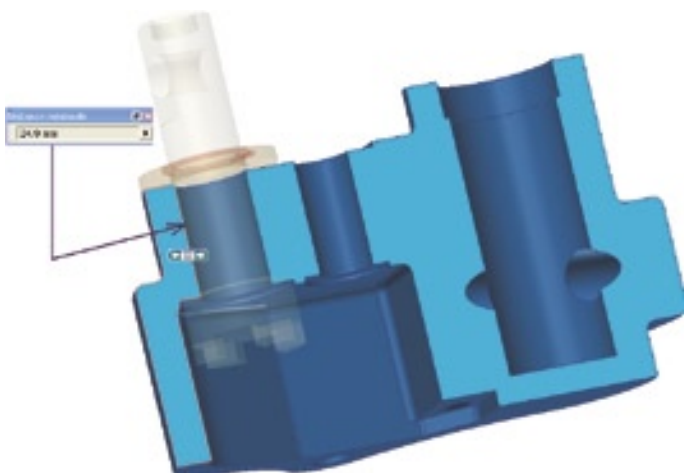
▲ Figure 19. La chaîne de cotes



▲ Écran 10. La pièce à modifier



▲ Écran 11. La cote modifiée



▲ Écran 12. La cote A1 minimale

ITA étant l'intervalle de tolérance sur la condition A, et ITA4, ITA3, ITA1 les intervalles de tolérance sur les cotes A4, A3 et A1, on peut écrire :

$$\begin{aligned} ITA &= AM - Am = A2M - (A4m + A3m + A1m) \\ &\quad - A2m + (A4M + A3M + A1M), \\ &= (A2M - A2m) + A4M - A4m \\ &\quad + (A3M - A3m) + (A1M - A1m), \\ &= ITA2 + ITA4 + ITA3 + ITA1. \end{aligned}$$

En résumé :

- IT condition = Σ IT cotes ;
- Condition Maxi = Σ cotes de même sens que la condition Maxi - Σ cotes de sens contraire à la condition mini ;
- Condition mini = Σ cotes de même sens que la condition mini - Σ cotes de sens contraire à la condition Maxi.

L'outil modeler va permettre de vérifier les différents calculs. L'exercice suivant permet de vérifier la condition A.

La vérification de la condition A

La condition A maximale

Avec l'aide des dessins de définition (figures 4, 5, 6 et 7), établir le tableau des caractéristiques des cotes relatives à la condition A :

$$AM = A2M - (A4m + A3m + A1m).$$

Condition	Cote	Maxi	Mini	IT
A Maxi = 0,39	A1	—	24,9	0,2
	A2	29,1	—	0,2
	A3	—	2,87	0,26
	A4	—	0,94	0,06

La modification de la cote A1

Dans l'arborescence, sélectionner **01_corps**, puis cliquer avec le bouton droit et sélectionner **Modifier** (écran 10). Rechercher dans l'arborescence la fonction qui permet de modifier la cote A1, **Esquisse5**, puis **Modifier l'esquisse**, et remplacer la cote « 1 » par « 1,1 » (écran 11).

Sélectionner la commande **Outils**, puis **Mesurer la distance**, et sélectionner la génératrice. La longueur s'affiche (écran 12). Revenir au modèle d'ensemble avec la commande **Achever les modifications**. La pièce est mise à jour.

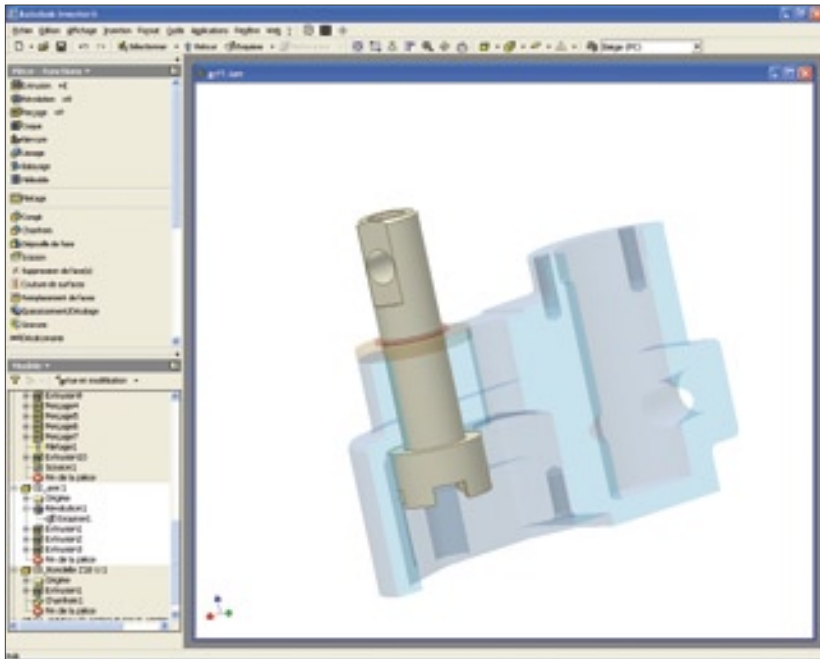
La modification de la cote A2

Dans l'arborescence, sélectionner **02_axe**, puis cliquer avec le bouton droit et sélectionner **Modifier** (écran 13). Rechercher dans l'arborescence la fonction qui permet de modifier la cote A2, **Esquisse1**, puis **Modifier l'esquisse**, et remplacer la cote « 27,9 » par « 28 » (écran 14).

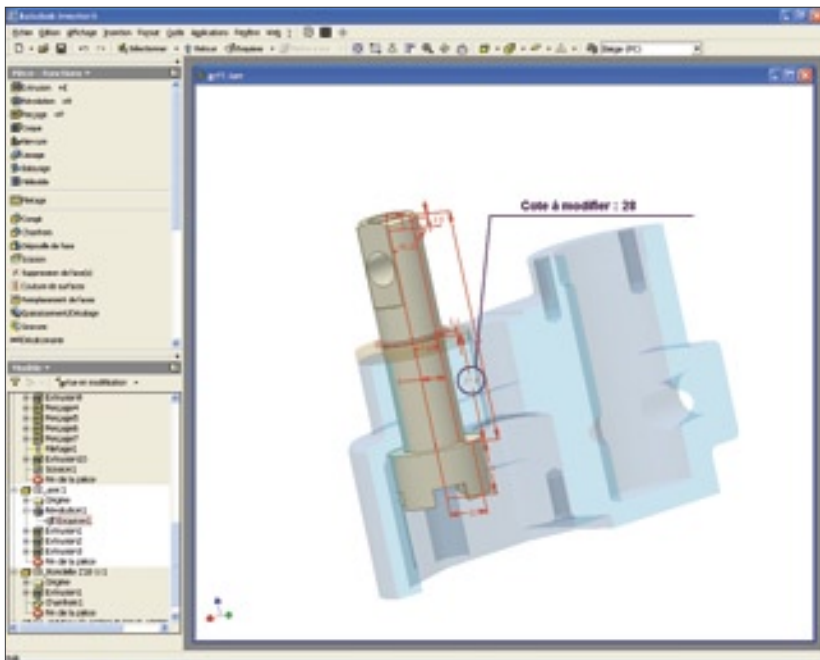
Sélectionner la commande **Outils**, puis **Mesurer la distance**, et sélectionner le centre des deux cercles. La longueur s'affiche (écran 15). Revenir au modèle d'ensemble avec la commande **Achever les modifications**. La pièce est mise à jour.

On modifiera de la même manière les cotes A3 et A4 : sélectionner la commande **Outils**, puis **Mesurer la distance**, et sélectionner le centre des deux cercles. La longueur s'affiche (écran 16).

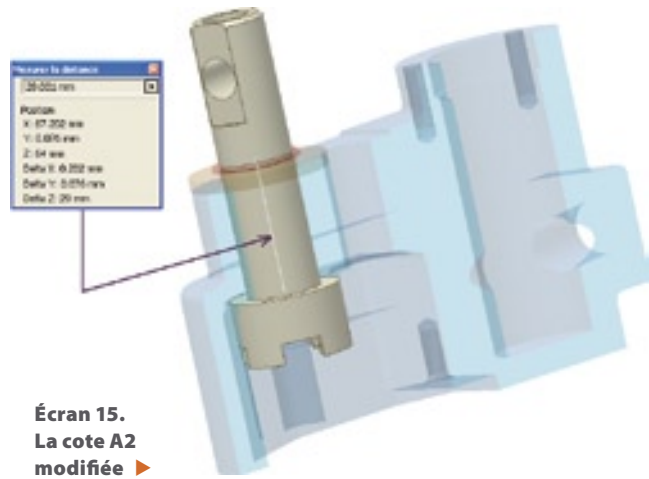
$$A \text{ mini} = 0,39.$$



▲ Écran 13. La pièce modifiée



▲ Écran 14. La cote modifiée



Écran 15. La cote A2 modifiée ▶

La condition A minimale

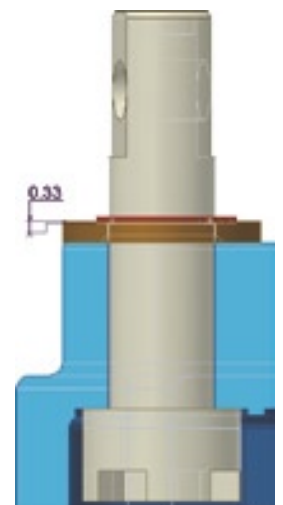
De la même manière que précédemment, on définit le jeu minimal :

$$A_m = A_{2m} - (A_{4M} + A_{3M} + A_{1M}).$$

Condition	Cote	Maxi	Mini	IT
A mini = - 0,33	A1	25,1	—	0,2
	A2	—	28,9	0,2
	A3	3,13	—	0,26
	A4	1	—	0,06

On constate que le circlips entre dans la rondelle (écran 17), ce qui explique la valeur négative trouvée par le calcul.

La valeur minimale 0 de A implique une modification des tolérances sur A1 et A2. Les tolérances sur A3 et A4 ne peuvent pas être modifiées car les pièces concernées sont normalisées. On définit alors les nouveaux tableaux en considérant que $0 \leq A \leq 0,5$:

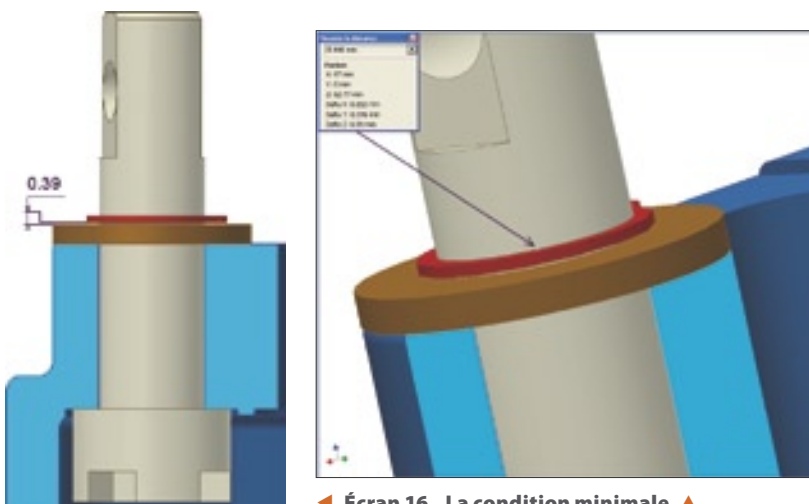


▲ Écran 17. L'anomalie

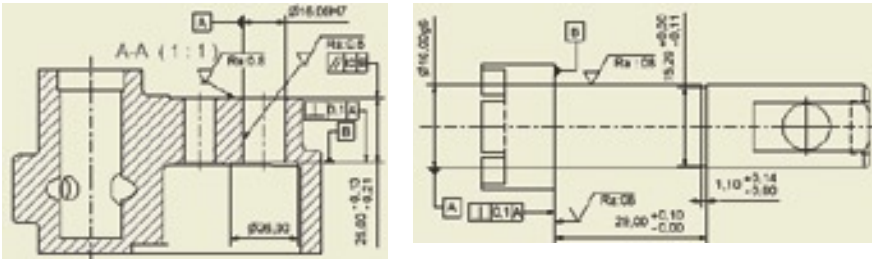
Condition	Cote	Maxi	Mini	IT
A Maxi = 0,5	A1	—	24,79	0,08
	A2	29,1	—	0,1
	A3	—	2,87	0,26
	A4	—	0,94	0,06

Condition	Cote	Maxi	Mini	IT
A mini = 0	A1	24,87	—	0,08
	A2	—	29	0,1
	A3	3,13	—	0,26
	A4	1	—	0,06

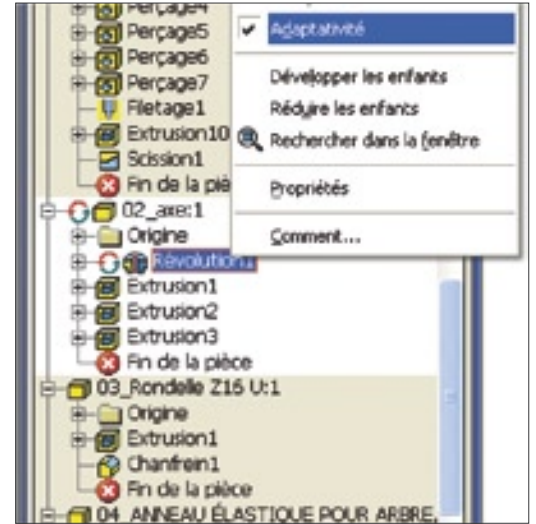
Ce qui implique de nouveaux dessins de définition (figure 20).



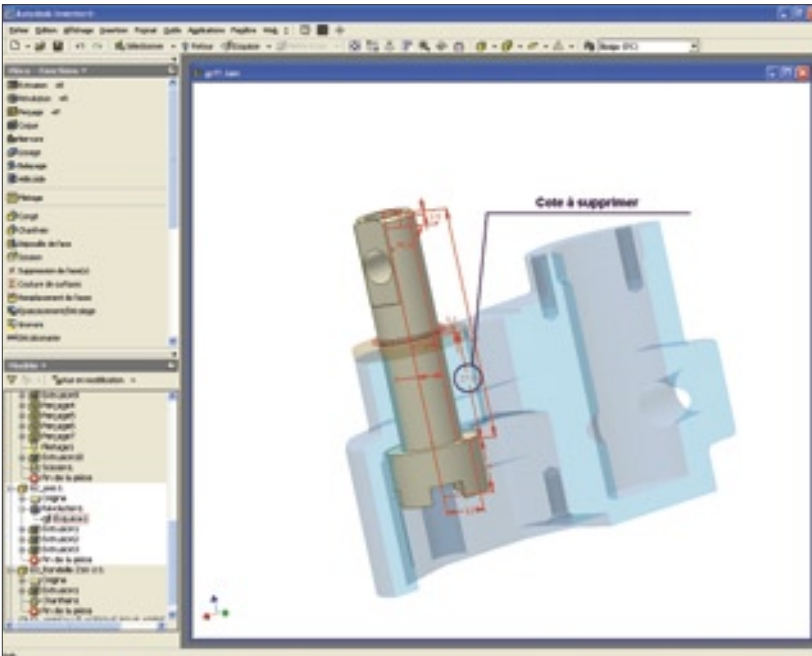
◀ Écran 16. La condition minimale ▶



▲ Figure 20. Les nouveaux dessins de définition ▲



▲ Écran 19. L'«adaptativité»



▲ Écran 18. La suppression de la cote

Le calcul d'une cote

On donne comme condition fonctionnelle $0 \leq A \leq 0,5$. On vérifie si le problème est soluble à l'aide des dessins de définition (figures 4, 5, 6 et 7) :

$$\begin{aligned}
 ITA &= ITA2 + ITA4 + ITA3 + ITA1, \\
 0,5 &= ITA2 + 0,06 + 0,26 + 0,2 = ITA2 + 0,52 \\
 \Rightarrow ITA2 &= -0,2.
 \end{aligned}$$

On constate qu'il y a incompatibilité. Afin d'obtenir un $ITA2 > 0$, il faut diminuer $ITA1$. On prendra comme tolérance sur $A1$: $(+ 0,1 ; 0)$.

La cote A2 maximale

Établir le tableau des caractéristiques des cotes relatives à la condition A :

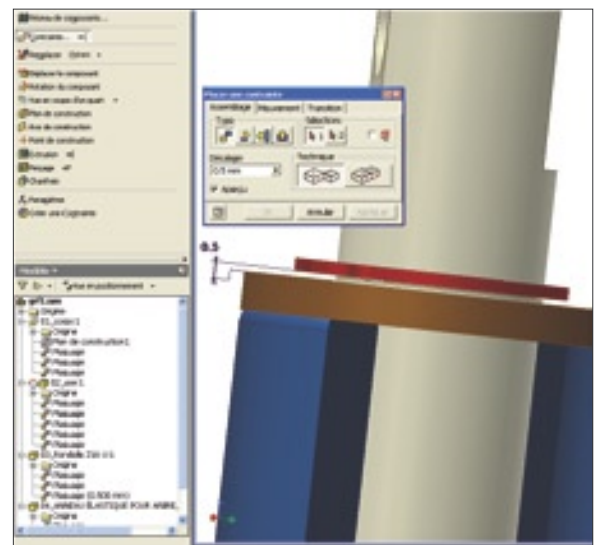
$$AM = A2M - (A4m + A3m + A1m).$$

Condition	Cote	Maxi	Mini	IT
A Maxi = 0,5	A1	—	25	0,1
	A2	A2 M	—	IT A2
	A3	—	2,87	0,26
	A4	—	0,94	0,06

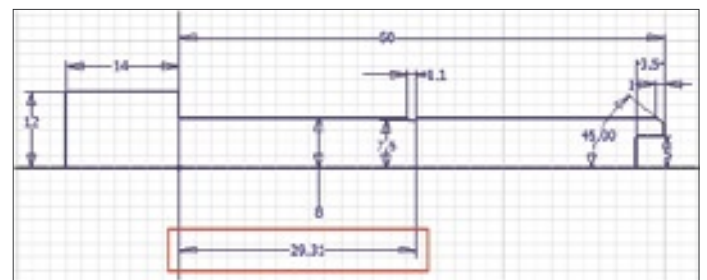
On modifie donc la cote A1, de la même manière que précédemment (écrans 10 et 11), puis les cotes A3 et A4.

La détermination de la cote A2

Dans l'arborescence, sélectionner **02_axe**, puis cliquer avec le bouton droit et sélectionner **Modifier** (écran 13). Rechercher



▲ Écran 20. La condition maximale

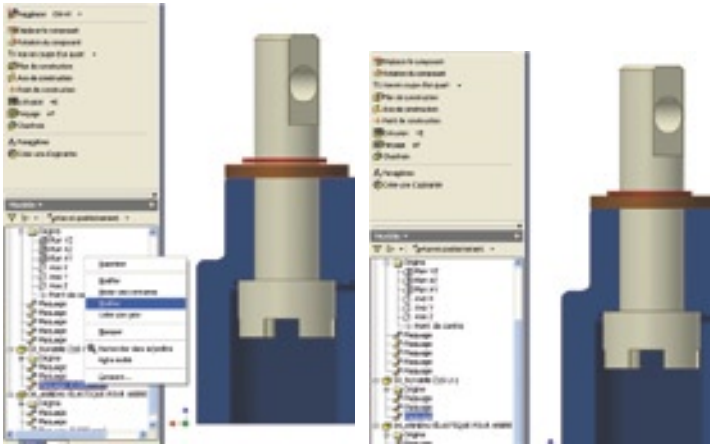


▲ Écran 21. La cote maximale

dans l'arborescence la fonction qui permet de modifier la cote A1, **Esquisse1**, puis **Modifier** l'esquisse, et supprimer la cote « 27,9 » correspondant à A2 (écran 18). Puis sélectionner la fonction relative à cette esquisse avec le bouton droit de la souris et cliquer sur **Adaptativité** (écran 19). Cette dernière fonction permet d'ajuster une dimension en fonction d'une contrainte ou d'une autre dimension.

Avec la commande **Contrainte**, définir la valeur de $AM = 0,5$ (écran 20). La longueur de l'axe 2 qui positionne l'anneau élastique s'ajuste.

Éditer l'esquisse relative à cette fonction et relever la cote définie (écran 21).



▲ Écran 22.
Les cotes minimales

▲ Écran 23.
La condition minimales

La cote A2 minimale

De la même manière que précédemment, on définit le jeu minimal (écran 22, 23 et 24) :

$$A_m = A_{2m} - (A_{4M} + A_{3M} + A_{1M}).$$

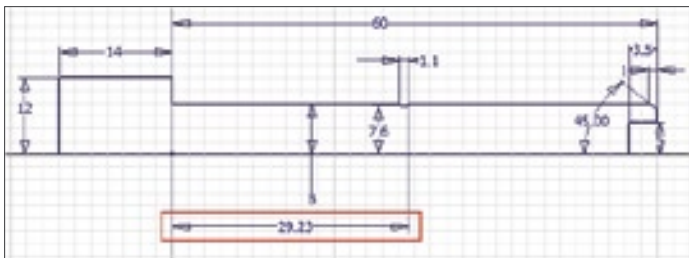
Condition	Cote	Maxi	Mini	IT
A mini = 0	A1	25,1	—	0,1
	A2	—	A2 m	IT A2
	A3	3,13	—	0,26
	A4	1	—	0,06

On définit alors les nouveaux tableaux :

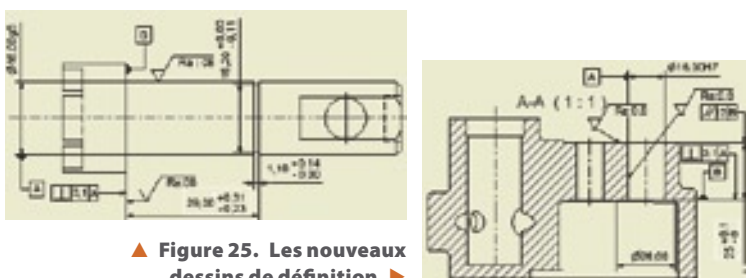
Condition	Cote	Maxi	Mini	IT
A Maxi = 0,5	A1	—	25	0,1
	A2	29,31	—	0,08
	A3	—	2,87	0,26
	A4	—	0,94	0,06

Condition	Cote	Maxi	Mini	IT
A mini = 0	A1	24,87	—	0,1
	A2	—	29,23	0,08
	A3	3,13	—	0,26
	A4	1	—	0,06

Ce qui implique de nouveaux dessins de définition (figure 25). ■



▲ Écran 24. La cote minimale A2m = 29,23



▲ Figure 25. Les nouveaux dessins de définition ►