

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

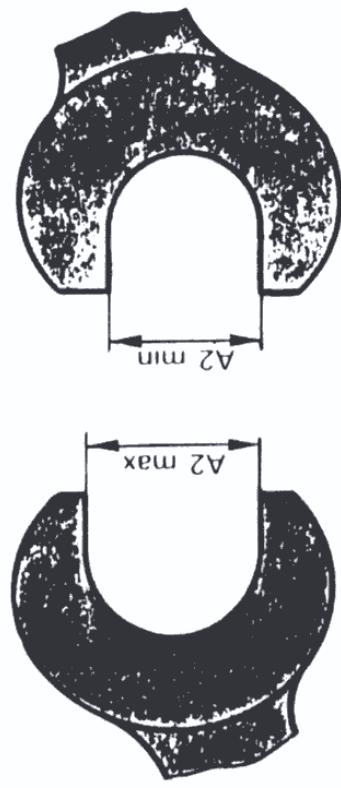
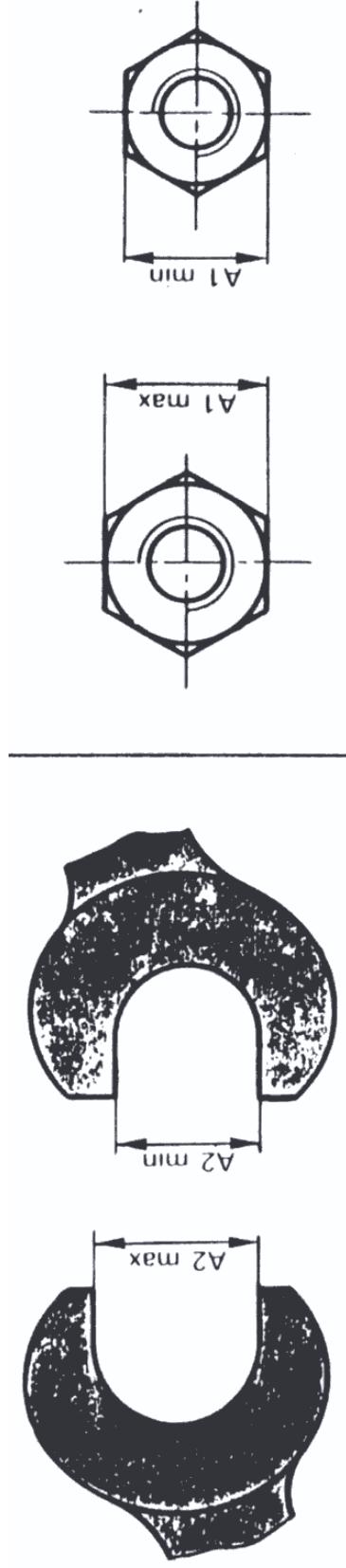
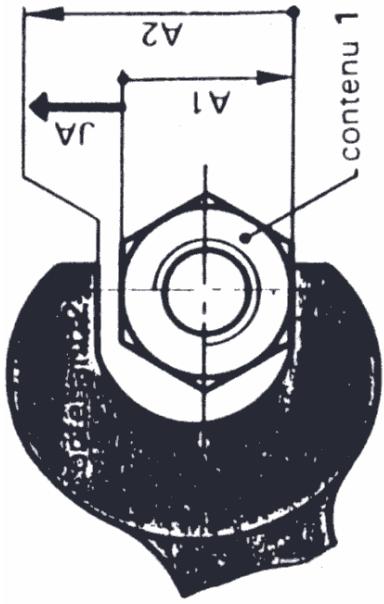
■ Plan du chapitre

- 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 unilimite
 - Modification de conception
- Cas particuliers: surfaces inclinées

Interdépendance des tolérances des cotes de la chaîne

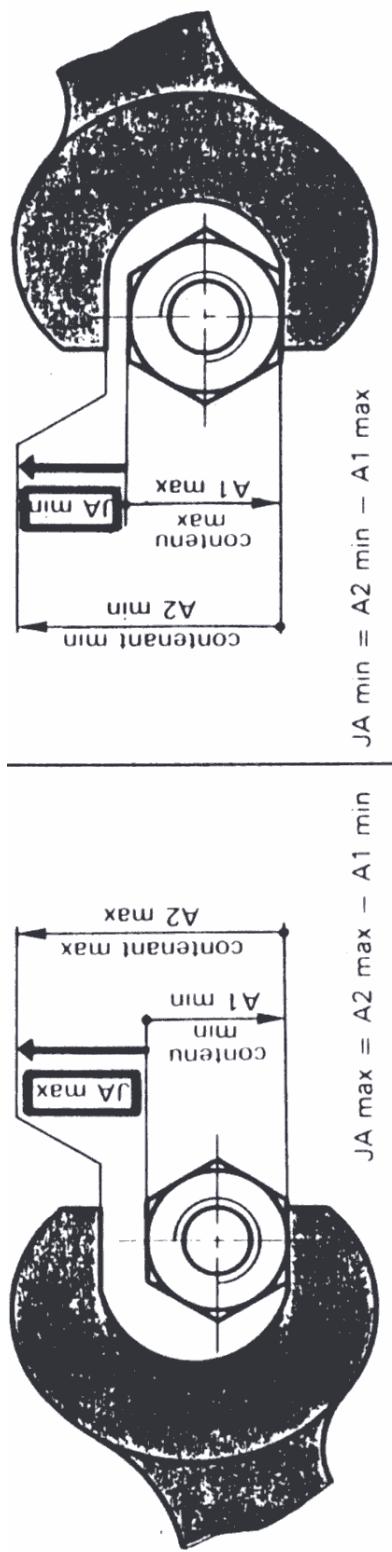
- Les cotes d'une chaîne fonctionnelle ne peuvent être traitées comme des valeurs fixes;
- Chacune d'elles doit posséder un intervalle de tolérance pour des raisons fabrication;

- 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:



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

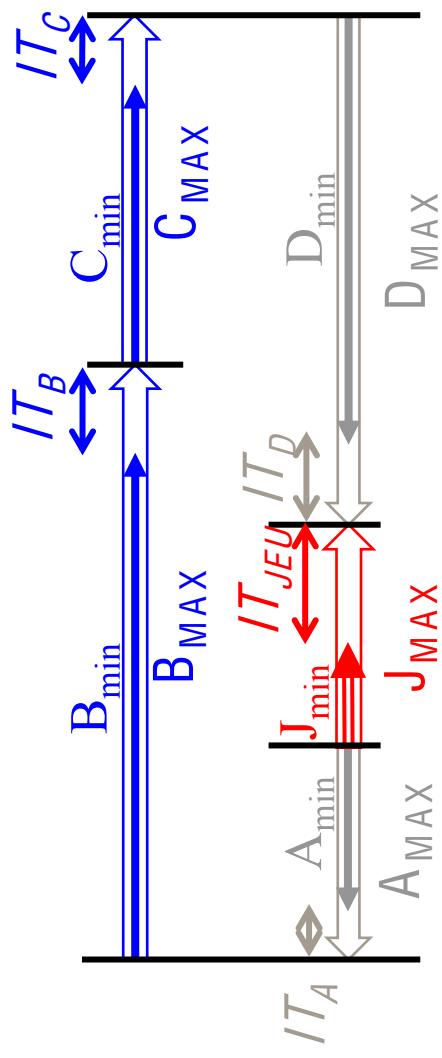
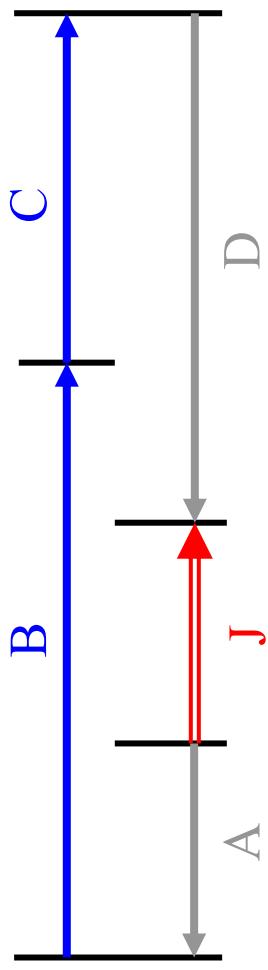
$$jeu_{\text{MAX}} = \sum (\text{cotes contenantes})_{\text{MAX}} - \sum (\text{cotes contenues})_{\text{min}} \quad (2)$$

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

Note: les 3 équations ne sont pas indépendantes.

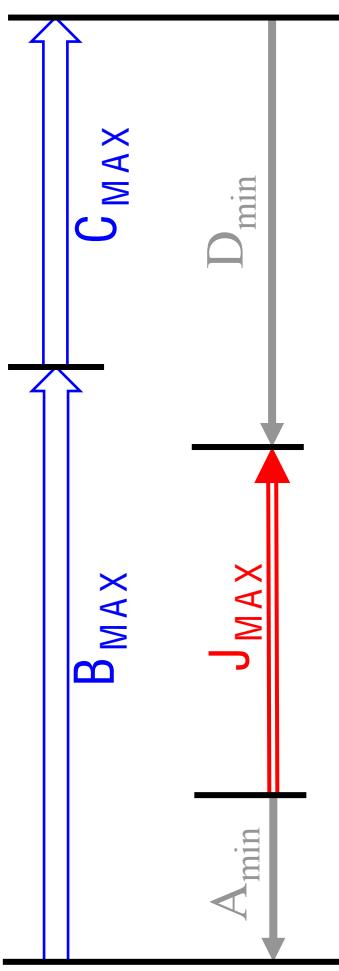
Interdépendance des tolérances des cotes de la chaîne

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



Interdépendance des tolérances des cotes de la chaîne

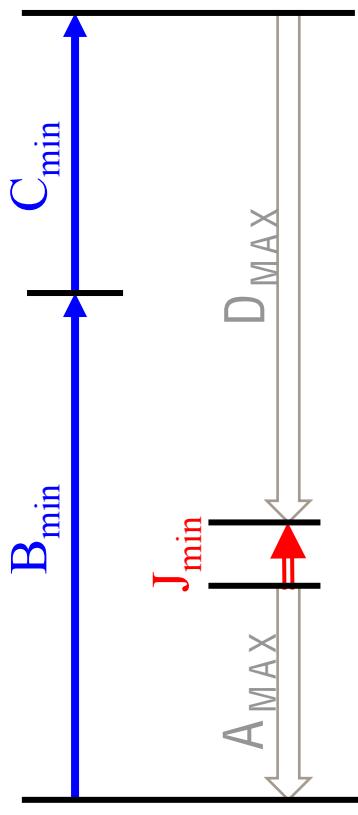
- Exemple d'une chaîne de cotes fonctionnelles avec JEU:



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

Interdépendance des tolérances des cotes de la chaîne

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

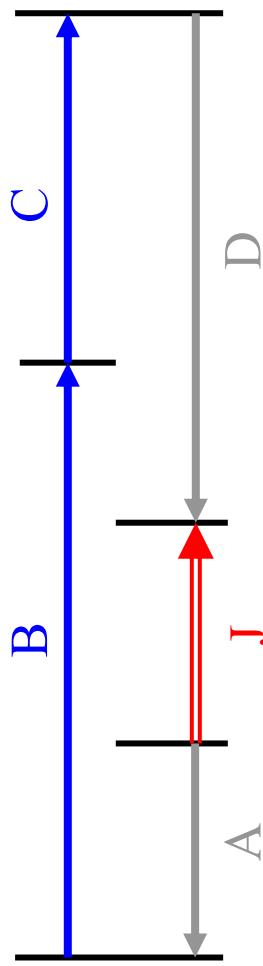


$$\begin{aligned} J_{MAX} &= \sum (\text{cotes contenantes})_{MAX} - \sum (\text{cotes contenues})_{min} \\ &= B_{MAX} + C_{MAX} - A_{min} - D_{min} \end{aligned} \quad (1)$$

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

Interdépendance des tolérances des cotes de la chaîne

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



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

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

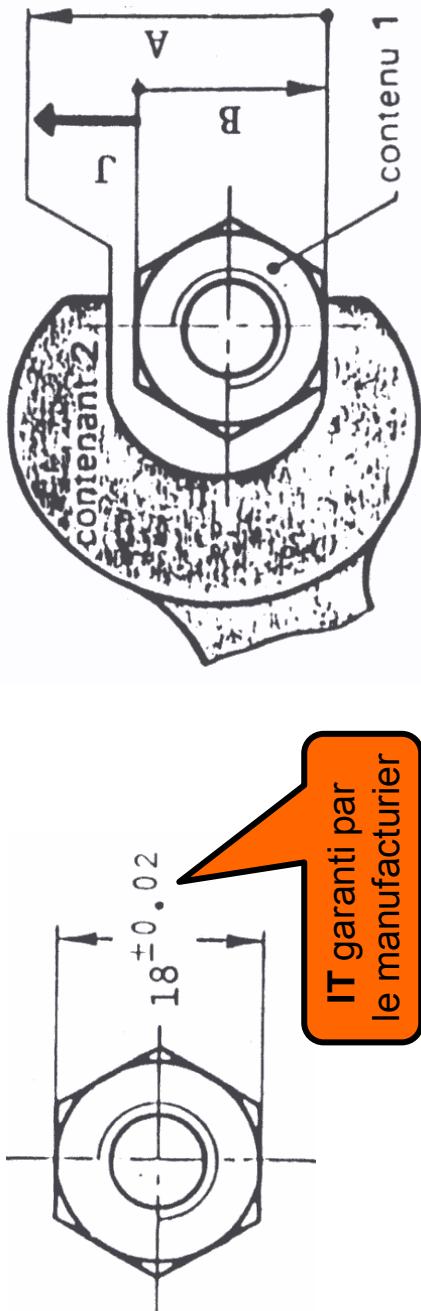
$$\begin{aligned}
 IT_J &= J_{MAX} - J_{min} \\
 &= (B_{MAX} + C_{MAX} - A_{min} - D_{min}) - (B_{min} + C_{min} - A_{MAX} - D_{MAX}) \\
 &= (A_{MAX} - A_{min}) + (B_{MAX} - B_{min}) + (C_{MAX} - C_{min}) + (D_{MAX} - D_{min}) \\
 &= IT_A + IT_B + IT_C + IT_D \quad (\text{les 3 équations sont dépendantes})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

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: $J_{\max} = 0.15 \text{ mm}$



- 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 côte 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:

$$\begin{aligned}IT_j &= J_{\max} - J_{\min} = 0,15 - 0,03 = 0,12 \\IT_j &= IT_A + IT_B = (A_{\max} - A_{\min}) + IT_B = (18,13 - 17,05) + 0,04 = 0,12\end{aligned}$$

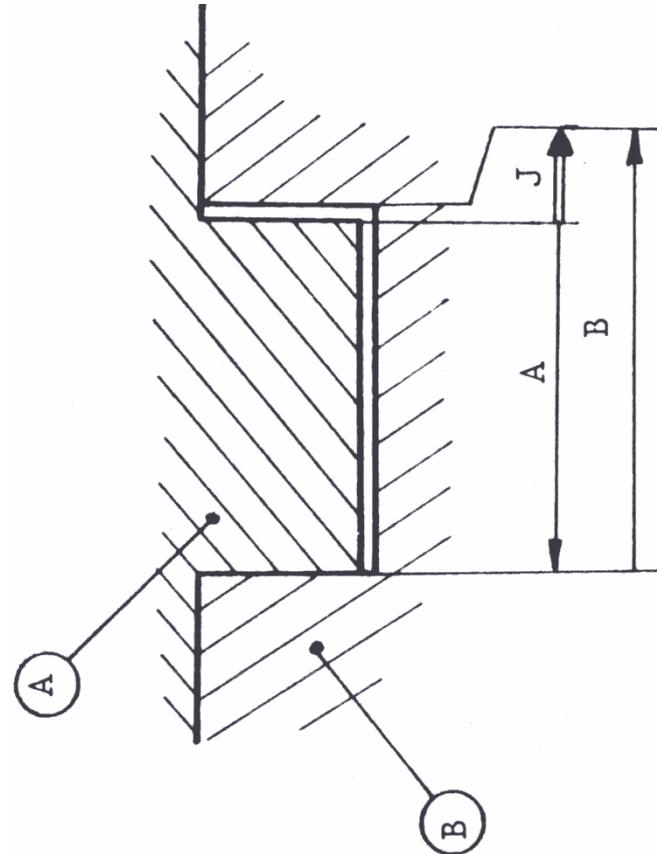


Application: répartition des tolérances

- Déterminer les tolérances des cotes du 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:

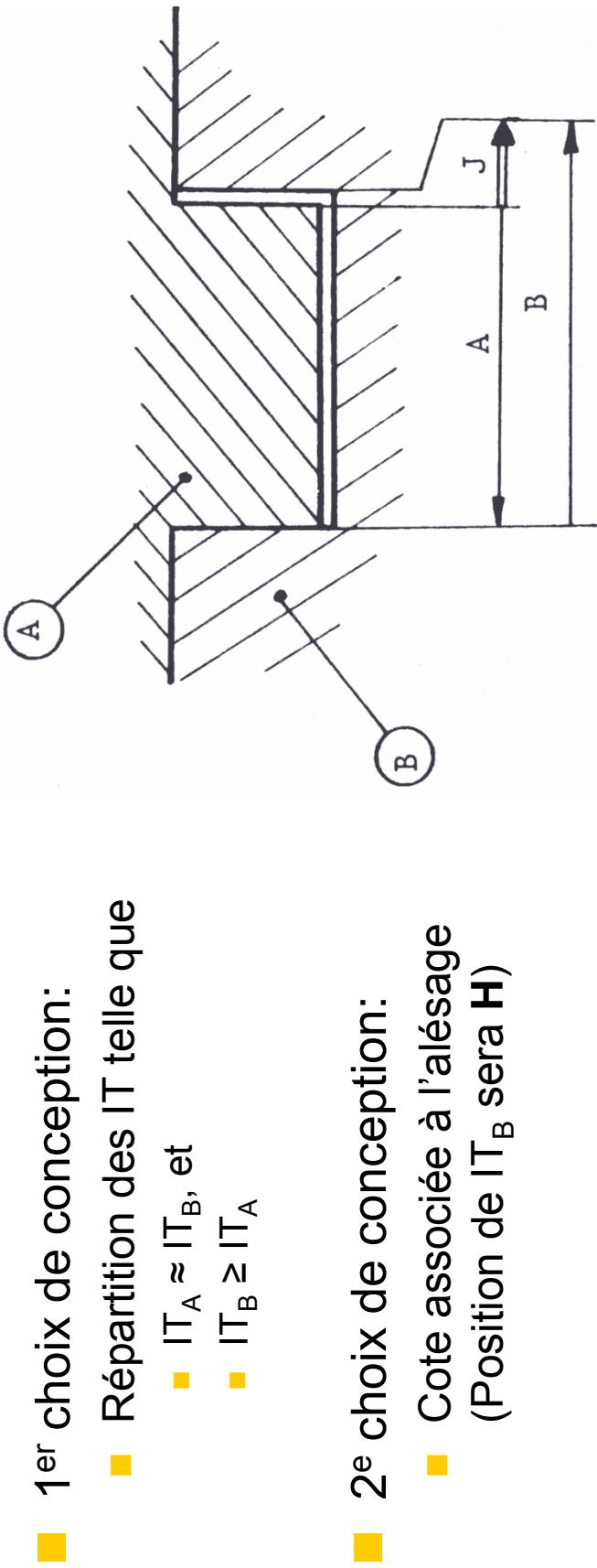
- $A_{\min}, A_{\max}, B_{\min}, B_{\max}$

- 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
 - $IT_B \geq IT_A$

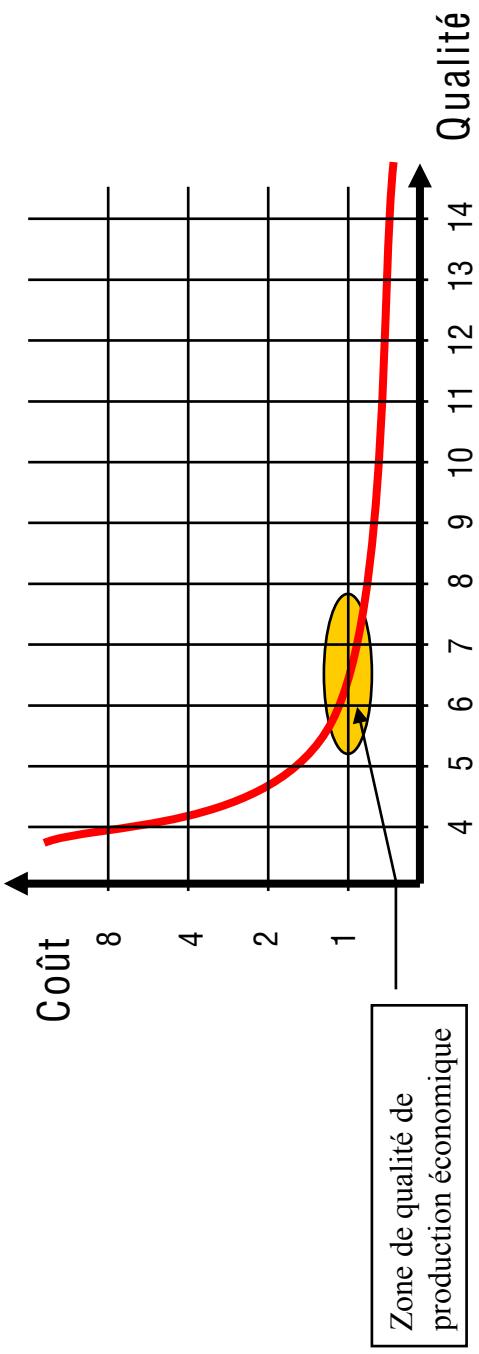
- 2^e choix de conception:
 - Cote associée à l'alésage
(Position de IT_B sera H)

Application: répartition des tolérances

■ Justification du 1^{er} choix de conception:

- $IT_A \approx IT_B$
 - On évite les écarts de qualité entre pièces remplaçant une même fonction afin de mieux répartir les coûts de fabrication.
 - Exemple: Pour un même jeu, H7g5 ou H6g5 ?

Courbe Qualité/coût typique d'un procédé de fabrication



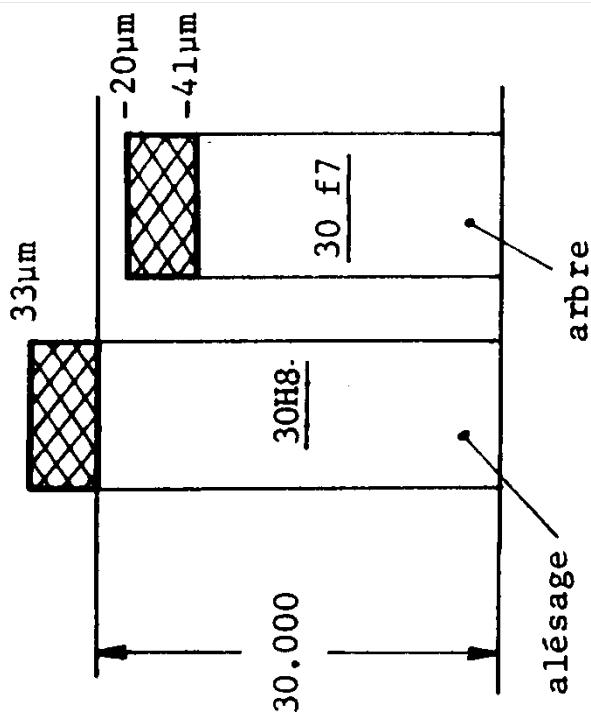
Application: répartition des tolérances

■ Justification du 1^{er} choix de conception:

- $IT_B \geq IT_A$
 - À qualité également, une cote contenante (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.

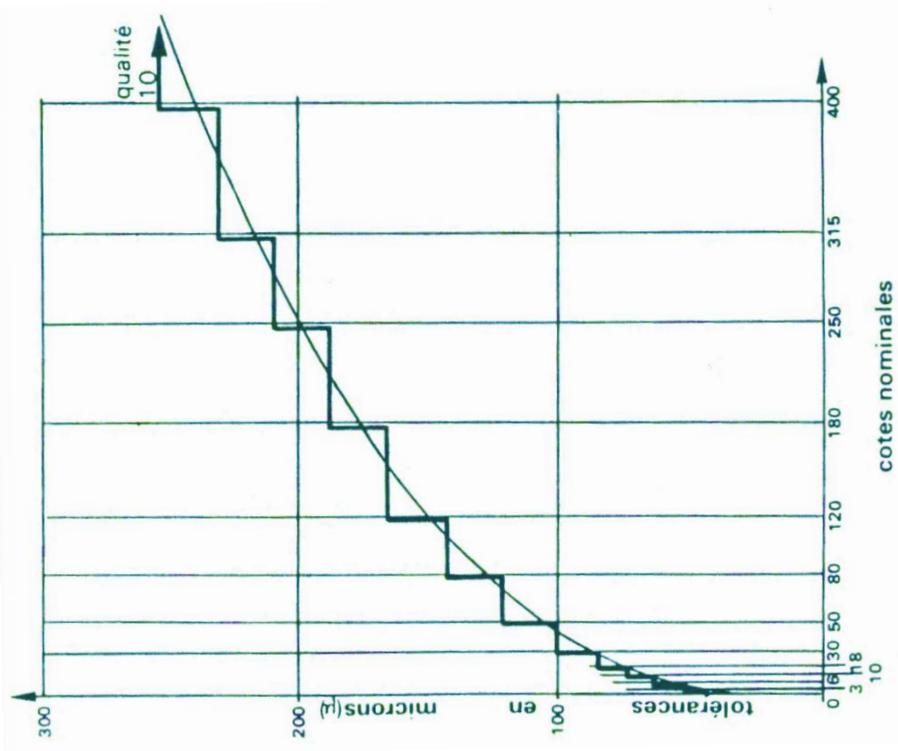


Application: répartition des tolérances

Justification du 1er choix de conception:

Remarques:

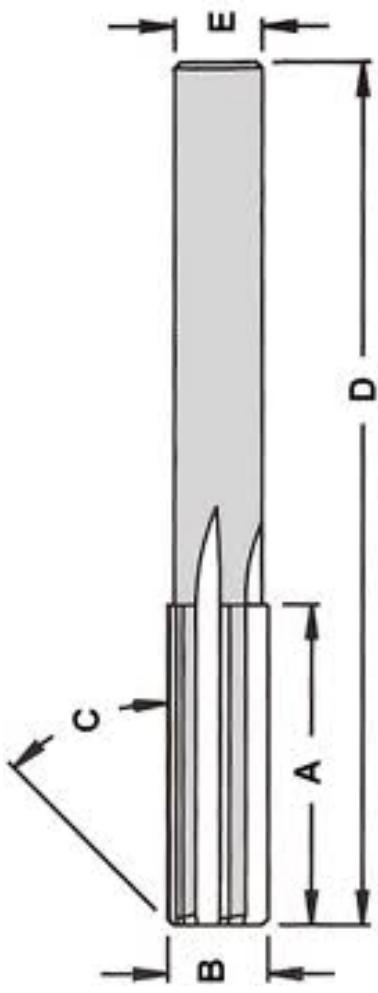
- Si la chaîne compte plus de deux cotes, elles auront des cotes nominales différentes;
- À qualité égale, l'IT augmente avec la cote.



TOLÉRANCES FONDAMENTALES (2)																		
Qualité	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14*	15*	16*
<= 30	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	21	40	50	100	140	250	400	600	
> 3 à 6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
> 6 à 10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	30	58	90	150	220	360	580	900
> 10 à 18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	4	70	10	180	270	430	700	1100
> 18 à 30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	5	84	130	210	330	520	840	1300
> 30 à 50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	6	100	160	250	390	620	1000	1600
> 50 à 80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	7	120	90	300	460	740	1200	1900
> 80 à 120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	8	140	20	350	540	870	1400	2200
> 120 à 180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	10	160	25	400	630	1000	1600	2500
> 180 à 250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	30	460	720	1150	1850	2900
> 250 à 315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	13	210	30	520	810	1300	2100	3200
> 315 à 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	14	230	350	570	890	1400	2300	3600
> 400 à 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	15	250	30	630	970	1550	2500	4000

Application: répartition des tolérances

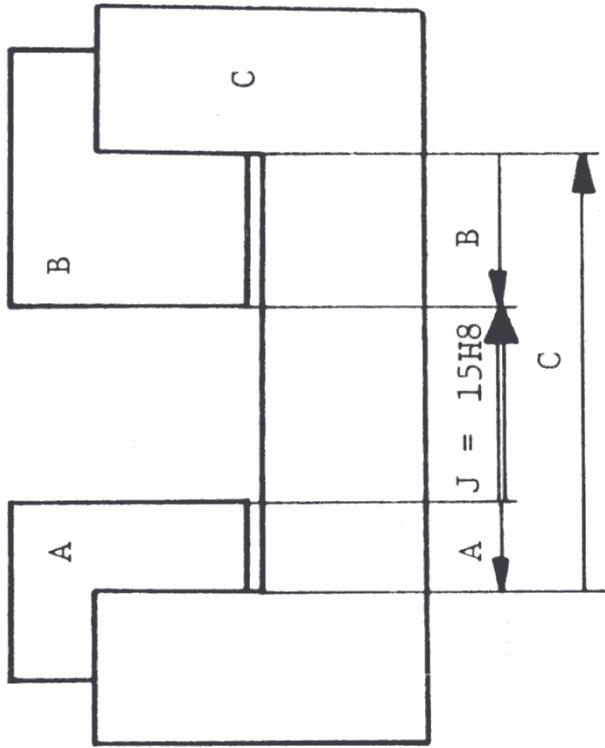
- Justification du 2^e choix de conception:
 - Cote associée à l'alésage:
 - En production, des cotes contenantes, telles des alésages et des rainures, sont généralement obtenues par des outils affûtés directement à une côte associée à l'alésage (du type H).



Application: Une cote comme jeu fonctionnel

■ Exemple:

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



Qualité	TOLÉRANCES FONDAMENTALES																(2)
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14*	15*
<30 à 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	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400
>50 à 800,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
>80 à 120,1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
>120 à 180,1,2	2	3,5	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

Tolérances fondamentales en micromètres
pour paires de diamètres en millimètres

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

Application: Une cote comme jeu fonctionnel

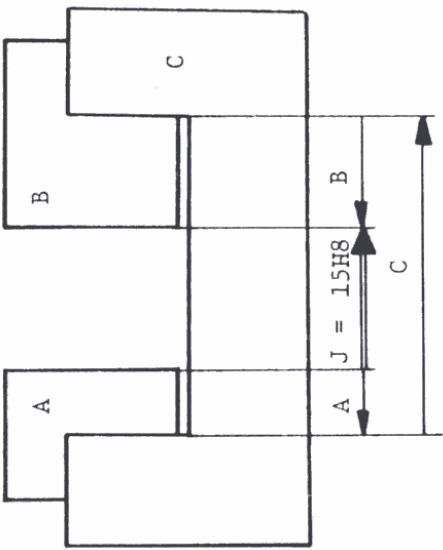
■ Examen du jeu $J = 15H8$:

■ Cote nominale = 15mm

■ Indice de qualité = 8

■ Position de $IT_J = H \rightarrow$

■ Donc, $J = 15_0^{+27}$



■ 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!

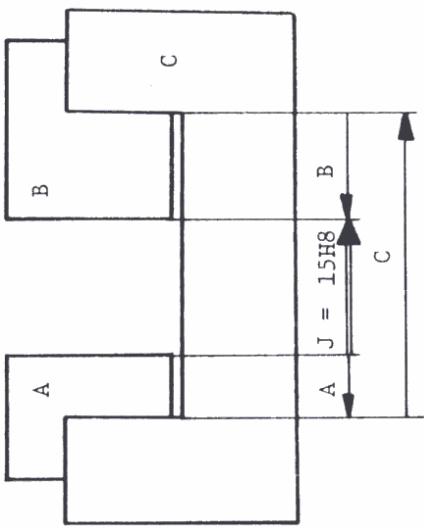
TOLERANCES FONDAMENTALES (2)																			
Qualité	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
≤ 30	30	30	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
> 3 à 6	60	40	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
> 6 à 10	100	40	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900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

- Choix de conception:
 - On recherche une répartition des IT où les indices de qualité sont similaires et IT_C est supérieur;

$$IT_J = IT_A + IT_B + IT_C$$

$$27 = 5_{(Q5)} + 8_{(Q5)} + 16_{(Q6)} = 29$$



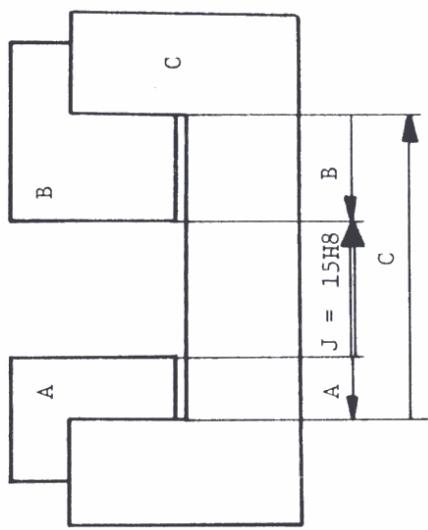
TOLÉRANCES FONDAMENTALES																		
Qualité	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14*	15*	16*
<30 à 30,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	
>3 à 60	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
>6 à 100	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
>10 à 180	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
>18 à 300	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
>30 à 500	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
>50 à 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	48	74	120	190	300	460	740	1200	1900
>80 à 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
>120 à 180	1,2	2	3,5	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

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

Application: Une cote comme jeu fonctionnel

Calcul de la cote A:

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



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

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

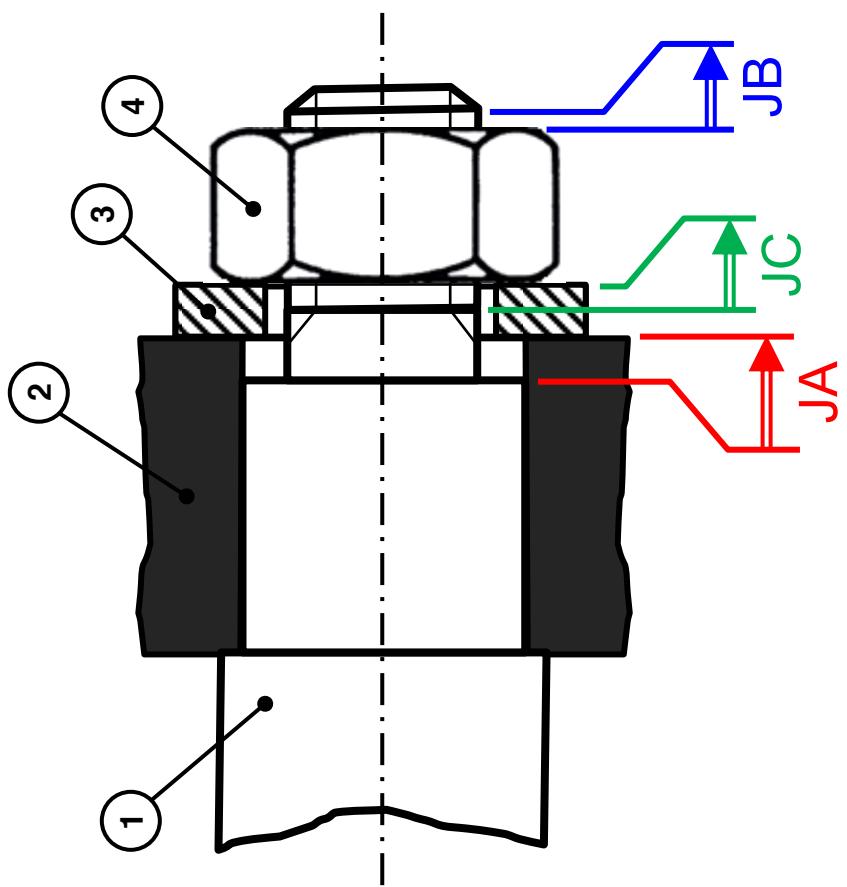
$$\begin{aligned}
 \blacksquare \quad A &= 6_{-9}^{+4} = 6g5 \\
 \blacksquare \quad B &= 14_{-4}^{+4} = 14js5 \\
 \blacksquare \quad C &= 35_0^{+16} = 35H6
 \end{aligned}$$

$$J' = 15_0^{+29} \neq 15H8$$

Application: cotation fonctionnelle unilimite

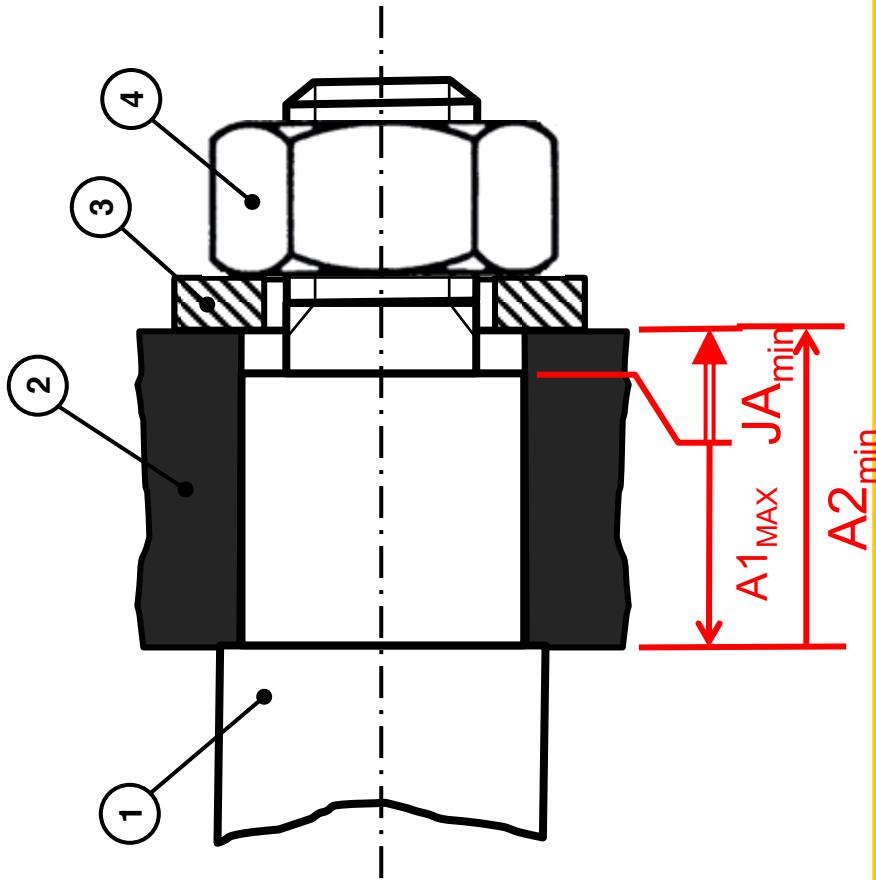
■ Conditions unillimites (minimum ou maximum):

$$\blacksquare JA_{\min}, JB_{\min}, JC_{\min}$$



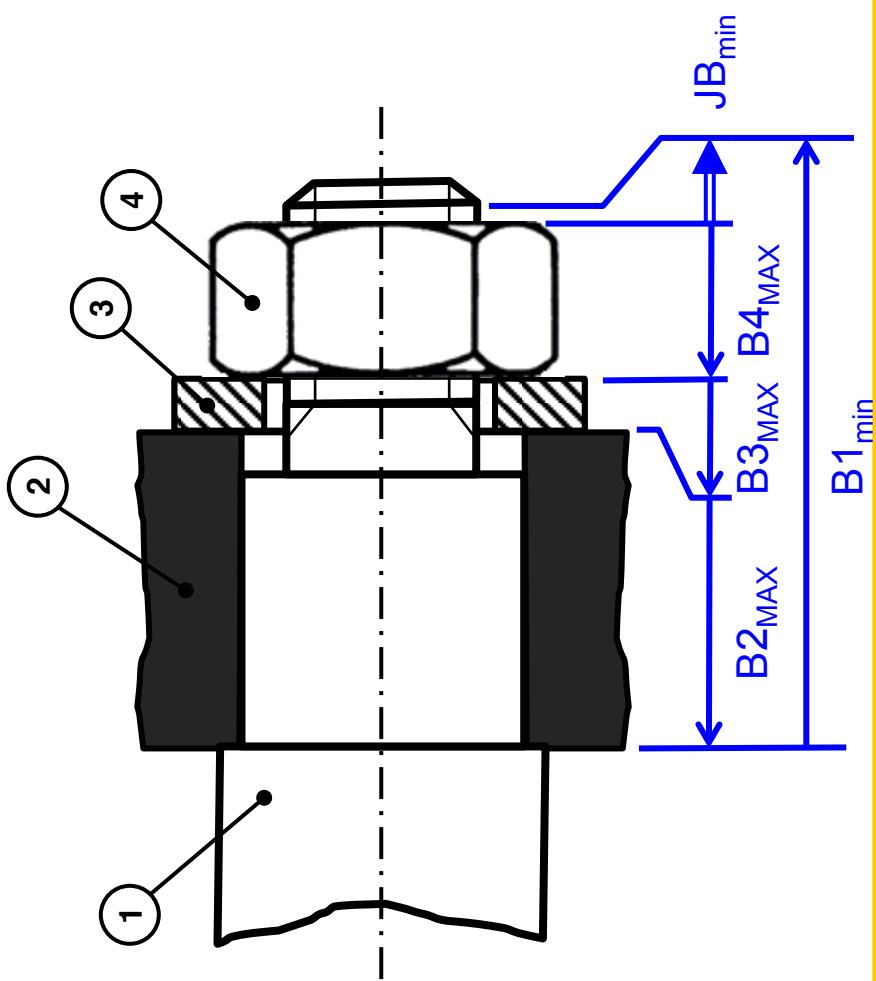
Application: cotation fonctionnelle unilimite

- 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 différent.



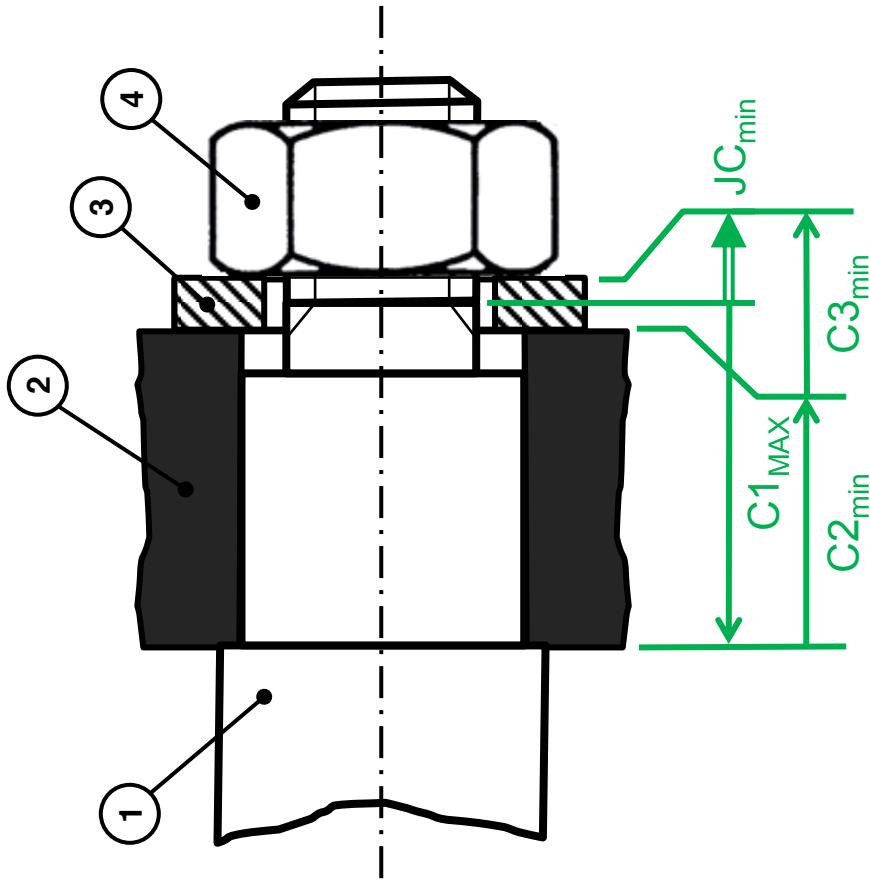
Application: cotation fonctionnelle unilimite

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



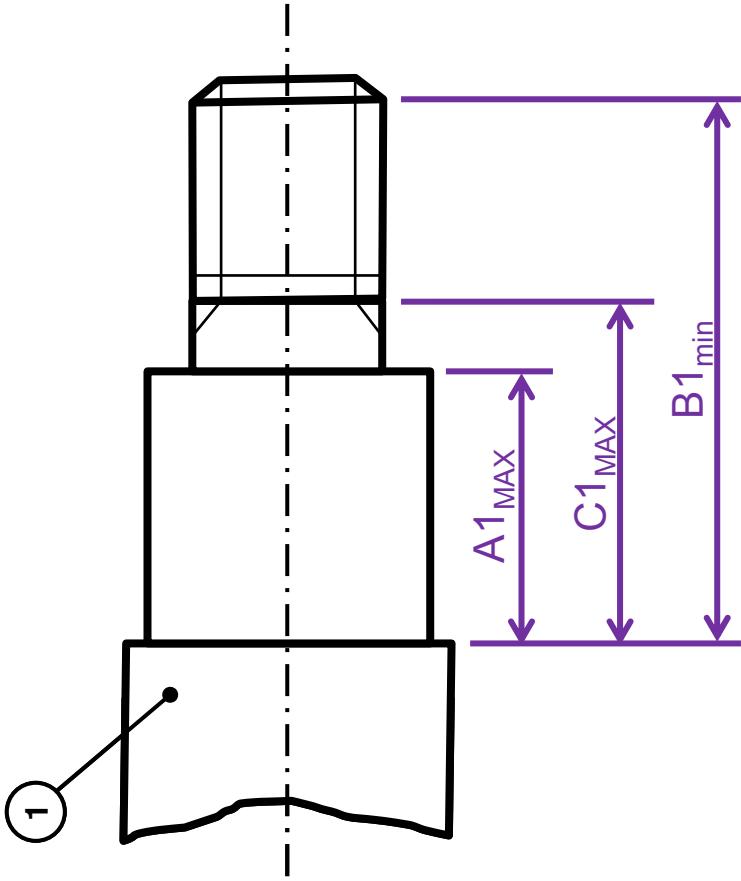
Application: cotation fonctionnelle unilimite

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



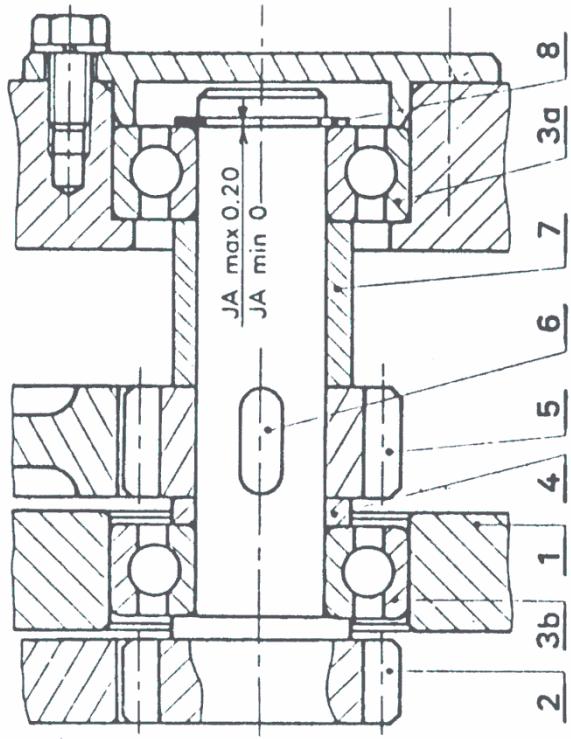
Application: cotation fonctionnelle unilimite

- 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.

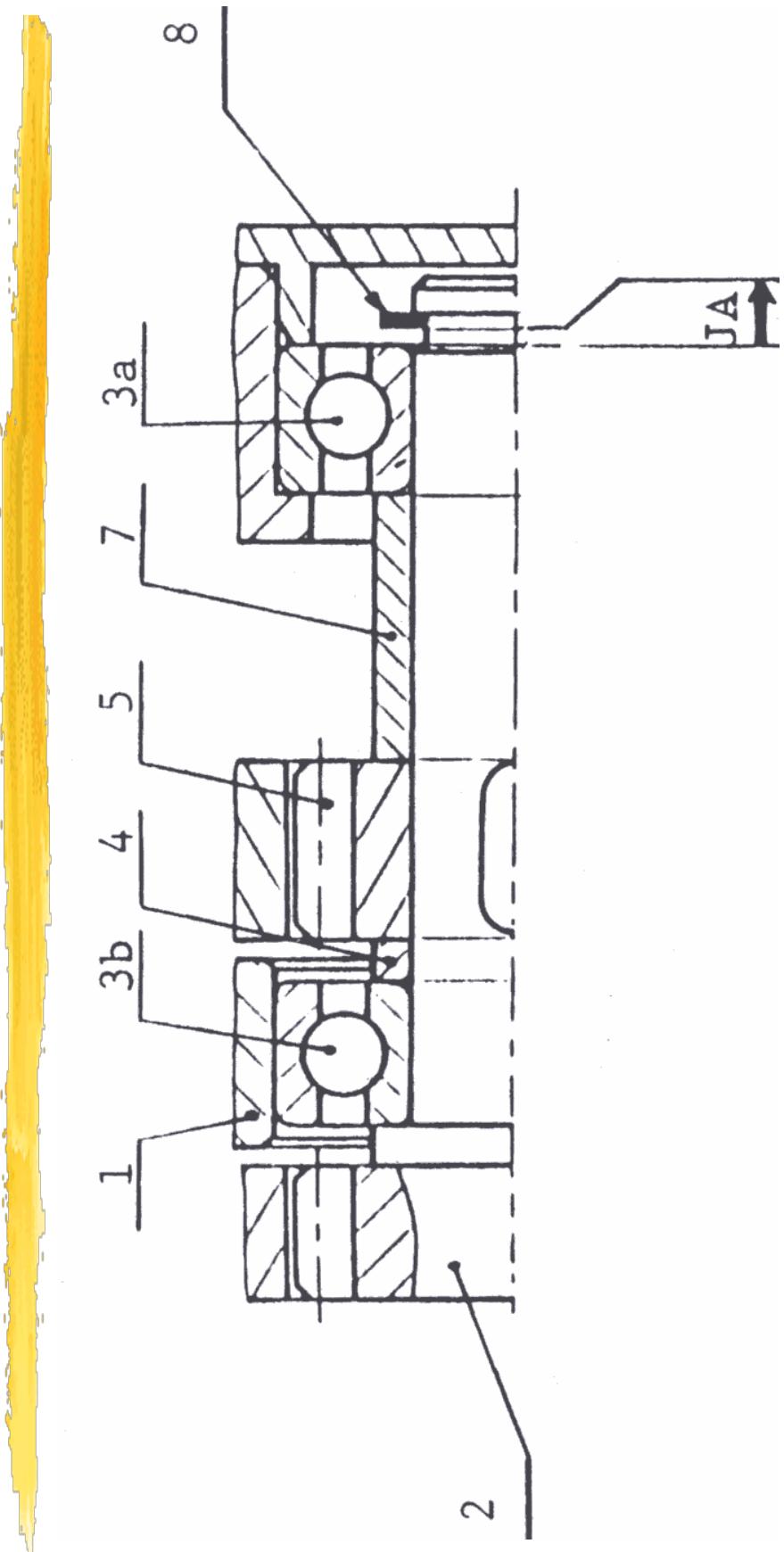


Application: modification du design

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;



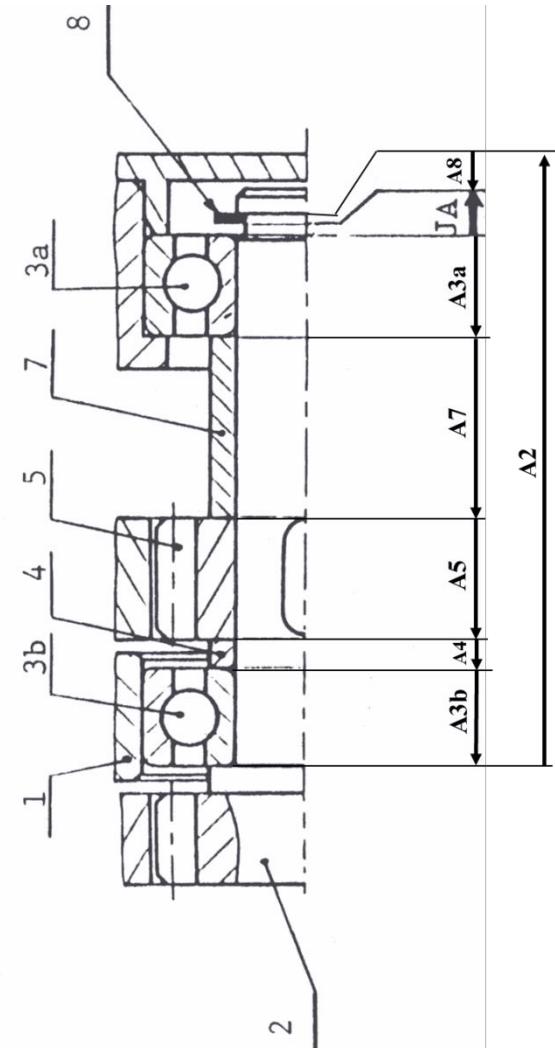
Application: modification du design



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:

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

Application: modification du design

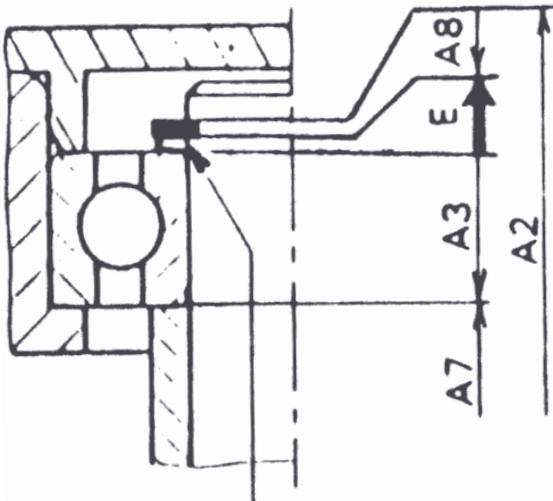
■ Trois options de modification du design initial:

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 $J = 0.20 \text{ max}$



- 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.

$$\blacksquare \quad IT_{JA} = \sum IT_i$$

■ 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:

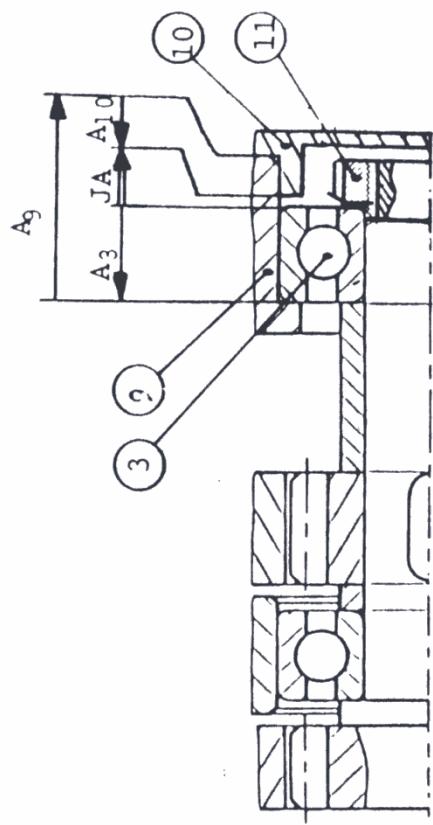
3. Modification de l'ensemble

- 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:

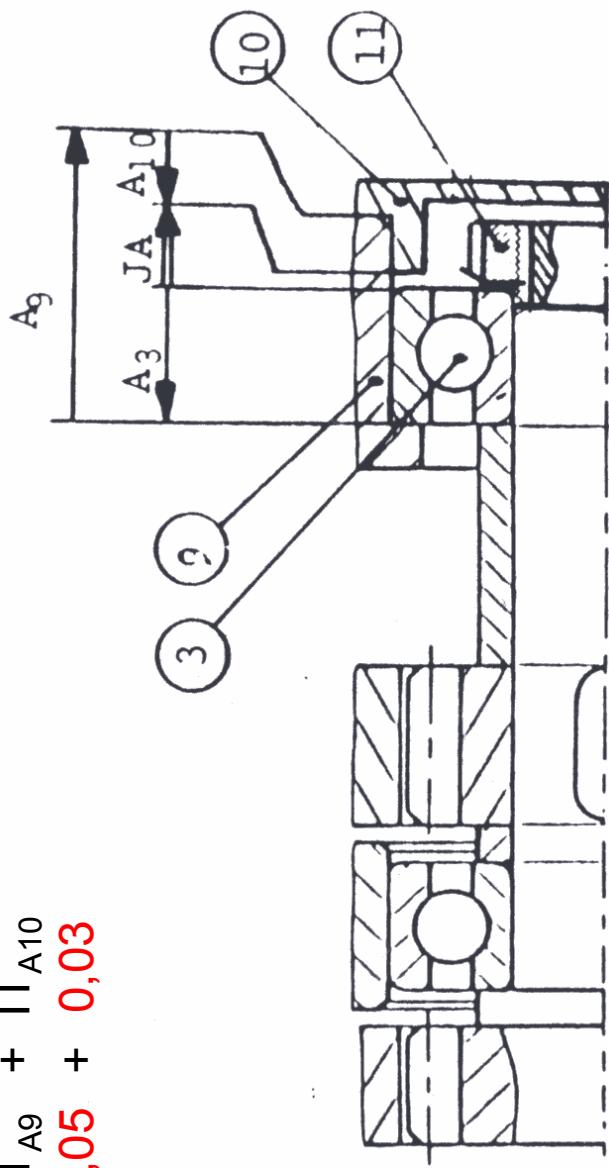
- Un écrou avec goupille est utilisé au lieu de l'anneau élastique et maintient le roulement en place;
- Le jeu JA est redéfini entre le roulement et le couvercle;
- Compte maintenant 3 cotes.



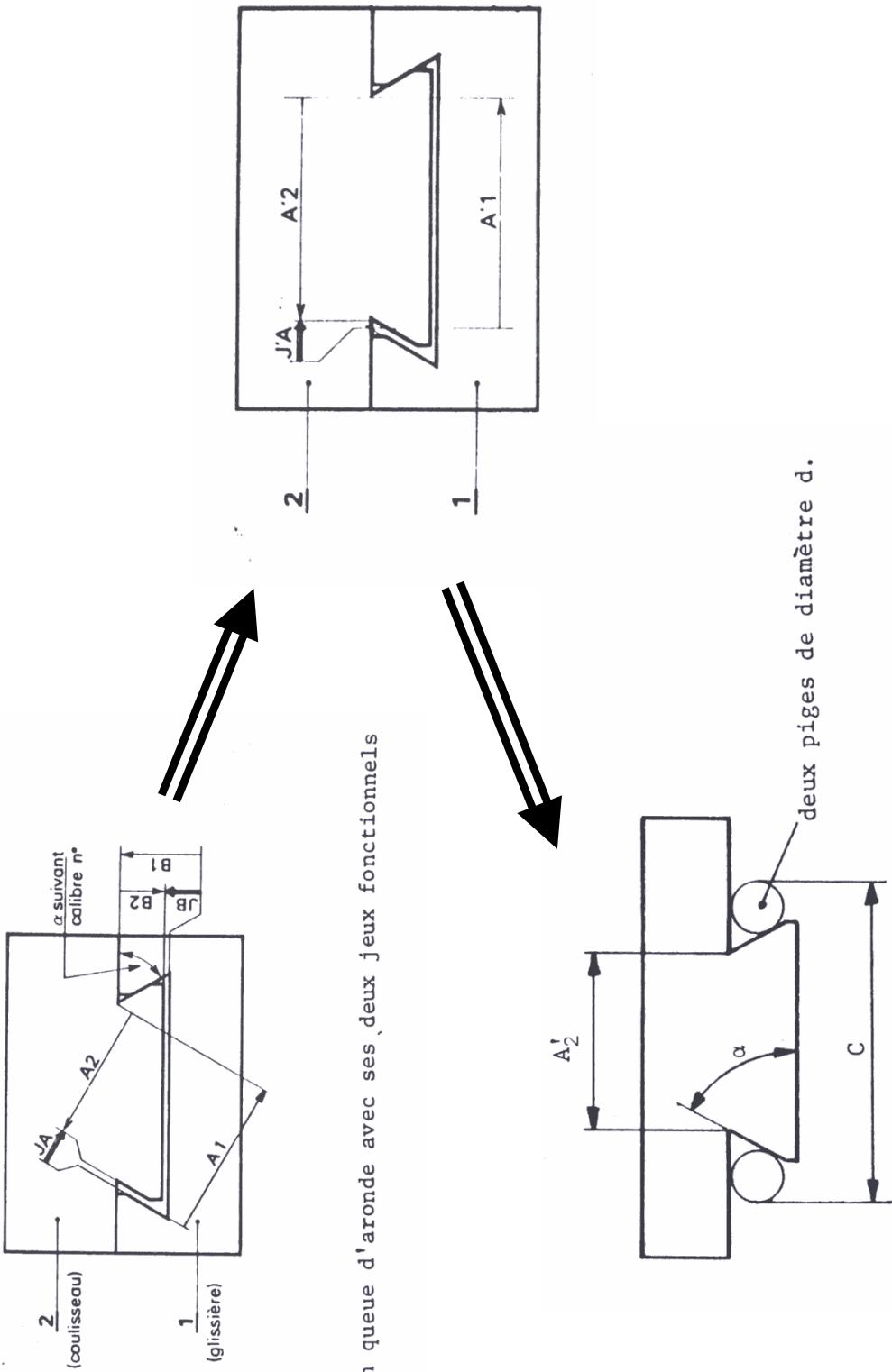
Application: modification du design

- Trois options de modification du design initial:
 3. Modification de l'ensemble
 - Données: $A_3 = 11_{-0,12}^0$
 - Nouveau calcul:

$$\begin{aligned}IT_{JA} &= IT_{A_3} + IT_{A_9} + IT_{A_{10}} \\0,2 &= 0,12 + 0,05 + 0,03\end{aligned}$$



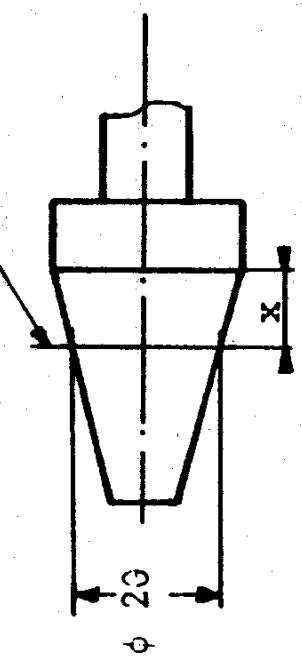
Surfaces inclinées: queue d'arrose



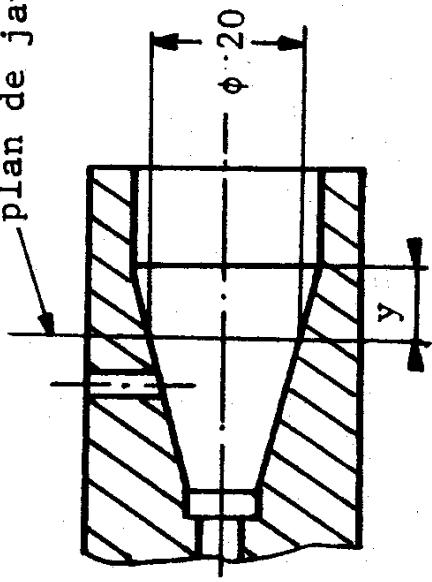
Ajustement en queue d'arrose avec ses deux jeux fonctionnels JA et JB.

Surfaces inclinées: cônes

plan de jauge



plan de jauge



Surfaces d'appui

