

Systèmes Mécaniques

Introduction & Organisation

Notions théoriques fondamentales

Dr. Sébastien Soubielle

Cours donné en mode « hybride »

- **Accessibles en direct à distance via ZOOM**
 - Prendre la parole spontanément →  
 - Utiliser le « chat » →  
 - Poser des questions par écrit →  
 - **Pour toute question, commentaire, etc.** →  
- **Enregistrements accessibles via EPFL MOODLE**
 - <https://moodle.epfl.ch/course/view.php?id=14068>
 - Disponibles au plus tard 48 h après le cours
 - Support pour les révisions

Quiz sur TurningPoint

- **Pourquoi des quiz ?**

- Interactivité / dynamisme du cours
- Feedbacks / identifier difficultés
- Occasion de poser questions

- **Comment participer ?**

1. **Télécharger l'app PointSolutions sur son smartphone**

- Gratuite
- Données traitées aux USA (accord avec l'EPFL)



2. **Se connecter en tant qu' « invité(e) » → Session « meca »**

- À la fin du résumé du cours précédent

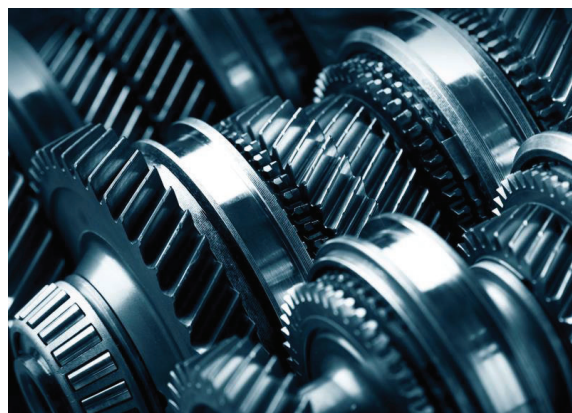
Thématiques & objectif du cours

Thématiques

Assemblages boulonnés



Transmission par engrenages



Objectif = être autonome dans la résolution de problèmes de dimensionnement complexes

Assemblages boulonnés

- **Contenu du cours de 1^{ère} année (CM I)**

- Principe de l'assemblage boulonné
- Filetage métrique et procédés de fabrication
- Calcul de la contrainte de traction dans la vis
- Références usuelles de visserie



- **Contenu du cours de ME-202**

- Relation entre le moment de serrage et la force de traction
- Calcul des forces résultantes dans la vis (traction) et les pièces serrées (force d'appui) en présence d'une force extérieure
- Contrainte équivalente (traction + torsion) dans la vis et limites d'utilisation du boulonnage
- Cas des sollicitations extérieures statiques ou cycliques

Transmission par engrenage

- **Contenu du cours de 1^{ère} année (CM II)**

- Principe de fonctionnement d'un engrenage
- Cercles primitifs, rapports de vitesses et de couples
- Introduction aux dentures hélicoïdales, coniques, roues et vis sans fin



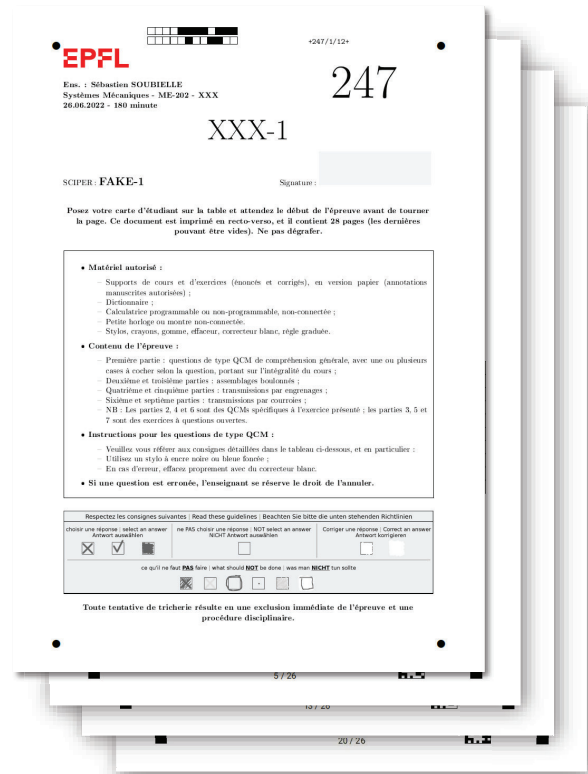
- **Contenu du cours de ME-202**

- Homocinétisme, développante de cercle, et denture normalisée
- Conditions géométriques de fonctionnement
- Procédés d'usinage de la denture
- Sollicitations mécaniques sur la dent et dimensionnement
- Généralisation : denture hélicoïdale, conique, roue et vis sans fin
- Boîtes à vitesses : principes et architectures

Evaluation – 4 ECTS

Examen écrit (100 %)

- **En session d'examen**
- **Durée : 180 min**
- **Format :**
 - QCM (2/3)
 - Exercices calculatoires (1/3)
- **Matériel autorisé**
 - Supports de cours



Organisation

- **Cours (2 périodes / s.)** Vendredi 13h15-15h00 / CE 1 6
<https://epfl.zoom.us/j/61871355484>
- **Exercices (2 période / s.)** Vendredi 15h15-17h00
 CE 1 101 / CE 1 103 / CE 1 106
- **Moodle** <https://moodle.epfl.ch/course/view.php?id=14068>
 - Informations générales
 - Supports de cours
 - Mis en ligne 24h à l'avance
 - Supports d'exercices
 - Énoncés mis en ligne 24h à l'avance
 - Corrigés mis en ligne le vendredi à 17h

Ouvrages de références

- **Guide des sciences et technologies industrielles**, J.-L. Fanchon, Nathan, 2019



- **Construction mécanique, tomes 1-3**, F. Esnault, Dunod, 2009



- **Conception des machines, tomes 1 & 3**, G. Spinnler, PPUR, 2014



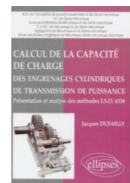
- **Systèmes Mécaniques**, M. Aublin, R. Boncompain, M. Boulaton, D. Caron, E. Jeay et al., Dunod, 2020



- **Engrenages cylindriques de transmission de puissance, étude géométrique**, J. Dufailly, Ellipses, 2016



- **Calcul de la capacité de charge des engrenages de transmission de puissance**, J. Dufailly, Ellipses, 1998



- **Roloff / Matek Maschinenelemente**, D. Muhs, H. Wittel, D. Jannasch, J. Vossiek, Vieweg, 2015



- **Maschinenelemente**, H. Haberhauer, F. Bodenstein, Springer 2007



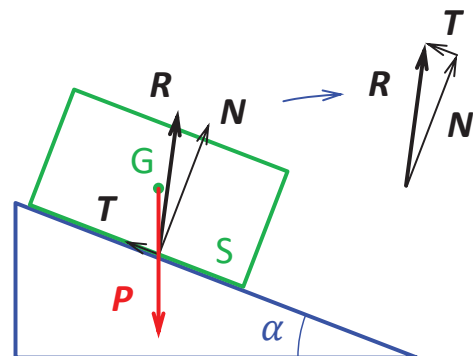
Contact frottant et lois de Coulomb (1/5)

• Expérience du solide S sur un plan incliné

- Contact statique (i.e, pas de mvt relatif) jusqu'à un angle limite δ_0
- Mise en mouvement (glissement) si inclinaison $> \delta_0$
- Variation de masse du solide S \rightarrow pas d'effet sur la valeur de δ_0
- Si mouvement initial \rightarrow angle limite $\delta (< \delta_0)$
- Application d'un lubrifiant au contact $\rightarrow \delta_0$ plus petit

• Modélisation du contact

- **Si pas de mouvement relatif**
 - Équilibre statique
 - PFS $\rightarrow T = \tan(\alpha) \cdot N$
- **Si mvt relatif (et vitesse \nearrow)**
 - L'équilibre statique est rompu
 - PFD $\rightarrow T < \tan(\alpha) \cdot N$



Contact frottant et lois de Coulomb (2/5)

• Lois de Coulomb

– Sans mouvement relatif

$$\rightarrow T_{\max} = \tan(\delta_0) \cdot N = \mu_0 \cdot N$$

δ_0 : Angle de « frottement statique »

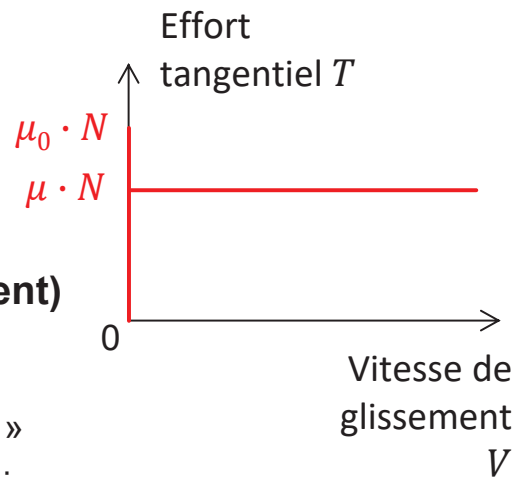
μ_0 : Coef. de « frottement statique »

– Avec mouvement relatif (glissement)

$$\rightarrow T = \tan(\delta) \cdot N = \mu \cdot N$$

δ : Angle de « frottement dynamique »

μ : Coefficient de « frottement dynamique »



Contact frottant et lois de Coulomb (3/5)

• Évolution réelle de T en fonction de V

– Si $V = 0$

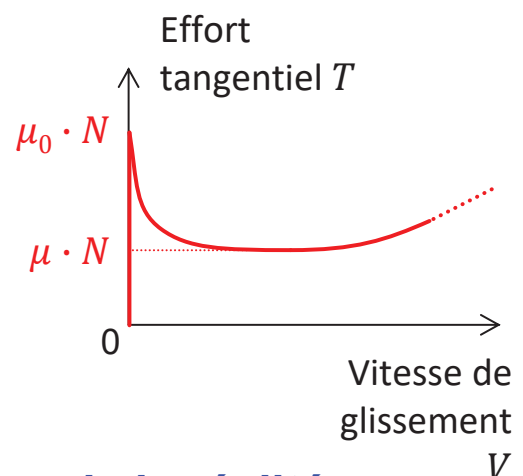
$$0 < T < \mu_0 \cdot N$$

– Si $V > 0$ (faible vitesse)

$$T \rightarrow \mu \cdot N \text{ (avec } \mu < \mu_0 \text{)}$$

– Si $V > 0$ (vitesse élevée)

$T > \mu \cdot N$ car apparition de phénomènes visqueux



• Lois de Coulomb = simplification de la réalité

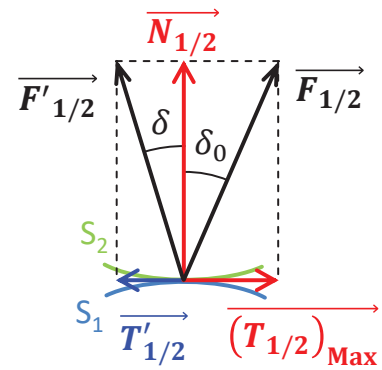
– Modélisation du frottement sec uniquement

– Valable si frottements visqueux négligeables

Contact frottant et lois de Coulomb (4/5)

- **Angle de frottement** = $\widehat{(\vec{F}_{1/2} ; \vec{N}_{1/2})}$

- Pas de mvt relatif $\rightarrow \delta_0 = \arctan(\mu_0)$
- Avec glissement $\rightarrow \delta = \arctan(\mu)$



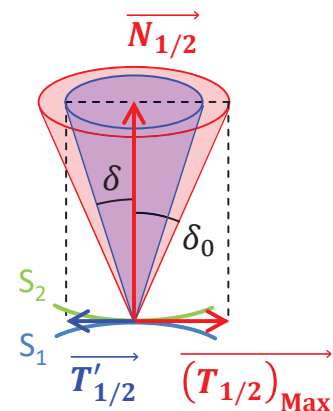
- **Cône de frottement** = lieu des $\vec{F}_{1/2}$

- Si Ø mouvement relatif ($T \leq \tan(\delta_0) \cdot N$)

$\rightarrow \vec{F}_{1/2}$ à l'intérieur du cône de frottement rouge

- Si glissement ($T = \tan(\delta) \cdot N$)

$\rightarrow \vec{F}_{1/2}$ sur le cône de frottement bleu

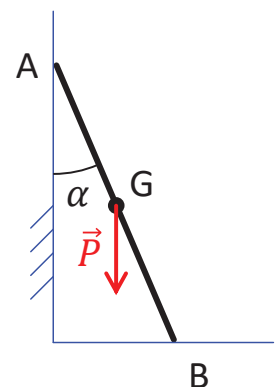


Contact frottant et lois de Coulomb (5/5)



Exercice d'application

Soit une échelle de longueur L posée contre un mur. Jusqu'à quel angle α l'échelle sera-t-elle stable sachant que $\delta_0 = 10^\circ$ (sol et mur).



Mécanique des matériaux (1/4)

• Loi de comportement élasto-plastique

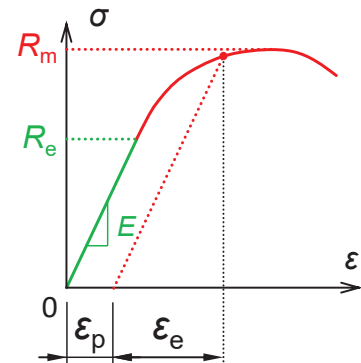
– Zone élastique

→ E = Module de Young

– Zone plastique

→ Écrouissage ($R_e \rightarrow R_m$)

→ Striction ($R_m \rightarrow 0$)



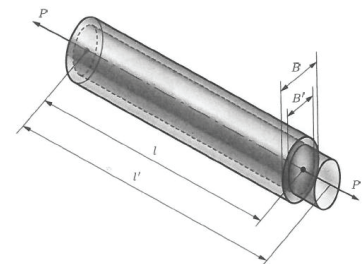
• Sollicitation élastique uniaxiale

– Direction longitudinale → $\sigma_l = F/S$

→ $\varepsilon_l = \sigma_l/E$

– Direction transverse → $\sigma_t = 0$

→ $\varepsilon_t = -\nu \cdot \varepsilon_l$



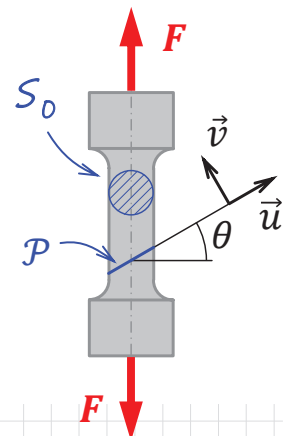
Mécanique des matériaux (2/4)



Exercice d'application

L'éprouvette ci-contre subit un essai de traction simple (force F). Soit le plan \mathcal{P} incliné de l'angle θ .

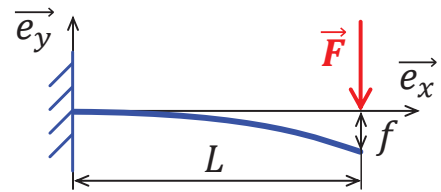
1. Exprimer les composantes de traction σ_θ et de cisaillement τ_θ mesurées dans le référentiel $(\vec{u}; \vec{v})$ en fonction de F et de S_0 .
2. Pour quel angle θ obtient-on $(\tau_\theta)_{\max}$?



Mécanique des matériaux (3/4)

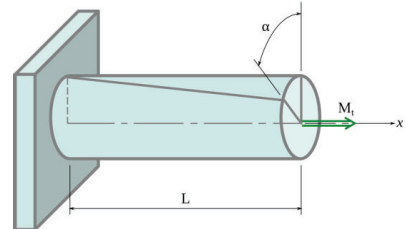
• Flexion élastique

Contrainte (normale) $\rightarrow \sigma_f = \frac{M_f}{I} y$



• Torsion élastique

Contrainte (cisaillement) $\rightarrow \tau = \frac{M_t}{I_0} r$



• Critères de résistance élastique

– **Von Mises** $\rightarrow \sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} < R_{pe}$

– **Tresca** $\rightarrow \sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2} < R_{pe} \quad \rightarrow \tau < \frac{R_{pe}}{2} \text{ si } \sigma = 0$

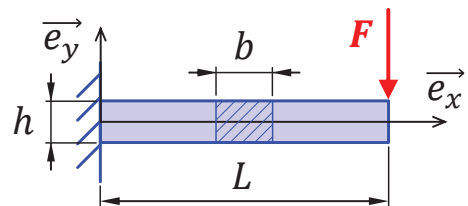
Mécanique des matériaux (4/4)



Exercice d'application

On considère une poutre encastree de longueur L et de section rectangulaire (largeur $b \times$ hauteur h) soumise à de la flexion simple (force F en bout de poutre).

Exprimer $(\sigma_f)_{\max}$ en fonction de F , L , b , & h .






Modèles rhéologiques (1/3)

• Principe

Modélisation du comportement d'un système par une combinaison de modèles élémentaires simples

• Modèles élémentaires principaux

- **Modèle ressort** →  → $F = k \cdot \Delta L$
- **Modèle amortisseur** →  → $F = c \cdot \dot{\Delta L}$
- **Modèle patin** →  → $|F| < F_{\text{Max}}$

• Types de combinaisons

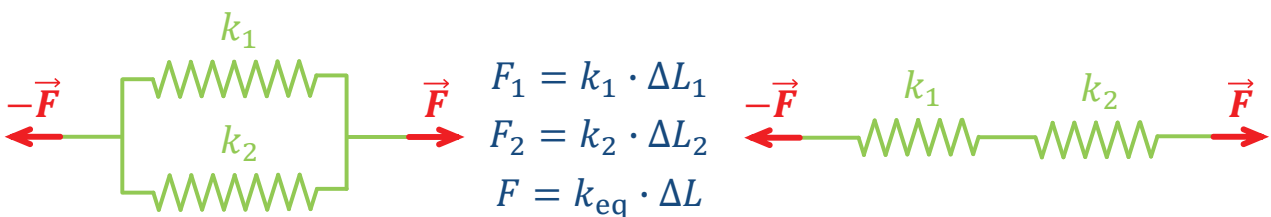
→ En série ou en parallèle

Modèles rhéologiques (2/3)



Exercice d'application

Déterminer la raideur équivalente k_{eq} des deux ressorts suivants.

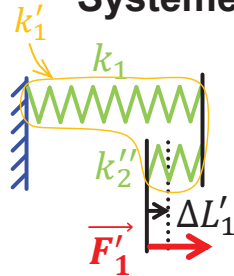


Modèles rhéologiques (3/3)

• Analyse d'un cas de charge particulier

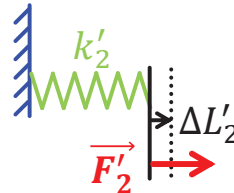
Empilement de ressorts en //, avec application de la force extérieure sur un point de (R2)

Système équivalent à ↓ ...



$$\begin{cases} F_1 = k_1 \cdot \Delta L_1 \\ F_2'' = k_2'' \cdot \Delta L_2'' \end{cases}$$

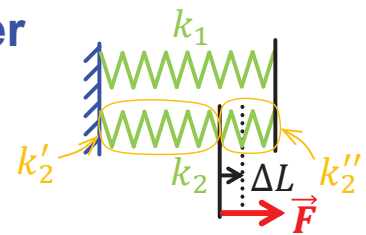
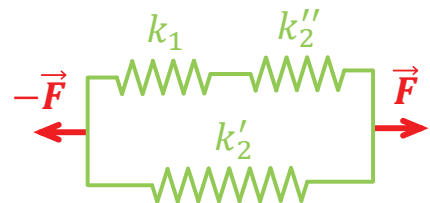
$$\text{Et } \begin{cases} F_1' = F_1 = F_2'' \\ \Delta L_1' = \Delta L_1 + |\Delta L_2''| \end{cases}$$



$$F_2' = k_2' \cdot \Delta L_2'$$

... Avec

$$\begin{cases} \Delta L_1' = \Delta L_2' = \Delta L \\ F = F_1' + F_2' \end{cases}$$



Système d'unités utilisées en mécanique

- **Force** → N (newton)
→ kN (kilonewton)
- **Longueur** → mm (millimètre)
- **Contrainte** → MPa (mégapascal)

P.ex. : Limite élastique de l'acier S235 = 235 MPa

(et pas « $2,35 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ »)

- **Module d'Young** → GPa (gigapascal)

P.ex. : Module d'Young de l'aluminium : $E = 70 \text{ GPa}$

(et pas « $7 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ »)

- **Raideur** → N/mm (newton par millimètre)
→ kN/mm (kilonewton par millimètre)

Des questions ?

