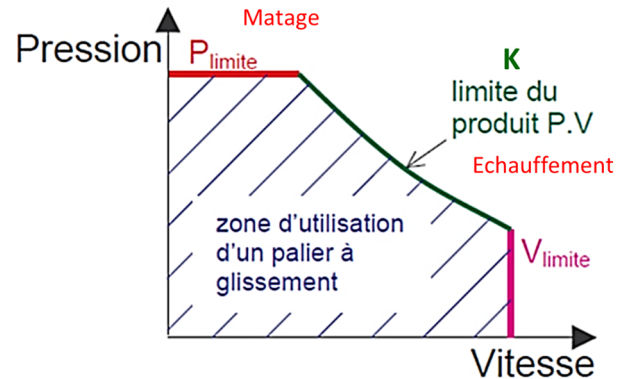


K est fournit par les constructeurs des paliers.

- coussinet en bronze lubrifié $\Rightarrow K \# 35 \text{ W/mm}^2$,
- coussinet autolubrifié en métal fritté $\Rightarrow K \# 1.8 \text{ W/mm}^2$,
- coussinet en plastique phénolique lubrifié $\Rightarrow K \# 40 \text{ W/mm}^2$,
- coussinet sans graissage en nylon $\Rightarrow K \# 0.04 \text{ W/mm}^2$.

L'application de ces critères définit une zone d'utilisation d'un palier à glissement...



Technologie des Machines à Fluides

Dossier 1 – Critères de conception mécanique

Ce document est une synthèse du cours présenté

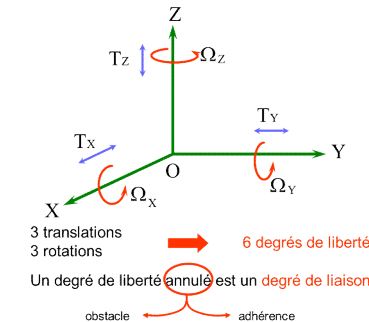
Des règles à respecter

Les mécanismes, dont les machines à fluides, répondent à des besoins précis. Pour les satisfaire une machine comporte des liaisons mécaniques entre pièces. Ces liaisons autorisent des mouvements et transmettent des efforts. A ce titre le mécanicien doit au minimum se poser les questions suivantes quand il valide une conception :

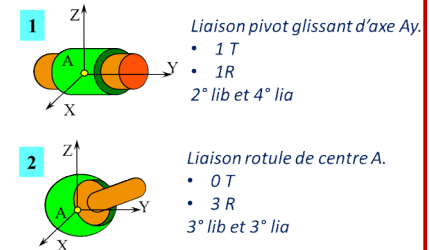
1. Est-ce que le mécanisme n'est pas trop contraint?
→ notion d'isostatisme...
2. Est-ce que les surfaces en contacts supportent les efforts sans déformation/usure excessive ?
→ notion de pression de contact, matage, fatigue...
3. Est-ce que les surfaces en mouvements relatifs restent fonctionnelles dans le temps ?
→ non-grippage, lubrification, usure...

Mobilités en conception

Degré de liaison, degré de liberté



Une liaison mécanique admet des degrés de liberté et des degrés de liaison. Le degré de liaison annule le degré de liberté. Pour ceci on utilise soit un obstacle, soit l'adhérence, ou bien les deux en même temps...



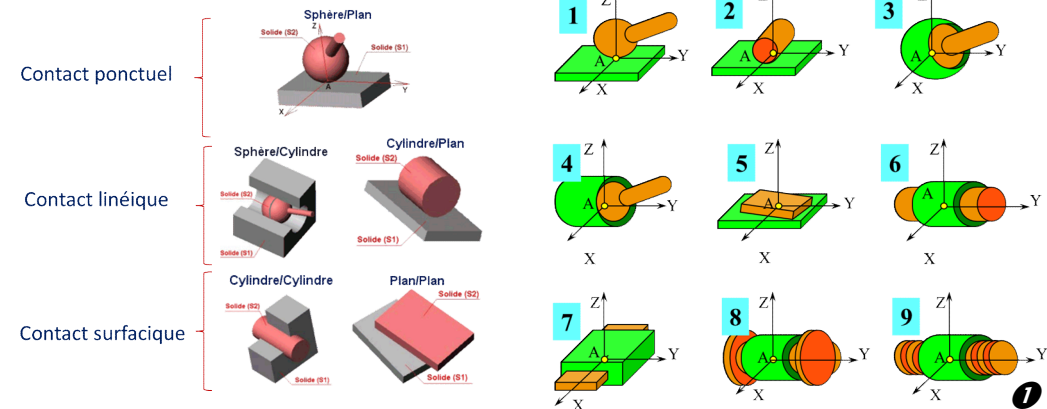
Dans l'exemple 1, il s'agit d'une liaison pivot glissant, comptant 1 rotation et 1 translation.

Donc 2 degrés de liberté et 4 degrés de liaison.

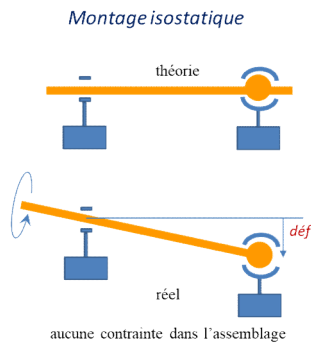
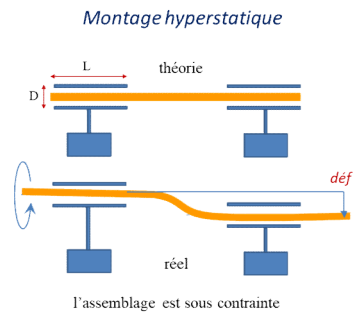
Dans l'exemple 2, il s'agit d'une liaison rotule, comptant 3 rotation et 0 translation.

Donc 3 degrés de liberté et 3 degrés de liaison.

Les principales liaisons sont définies à partir de la nature du contact entre les deux solides étudiés (solides dits « en mains »). On peut en compter principalement 9.



L'avantage de la conception isostatique



Dans le montage de gauche il est impossible de fabriquer 2 liaisons parfaitement coaxiales. Aussi l'arbre doit être contraint pour compenser le défaut et être monté dans le moyeu.

Dans le montage de droite, ce sont les libertés laissées par les liaisons qui permettent de compenser le défaut. L'arbre est monté dans le moyeu sans contrainte...

Bien définir la nature d'une liaison

→ Le choix des liaisons au moment de la conception est déterminant.

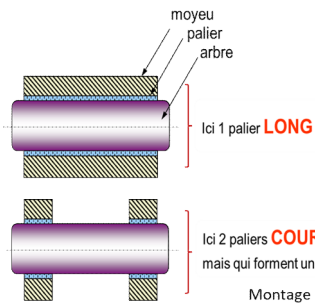
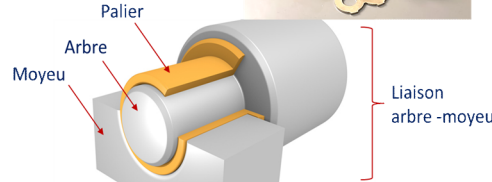
De nombreuses liaisons dans les machines utilisent des paliers.

Un palier est un élément rapporté entre arbre et moyeu.

Assurant le guidage de l'arbre dans le moyeu, il fait aussi office de « fusible mécanique ».

C'est-à-dire que la détérioration de la liaison lors d'une avarie concerne le palier uniquement, arbre et moyeu restent généralement indemnes.

Le palier est peu onéreux et se remplace.



Le jeu dans une liaison mécanique précisément ajustée est égal, en première approximation, au diamètre sur 2000, $j \approx D/2000$

Par exemple, un arbre de diamètre 20 mm pourra fonctionner correctement dans un moyeu de diamètre 20,01 mm (soit un jeu de 10 microns).

On montre alors facilement qu'avec un jeu de cet ordre de grandeur, la qualité du guidage de l'arbre dans le moyeu, qui tient compte de l'angle de boîtement de l'arbre α , est fonction du rapport L/D (facteur de forme du palier).

$$\tan \alpha = j/L = D/2000/jL = D/2000L$$

$$L/D = 1/(2000 \cdot \tan \alpha)$$

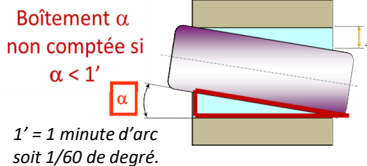
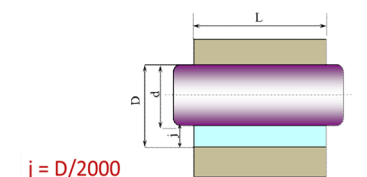
$$AN = L/D = 1/[2000 \cdot \tan(1/60^\circ)] = 1,7$$

Typiquement, si $L/D > 1,5$, le guidage est supposé long et le boîtement est alors négligé.

Sinon, le boîtement doit être pris en considération dans les mouvements possibles de l'arbre...

Ainsi, si $L/D > 1,5$ on parle de liaison pivot, pivot glissant, glissière.

Sinon $L/D < 1,5$ on parle de liaison rotule ou linéaire annulaire.



Bien choisir les liaisons

Le choix et l'agencement des liaisons obéit en fait à des **règles strictes** pour garantir un montage et un fonctionnement sans surprise.

Le mécanisme doit notamment être **isostatique** ⇔ **tous les mouvements possibles entre pièces doivent pouvoir être calculés à partir du mouvement source par les lois de la cinématique.**

Une loi de composition des vitesses écrite avec les torseurs cinématiques offre **6 équations.**

$$\begin{matrix} \overrightarrow{V1/2} + \overrightarrow{V2/3} + \overrightarrow{V3/4} + \overrightarrow{V4/1} = \overrightarrow{V1/1} = 0 \\ \omega 1/2 + \omega 2/3 + \omega 3/4 + \omega 4/1 = \omega 1/1 = 0 \end{matrix} \quad \left. \begin{matrix} \\ \end{matrix} \right\} \begin{matrix} 2 \text{ équations vectorielles} \\ \text{soit } 2 \cdot 3 = 6 \text{ équations scalaires (projections)} \end{matrix}$$

N liaisons = 6xN coordonnées de torseurs

SLI = sommes des degrés de liaisons

M = mouvement connus (vitesse d'un moteur, mouvement imposé à zéro...)

6 nombre d'équations possibles

Nombre équations - Nombre mouvements à calculer = ν (Nu) degré d'hyperstatisme

$$6 - (6N - SLI - M) = \nu$$

$$6 \cdot (N - 1) - SLI = M - \nu$$

LOI DE MOBILITES valable pour une chaîne cinématique fermée.

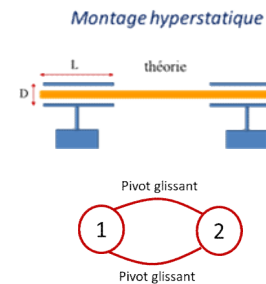
On cherche à trouver $\nu = 0$

Dans ce cas le mécanisme est dit ISOSTATIQUE et le choix des liaisons est validé.

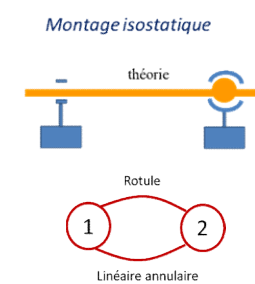
Si $\nu > 0$ alors le mécanisme est hyperstatique et l'assemblage comme le fonctionnement sont contraints (forcés).

Si $\nu < 0$ alors le mécanisme ne se tient pas, trop de mouvements sont possibles.

Exemple : conception d'un pivot



$$\begin{matrix} N = 2 \\ SLI = 8 \\ M = 2 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 6 \cdot (2 - 1) - 8 = 2 - \nu \\ \nu = 4 \end{matrix}$$



$$\begin{matrix} N = 2 \\ SLI = 5 \\ M = 1 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 6 \cdot (2 - 1) - 5 = 1 - \nu \\ \nu = 0 \end{matrix}$$

Cet exemple montre que la loi de mobilités permet de valider des choix de liaisons sans avoir besoin d'analyser en profondeur les conséquences des défauts comme précédemment.

Pression de contact dans les liaisons

Les efforts développés dans les machines se répercutent sur les pièces, et, appliqués sur les liaisons, provoquent des champs de pression sur les surfaces de contact.

La pression de contact doit rester inférieure à une limite admissible P_{adm} , valeur au-dessus de laquelle la surface du matériau constitutif est marquée (exemple du clou), ce qui provoque la détérioration immédiate du palier par déformation plastique de la surface.

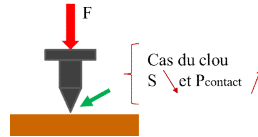
⇒ **c'est la limite avant matage.**

La valeur P_{max} est naturellement fonction de l'allure du champ de pression.

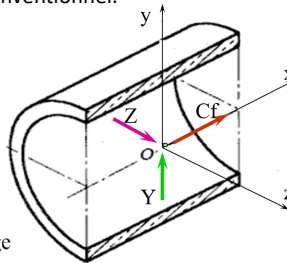
L'allure la plus simple (pression uniforme) est ici retenue. C'est le modèle conventionnel.

P_{adm} est par ailleurs fournie par les constructeurs de paliers.

On suppose donc que l'effort radial sur la liaison F est centré sur la surface de contact.



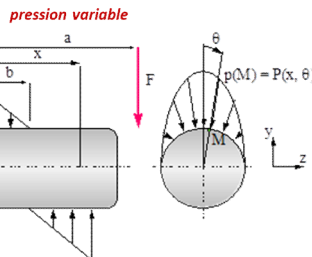
$$F = \sqrt{Y^2 + Z^2}$$



Partie supérieure se charge

Effort centré sur le contact
Pression uniforme partout

Partie inférieure se décharge
(à cause du jeu)

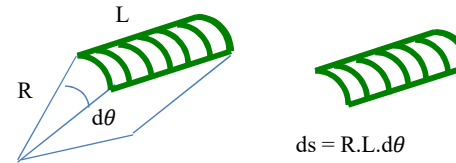


∑ Somme discrète
Addition d'un nombre fini d'éléments

∫ Somme continue
Addition d'un nombre infini d'éléments

$$\vec{F} = - \int_S p \vec{n} ds$$

ds représentant une surface élémentaire, la somme est dite double, ou encore intégrale de surface.



$$\vec{F} = \int_S p [\cos \theta * \vec{y} + \sin \theta * \vec{z}] * \vec{z} ds$$

$$\vec{F} = \int_{-P/2}^{+P/2} p [\cos \theta * \vec{y} + \sin \theta * \vec{z}] * R.L.d\theta$$

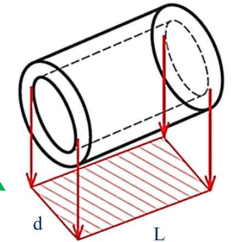
$$\vec{F} = +pRL \left[\sin \theta * \vec{y} - \cos \theta * \vec{z} \right]_{-P/2}^{+P/2}$$

$$= +pRL \left[2 * \vec{y} - 0 * \vec{z} \right] = +2pRL * \vec{y} = pLd * \vec{y}$$

Pression conventionnelle de contact dans liaison et pression de matage

$$P_{max} = \frac{F}{L.d} \leq P_{adm}$$

Surface projetée du contact cylindrique (= un rectangle)



Quel que soit la forme du contact (cylindre, sphère...) la pression moyenne, développée par une force sur lui, est égale à l'effort divisé par la surface projetée du contact.

P_{adm} est fournie par les constructeurs de paliers.

De façon plus générale, la pression obtenue dans le cas d'un champ uniforme est toujours égale à la valeur de l'effort divisée par la surface projetée du contact.

Pour une sphère (liaison rotule) de rayon r c'est un disque : $p = F/\pi.r^2...$

Surchauffe et grippage

Le grippage apparaît lorsqu'un contact glissant ou roulant entre deux surfaces devient suffisamment sévère pour que les surfaces commencent à adhérer localement l'une à l'autre, au lieu de glisser normalement.

À l'échelle macroscopique, on observe alors typiquement : augmentation du frottement → échauffement → endommagement → augmentation supplémentaire du frottement → blocage éventuel.

C'est donc un phénomène souvent auto-amplifié.

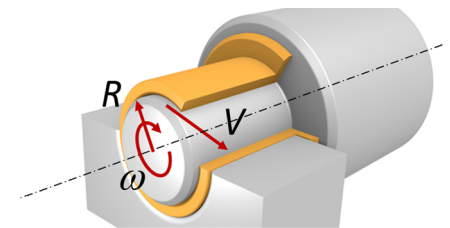
Les efforts tangents aux contacts développent un effort ou un couple de frottement qui dissipent une puissance qui ne doit pas dépasser une valeur limite au-delà de laquelle le matériau qui constitue le palier commence à fondre

⇒ **c'est la limite avant grippage.**

Cette limite est fonction de la pression de contact P et de la vitesse de glissement V ($V = \Omega.R$ si rotation).

$$P_{max}.V < K$$

Vitesse tangentielle $V = \omega . R$ [m/s]
Vitesse de rotation ω
Rayon palier R



K [W/mm²] est la **puissance aréolaire**.

C'est la puissance maximale par unité de surface que la liaison peut dissiper avant d'être détruite par échauffement. On en déduit la zone d'utilisation d'un palier...