

GUIDAGES EN ROTATION PAR PALIERS LISSES

Aspects technologiques
Éléments de dimensionnement
Conditions de montage

INTRODUCTION

Introduction

- Le contact cylindrique est omniprésent dans les mécanismes qui nous entourent car il représente souvent la solution technique la plus adaptée à la réalisation d'une articulation.
- Ces contacts cylindriques servent également souvent de base pour la réalisation de solutions de guidage en translation.



Introduction

- Ce contact cylindrique doit alors faire l'objet d'un dimensionnement, c'est-à-dire :
 - d'un choix des dimensions, des ajustements, des matériaux
 - déterminés en fonction de contraintes : caractéristiques du milieu ambiant, caractéristiques cinématiques (vitesses de translation, vitesses de rotation), caractéristiques des actions mécaniques (nature, direction, intensité, ...)
 - pour répondre aux exigences d'un cahier des charges en termes de durée de vie, de coût, etc.



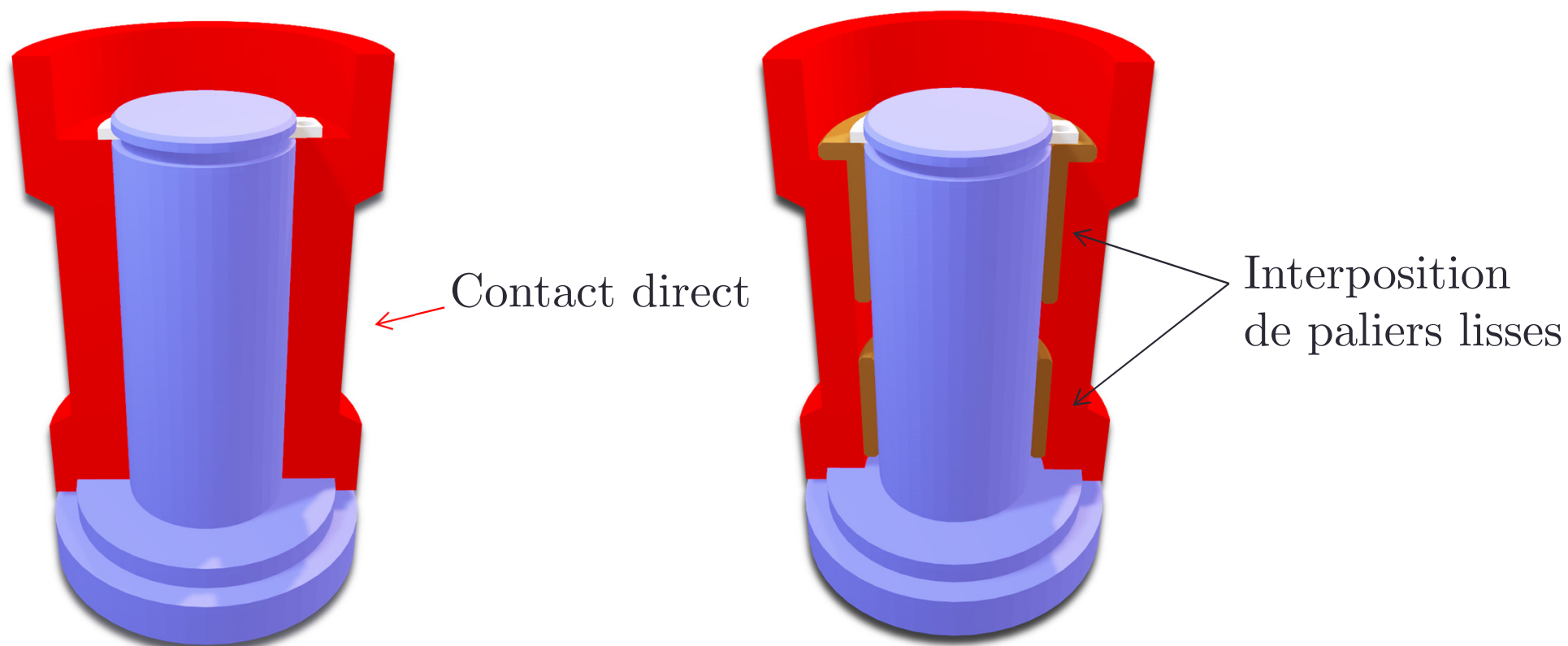
LES PALIERS LISSES

Les paliers lisses

- Les liaisons pivots par contact direct, bien que technologiquement simples et peu onéreuses, montrent leurs insuffisances dès que la fréquence de rotation ou les actions mécaniques augmentent.
- On a alors recours, là aussi dans une certaine limite de vitesse et d'efforts, à une liaison basée sur l'interposition d'éléments de friction, les paliers lisses.



Les paliers lisses



Paliers lisses – généralités

On appelle coussinets ou paliers lisses des bagues cylindriques interposées entre un arbre et un logement pour faciliter le mouvement de rotation en limitant les pertes par frottement.



Ces bagues sont de forme tubulaire, elles peuvent comporter ou non une collerette

Le matériau constitutifs sont dits anti-friction. On trouve généralement les matériaux suivants : bronze, étain, plomb, graphite, Téflon, PTFE, polyamide, utilisés à sec ou avec lubrification.

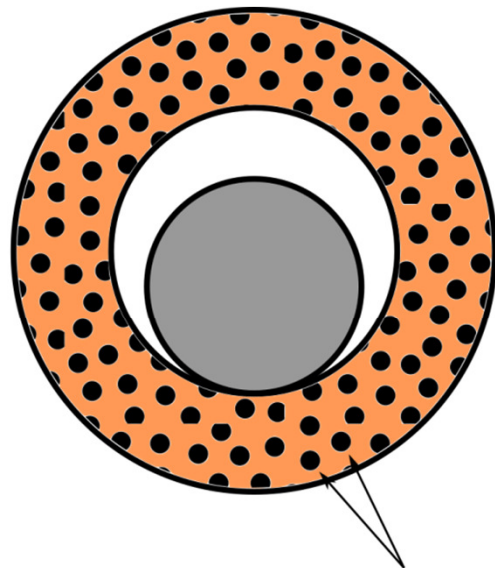


Les coussinets autolubrifiants

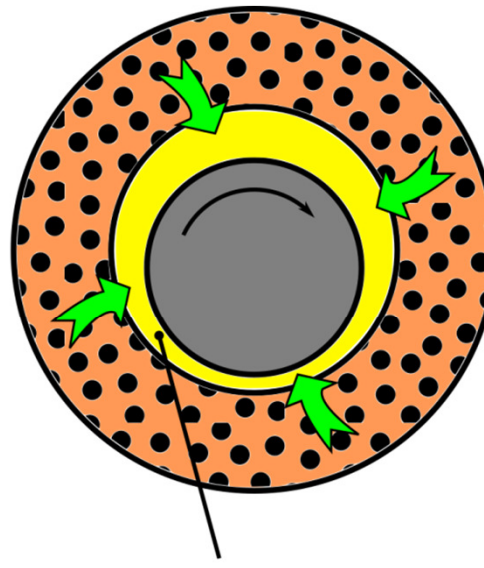
- Leur structure à partir de **métal fritté** à base de bronze leur confère un caractère poreux. Il sont alors imprégnés de **lubrifiant** liquide (huile) ou solide (graphite) qui comble les porosités.
- Le chargement du coussinet a alors pour effet de libérer une quantité d'huile qui participe à la lubrification du contact (comme une éponge).



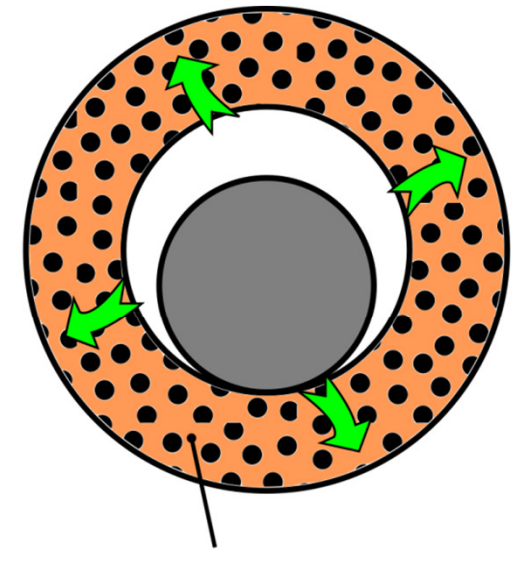
Les coussinets autolubrifiants



porosités capillaires



film d'huile



huile réabsorbée

1. Au repos
25% en volume du métal fritté à structure poreuse est imprégné à saturation avec une huile à haut pouvoir lubrifiant.

2. En rotation
L'effet d'aspiration de l'arbre en rotation et le coin d'huile créent un film hydrodynamique (coussin d'huile).

3. Arrêt
Dès l'arrêt de l'arbre, grâce aux capillarités des pores, réabsorption de l'huile dans le corps du coussinet



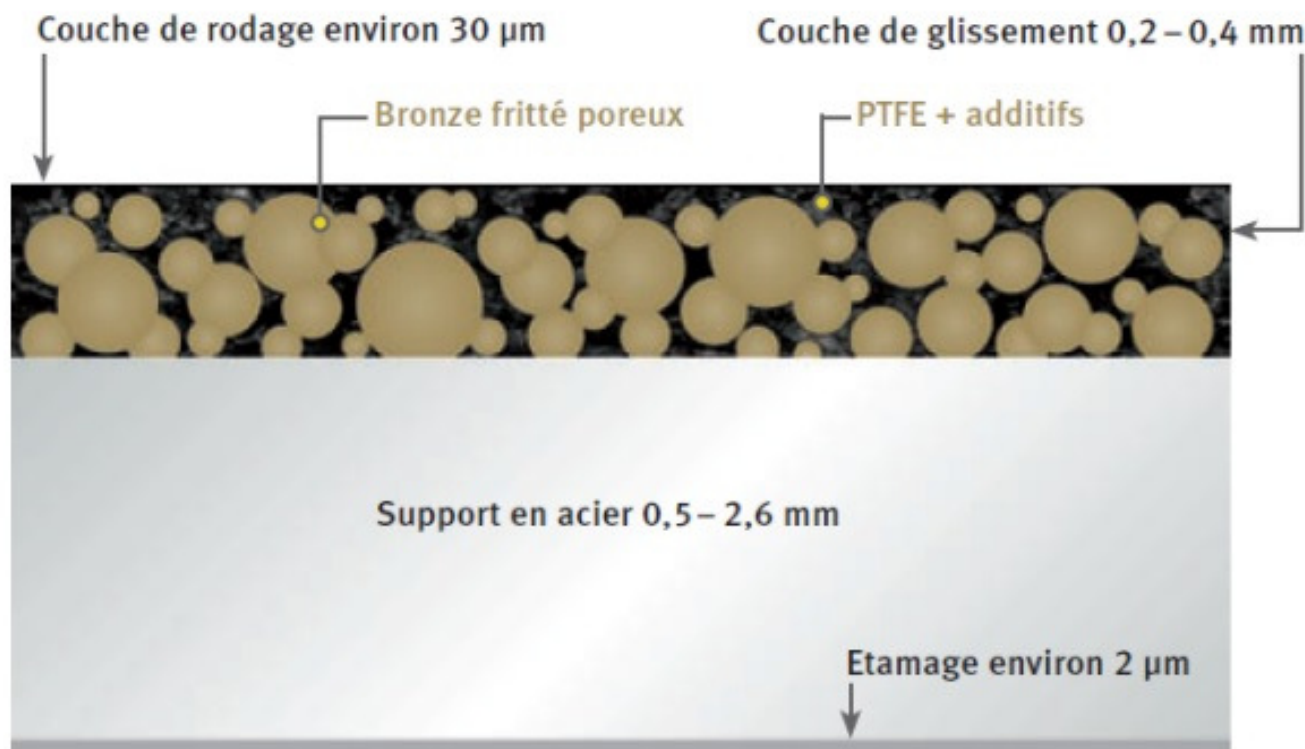
Coussinets de type Metafram

- On trouve les caractéristiques suivantes :

NUANCES	Bronze BP 25	Alliage ferreux FP 20
Equivalent AFNOR	C-T10-K140	F-00C2-K200
DIN 30 910	Sint A50	Sint A10
Masse volumique (g.cm ⁻³)	6,2	5,6
Pression Maxi (MPa)	10	22,5
Vitesse linéaire Maxi (m.s ⁻¹)	6	4
PV Maxi hydrodynamique (MPa.m.s ⁻¹) (V _{mini} : 0,5 m.s ⁻¹)	1,8	1,8
Plage de température (°C)	-5 / +90	-5 / +90
Huile d'imprégnation	MT100	MT100
Porosité ouverte minimale	23	20

Paliers lisses en composite métal/polymère

- Ces paliers sont constitués d'une armature ou support en acier et d'un revêtement facilitant le glissement, généralement un bronze fritté poreux imprégné de PTFE enrichi d'additifs.



Composition de la matière de glissement E40



Paliers lisses en composite métal/polymère

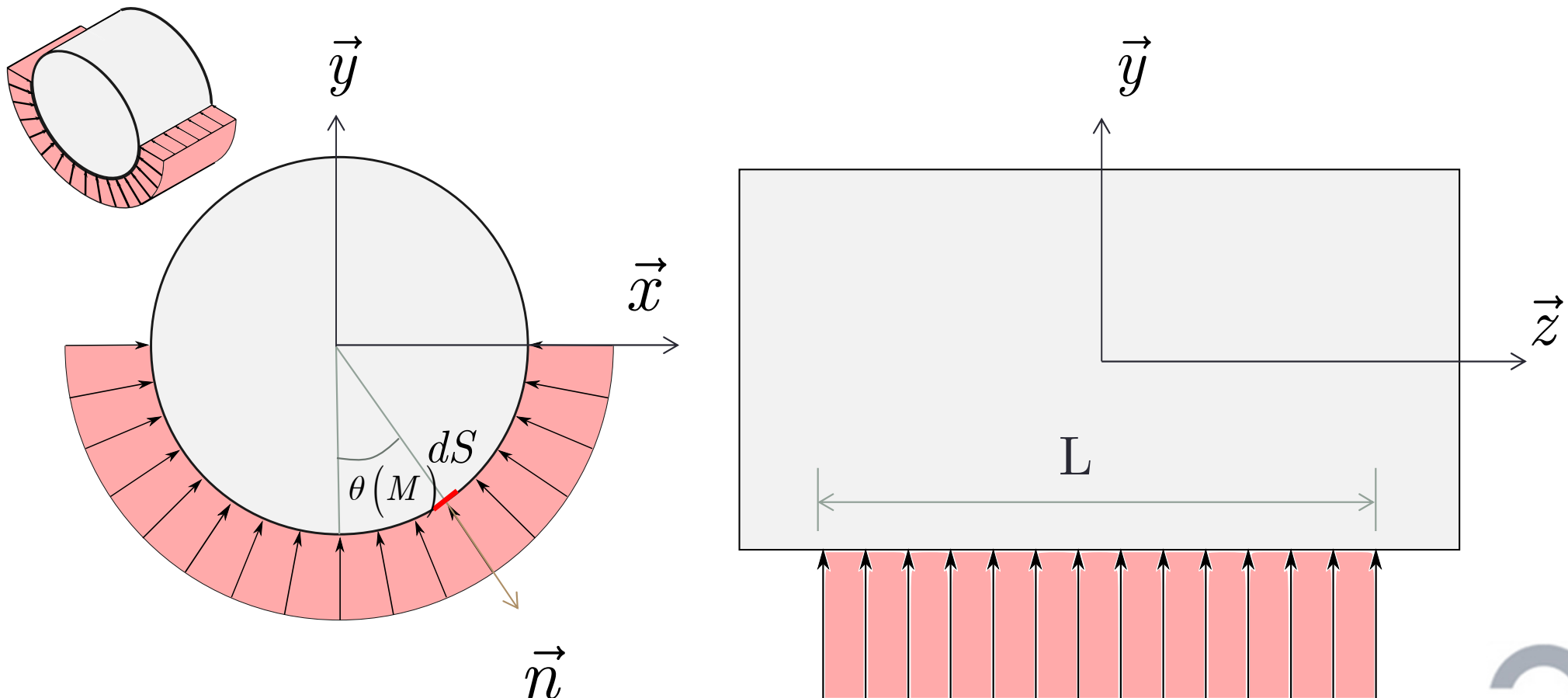
- Ces paliers sont constitués d'une armature ou support en acier et d'un revêtement facilitant le glissement, généralement un bronze fritté poreux imprégné de PTFE enrichi d'additifs.

Pression Maxi (MPa)	250
Vitesse linéaire Maxi (m.s ⁻¹)	6
PV Maxi (MPa.m.s ⁻¹)	1,8
Plage de température (°C)	-200 / +280

PRINCIPE DE DIMENSIONNEMENT

Premier modèle : pression diamétrale

- Le modèle le plus couramment considéré, y compris par la plupart des fabricants est le modèle simplifié suivant :



Premier modèle : pression diamétrale

- Le modèle le plus couramment considéré, y compris par la plupart des fabricants est le modèle simplifié suivant :
- La pression est supposée uniformément répartie sur une surface hémicylindrique.
- Le calcul de la résultante des forces de pression est indispensable pour établir la formule reliant l'effort appliqué sur le palier à la pression de contact obtenue.



Premier modèle : pression diamétrale

- Afin de déterminer la pression maximale s'exerçant sur la surface de contact, on cherche à relier l'ensemble des force de pression à l'action exercée sur l'arbre. Il s'agit donc de traduire l'équilibre des forces.
- Comme il s'agit ici de forces réparties sur une surface, pour en trouver la résultante, il faut faire une somme continue, c'est-à-dire une intégrale sur toute la surface sur laquelle ces forces sont réparties.



Premier modèle : pression diamétrale

- Dans le cas général, ces équations peuvent prendre la forme suivante :

$$\left\{ \begin{array}{c} \vec{F} \\ \vec{M}_P \end{array} \right\}_{\forall P} = \left\{ \begin{array}{c} \iint_S d\vec{F} = \iint_S (d\vec{N} + d\vec{T}) = \iint_S (-p\vec{n}dS - fp\vec{t}dS) \\ \iint_S \overrightarrow{PM} \wedge d\vec{F} = \iint_S \overrightarrow{PM} \wedge (-p\vec{n}dS - fp\vec{t}dS) \end{array} \right\}_{\forall P}$$



Détermination de la résultante des forces de pression

À la lecture des figures précédentes, on peut écrire la résultante comme l'intégrale sur la surface de contact de l'ensemble des forces de pression :

$$\vec{R} = \iint_S -p(M) \vec{n} dS$$

Avec

$$\vec{n} = \sin \theta \vec{x} - \cos \theta \vec{y} \qquad dS = R d\theta dz$$

$$p(M) = p_0$$



Détermination de la résultante des forces de pression

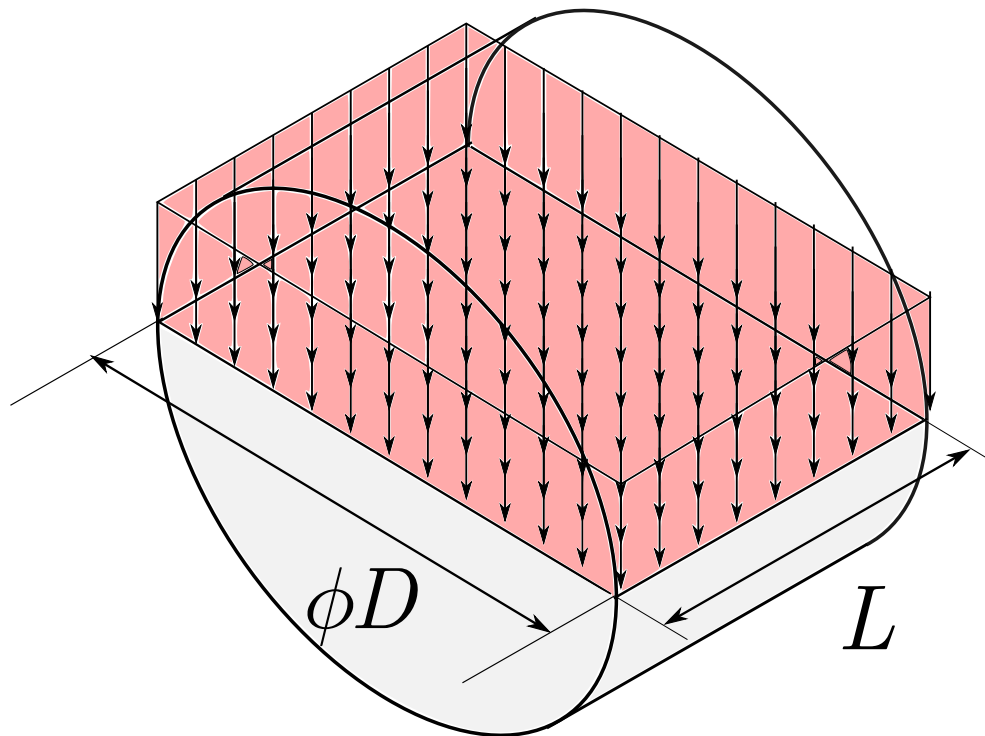
- Le calcul d'intégration donne alors :

$$\begin{aligned}\vec{R} &= -p_0 R \left(\left(\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sin \theta d\theta dz \right) \vec{x} - \left(\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta d\theta dz \right) \vec{y} \right) \\ &= 2p_0 R L \vec{y} \\ &= p_0 D L \vec{y}\end{aligned}$$



Détermination de la résultante des forces de pression

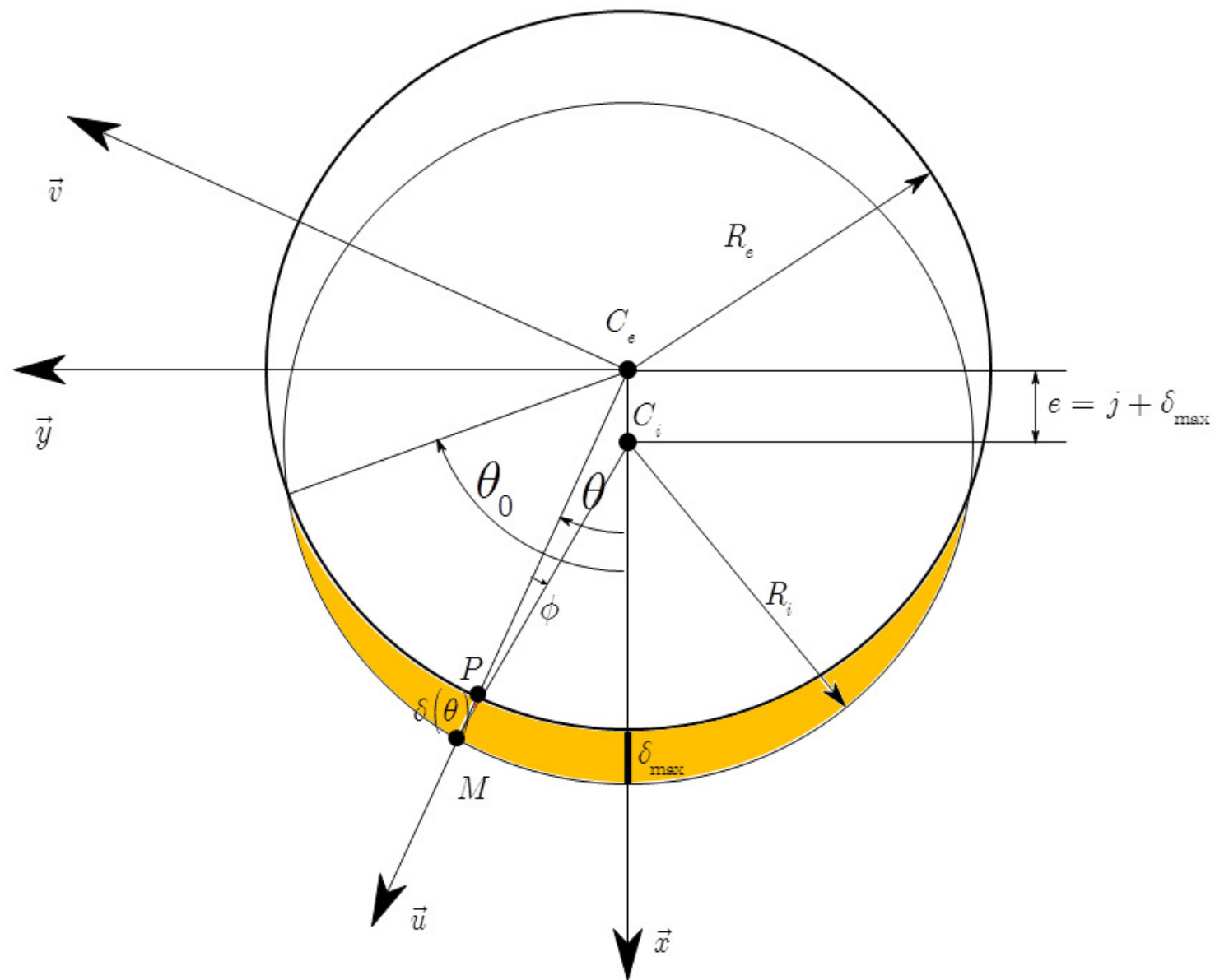
On comprend alors la notion de pression diamétrale puisque le modèle précédent équivaut à un modèle beaucoup plus simple :

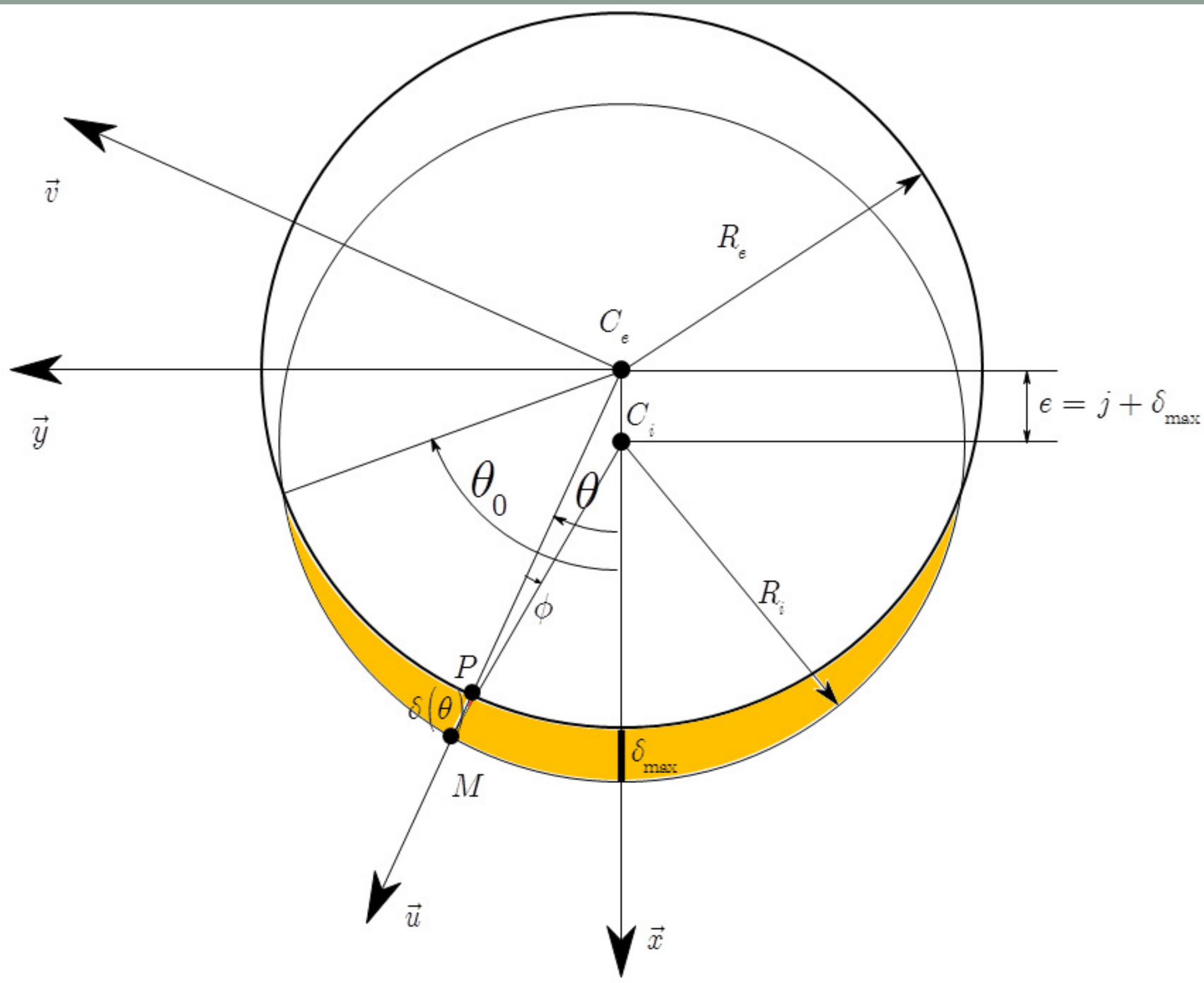


$$p_{\max} = p_0 = \frac{F_R}{LD}$$



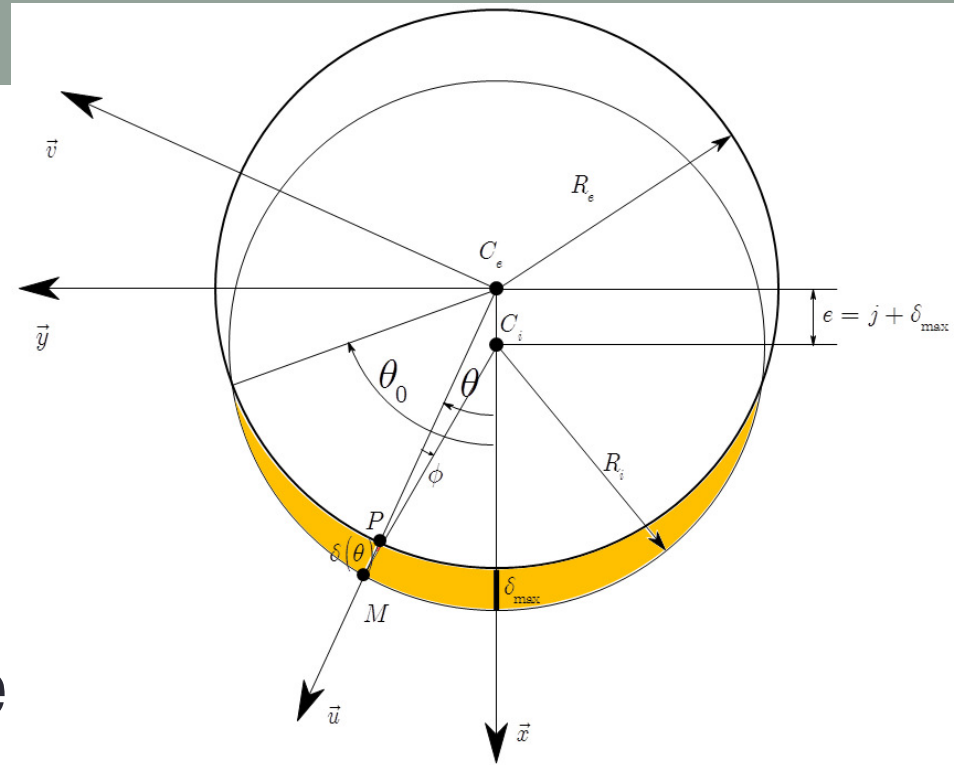
Second modèle





Second modèle

- La zone colorée représente l'intersection de deux cylindres. C'est donc l'image de la déformation supposée des deux corps au contact.
- On recherche un modèle de répartition de pression qui soit davantage l'image de cette déformation que le modèle très simplifié de la pression diamétrale.



Second modèle

- On peut montrer l'expression du déplacement en fonction du jeu :

$$\delta(\theta) = j \left(\frac{\cos \theta}{\cos \theta_0} - 1 \right)$$

- En on fait l'hypothèse que la pression de contact est proportionnelle au déplacement :

$$p(M) = K \cdot \delta(M)$$

ce qui est un modèle.



Second modèle

- L'expression de la pression est donc :

$$p(\theta) = Kj \left(\frac{\cos \theta - \cos \theta_0}{\cos \theta_0} \right)$$

- Et la pression maximale devient :

$$p_{\max} = K \delta_{\max} = Kj \frac{1 - \cos \theta_0}{\cos \theta_0}$$

- Par substitution : $p(\theta) = p_{\max} \left(\frac{\cos \theta - \cos \theta_0}{1 - \cos \theta_0} \right)$



Cas sans jeu

- En l'absence de jeu, on suppose que la pression s'exerce sur un demi cylindre.

$$\theta_0 = \frac{\pi}{2} \quad \vec{R} = \frac{p_{\max} \pi R_e L}{2} \vec{x}$$

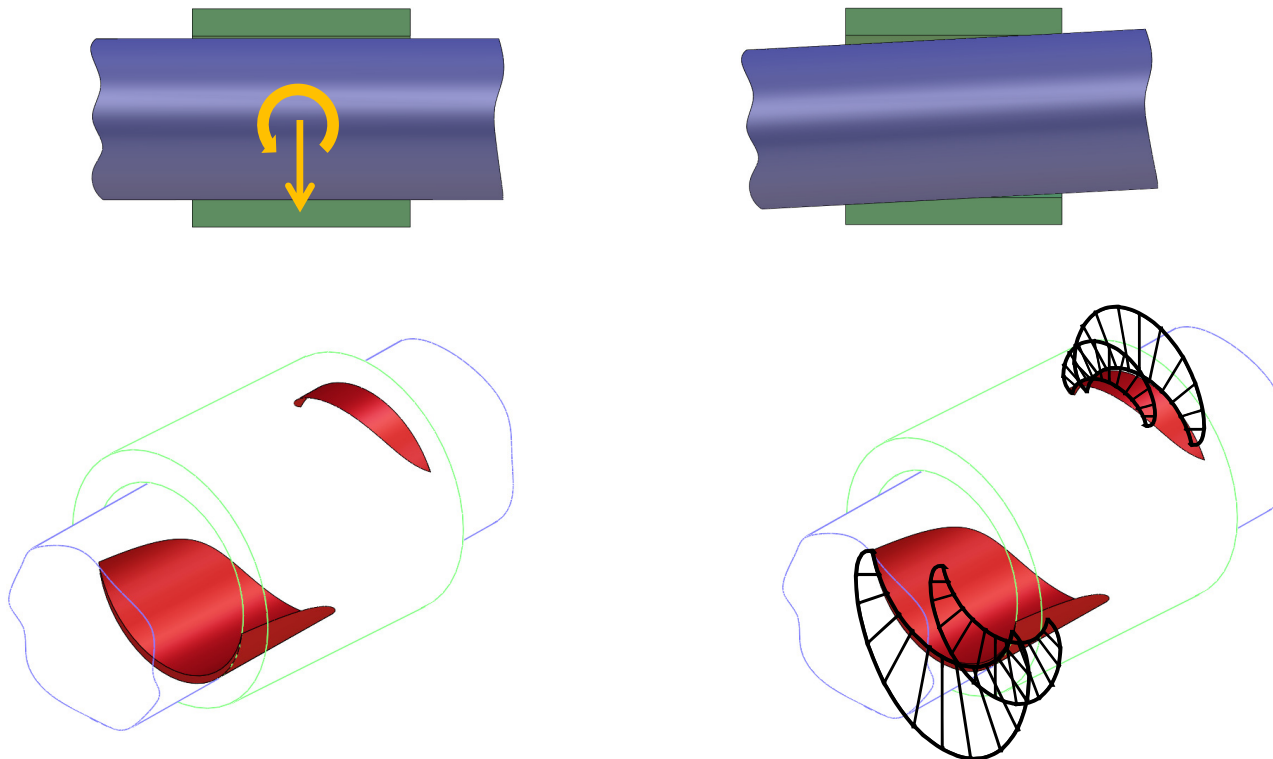
- La pression maximale se détermine alors en fonction de la force radiale :

$$p_{\max} = \frac{4F_R}{\pi L D}$$



Modèles plus complexes

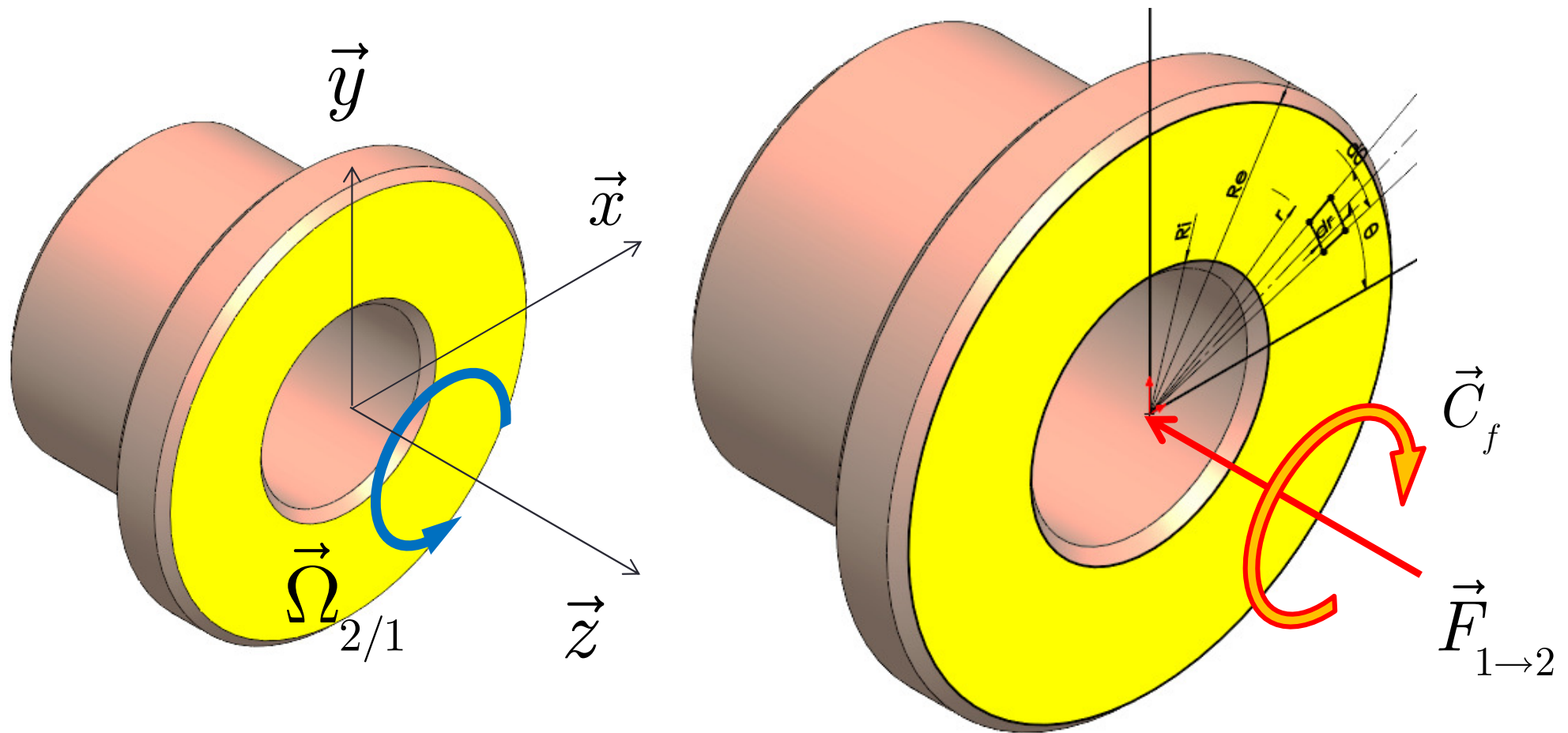
- On ne traitera pas par manque de temps de modèles plus complexes (plus réalistes), prenant par exemple en compte un moment en plus de la force radiale :

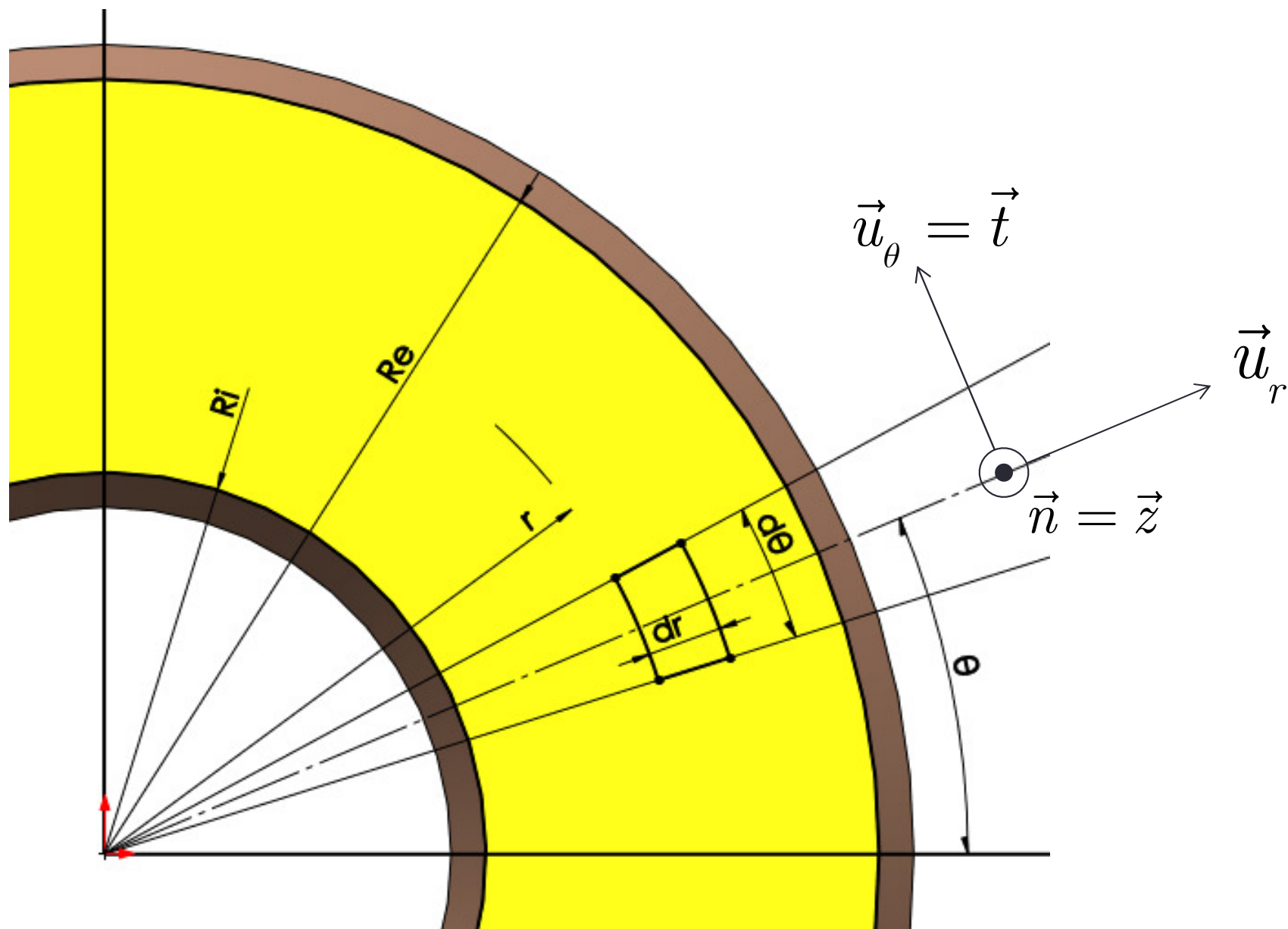


FROTTEMENT SUR UNE SURFACE ANNULAIRE

Cas des coussinets à collerette

Mise en situation





Modélisation

- La surface d'appui axiale est une surface plane. Cette surface est comprise entre deux cercles de rayons respectifs R_i et R_e .
- En considérant un coefficient de frottement f , déterminons la relation entre l'effort axial et le couple de frottement en supposant une répartition des forces de pression uniforme et une pression de contact p .

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{F} = -F\vec{z} \\ \vec{C}_f = -C_f\vec{z} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \iint_s d\vec{F} = \iint_s (d\vec{N} + d\vec{T}) = \iint_s (-p\vec{n}dS - fp\vec{t}dS) \\ \iint_s \vec{PM} \wedge d\vec{F} = \iint_s \vec{PM} \wedge (-p\vec{n}dS - fp\vec{t}dS) \end{array} \right\}_{\forall P \in (O, \vec{z})}$$



Résultats

$$F = \pi p \left(R_e^2 - R_i^2 \right)$$

$$C_f = \iint_S f p r^2 dr d\theta = \frac{2}{3} \pi f p \left(R_e^3 - R_i^3 \right)$$

$$C_f = \frac{2fF}{3} \frac{R_e^3 - R_i^3}{R_e^2 - R_i^2}$$

