

Assemblages boulonnés III

Précontrainte et limites d'utilisation, perturbations de la précontrainte

Dr. S. Soubielle



Dans ce cours, nous allons...

... Analyser les limites d'utilisation du boulonnage

- ... Importance du choix de la précontrainte
- ... Sources d'imprécision liées au serrage au couple
- ... Expression de la contrainte équivalente dans la vis
- ... Serrage par tendeur hydraulique et ses avantages

... Caractériser les phénomènes physiques pouvant faire varier la précontrainte de serrage

- ... Tassement
- ... Dilatation thermique différentielle

Limites d'utilisation et précontrainte

- **Limites d'utilisation du boulonnage**

1. **On veut maintenir le contact statique entre les pièces**

→ Il faut garantir que $|F_B| > |F_B|_{\min}$ sous chargement extérieur

2. **On ne veut ni casser ni faire plastifier la vis**

→ Il faut garantir que $F_V < (F_V)_{\max}$ sous chargement extérieur

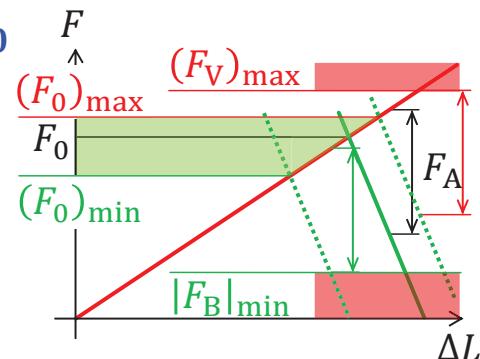
- **Conditions sur la précontrainte F_0**

$$1 \rightarrow |F_B| = F_0 - (1 - n \cdot \phi) \cdot F_A \geq |F_B|_{\min}$$

$$\rightarrow (F_0)_{\min} = |F_B|_{\min} + (1 - n \cdot \phi) \cdot F_A$$

$$2 \rightarrow F_V = F_0 + n \cdot \phi \cdot F_A \leq (F_V)_{\max}$$

$$\rightarrow (F_0)_{\max} = (F_V)_{\max} - n \cdot \phi \cdot F_A$$



Conditions du serrage initial

- **Expression de la précontrainte sur la vis (AB I)**

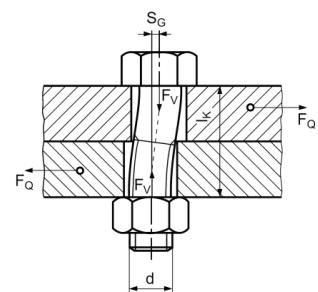
$$F_0 = \frac{M_S}{r_m \cdot \mu_A + \frac{d^2}{2} \cdot \tan(\alpha_2 + \delta')} = f(d ; P ; \beta ; \mu ; \mu_A ; M_S)$$

Géométrie de la vis
 Frottements
 Couple de serrage

→ Importance de maîtriser les niveaux de frottements et le couple de serrage appliqué

- **Contraintes parasites ? → à proscrire !**

- Flexion
- Cisaillement
- Pression localisée



Maîtriser les frottements

- **La force de précontrainte $F_0 \searrow$ si les frottements ↗**

→ Importance de garder les frottements au plus bas

- **Facteurs d'influence**

- Etat de lubrification
- Qualité des états de surface

Acier / Acier	μ_0	μ
Sec	0,15 - 0,25	0,12 - 0,18
Graissé	0,10 - 0,15	0,08 - 0,12

Braz. Dent.
J. vol.22, no.1,
Ribeirão
Preto 2011

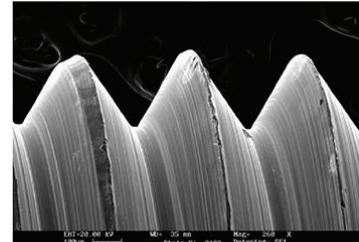
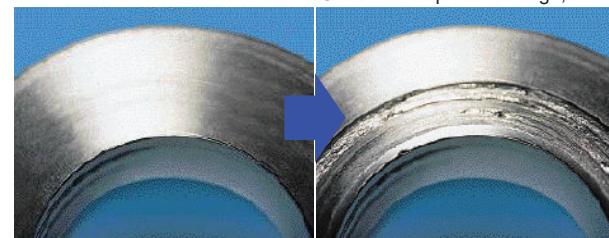


Figure 1. Screw before tightening.

- **Cycles serrage / desserrage**

- Risque de détérioration des surfaces en contact (grippage)
- Entraîne une diminution de F_0



Maîtriser le moment de serrage (1/4)

- **Outils à main**

- Quelques exemples



Clé à tube



Clé à douilles / à cliquetis



Tournevis (plat, cruciforme, etc.)



Clé à fourche



Clé polygonale



Clé allen (Inbus)



Clé à pipe

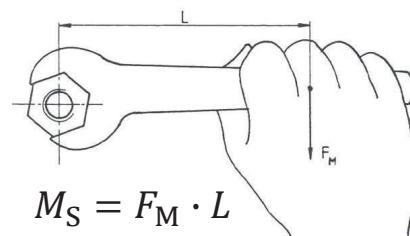


- Taille de la clé

Proportionnelle à la dimension du filetage

- Principe d'utilisation

Couple appliqué par la force du monteur via le bras de levier de la clé



Maîtriser le couple de serrage (2/4)

• Outils de serrage (suite)

– Visseuse

- À usage domestique ou professionnel
- Avec ou sans couple de déclenchement
- Avec ou sans choc



– Clé dynamométrique

- Sur le principe de la clé à douille / à cliquets
- Avec réglage du couple de déclenchement
- Déclenchement mécanique (« clic ») ou digital (« bip »)

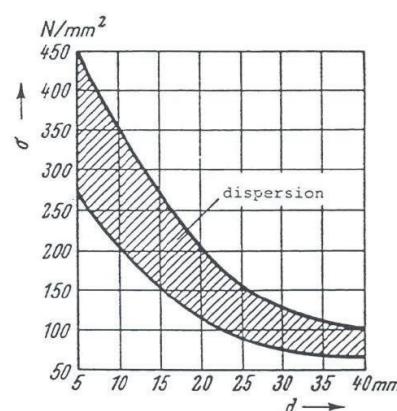


Maîtriser le couple de serrage (3/4)

• Outil de serrage vs. précision du couple appliqué

– Facteurs d'influence

- Type de clé / d'outil
- Qualité du matériel
- Usage adéquat (ou non)



– Facteur de dispersion γ

$$\gamma = \frac{(F_0)_{\text{Max}}}{(F_0)_{\text{min}}}$$

Moyen de serrage	Précision sur la précontrainte *	γ^*
Visseuse, sans étalonnage	$\pm 60 \%$	4
Visseuse, avec étalonnage périodique	$\pm 40 \%$	2,5
Clé dynamométrique	$\pm 20 \%$	1,5

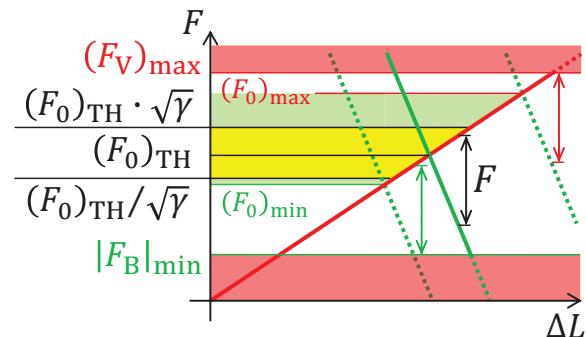


* Valeurs indicatives

Maîtriser le couple de serrage (4/4)

- Facteur de dispersion γ et précontrainte F_0 réelle**

- Soit $(F_0)_{\text{TH}}$ la précontrainte qu'on pensait appliquer
- La force réelle dans la vis est en fait comprise entre :
 - $(F_0)_{R-} = (F_0)_{\text{TH}} / \sqrt{\gamma}$
 - $(F_0)_{R+} = (F_0)_{\text{TH}} \cdot \sqrt{\gamma}$



- Prise en compte de γ dans les limites d'utilisation**

- La condition d'appui entre pièces devient...

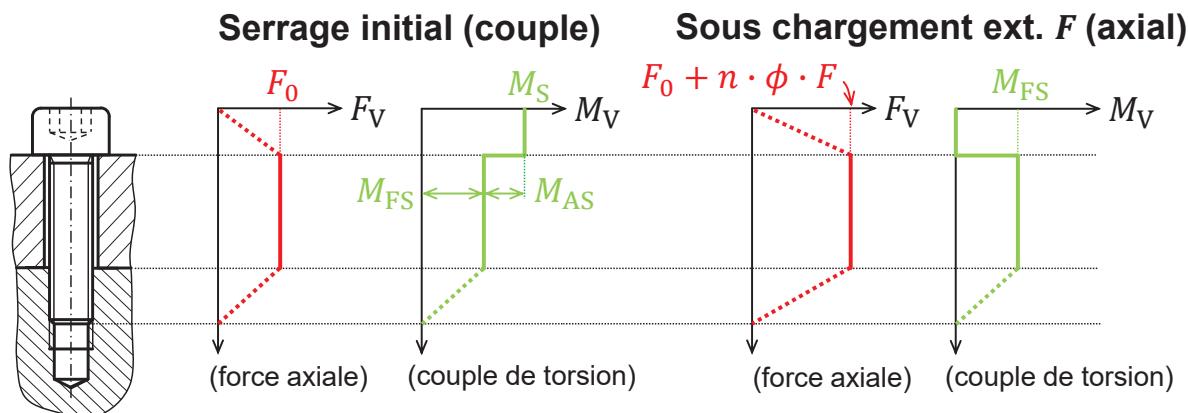
$$(F_0)_{R-} \geq (F_0)_{\text{min}} \rightarrow (F_0)_{\text{TH}} \geq [|F_B|_{\text{min}} + (1 - n \cdot \phi) \cdot F] \cdot \sqrt{\gamma}$$

- La condition de résistance de la vis devient...

$$(F_0)_{R+} \leq (F_0)_{\text{max}} \rightarrow (F_0)_{\text{TH}} \leq [(F_V)_{\text{max}} - n \cdot \phi \cdot F] / \sqrt{\gamma}$$

Condition de résistance sur la vis

- Vis soumise à de la traction + torsion**



- Condition de résistance sur la vis : $\sigma_{\text{eq}} < R_{\text{pe}}$**

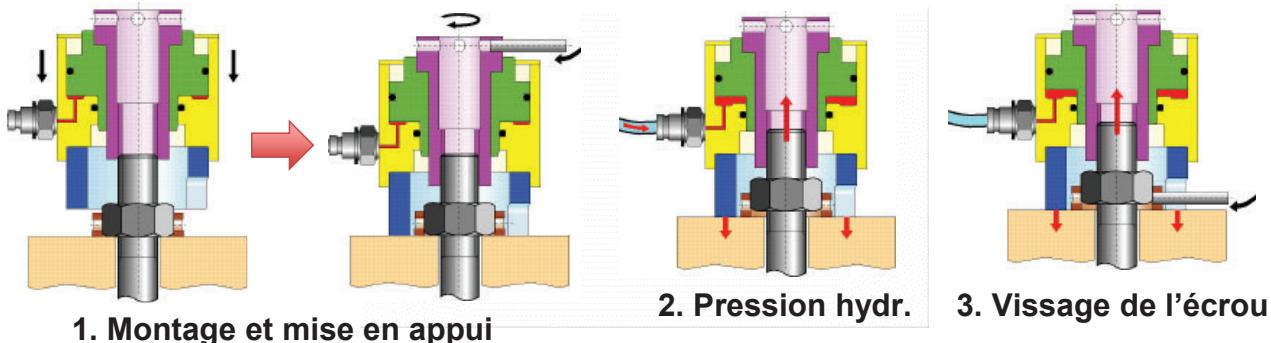
Avec $\sigma_{\text{eq}} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$ (Von Mises) et $R_{\text{pe}} = R_e / s$

$$\sigma = \frac{F_0 + n \cdot \phi \cdot F}{A_S} \quad \text{et} \quad \tau = \frac{M_{\text{FS}}}{I_0/r} = \frac{16 \cdot M_{\text{FS}}}{\pi \cdot d_S^3}$$

Serrage par tendeur hydraulique

• Principe

- Précontrainte appliquée par traction directe (\emptyset couple)
 - Optionnel : Mesure de la force de traction par capteur (piezo, ...)



• **Avantages**

© Fluid-Power-Technology
Serrage hydraulique sur boulons M90×6

- Traction pure dans la vis
 - Les frottements n'ont pas d'effet sur σ_{eq}
 - Coefficient de dispersion $\gamma < 10\%$



Exercice d'application



On considère une vis M36 de qualité 8.8 serrée au couple telle que le couple de serrage sur le filetage vaut $M_{FS} = 1200 \text{ Nm}$. La limite de décollement entre les pièces se produit pour un chargement extérieur axial de 461,5 kN.

1. Calculer la contrainte équivalente de Von Mises dans la vis à la limite du décollement entre les pièces. Donnée : $A_S = 817 \text{ mm}^2$.
 2. Refaire le calcul en supposant cette fois que le serrage initial de la vis a été obtenu par tendeur hydraulique. Qu'en déduit-on ?

Phénomène de tassement

Description physique

- Écrasement plastique des surfaces en contacts (filetage et/ou plans d'appui)
- Se produisant lors de la mise en charge
- Conduisant à une ΔL de la précontrainte

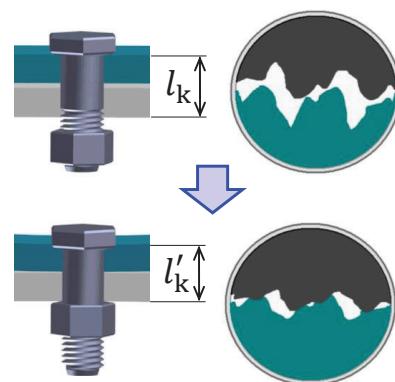


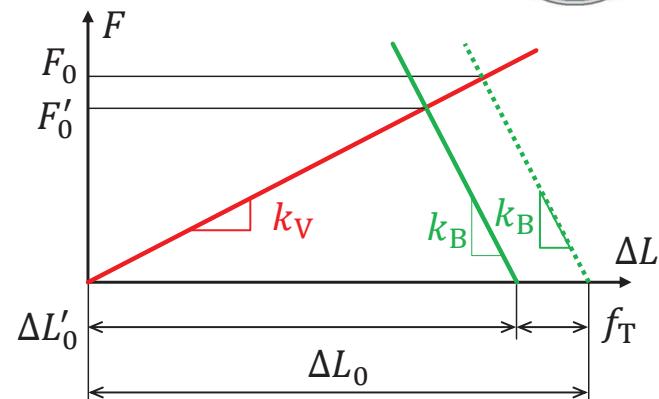
Diagramme de précontrainte

- Soit f_T l'amplitude du tassement
- Correspond à une diminution de ΔL_0

$$\rightarrow \Delta L'_0 = \Delta L_0 - f_T$$

$$\rightarrow F'_0 = k_{\text{eq}} \cdot (\Delta L_0 - f_T)$$

$$\rightarrow F'_0 = F_0 - k_B \cdot \phi \cdot f_T$$

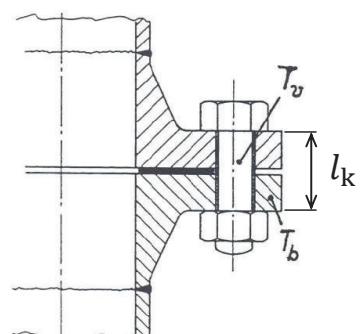


Dilatation thermique différentielle

Principe (bride + vis)

1. Serrage à température ambiante T_a
2. Echauffement
 - Vis (coef. de dilatation α_v) \rightarrow Temp. T_v
 - Bride (coef. de dilatation α_b) \rightarrow Temp. T_b
3. Dilatation thermique différentielle ΔL_T

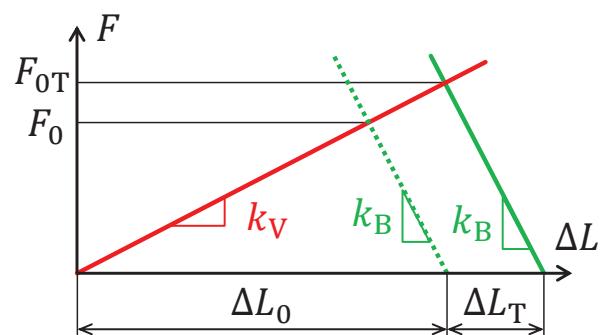
$$\Delta L_T = l_k \cdot [\alpha_b \cdot (T_b - T_a) - \alpha_v \cdot (T_v - T_a)]$$



© Conception des Machines, tome 3
(G. Spinnler), Figures 22.21 (partiel)

Diagr. de précontrainte

- $\rightarrow F_{0T} = k_{\text{eq}} \cdot (\Delta L_0 + \Delta L_T)$
- $\rightarrow F_{0T} = F_0 + k_B \cdot \phi \cdot \Delta L_T$



Des questions ?

