

GPA-210 Éléments de fabrication mécanique

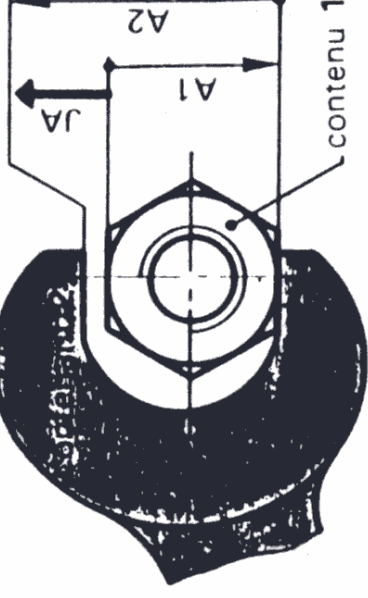
PLAN DE COURS (ÉTÉ 2013)

1 - 29/04	Lecture de dessins selon les normes ISO-ANSI (rappel)
2 - 6/05	Procédés d'usinage
3 - 13/05	Tolérances dimensionnelles et ajustements
4 - 21/05	États de surface – Tolérances géométriques
5 - 27/05	Cotation fonctionnelle – Tracé
6 - 3/06	Cotation fonctionnelle – Calcul
7 - 10/06	Examen de contrôle
8 - 17/06	Procédés d'obtention des pièces brutes
9 - 26/06	Montages isostatiques
10- 08/07	Transfert de cotes et d'orientations
11- 15/07	Rédaction de gammes d'usinage
12- 22/07	Introduction à la CAO – Modélisation et mises en plan
13- 29/07	Rédaction de gammes d'usinage (projet de session)

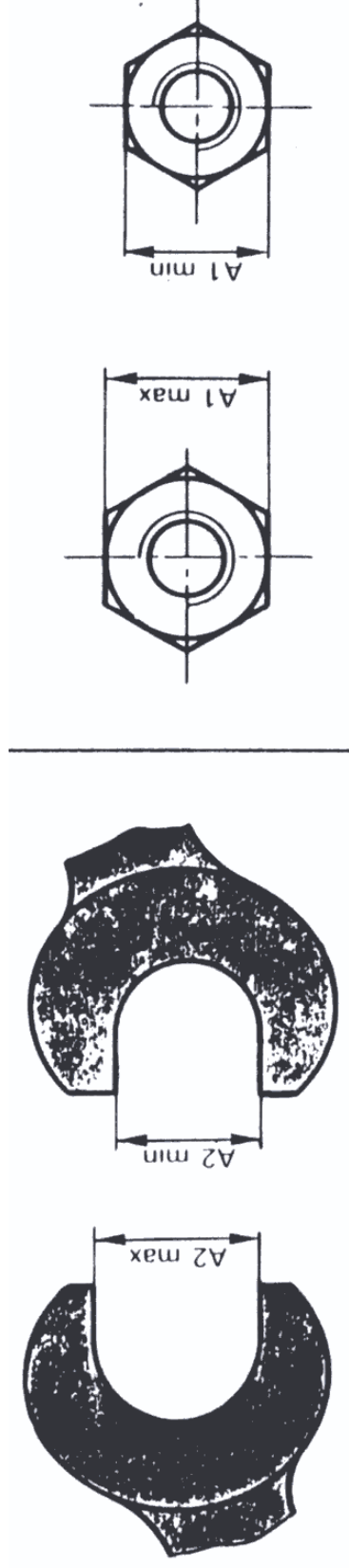
Cotation fonctionnelle

- Plan du chapitre
- Tracé des chaînes de cotes (1/2)
- Calcul des cotes fonctionnelles tolérancées (2/2)
 - Interdépendance des tolérances de cotes de la chaîne
 - Applications de la cotation fonctionnelle
 - Recherche d'une cote avec tolérance
 - Répartition des tolérances
 - Cote pour jeu fonctionnel
 - Condition fonctionnelle unillimite
 - Modification de conception
 - Cas particuliers: surfaces inclinées

Interdépendance des tolérances des cotes de la chaîne

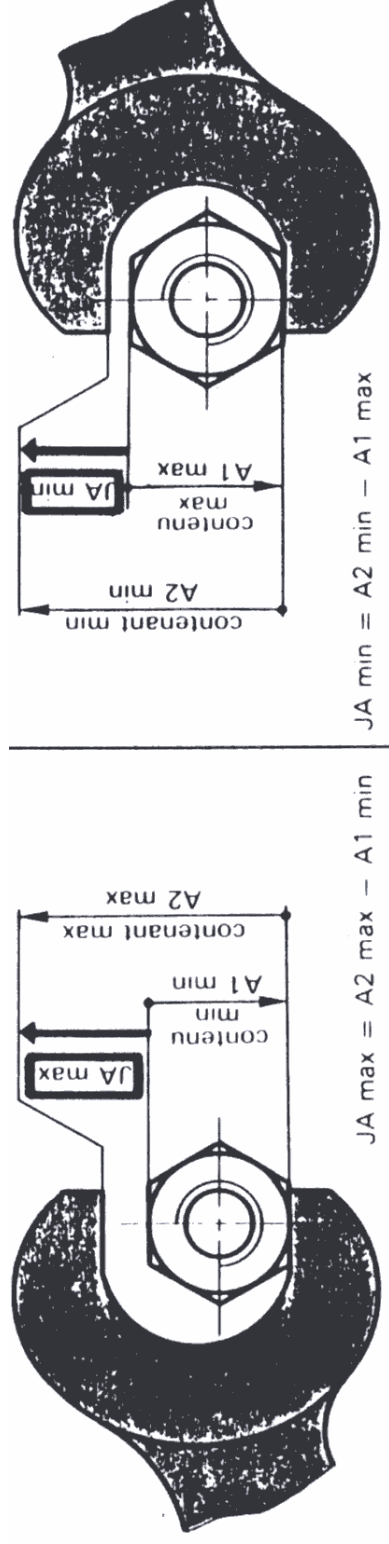


- Les cotes d'une chaîne fonctionnelle ne peuvent être traitées comme des valeurs fixes;
- Chacune d'elles doit posséder un intervalle de tolérance pour des raisons fabrication;
- Ainsi, chaque dimension est variable à l'intérieur de son propre intervalle de tolérance.



Interdépendance des tolérances des cotes de la chaîne

- Les dimensions étant variables, le jeu résultant est variable aussi:



$$IT_{JEU} = \sum IT_{cotes} \quad (1)$$

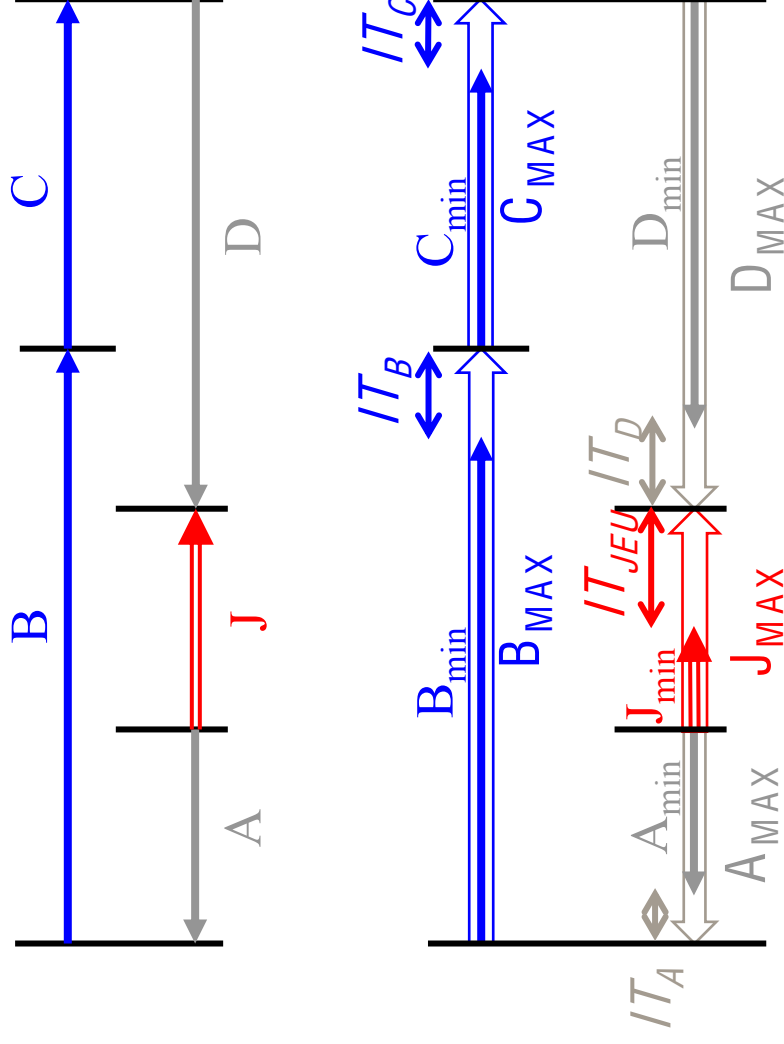
$$Jeu_{MAX} = \sum (cotes contenantes)_{MAX} - \sum (cotes contenues)_{min} \quad (2)$$

$$Jeu_{min} = \sum (cotes contenantes)_{min} - \sum (cotes contenues)_{MAX} \quad (3)$$

Note: les 3 équations ne sont pas indépendantes.

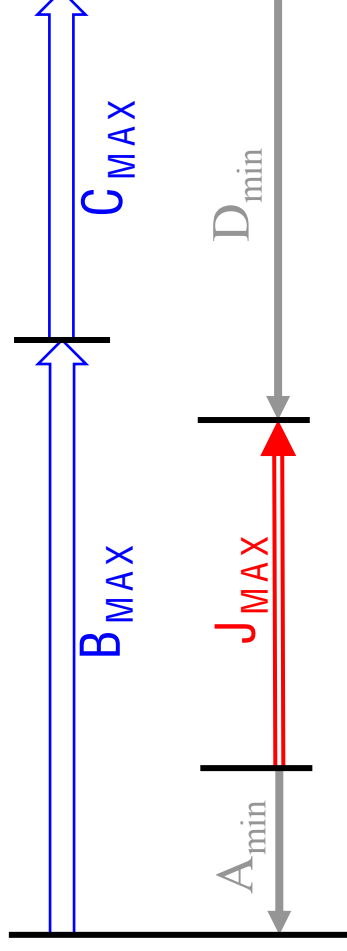
Interdépendance des tolérances des cotes de la chaîne

- Exemple d'une chaîne de cotes fonctionnelles avec JEU:



Interdépendance des tolérances des cotes de la chaîne

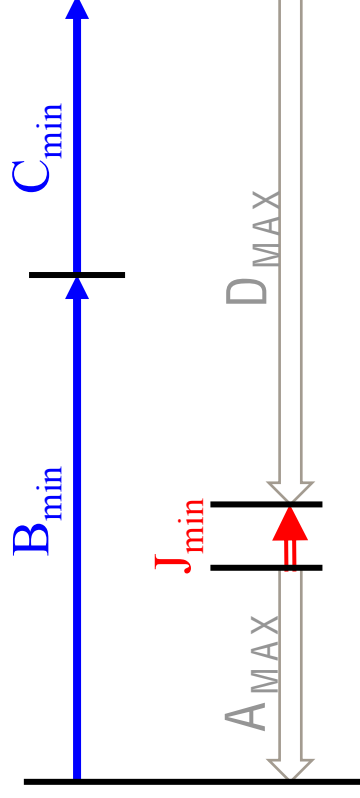
- Exemple d'une chaîne de cotes fonctionnelles avec JEU:



$$\begin{aligned} J_{MAX} &= \sum (\text{cotes contenantes})_{MAX} - \sum (\text{cotes contenues})_{min} \\ &= B_{MAX} + C_{MAX} - A_{min} - D_{min} \end{aligned} \quad (1)$$

Interdépendance des tolérances des cotes de la chaîne

- Exemple d'une chaîne de cotes fonctionnelles avec JEU:



$$J_{\text{MAX}} = \sum (\text{cotes contenantes})_{\text{MAX}} - \sum (\text{cotes contenues})_{\text{min}} \quad (1)$$

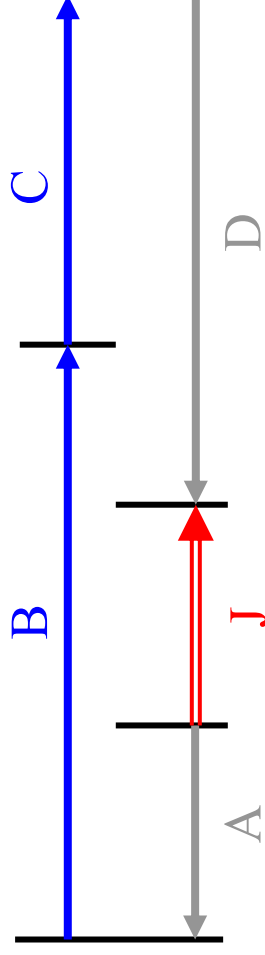
$$= B_{\text{MAX}} + C_{\text{MAX}} - A_{\text{min}} - D_{\text{min}}$$

$$J_{\text{min}} = \sum (\text{cotes contenantes})_{\text{min}} - \sum (\text{cotes contenues})_{\text{MAX}} \quad (2)$$

$$= B_{\text{min}} + C_{\text{min}} - A_{\text{MAX}} - D_{\text{MAX}}$$

Interdépendance des tolérances des cotes de la chaîne

- Exemple d'une chaîne de cotes fonctionnelles avec JEU:



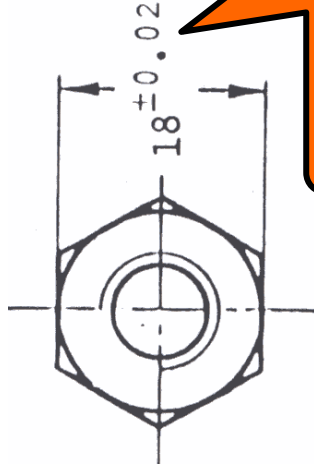
$$\begin{aligned}
 J_{\text{MAX}} &= \sum (\text{cotes contenantes})_{\text{MAX}} - \sum (\text{cotes contenues})_{\text{min}} & (1) \\
 &= B_{\text{MAX}} + C_{\text{MAX}} - A_{\text{min}} - D_{\text{min}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{\text{min}} &= \sum (\text{cotes contenantes})_{\text{min}} - \sum (\text{cotes contenues})_{\text{MAX}} & (2) \\
 &= B_{\text{min}} + C_{\text{min}} - A_{\text{MAX}} - D_{\text{MAX}}
 \end{aligned}$$

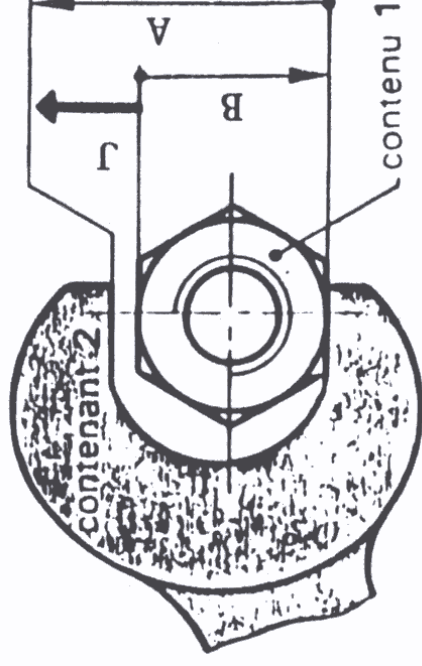
$$\begin{aligned}
 IT_J &= J_{\text{MAX}} - J_{\text{min}} \\
 &= (B_{\text{MAX}} + C_{\text{MAX}} - A_{\text{min}} - D_{\text{min}}) - (B_{\text{min}} + C_{\text{min}} - A_{\text{MAX}} - D_{\text{MAX}}) \\
 &= (A_{\text{MAX}} - A_{\text{min}}) + (B_{\text{MAX}} - B_{\text{min}}) + (C_{\text{MAX}} - C_{\text{min}}) + (D_{\text{MAX}} - D_{\text{min}}) \\
 &= IT_A + IT_B + IT_C + IT_D \quad (\text{les 3 équations sont dépendantes}) & (3)
 \end{aligned}$$

Application: recherche d'une cote tolérancée

- On calcule les tolérances afin d'assurer l'INTERCHANGEABILITÉ.
- Exemple: Écrou standard
 - Insertion facile de la clé: $J_{\min} = 0.03 \text{ mm}$
 - La clé n'endommage pas l'écrou: $J_{\max} = 0.15 \text{ mm}$



IT garanti par le manufacturier



- Ainsi, quelle doit être la cote tolérancée de la clé afin qu'elle s'adapte sur les écrous standards en respectant les valeurs limites de J ?

Application: recherche d'une cote tolérancée

- Exemple: Écrou standard
- Insertion facile de la clé: $J_{\min} = 0.03 \text{ mm}$
- La clé n'endommage pas l'écrou: $J_{\max} = 0.15 \text{ mm}$

1. $J_{\max} = A_{\max} - B_{\min}$
 $\rightarrow A_{\max} = J_{\max} + B_{\min} = 0,15 + 17,98 = 18,13$

2. $J_{\min} = A_{\min} - B_{\max}$
 $\rightarrow A_{\min} = J_{\min} + B_{\max} = 0,03 + 18,02 = 18,05$

3. Vérification:

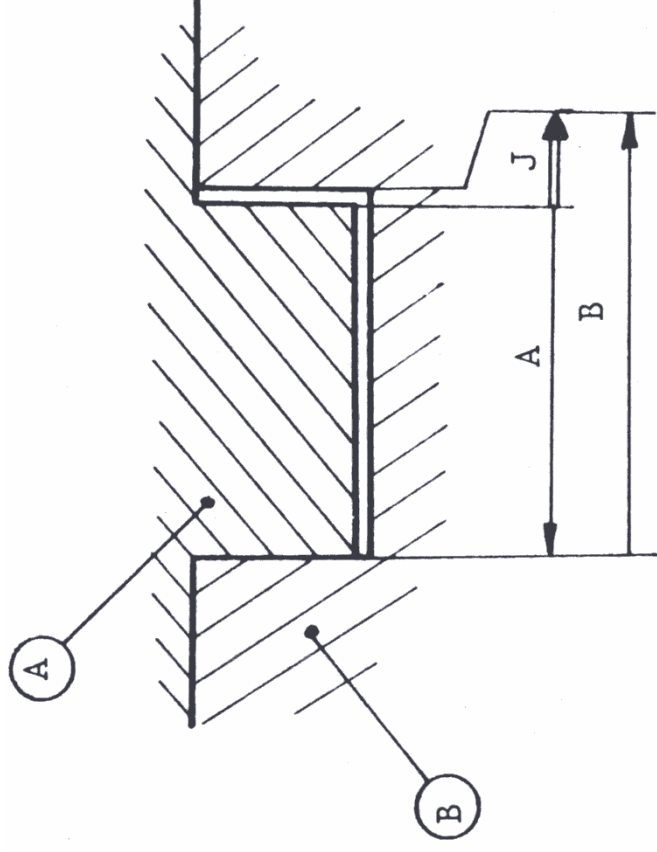
$$IT_J = J_{\max} - J_{\min} = 0,15 - 0,03 = 0,12$$

$$IT_J = IT_A + IT_B = (A_{\max} - A_{\min}) + IT_B = (18,13 - 18,05) + 0,04 = 0,12$$



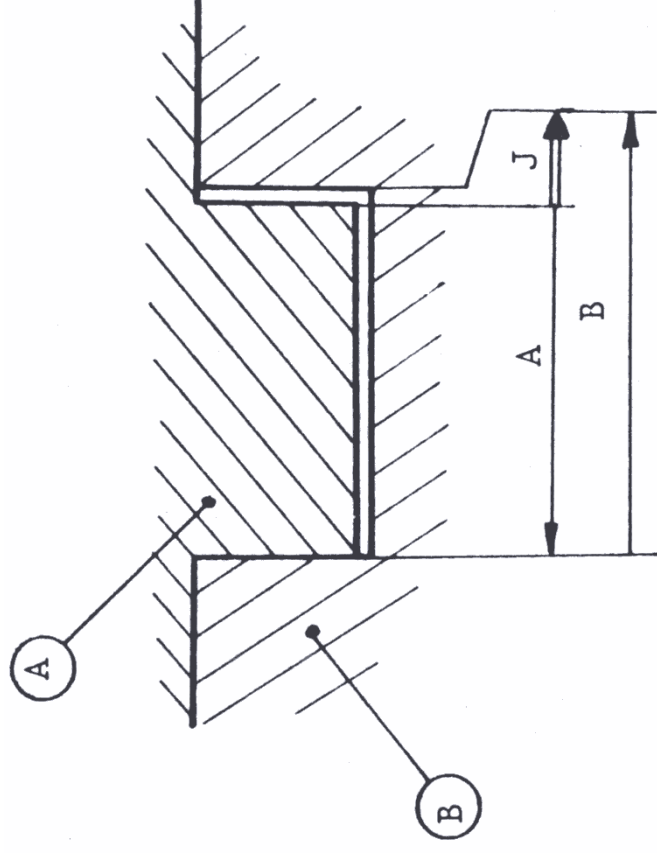
Application: répartition des tolérances

- Déterminer les tolérances des cotes de la chaîne fonctionnelle en connaissant:
 - les cotes nominales,
 - les jeux minimum et maximum.
- Exemple de données:
 - Cote nominale (A et B) = 30 mm
 - $0.02 \text{ mm} < \text{Jeu} < 0.07 \text{ mm}$
- Problème:
 - 4 inconnues:
 - A_{\min} , A_{\max} , B_{\min} , B_{\max}
 - 2 équations indépendantes:
 - $J_{\max}^{(1)}$, $J_{\min}^{(2)}$



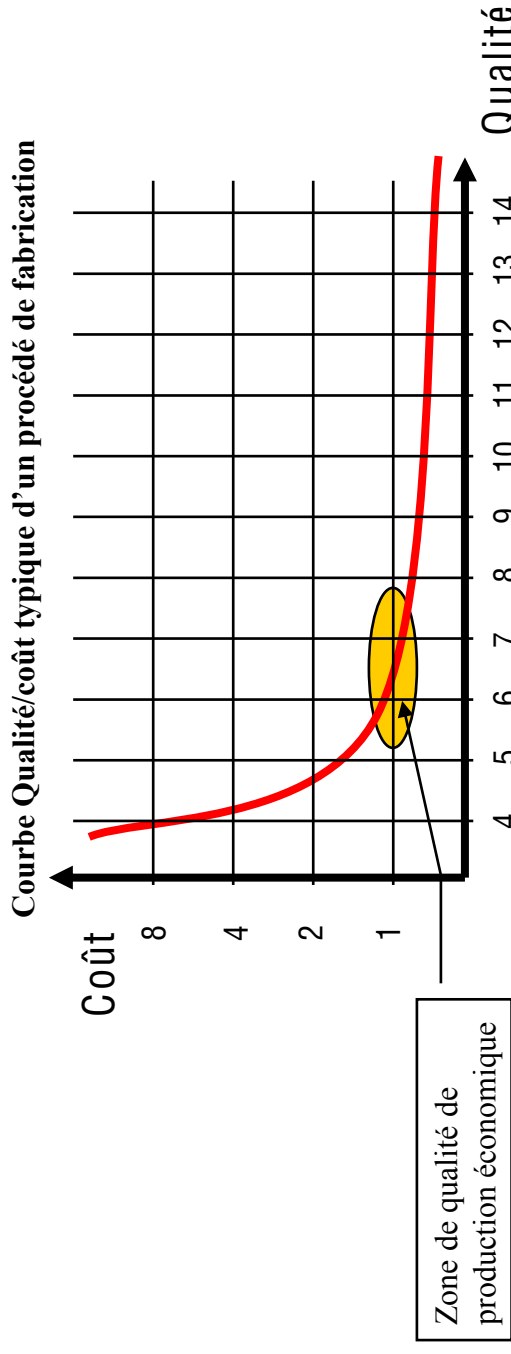
Application: répartition des tolérances

- Démarche:
 - On doit émettre des hypothèses afin d'éliminer au moins deux inconnus du problème;
 - On fait ainsi des **choix de conception**.
- 1^{er} choix de conception:
 - Répartition des IT telle que
 - $IT_A \approx IT_B$, et
 - $IT_B \geq IT_A$
- 2^e choix de conception:
 - Cote associée à l'alésage (Position de IT_B sera **H**)



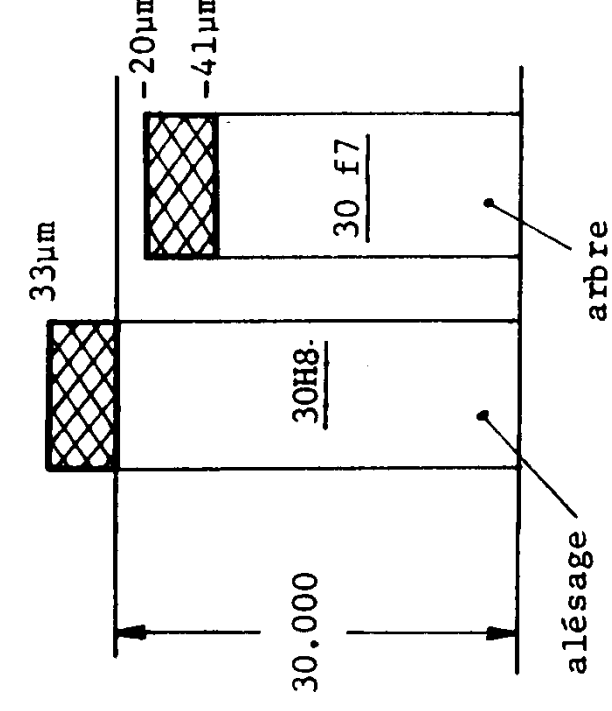
Application: répartition des tolérances

- Justification du 1^{er} choix de conception:
 - $IT_A \approx IT_B$
 - On évite les écarts de qualité entre pièces remplissant une même fonction afin de mieux répartir les coûts de fabrication.
 - Exemple: Pour un même jeu, H7g4 ou H6g5 ?



Application: répartition des tolérances

- Justification du 1^{er} choix de conception:
 - $IT_B \geq IT_A$
 - À qualité également, une cote contenant (intérieure) est plus onéreuse à fabriquer qu'une cote contenue (extérieure).
 - Dans le cas précédent...
 - Qualité 8 sur le contenant,
 - Qualité 7 sur le contenu.

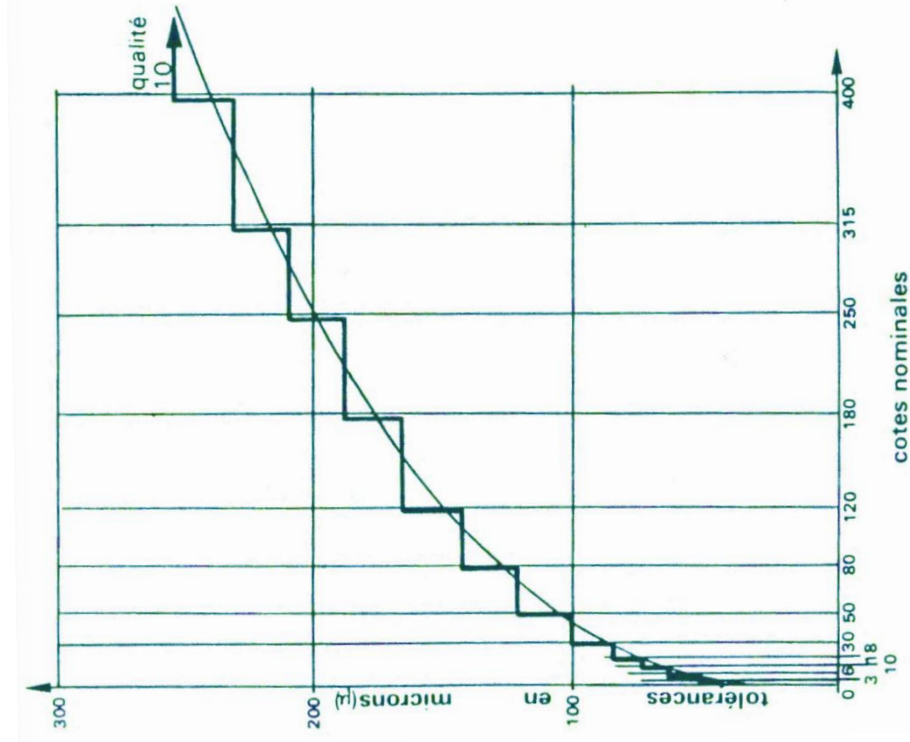


Application: répartition des tolérances

- Justification du 1^{er} choix de conception:
 - Remarques:
 - Si la chaîne compte plus de deux cotes, elles auront des cotes nominales différentes;
 - À qualité égale, l'IT augmente avec la cote.

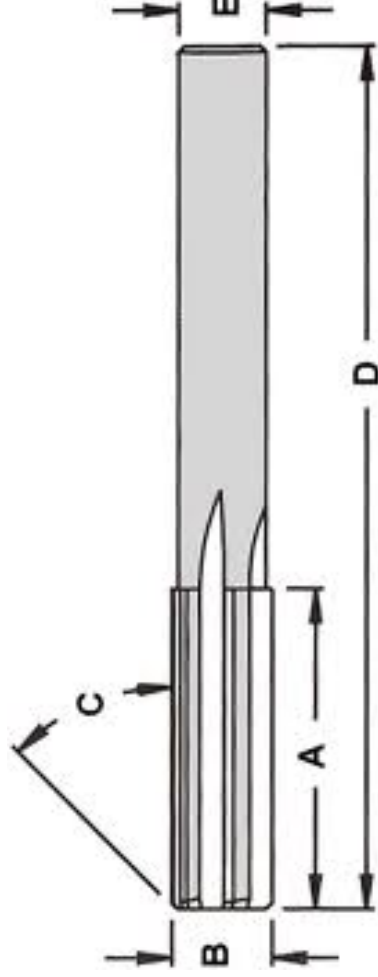
(2)

TOLÉRANCES FONDAMENTALES																				
Qualité	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14*	15*	16*		
	≤ 30,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	20	30	40	50	100	140	250	400	600	
> 3	à	60,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	
> 6	à	100,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	
> 10	à	180,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	45	70	110	180	270	430	700	1100	
> 18	à	300,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	55	84	130	210	330	520	840	1300	
> 30	à	500,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	65	100	160	250	390	620	1000	1600	
> 50	à	800,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	75	120	190	300	460	740	1200	1900	
> 80	à	1200	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	88	140	220	350	540	870	1400	2200	
> 120	à	1800	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
> 180	à	2500	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	300	460	720	1150	1850	2900
> 250	à	3150	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
> 315	à	4000	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
> 400	à	5000	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000



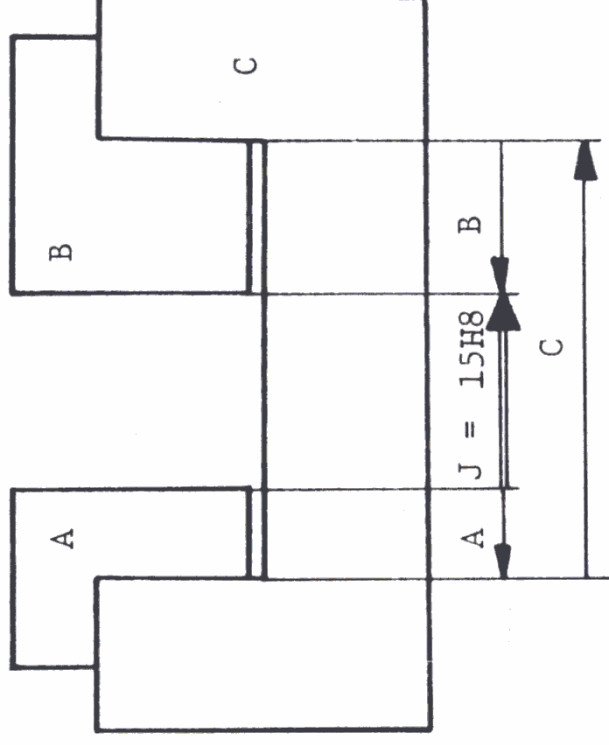
Application: répartition des tolérances

- Justification du 2^e choix de conception:
 - Cote associée à l'alésage:
 - En production, des cotes contenantes, telles des alésages et des rainures, sont généralement obtenues par des outils affûtés directement à une cote associée à l'alésage (du type H).



Application: Une cote comme jeu fonctionnel

- Exemple:
 - Jeu = 15H8
 - $A_{\text{nominal}} = 6 \text{ mm}$
 - $B_{\text{nominal}} = 14 \text{ mm}$



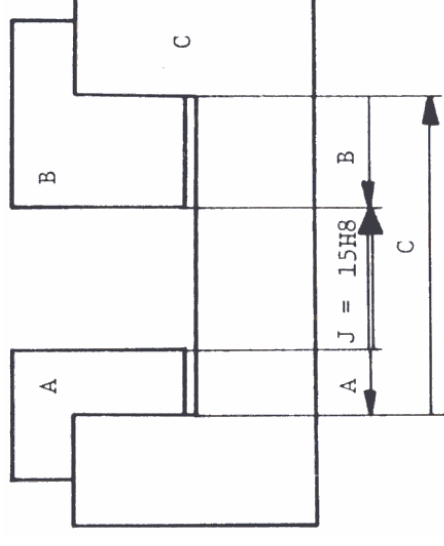
- Calculer les cotes A, B et C et leurs intervalles de tolérance.

(2)

TOLÉRANCES FONDAMENTALES																			
Qualité	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14*	15*	16*	
	pour paliers de diamètres en millimètres																		
	Tolérances fondamentales en micromètres																		
< 30	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
> 3 à 60	4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	
> 6 à 100	4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	
> 10 à 180	5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	
> 18 à 300	6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	
> 30 à 500	7	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600		
> 50 à 800	8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	
> 80 à 1200	9	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	
> 120 à 1800	10	2	3	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	
> 180 à 250	11	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
> 250 à 315	12	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
> 315 à 400	13	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
> 400 à 500	14	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

Application: Une cote comme jeu fonctionnel

- Examen du jeu $J = 15H8$:
 - Cote nominale = 15mm
 - Indice de qualité = 8
 - Position de $IT_J = H \rightarrow$
 - Donc, $J = 15 \text{ }_0^{+27}$
- Expression vectorielle de la chaîne de cotes fonctionnelles:
 - $J = C - (A + B)$
 - $A = 6 \text{ mm}; B = 14\text{mm}; J = 15\text{mm}$
 - $C = 15 + 6 + 14 = 35\text{mm}$



- Répartition des IT:

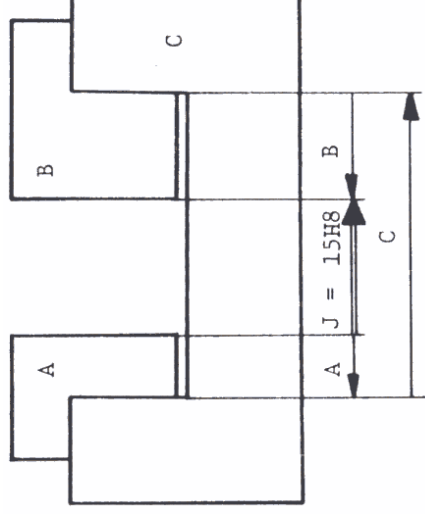
- $IT_J = IT_A + IT_B + IT_C$
- Trop de variables!

Tolérances fondamentales en micromètres		TOLÉRANCES FONDAMENTALES																			
Qualité	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14*	15*	16*			
≤ 30	3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600			
> 3 à 60	4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750			
> 6 à 100	4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900			
> 10 à 180	5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100			
> 18 à 300	6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300			
> 30 à 500	6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600			
> 50 à 800	7	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900			
> 80 à 1200	7	1,2	2	3	5	8	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200		
> 120 à 1800	8	1,5	2,5	4	7	11	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500			
> 180 à 250	8	1,5	2,5	4	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900		
> 250 à 315	8	1,5	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	
> 315 à 400	9	2	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	
> 400 à 500	9	2	3	5	7	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

Application: Une cote comme jeu fonctionnel

- Choix de conception:
 - On recherche une répartition des IT où les indices de qualité sont similaires et IT_C est supérieur;
 - $IT_J = IT_A + IT_B + IT_C$
 - $27 = 5_{(Q5)} + 8_{(Q5)} + 16_{(Q6)} = 29$

- Cote C associée à l'alésage;
- $C = 35H6 = 35_0^{+16}$
- Posons $A = 6g5 = 6_{-9}^{-4}$
Choix arbitraire...



Qualité		01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14*	15*	16*		
pour paliers de diamètres en micromètres		≤ 30	30-0.5	0.5-1.2	1.2-2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600		
pour paliers de diamètres en millimètres		> 3	à 60	4-0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	
		> 6	à 100	4-0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	
		> 10	à 180	5-0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	
		> 18	à 300	6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
		> 30	à 500	6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
		> 50	à 800	8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
		> 80	à 1200	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
		> 120	à 1800	1.2	2	3	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
		> 180	à 250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
		> 250	à 315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
		> 315	à 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
		> 400	à 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

Application: Une cote comme jeu fonctionnel

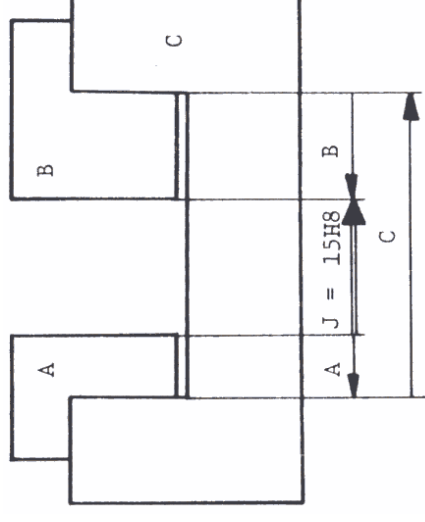
■ Calcul de la cote A:

$$\begin{aligned}
 J_{\min} &= C_{\min} - A_{\max} - B_{\max} \\
 B_{\max} &= C_{\min} - J_{\min} - A_{\max} \\
 &= 35,000 - 15,000 - 5,996 \\
 &= 14,004
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B_{\min} &= B_{\max} - IT_B \\
 &= 14,004 - 0,008 \\
 &= 13,996
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= 6 \sqrt[4]{-4} = 6g5 \\
 B &= 14 \sqrt[4]{+4} = 14js5 \\
 C &= 35 \sqrt[4]{+16} = 35H6
 \end{aligned}$$

$$J' = 15 \sqrt[4]{+29} \neq 15H8$$

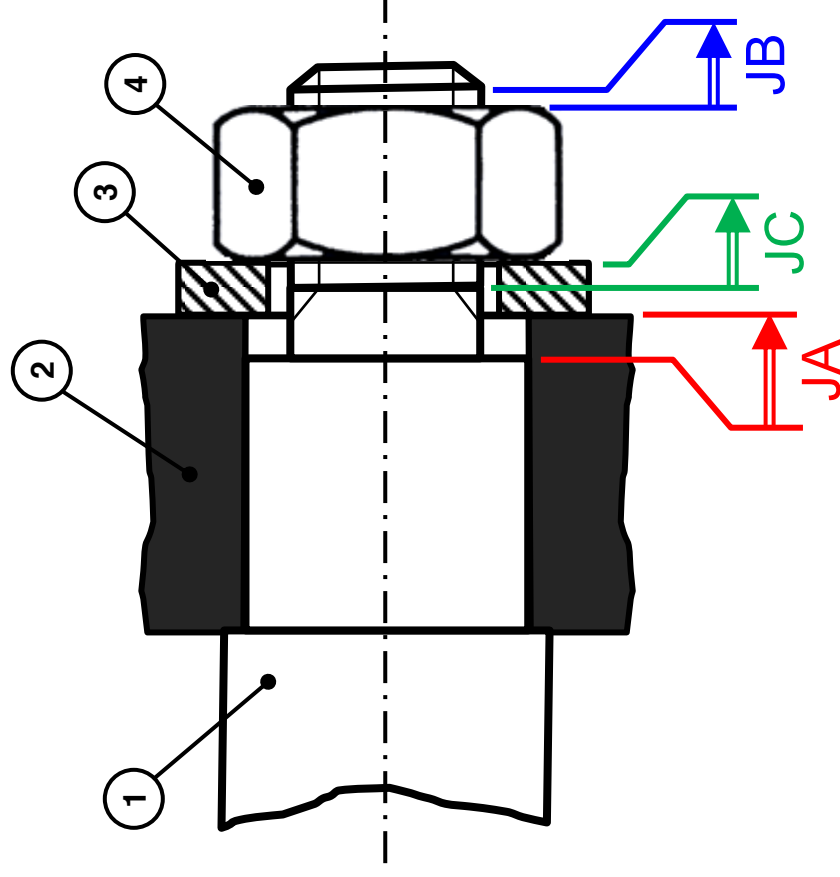


Qualité		01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14*	15*	16*
pour paliers de diamètres en micromètres		≤ 30	30 à 60	60 à 100	100 à 150	150 à 200	200 à 300	300 à 400	400 à 500	500 à 600	600 à 800	800 à 1000	1000 à 1500	1500 à 2000	2000 à 3000	3000 à 4000	4000 à 5000	5000 à 6000	6000 à 8000
Tolérances fondamentales en micromètres		0,012	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,075	0,080	0,085	0,090	0,095
pour paliers de diamètres en millimètres		0,012	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,075	0,080	0,085	0,090	0,095

Application: cotation fonctionnelle unilimite

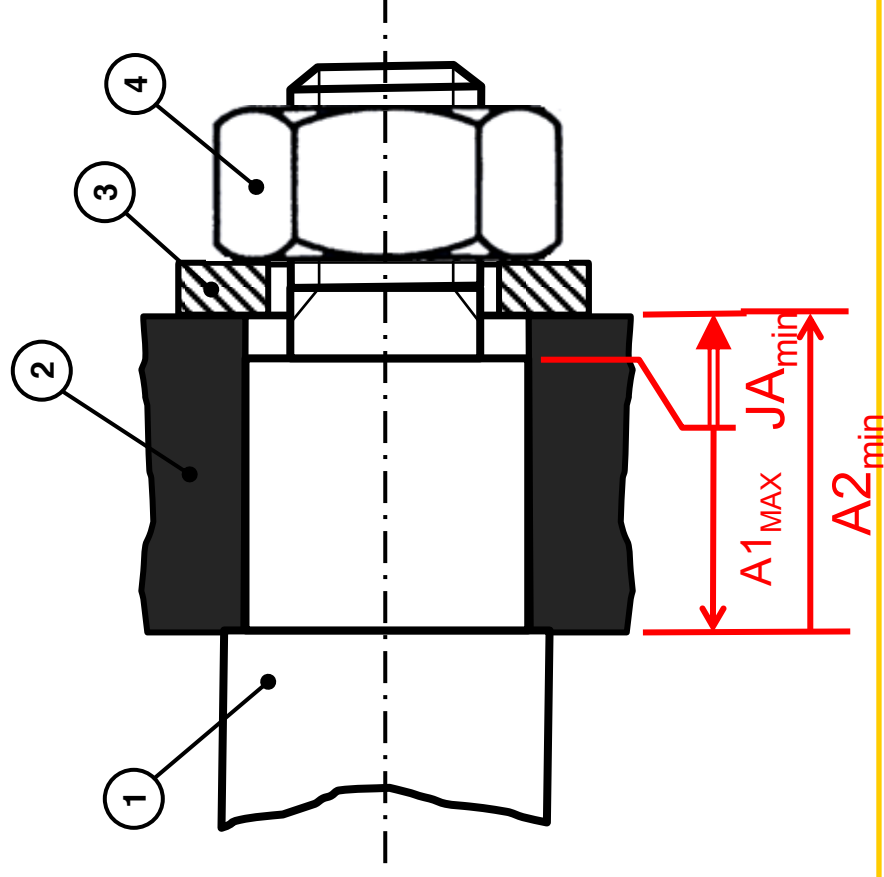
■ Conditions unilimites (minimum ou maximum):

■ JA_{\min} , JB_{\min} , JC_{\min}



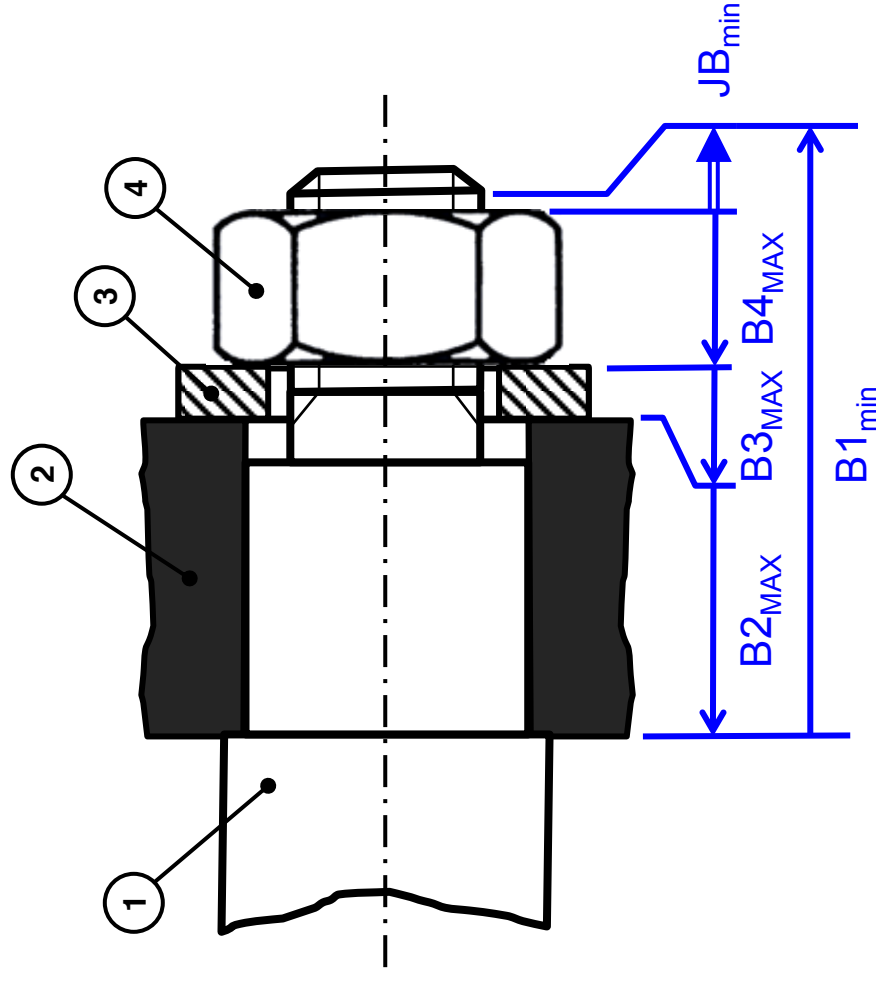
Application: cotation fonctionnelle unilimite

- JA: Assurer l'appui de la rondelle 3 sur la pièce 2 et non sur l'axe 1;
- JA_{\min} seule limite fonctionnelle; JA_{\max} fonctionnellement indifférent.



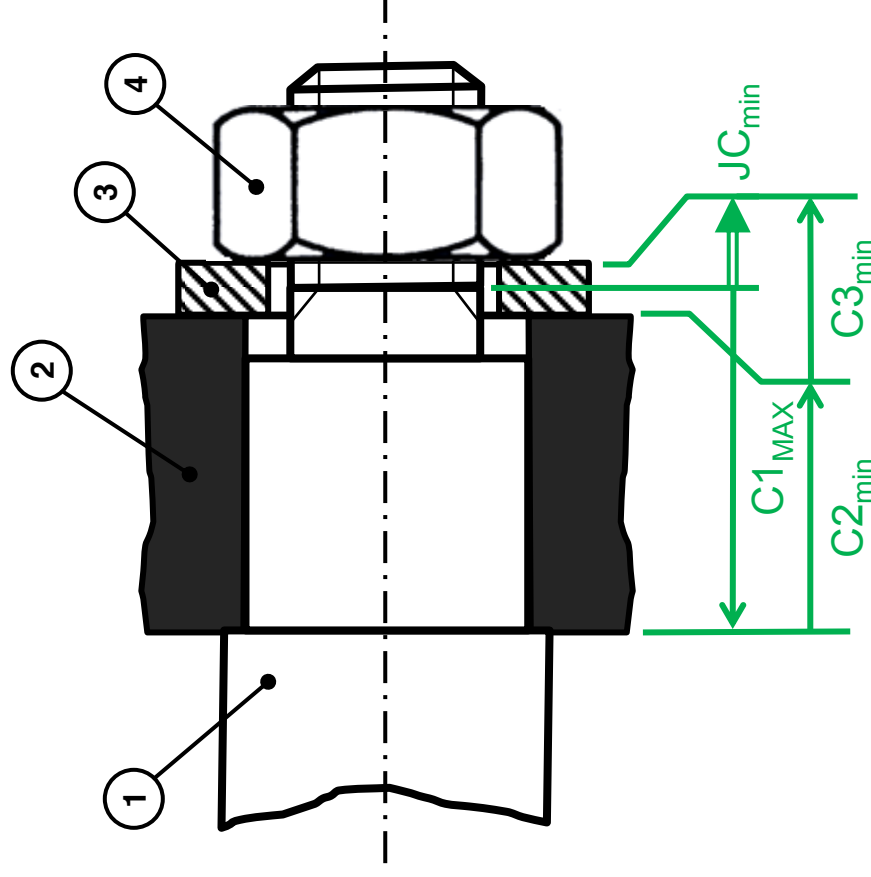
Application: cotation fonctionnelle unilimite

- JB: Assurer suffisamment de filet sur l'axe 1 pour visser l'écrou 4;
- JB_{\min} seule limite fonctionnelle; JA_{\max} fonctionnellement indifférent.



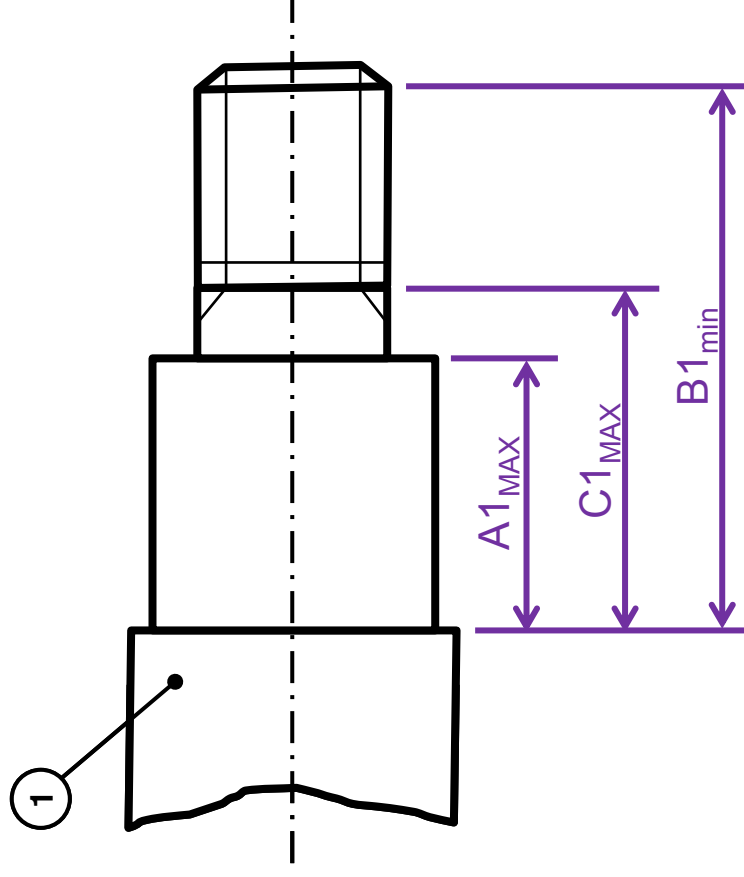
Application: cotation fonctionnelle unilimite

- JC: Assurer une marge filetée sur l'axe pour visser l'écrou 4;
- JC_{\min} seule limite fonctionnelle; JC_{\max} fonctionnellement indifférent.



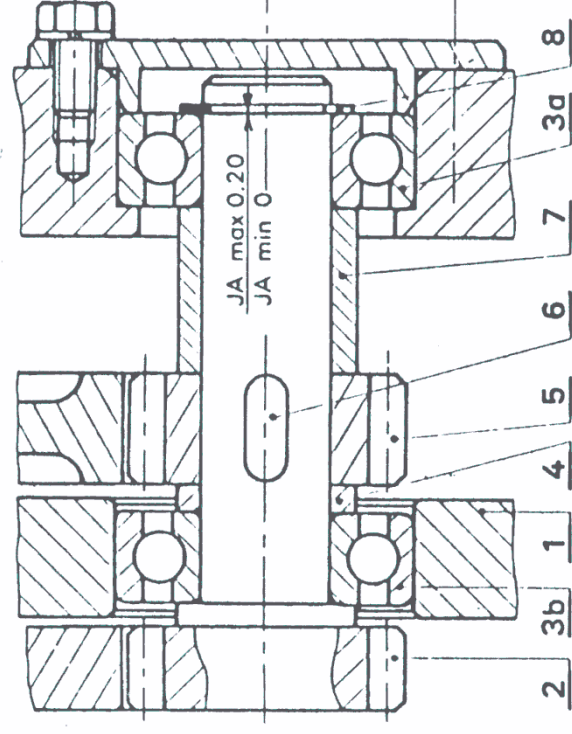
Application: cotation fonctionnelle unilimite

- Les trois cotes de l'axe 1 assurant ces trois conditions unilimites sont tracées sur le dessin de définition;
- Les valeurs de $A1_{\min}$, $C1_{\min}$ et $B1_{\max}$ sont déterminées par le **bureau des méthodes** avec des intervalles de tolérance économiques.

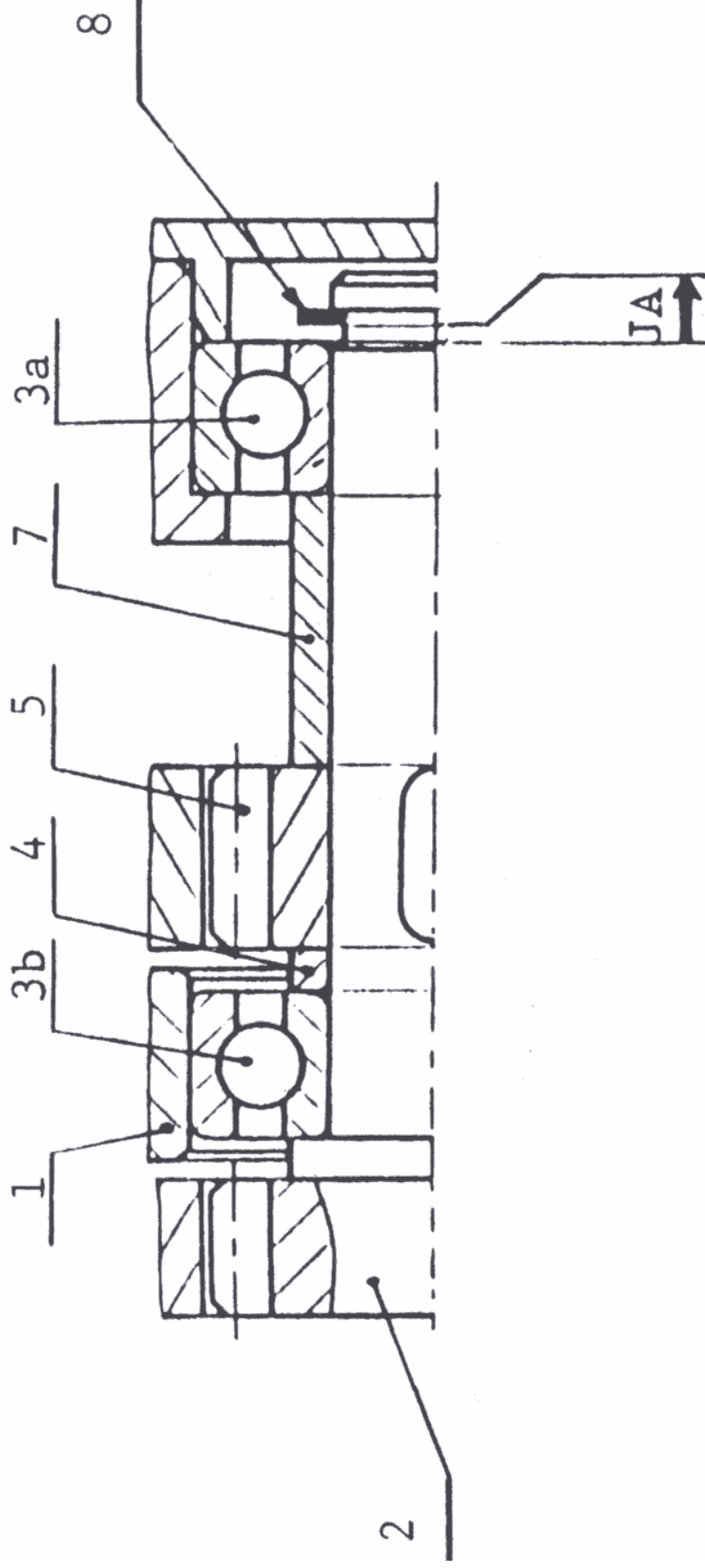


Application: modification du design

1. Établir la chaîne de cotes de JA entre le roulement à billes (3a) et l'anneau élastique (8);
2. Écrire l'expression vectorielle de JA;
3. Vérifier que les jeux min et max sont respectés étant données des tolérances des cotes intervenant dans la chaîne correspondant à un coût de fabrication raisonnable;



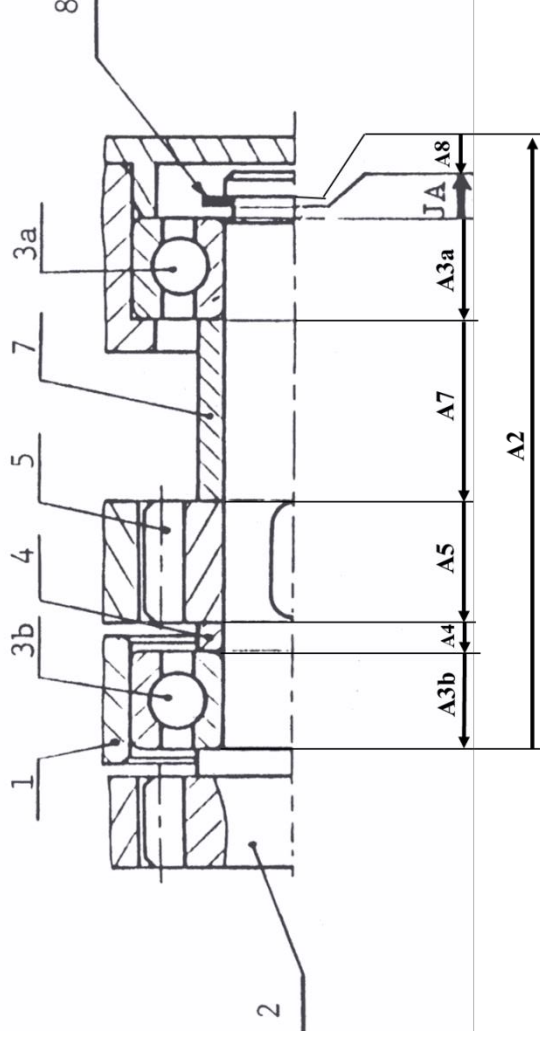
Application: modification du design



Application: modification du design

Données:

- $0 < JA < 0,2\text{mm}$
- $A3 = 11^{-0,12} / 0$
- $A2 = 59 \pm 0,1$
- $A7 = 19 \pm 0,05$
- $A5 = 13 \pm 0,05$
- $A4 = 3 \pm 0,05$
- $A8 = 1h11 = 1^{-0,06} / 0$



Vérification:

- $J_{MAX} = A2_{MAX} - (2 \times A3 + A4 + A5 + A7 + A8)_{min}$
 $= 59,1 - (21,76 + 2,95 + 12,95 + 18,95 + 0,94) = 1,55\text{mm}$ ❌
- $J_{min} = A2_{min} - (2 \times A3 + A4 + A5 + A7 + A8)_{MAX}$
 $= 58,9 - (22 + 3,05 + 13,05 + 19,05 + 1) = 0,75\text{mm}$ ❌

Application: modification du design

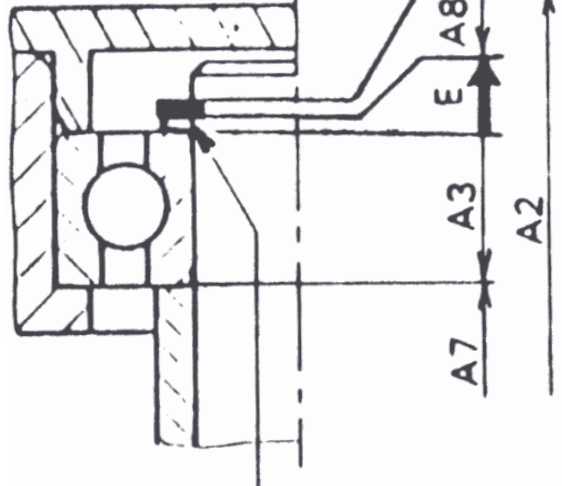
■ Trois options de modification du design initial:

1. Cales de réglage

■ Plusieurs variantes de cales de réglage requises pour combler l'espace laissé par un jeu résultant trop grand:

- 0.75 mm, 0.95 mm, 1.15 mm, 1.35 mm
- Ex.: si jeu réel est de 1.03mm, cale de 0.95mm le réduit à 0.08mm

Cale de réglage choisie pour un jeu $J = 0.20$ max



■ Mauvaise option pour une production de série:

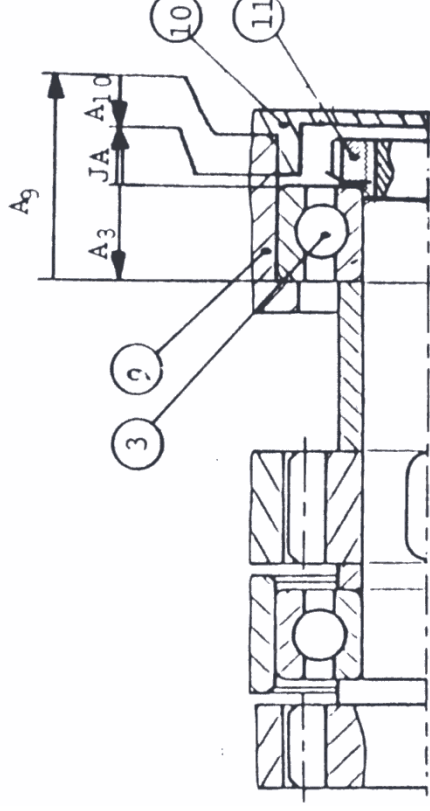
- TROP de manipulations;
- Gestion complexe des pièces.

Application: modification du design

- Trois options de modification du design initial:
 2. Réduction des intervalles de tolérance
 - Chaque intervalle de tolérance des 7 pièces est revu à la baisse afin d'atteindre le jeu JA désiré.
 - $IT_{JA} = \sum IT_i$
 - Mauvaise option relativement aux coûts de production:
 - Partager un $IT_{JA} = 0,2\text{mm}$ sur 7 pièces mène à une augmentation draconienne des qualités exigées, donc à une augmentation des coûts de fabrication;
 - Les pièces standards telles les roulements et l'anneau sont achetées avec des IT pré-établis, compliquant l'obtention de IT plus petits.

Application: modification du design

- Trois options de modification du design initial:
 3. Modification de l'ensemble
 - Les pièces de l'ensemble et leur interaction sont revus afin de réduire la chaîne de cotes fonctionnelles problématique.
 - Ancien design: sept cotes fonctionnelles pour la condition JA;
 - Nouveau design:
 - Un écrou avec goupille est utilisé au lieu de l'anneau élastique et maintient le roulement en place;
 - Le jeu JA est redéfini entre le roulement et le couvercle;
 - Compte maintenant 3 cotes.



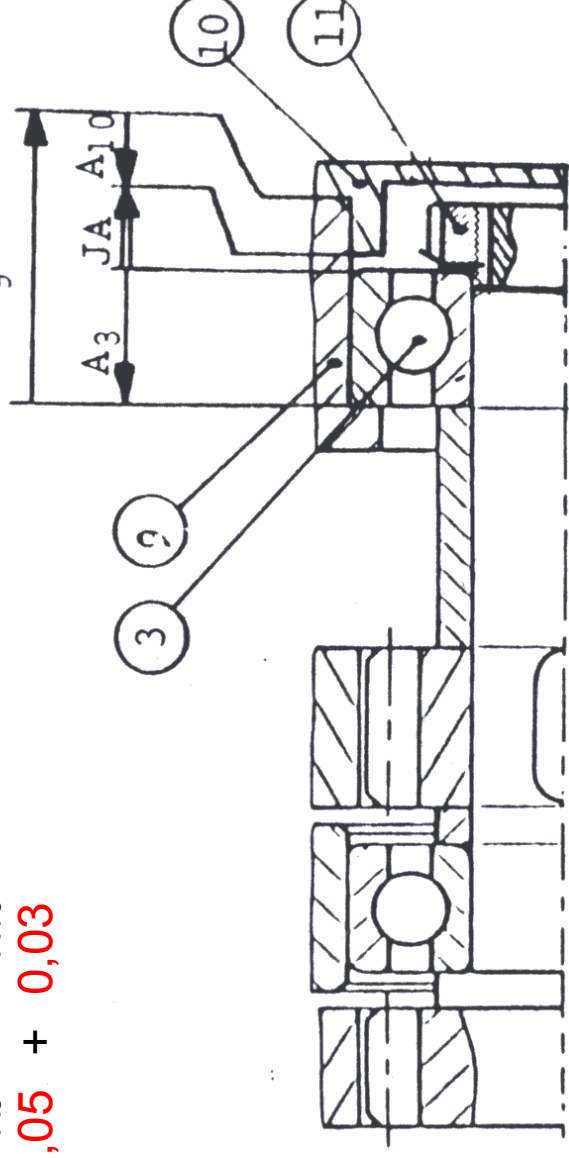
Application: modification du design

■ Trois options de modification du design initial:

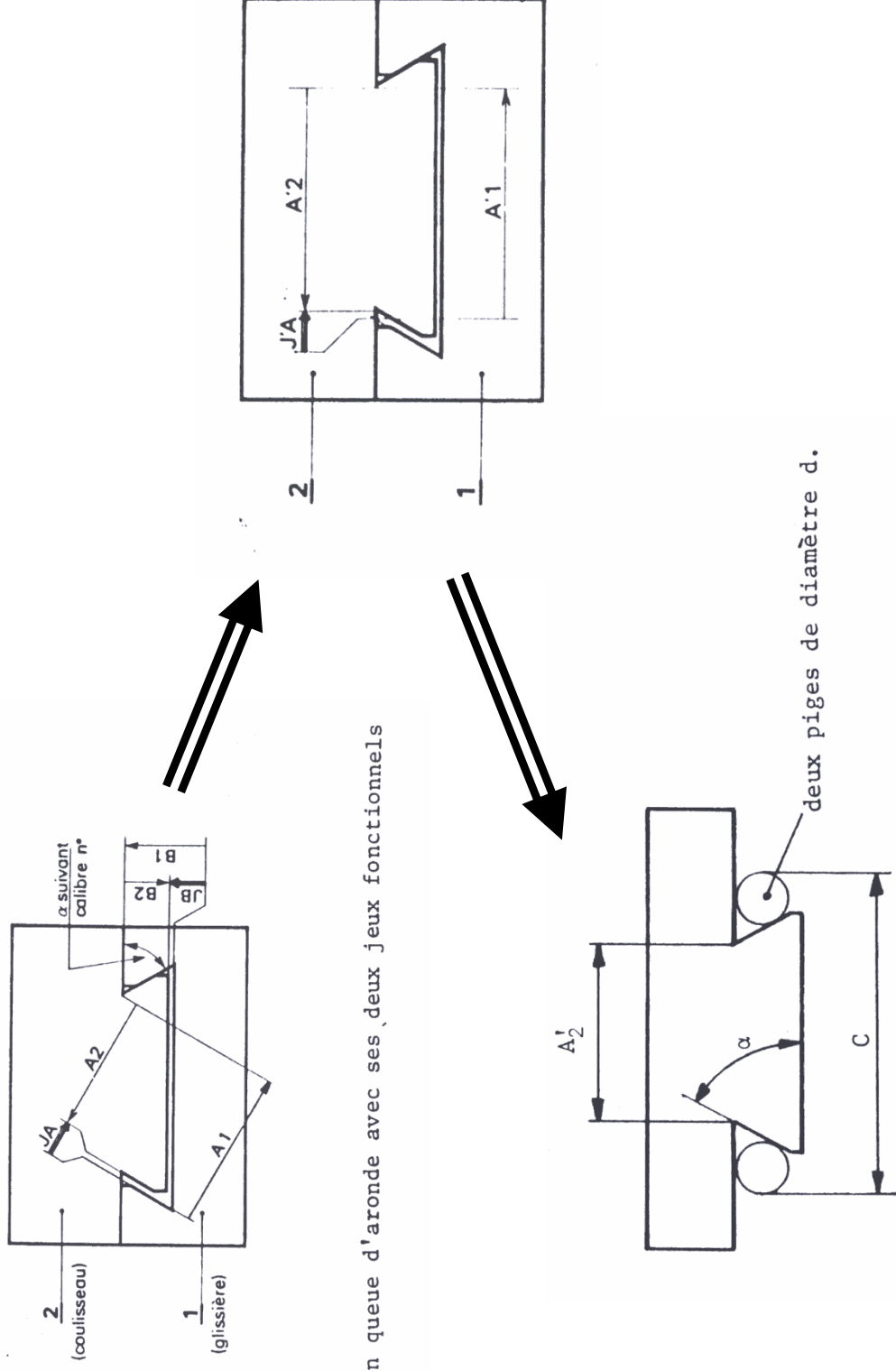
3. Modification de l'ensemble

- Données: $A3 = 11_{-0,12}^{+0}$
- Nouveau calcul:

$$IT_{JA} = IT_{A3} + IT_{A9} + IT_{A10}$$
$$0,2 = 0,12 + 0,05 + 0,03$$



Surfaces inclinées: queue d'arronde



Ajustement en queue d'arronde avec ses deux jeux fonctionnels JA et JB.

Surfaces inclinées: cônes

