

LES GUIDAGES

Introduction

- Dans le module précédent, l'accent a été porté sur les aspects liés aux solutions constructives de la liaison encastrement.
- On appelle guidage un ensemble de dispositifs utilisé pour obliger un organe mobile à se déplacer suivant une trajectoire déterminée.
- Une solution de guidage optimisée doit faciliter les mouvements autorisés par la liaison et interdire les autres, tout en résistant aux actions mécaniques de contact.



Questions

- Quels sont les critères d'appréciation d'une solution de guidage ?
- Quelles sont les grandes familles de solutions constructives ?
- Dans le cas d'un guidage en rotation, comment faire le choix d'une solution ?

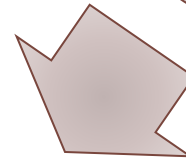


Le mécanisme

- Caractéristiques cinématiques des mouvements relatifs
- Caractéristiques des actions mécaniques appliquées
- Taux de fonctionnement
- Caractéristiques du milieu ambiant (poussières, température, bruit, ...)

La solution de guidage

- Charge maximale admissible
- Durée de vie estimée
- Coût
- Contraintes de fonctionnement (lubrification,...)
- Contraintes de montage (ajustements,...)



CdCF



Solutions de guidage basées sur le glissement

- Ces solutions basées sur le glissement relatif de surfaces, ont un comportement qui est fonction des paramètres suivants :
 - De la nature macro et microgéométrie des surfaces en contact
 - Des vitesses de déplacement relatif
 - Des actions mécaniques appliquées,
 - De la présence et le cas échéant de la nature d'un lubrifiant



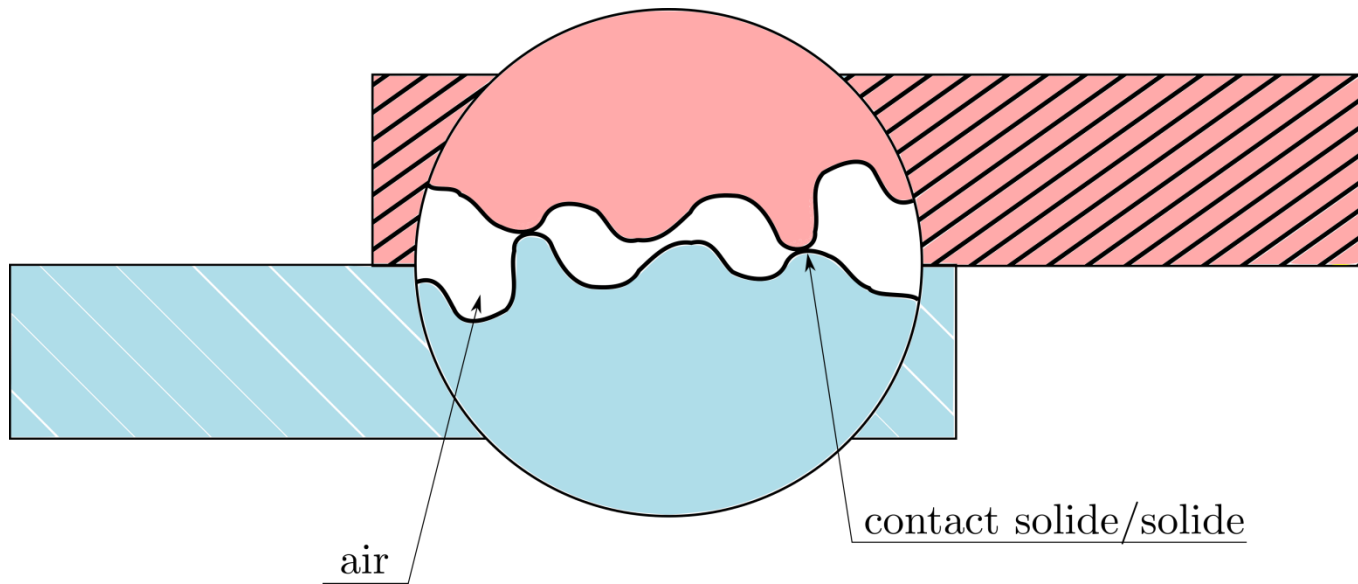
Contact réel , frottement, adhérence

- Plutôt que de d'établir sur des surfaces ou des points clairement identifiés, le contact s'effectue en un grand nombre de points.
- On distingue alors 3 types de comportements au contact :



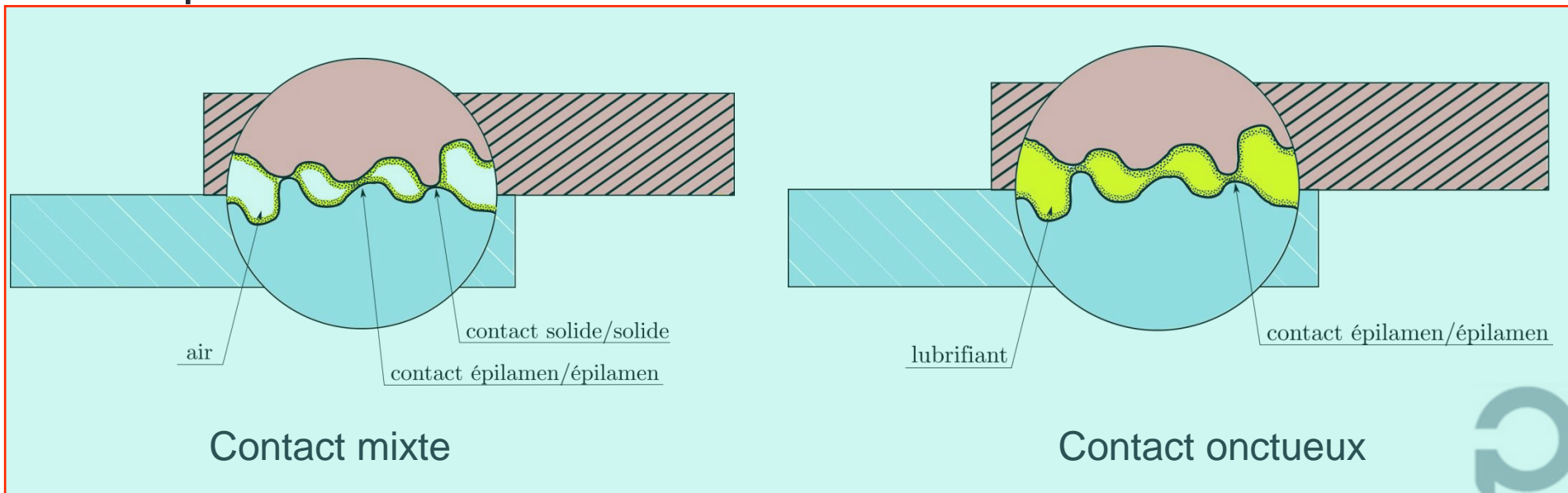
Le frottement sec

- On parle de frottement sec lorsque le contact s'établit matière contre matière.
- En réalité, compte tenu de la rugosité de la matière, le contact s'établit sur une surface de l'ordre de $1/100^{\text{ème}}$ à $1/10000^{\text{ème}}$ de la surface théorique



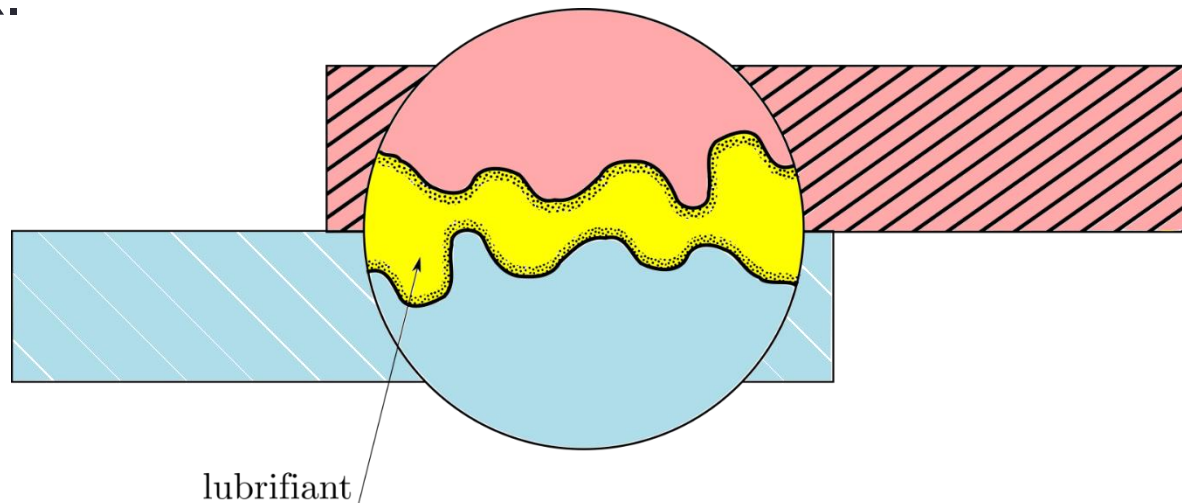
Frottement mixte ou onctueux

- Qualifie le contact de mixte ou onctueux lorsque les interstices entre aspérités s'emplissent d'un corps onctueux (lubrifiant, graisse,...)
- L'épaisseur de lubrifiant n'excède pas la hauteur des aspérités.



Frottement hydrostatique

- Il n'y a plus de contact entre les solides mais interposition complète d'un film de lubrifiant.
- Ce régime ne peut être atteint que si une pression de lubrifiant est maintenue ce qui nécessite la présence d'un dispositif adéquat, généralement complexe et donc coûteux.



Frottement hydrodynamique

- Il n'y a plus de contact entre les solides mais interposition complète d'un film de lubrifiant.
- Ce régime est atteint à partir d'un certain niveau de vitesse relative des surface et exige des propriétés de viscosité du lubrifiant adaptées.

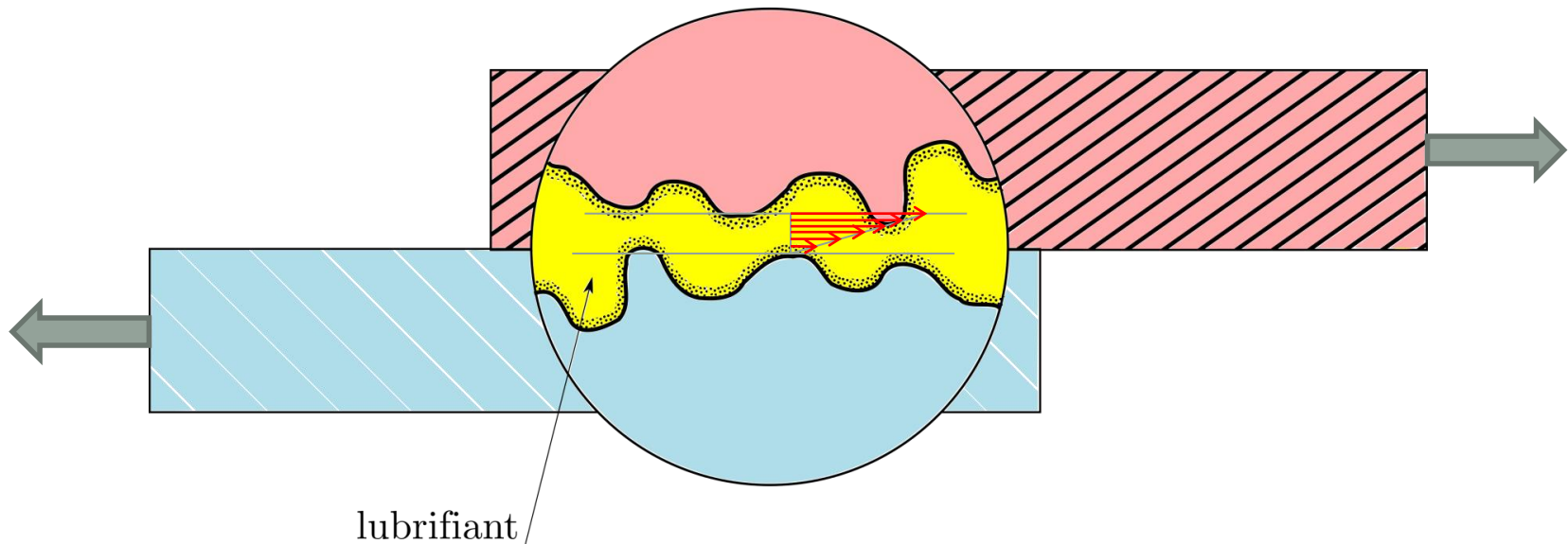
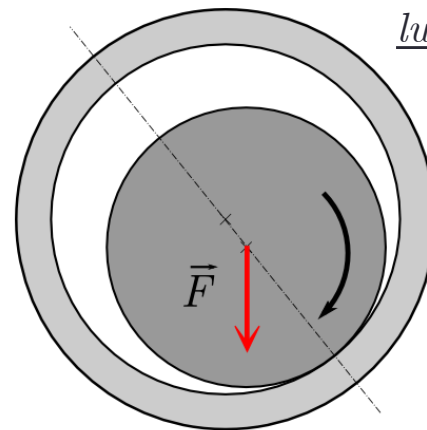
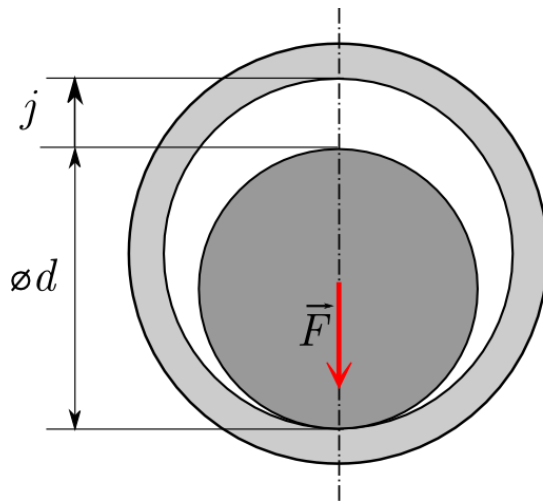


Illustration du fonctionnement d'un palier

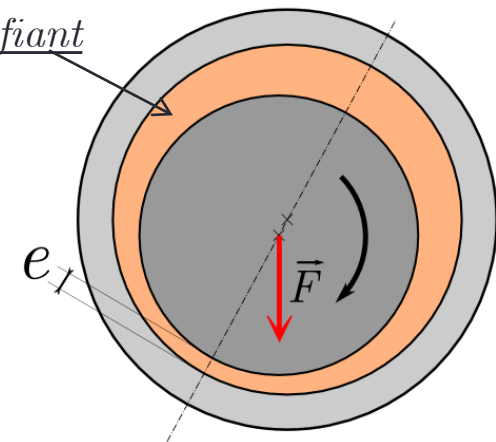
Palier au repos

Palier usuel en fonctionnement

Palier hydrodynamique ou en régime hydrodynamique



lubrifiant

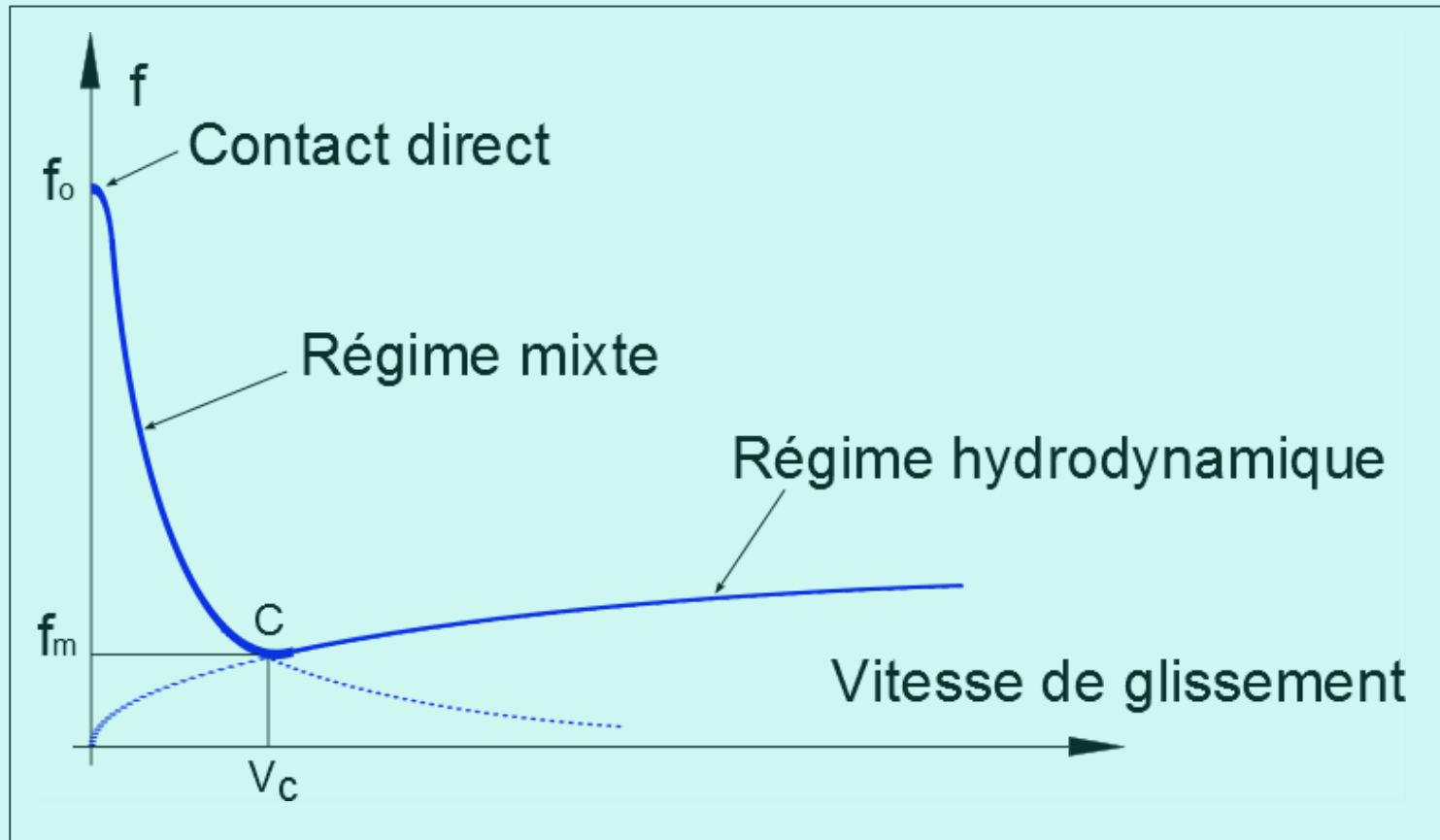


Coefficient de frottement

- L'opposition au mouvement se mesure par un coefficient de frottement que nous caractériserons plus loin.
- Ce coefficient est très variable en fonction du régime et du type de contact :
- Graissage mixte : $0,05 < f < 0,20$
- Graissage onctueux : $0,04 < f < 0,1$
- Graissage hydrodynamique : $0,002 < f < 0,01$

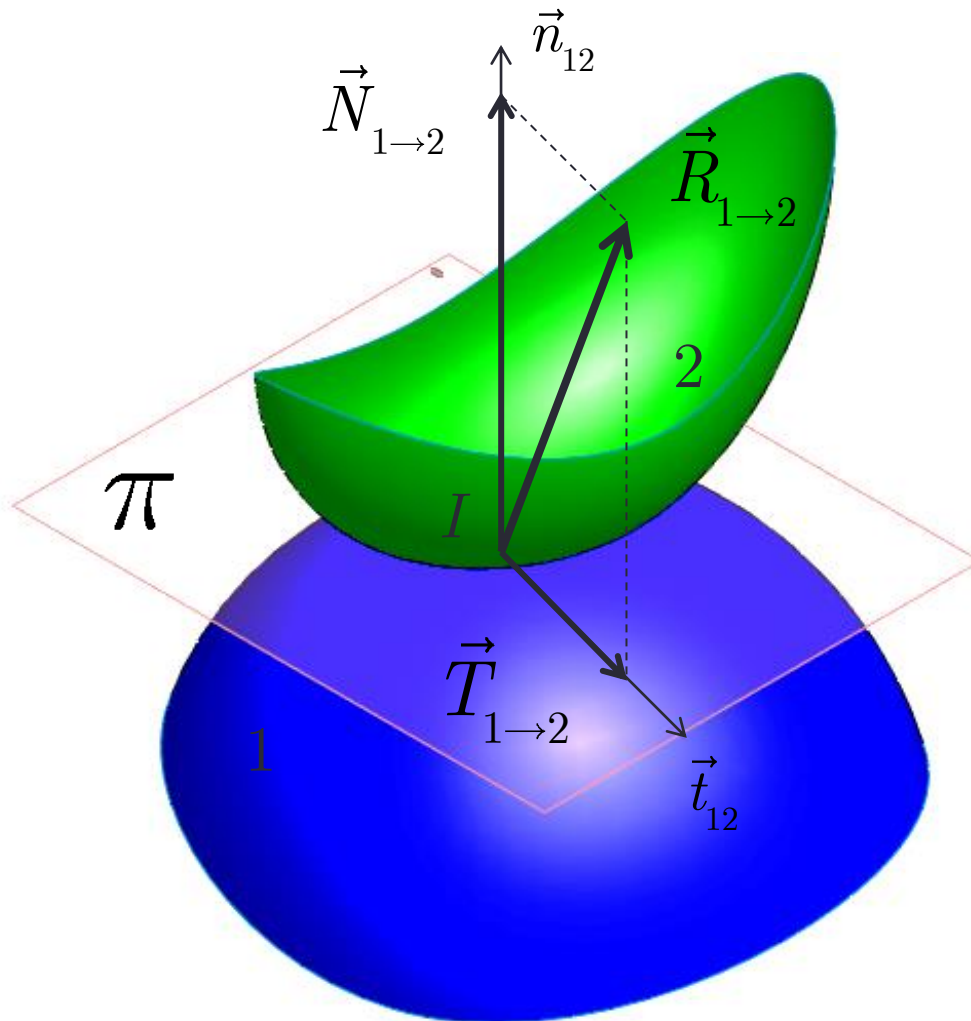


Courbe de Stribeck



LES LOIS DE COULOMB

Les lois de Coulomb



$$\vec{R}_{1 \rightarrow 2} = \vec{N}_{1 \rightarrow 2} + \vec{T}_{1 \rightarrow 2}$$

$$\vec{N}_{1 \rightarrow 2} \wedge \vec{n}_{12} = \vec{0}$$

Produit scalaire



Les lois de Coulomb

- En l'absence de mouvement relatif (de glissement) entre les deux solides :

$$\vec{V}_{I,2/1} = \vec{0}$$

$$\text{Fascούμε} < \overset{\text{FHmax}}{\mu_s * N}$$

$$\|\vec{T}_{1 \rightarrow 2}\| \leq f_0 \cdot \|\vec{N}_{1 \rightarrow 2}\|$$

où f_0 désigne le coefficient d'adhérence des deux solides.

- Dans le cas du glissement au point I entre les deux solides :

$$\vec{V}_{I,2/1} \neq \vec{0}$$

$$\text{Fascούμε} > \overset{\text{Fr}}{\mu_k * N}$$

$$\|\vec{T}_{1 \rightarrow 2}\| = f \cdot \|\vec{N}_{1 \rightarrow 2}\|$$

où f désigne le coefficient de frottement des deux solides.



Les lois de Coulomb

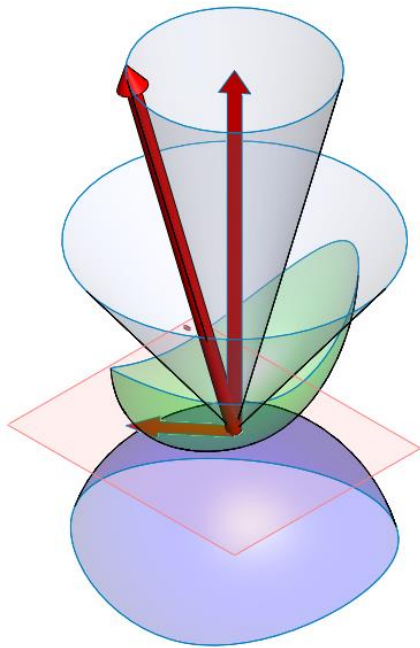
- $\vec{T}_{1 \rightarrow 2}$ s'oppose toujours à $\vec{V}_{I,2/1}$ ce qui se traduit par

$$\vec{T}_{1 \rightarrow 2} \wedge \vec{V}_{I,2/1} = \vec{0} \quad \text{et} \quad \vec{T}_{1 \rightarrow 2} \cdot \vec{V}_{I,2/1} < 0$$

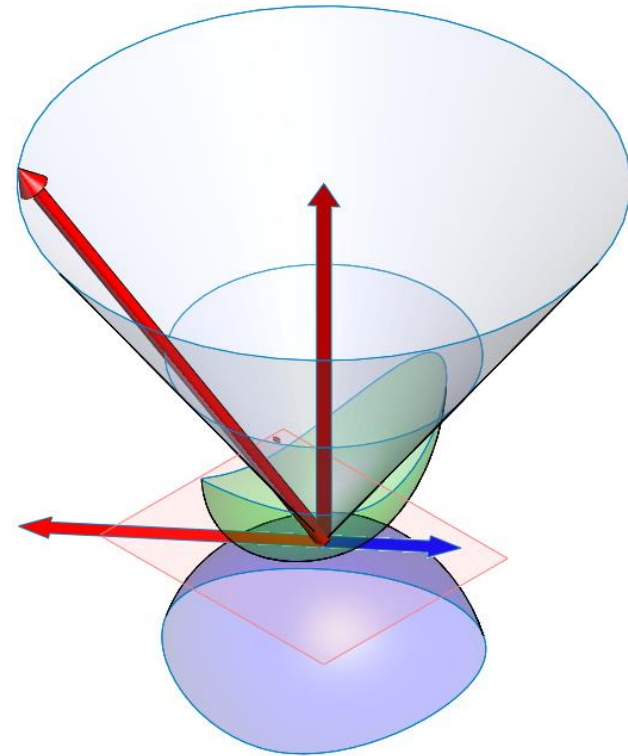
- Le cas $\|\vec{T}_{1 \rightarrow 2}\| > f \cdot \|\vec{N}_{1 \rightarrow 2}\|$ n'existe pas.



Les lois de Coulomb



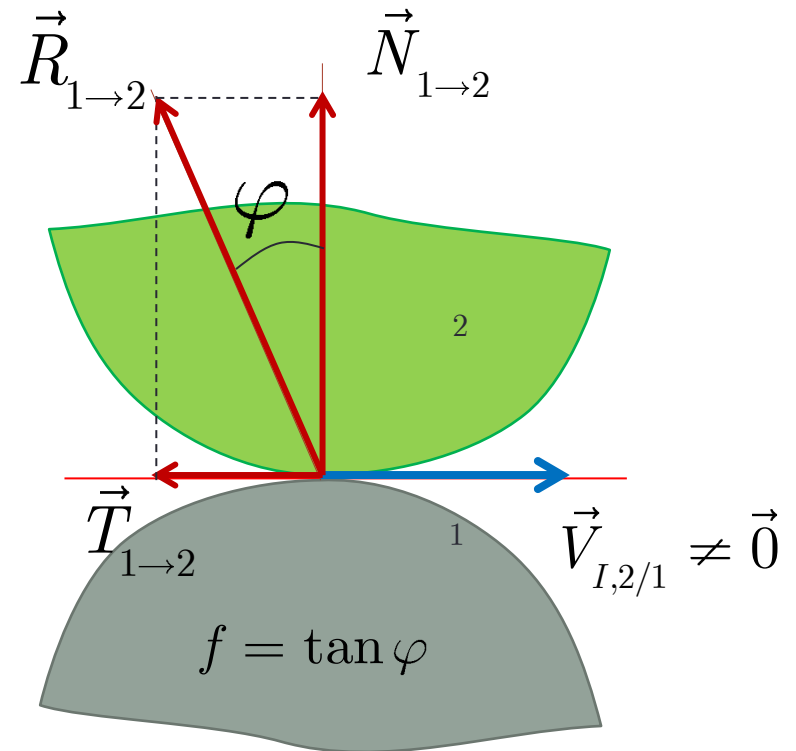
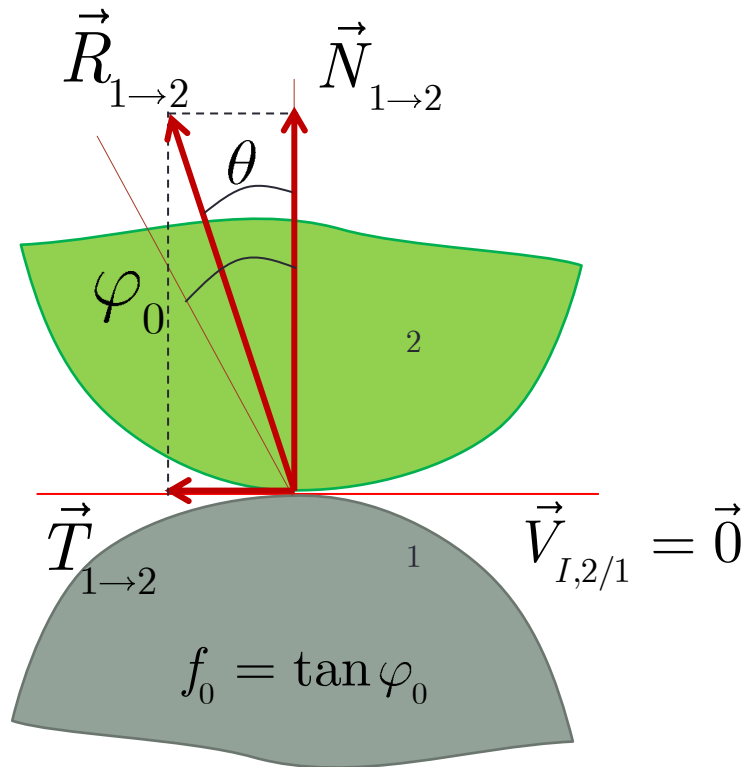
Cas de l'adhérence



Cas du glissement

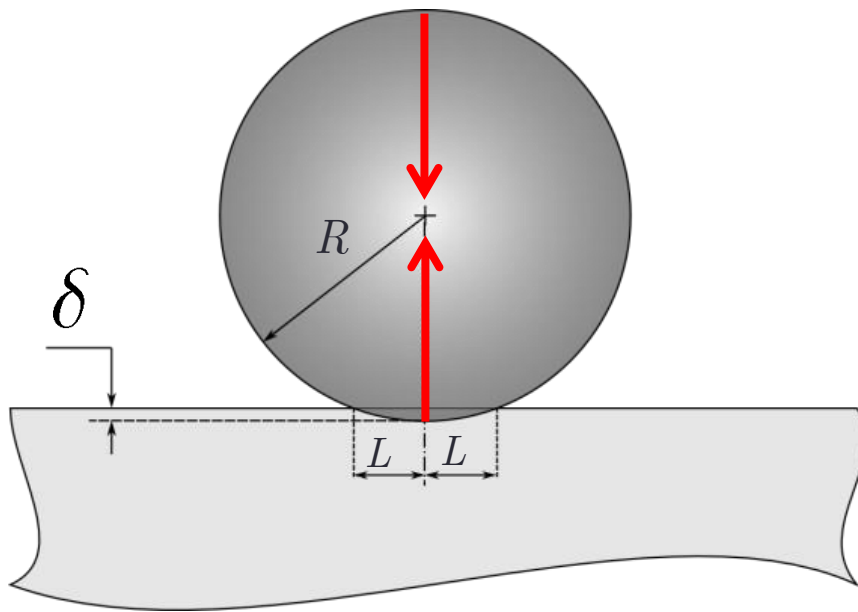


Lois de Coulomb



FROTTEMENT DE ROULEMENT ET DE PIVOTEMENT

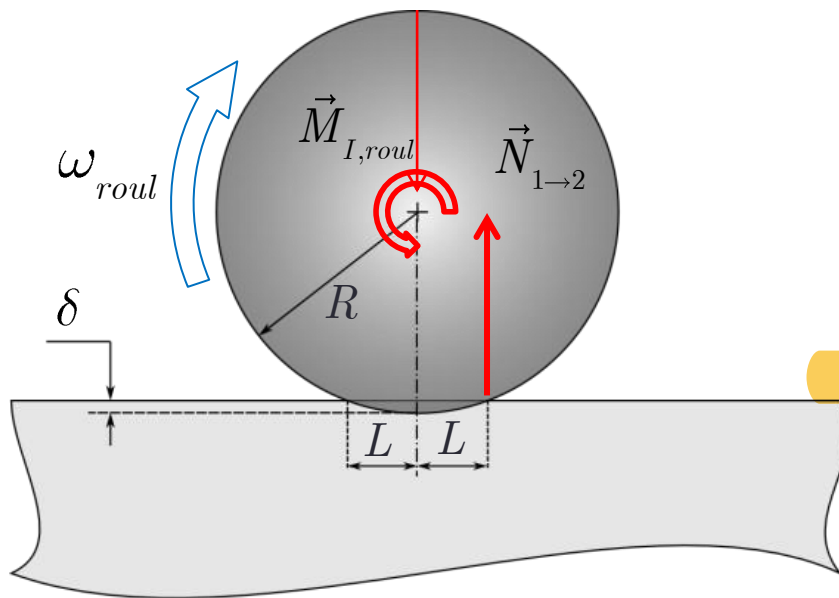
Mise en évidence



- En présence d'un effort presseur, la matière se déforme au voisinage du contact.
- En l'absence de mouvement, l'effort presseur et la résultante des actions de contact se compensent.



Moment de roulement



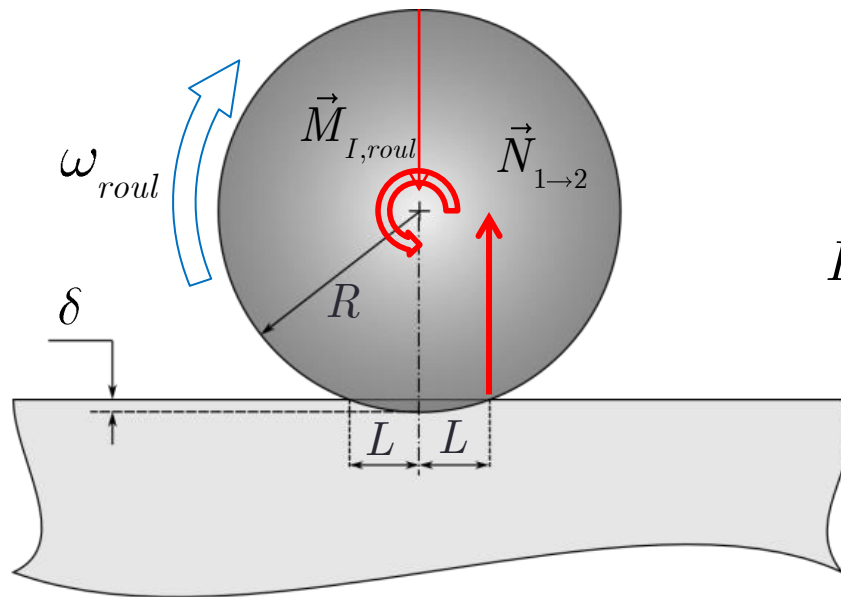
- Cet écrasement provoque lors du mouvement un décalage du point de contact qui est à l'origine de l'apparition du moment de frottement de roulement.
- On peut définir ce moment de la façon suivante :

$$\|\vec{M}_{I,roul}\| = d_N \cdot \|\vec{N}_{1 \rightarrow 2}\|$$

où $d_N = L$ est le bras de levier



Moment de roulement



- Pour fixer un ordre de grandeur, l'écrasement δ est de l'ordre de 0,01% du rayon ce qui donne :

$$L = \sqrt{R^2 - (R - \delta)^2} \simeq 0,00316.R$$



Comparaison des puissances dissipées frottement / roulement

διασκορπισμένη ισχύς

- La puissance dissipée s'obtient par le **comoment des torseurs cinématique** et des actions mécaniques.
- Dans le cas du roulement, on trouve : $P_{\text{diss}} = - V.L.N / R$
- Dans le cas du frottement : $P_{\text{frott}} = - V.N.f$
- Ce qui donne comme ordre de grandeur un coefficient de frottement « virtuel » de 3.10^{-3} ce qui est évidemment très faible.



Roulement et pivotement

- D'un point de vue cinématique, le vecteur taux de rotation peut s'écrire comme la composition d'un vecteur de pivotement, normal au plan tangent commun et un vecteur roulement contenu dans le plan tangent commun :

$$\vec{\Omega}_{2/1} = \omega_{piv,2/1} \vec{n} + \vec{\omega}_{roul,2/1}$$



Généralisation et analogie avec les lois de Coulomb

- S'il n'y a pas de roulement relatif des solides : $\vec{\omega}_{roul,2/1} = \vec{0}$

alors le moment de résistance au roulement vérifie la

relation :
$$\|\vec{M}_{I,roul}\| \leq \mu \cdot \|\vec{N}_{1 \rightarrow 2}\|$$

- S'il y a roulement des solides : $\vec{\omega}_{roul,2/1} \neq \vec{0}$

alors
$$\|\vec{M}_{I,roul}\| = \mu \cdot \|\vec{N}_{1 \rightarrow 2}\|$$



Généralisation et analogie avec les lois de Coulomb

- S'il n'y a pas de pivotement relatif des solides : $\omega_{piv,2/1} = 0$

alors le moment de résistance au roulement vérifie la relation :

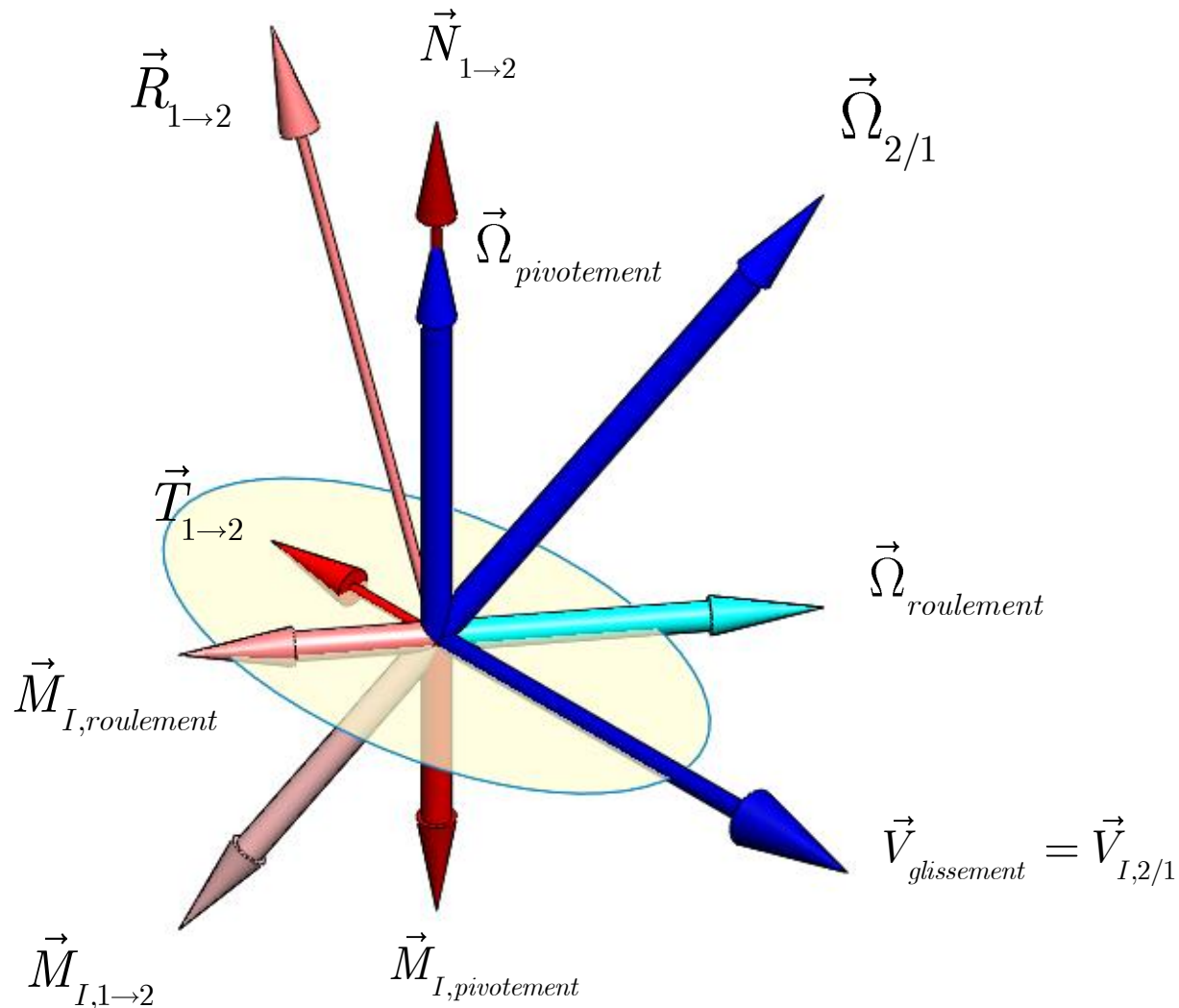
$$\|\vec{M}_{I,piv}\| \leq \nu \cdot \|\vec{N}_{1 \rightarrow 2}\|$$

- S'il y a roulement des solides : $\omega_{piv,2/1} \neq 0$

alors

$$\|\vec{M}_{I,piv}\| = \nu \cdot \|\vec{N}_{1 \rightarrow 2}\|$$

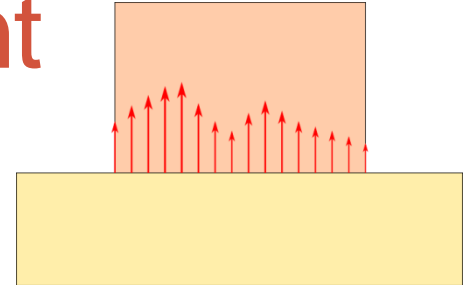

Bilan : vue d'ensemble



ÉLÉMENTS DE DIMENSIONNEMENT

Critères de dimensionnement

- La pression de contact



Cette pression ne doit pas excéder une limite caractéristique du matériau (pression admissible) :

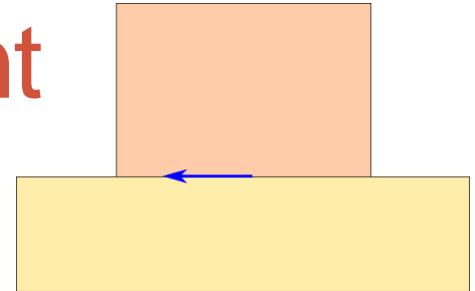
$$p < p_{\text{adm}}$$

Si cette limite est atteinte ou dépassée les déformations de la matière à la surface du contact sont irréversibles.



Critères de dimensionnement

- La vitesse de glissement



Cette vitesse de glissement relatif des surfaces en contact doit rester inférieure à une limite liée aux matériaux en contact et au mode de lubrification ou de graissage.

$$V < V_{\text{adm}}$$

Au-delà de cette limite, il y a risque de grippage.



Critères de dimensionnement

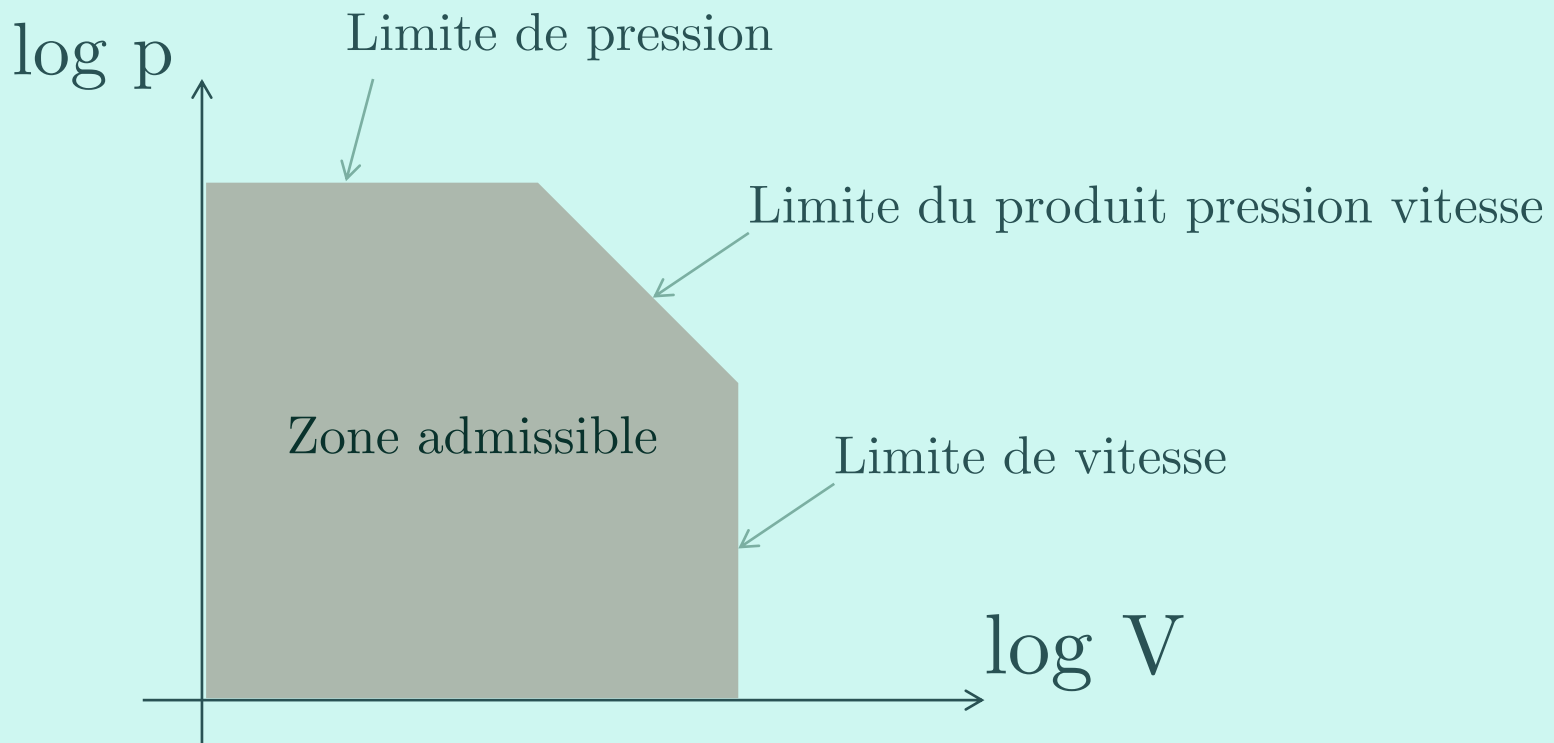
- Le produit $p V$

Les effets combinés de la pression et de la vitesse se traduisent par une puissance dissipée lors du glissement. Cette puissance est dissipée par effet Joule, une limite fonction des matériaux et du mode de refroidissement est donc à considérer :

$$p V < p V_{\text{adm}}$$



Graphe de synthèse



PUISSANCE DISSIPÉE DANS UN CONTACT

Définition

- La puissance dissipée dans une liaison mécanique s'établit à partir du comoment des torseurs cinématique et statique :

$$P = \{ \mathcal{T}_{1 \rightarrow 2} \} \otimes \{ \mathcal{G}_{2/1} \}$$

$$= \left\{ \begin{array}{c} \vec{R}_{1 \rightarrow 2} \\ \vec{M}_{P, 1 \rightarrow 2} \end{array} \right\}_P \otimes \left\{ \begin{array}{c} \vec{\Omega}_{2/1} \\ \vec{V}_{P, 2/1} \end{array} \right\}_P$$

$$= \vec{R}_{1 \rightarrow 2} \cdot \vec{V}_{P, 2/1} + \vec{M}_{P, 1 \rightarrow 2} \cdot \vec{\Omega}_{2/1}$$



Liaison parfaite

- Dans le cas d'une liaison parfaite (sans jeu et sans frottement), cette puissance dissipée est nulle.

$$P_{\text{liaison parfaite}} = \{\mathfrak{I}_{1 \rightarrow 2}\} \otimes \{\mathcal{G}_{2/1}\} = 0$$



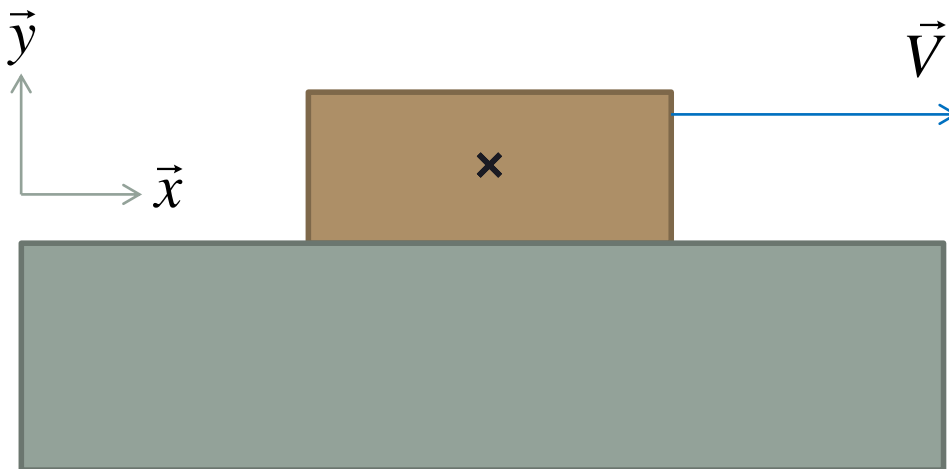
Liaison réelle

- Dans le cas d'une liaison réelle avec frottement, cette puissance devient non nulle et représente la puissance dissipée par effet Joule.



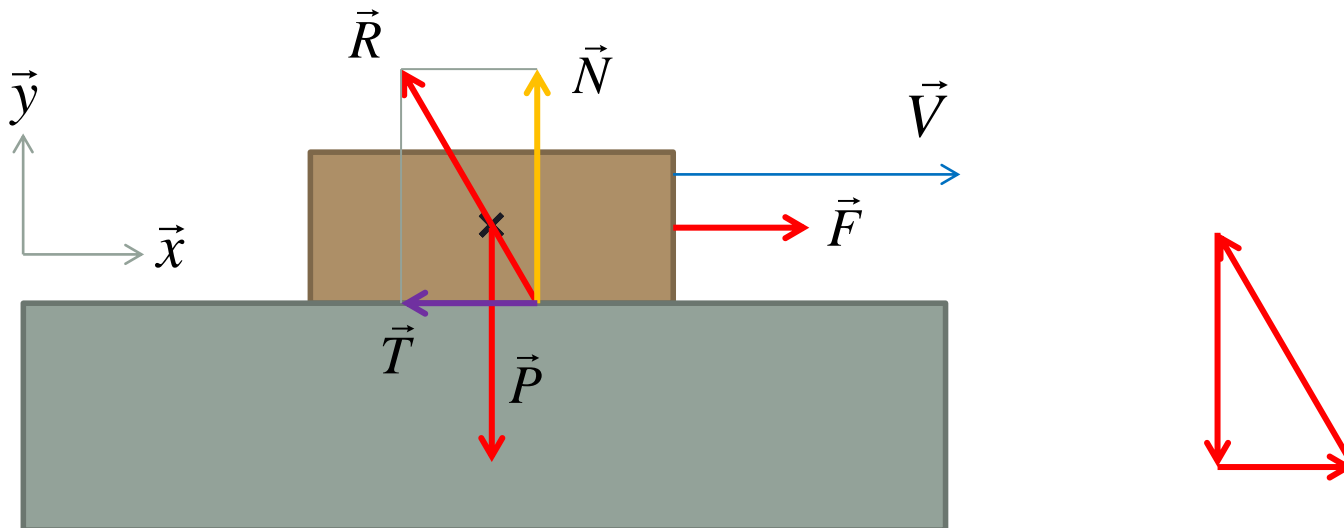
Exemple

- La caisse fait l'objet d'un appui plan avec le sol.
- Elle est soumise à son poids, à la réaction du support et à une force de traction.
- Elle est animée d'un mouvement de translation linéaire rectiligne uniforme (d'où l'équilibre des forces)

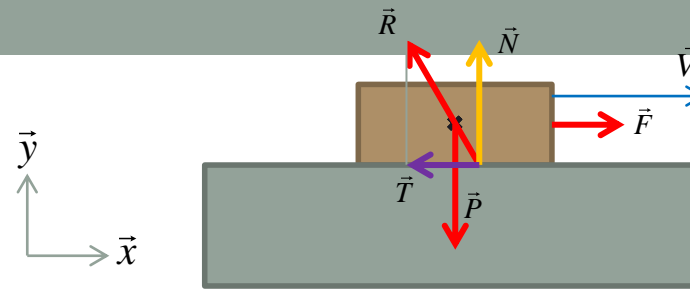


Exemple

- La caisse fait l'objet d'un appui plan avec le sol.
- Elle est soumise à son poids, à la réaction du support et à une force de traction.
- Elle est animée d'un mouvement de translation linéaire rectiligne uniforme (d'où l'équilibre des forces)



Exemple

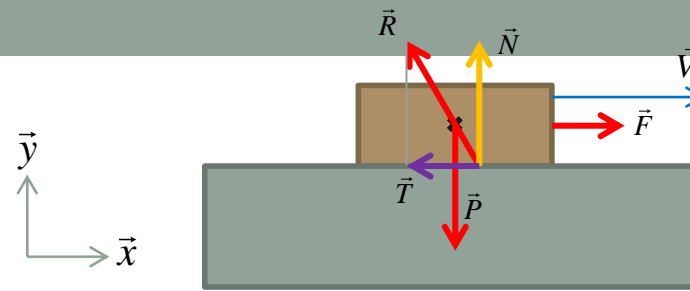


- Le torseur des actions mécaniques transmissibles par l'appui plan (liaison parfaite) peut s'écrire :

$$\{\mathfrak{T}_{1 \rightarrow 2}\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{R}_{1 \rightarrow 2} \\ \vec{M}_{P, 1 \rightarrow 2} \end{array} \right\}_P = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & L_{12} \\ Y_{12} & 0 \\ 0 & N_{12} \end{array} \right\}_{P, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$$



Exemple

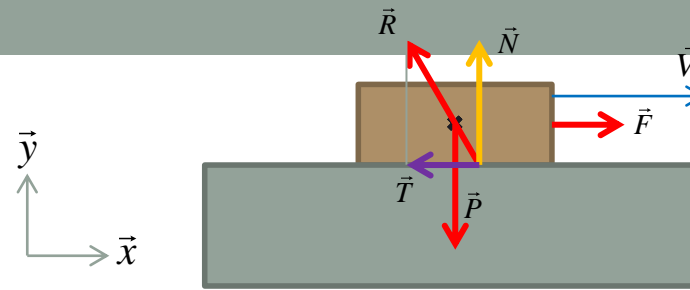


- Les mobilités dans la liaison donne le torseur cinématique de la liaison parfaite dans le cas général :

$$\{\mathcal{G}_{2/1}\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{\Omega}_{2/1} \\ \vec{V}_{P,2/1} \end{array} \right\}_P = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & V_x \\ \omega_y & 0 \\ 0 & V_z \end{array} \right\}_{P, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$$



Exemple

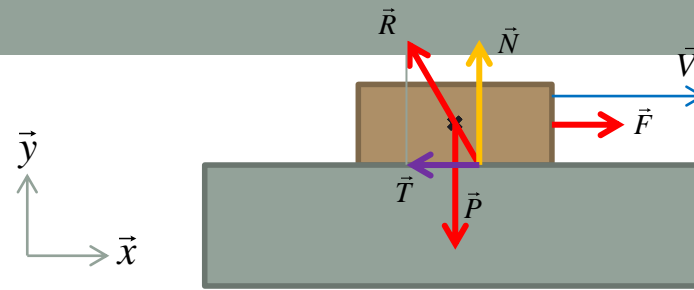


- Le comoment donne alors :

$$\begin{aligned}
 \{\mathfrak{I}_{1 \rightarrow 2}\} \otimes \{\mathcal{G}_{2/1}\} &= \begin{Bmatrix} \vec{R}_{1 \rightarrow 2} \\ \vec{M}_{P,1 \rightarrow 2} \end{Bmatrix}_P \otimes \begin{Bmatrix} \vec{\Omega}_{2/1} \\ \vec{V}_{P,2/1} \end{Bmatrix}_P \\
 &= \begin{Bmatrix} 0 & L_{12} \\ Y_{12} & 0 \\ 0 & N_{12} \end{Bmatrix}_{P, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}} \otimes \begin{Bmatrix} 0 & V_x \\ \omega_y & 0 \\ 0 & V_z \end{Bmatrix}_{P, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$



Cas réel

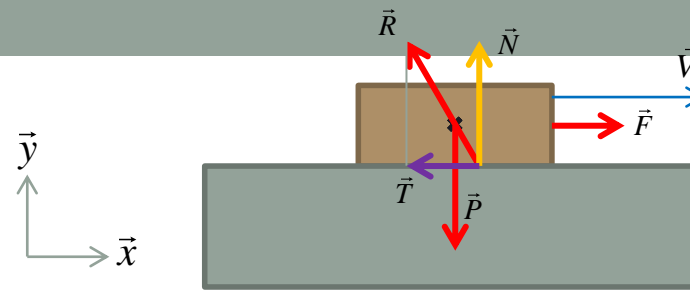


- La puissance développée par la force de contact donne :

$$\begin{aligned}
 \{\mathfrak{T}_{1 \rightarrow 2}\} \otimes \{\mathcal{G}_{2/1}\} &= \begin{Bmatrix} \vec{R} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_G \otimes \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ V\vec{x} \end{Bmatrix}_G \\
 &= (\vec{T} + \vec{N}) \cdot V\vec{x} \\
 &= -T.V \\
 &= -mgf.V \\
 &\neq 0!
 \end{aligned}$$



Cas réel



- La puissance généralisée de la caisse donne :

$$\begin{aligned} \{\mathfrak{T}_{1 \rightarrow 2}\} \otimes \{\mathcal{G}_{2/1}\} &= \begin{Bmatrix} \vec{P} + \vec{R} + \vec{F} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_G \otimes \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ V\vec{x} \end{Bmatrix}_G \\ &= \quad \quad \quad -T.V \quad \quad \quad + F.V \\ &\quad \quad \quad \text{puissance dissipée} \quad \text{puissance motrice} \\ &\quad \quad \quad \text{par effet Joule} \end{aligned}$$



Exemple

Trouver l'angle limite de la pente pour un couple de matériau avec un coefficient d'adhérence de 0,25 et un coefficient de frottement de 0,2. Pour cette valeur de l'angle et pour une masse de 10 kg, déterminer dans le cas du glissement, l'accélération du solide et pour un départ à vitesse nulle le temps nécessaire pour parcourir 3 m.

