

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

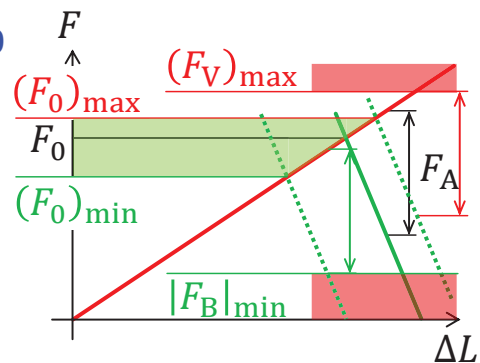
• Conditions sur la précontrainte F_0

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

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

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

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



S. Soubielle

3

Conditions du serrage initial

• Expression de la précontrainte sur la vis (AB I)

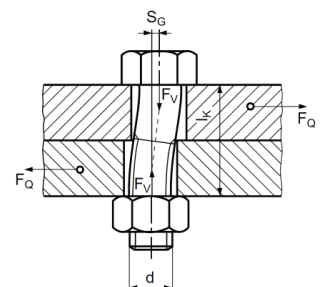
$$F_0 = \frac{M_S}{r_m \cdot \mu_A + \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\alpha_2 + \delta')} = f(d; P; \beta; \mu; \mu_A; M_S)$$

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



© Information technique Bossard, 2012.06

Maîtriser les frottements

• La force de précontrainte F_0 \searrow si les frottements \nearrow

→ 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

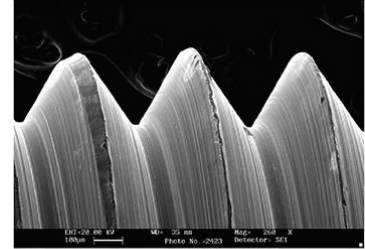
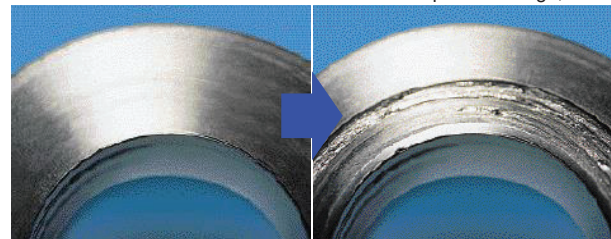


Figure 1. Screw before tightening.

• Cycles serrage / desserrage

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

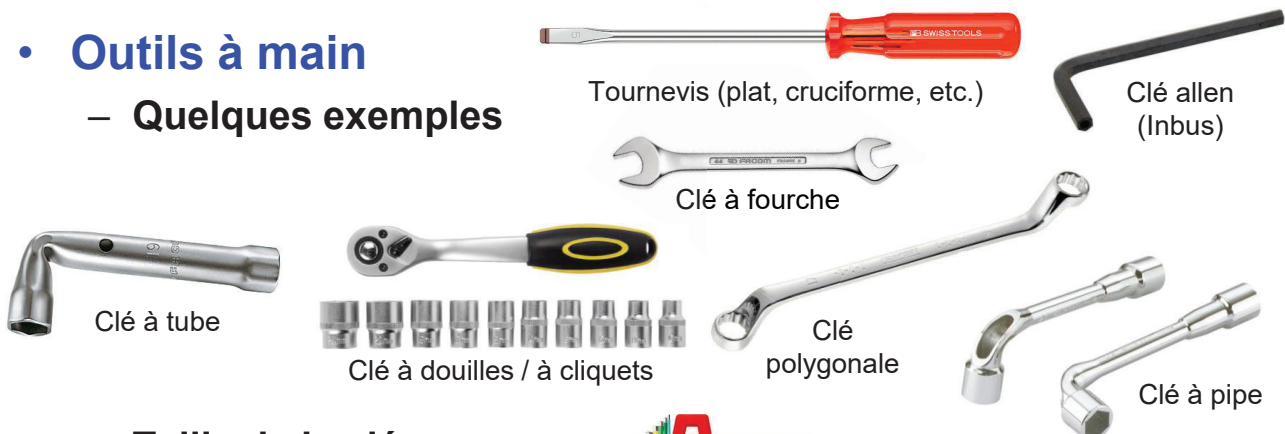


Guide technique du serrage, SKF

Maîtriser le moment de serrage (1/4)

• Outils à main

- Quelques exemples

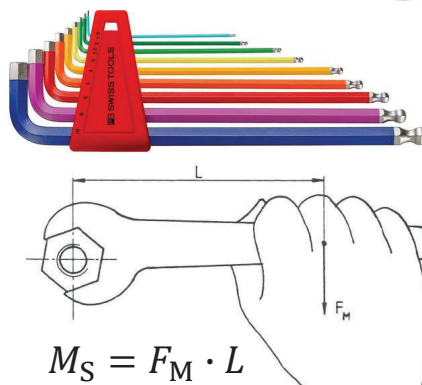


- Taille de la clé

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 »)



S. Soubielle

7

Maîtriser le couple de serrage (3/4)

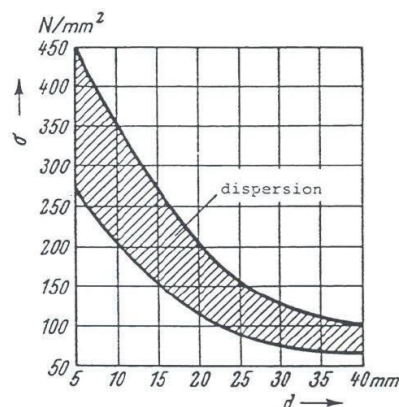
• Outil de serrage vs. précision du couple appliqué

– 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	± 60 %	4
Visseuse, avec étalonnage périodique	± 40 %	2,5
Clé dynamométrique	± 20 %	1,5

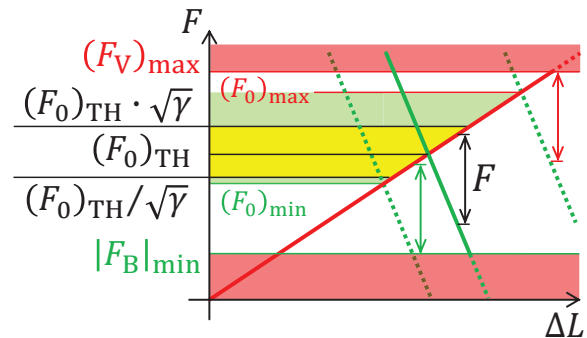


* Valeurs indicatives

Maîtriser le couple de serrage (4/4)

• Facteur de dispersion γ et précontrainte F_0 réelle

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



• Prise en compte de γ dans les limites d'utilisation

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

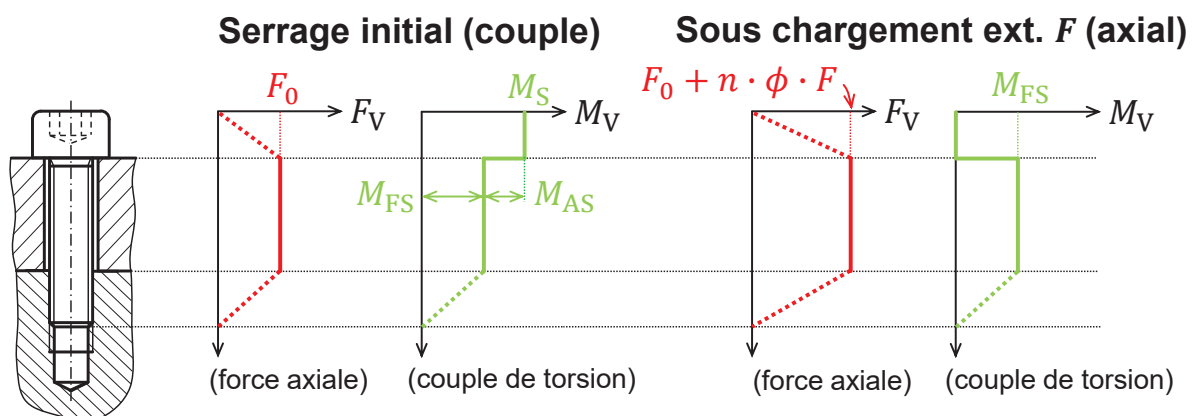
$$(F_0)_{R-} \geq (F_0)_{\min} \rightarrow (F_0)_{TH} \geq [|F_B|_{\min} + (1 - n \cdot \phi) \cdot F] \cdot \sqrt{\gamma}$$

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

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

Condition de résistance sur la vis

• Vis soumise à de la traction + torsion



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

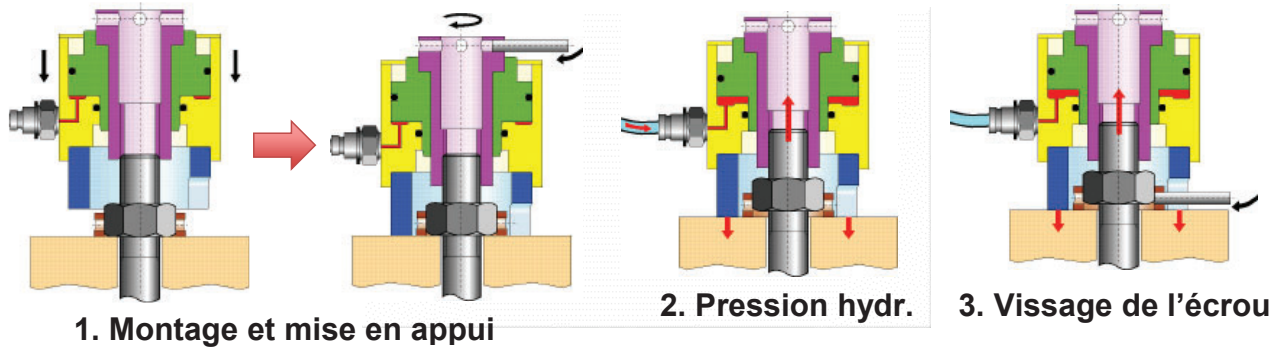
Avec $\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$ (Von Mises) et $R_{pe} = R_e/s$

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

Serrage par tendeur hydraulique

• Principe

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



• Avantages

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

© Fluid-Power-Technology
Serrage hydraulique sur boulons M90x6



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.

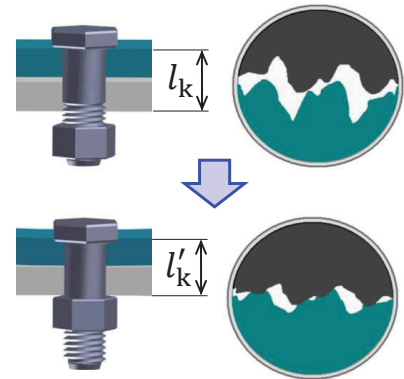
1. Calculer la contrainte équivalente de Von Mises dans la vis à la limite du décollement entre les pièces. Donnée : $A_s = 817 \text{ mm}^2$.
2. Refaire le calcul en supposant cette fois que le serrage initial de la vis a été obtenu par tendeur hydraulique. Qu'en déduit-on ?



Phénomène de tassement

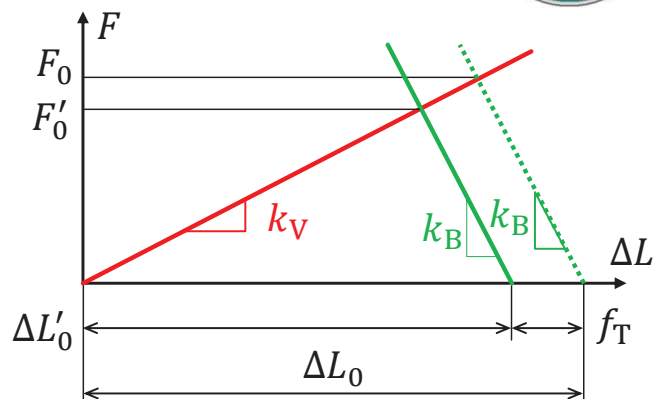
• Description physique

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



• Diagramme de précontrainte

- Soit f_T l'amplitude du tassement
- Correspond à une diminution de ΔL_0
 - $\rightarrow \Delta L'_0 = \Delta L_0 - f_T$
 - $\rightarrow F'_0 = k_{eq} \cdot (\Delta L_0 - f_T)$
 - $\rightarrow F'_0 = F_0 - k_B \cdot \phi \cdot f_T$

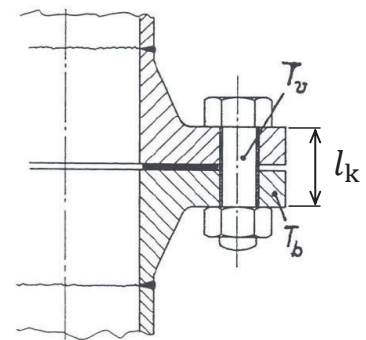


Dilatation thermique différentielle

• 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

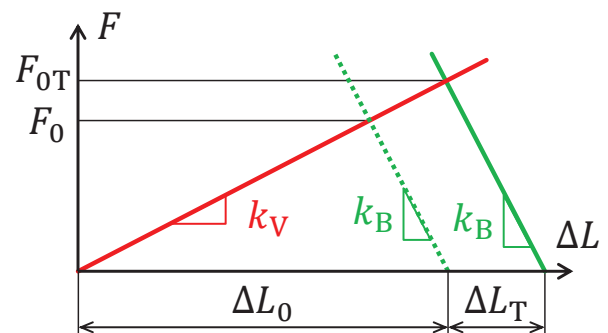
$$\Delta L_T = l_k \cdot [\alpha_b \cdot (T_b - T_a) - \alpha_v \cdot (T_v - T_a)]$$



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

• Diag. de précontrainte

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



Des questions ?

