Pression de contact de Hertz

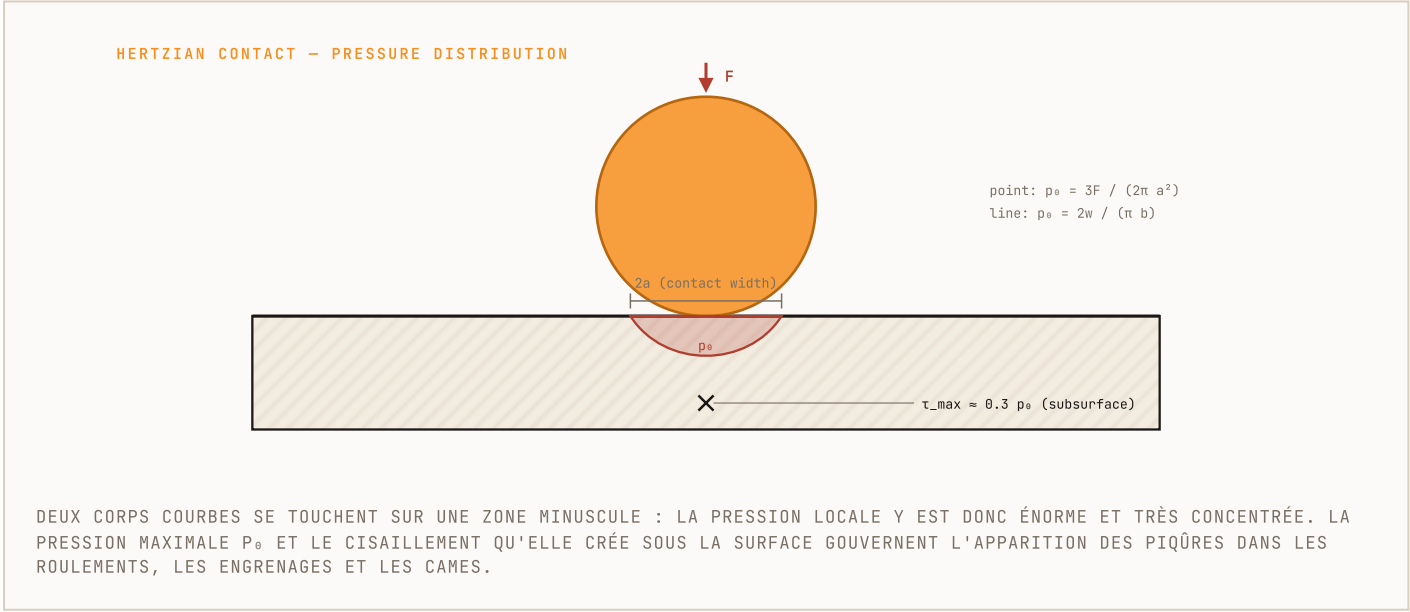
La contrainte de contact entre corps courbes — formules du contact ponctuel et du contact linéique, module et rayon équivalents, cisaillement en sous-couche à l'origine des piqûres, et pressions admissibles.

RÉVISION	PUBLICATION	RESPONSABLE	COMPLÉMENT
1.0	June 2026	Ingénierie Ideambox	Référence PDF

RÉSUMÉ

Lorsque des corps courbes entrent en contact — une bille sur son chemin de roulement, une dent sur la dent conjuguée, une came sur son galet, une roue sur un rail —, ils se touchent sur une surface très réduite : la contrainte locale (hertzienne) est donc bien plus élevée que ne le laisse supposer la charge nominale. La pression de contact maximale et le cisaillement qu'elle engendre juste sous la surface sont ce qui limite les éléments roulants.

La section 1 explique le contact de Hertz. La section 2 traite du contact ponctuel (sphères/billes). La section 3 traite du contact linéique (cylindres/rouleaux). La section 4 présente le module et le rayon équivalents. La section 5 couvre le cisaillement en sous-couche et la contrainte admissible. La section 6 regroupe des notes de conception et une liste de contrôle.



DEUX CORPS COURBES SE TOUCHENT SUR UNE ZONE MINUSCULE : LA PRESSION LOCALE Y EST DONC ÉNORME ET TRÈS CONCENTRÉE. LA PRESSION MAXIMALE P_0 ET LE CISAILLEMENT QU'ELLE CRÉE SOUS LA SURFACE GOUVERNENT L'APPARITION DES PIQÛRES DANS LES ROULEMENTS, LES ENGRENAGES ET LES CAMES.

SOMMAIRE

1. Qu'est-ce que le contact de Hertz
2. Contact ponctuel (sphères / billes)
3. Contact linéique (cylindres / rouleaux)
4. Module et rayon équivalents
5. Cisaillement en sous-couche et contrainte admissible
6. Notes de conception et liste de contrôle

1. Qu'est-ce que le contact de Hertz

Deux surfaces courbes non conformes pressées l'une contre l'autre se déforment élastiquement et forment une petite zone de contact — un disque (contact ponctuel) ou une bande étroite (contact linéique). Sur cette zone, la répartition de pression est **semi-elliptique**, avec un maximum $\mathbf{p_0}$ au centre. La surface étant minuscule, p_0 est très élevée, et la contrainte de cisaillement maximale se situe légèrement **sous** la surface — c'est là que s'amorce la fatigue de contact de roulement (piqûres/écaillage).

p_0	Pression de contact maximale (au centre) — la valeur à vérifier
`Contact ponctuel`	Bille sur plan / bille dans un chemin de roulement / sphère sur sphère → zone circulaire de rayon a
`Contact linéique`	Cylindre sur plan / rouleau dans un chemin de roulement → bande de demi-largeur b, charge linéique w
`E*`	Module d'élasticité équivalent (réduit) combinant l'élasticité des deux corps
`R*`	Rayon équivalent (relatif) combinant les courbures des deux corps

2. Contact ponctuel (sphères / billes)

Pour deux sphères (ou une bille sur un plan, $R_2 \to \infty$) :

- Rayon de contact $a = (3\ F\ R^*\ /\ 4\ E^*)^{1/3}$
- Pression maximale $p_0 = 3\ F\ /\ (2\ \pi\ a^2)$ (= 1.5 × la pression moyenne)

p_0 n'augmente qu'avec la **racine cubique** de la charge : doubler la charge n'élève la pression maximale que d'environ 26 % — mais elle croît rapidement lorsque le rayon diminue, d'où les fortes contraintes sur les petites billes et les bombés prononcés.

3. Contact linéique (cylindres / rouleaux)

Pour deux cylindres parallèles portant une charge linéique `w = F / L` :

- Demi-largeur de contact `b = √(4 w R* / (π E*))`
- Pression maximale `p₀ = 2 w / (π b) = √(w E* / (π R*))`

Le contact linéique répartit la charge le long du rouleau : à charge totale égale, il donne une p_0 plus faible que le contact ponctuel — c'est pourquoi un roulement à rouleaux porte davantage qu'un roulement à billes de même taille. Attention aux **effets de bord** : un défaut d'alignement concentre w aux extrémités du rouleau, d'où le bombé des rouleaux.

4. Module et rayon équivalents

Les deux corps en contact se partagent la déformation, combinée ainsi :

- $\frac{1}{E^*} = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2}$
- $\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2}$

  prendre **+** pour deux surfaces convexes, **−** pour un corps convexe dans un corps concave (une bille dans son chemin de roulement), ce qui rend R^* grand et réduit la contrainte.

Ainsi, une bille logée dans une gorge de chemin de roulement conforme est bien moins sollicitée que la même bille sur un plan. Acier sur acier : $E^* \approx 113$ GPa ($E = 207$ GPa, $\nu = 0.3$ pour chacun).

5. Cisaillement en sous-couche et contrainte admissible

- Le **cisaillement maximal** vaut ≈ **0.30 · p_0** et se situe à environ **0.48 a** (ponctuel) ou **0.78 b** (linéique) sous la surface. Les fissures de fatigue de roulement s'y amorcent puis remontent vers la surface sous forme de piqûres.

- **Limite statique (brinelling) :** l'empreinte permanente apparaît vers p_0 ≈ 4000–4200 MPa pour un acier à roulement trempé
  c'est la base de la capacité de charge statique de base C_0.

- **Limite en fatigue (piqûres) :** bien plus basse ; les flancs de denture et chemins de roulement cémentés sont généralement dimensionnés pour une pression de contact de ~1300–1700 MPa en longue durée (selon ISO 6336 / durée L10 des roulements).

SITUATION	P_0 LIMITE INDICATIVE
Acier à roulement trempé, statique (brinelling)	~4000–4200 MPa
Flanc de denture cémenté, longue durée	~1300–1700 MPa
Acier trempé à cœur, nombre de cycles modéré	~1000–1400 MPa

Valeurs indicatives — pour la durée de vie réelle, utiliser l'ISO 6336 (engrenages) ou les capacités L10 des roulements.

6. Notes de conception et liste de contrôle

- **Réduire p_0** en augmentant le rayon équivalent (bombé, gorges conformes), en passant à un contact linéique ou en diminuant la charge.
- **Relever la limite** avec un acier plus dur et plus propre (cémentation, faible taux d'inclusions) et un bon film d'huile EHD (un film complet allonge considérablement la durée de vie vis-à-vis des piqûres).
- **Soigner la propreté en sous-couche**
  les inclusions situées à la profondeur du cisaillement maximal sont des amorces de fissures ; c'est pourquoi les aciers à roulement sont dégazés sous vide.
- **Liste de contrôle :** déterminer E* et R* → calculer a/b et p_0 (ponctuel ou linéique) → comparer à la limite statique (brinelling) et à la limite en fatigue (piqûres) pour le matériau et la durée visée → si la valeur est trop élevée, ajouter bombé/conformité, durcir ou améliorer la lubrification. À utiliser avec les références
  Roulements
  ,
  Engrenages
  et
  Fatigue
  .

This document is also a web page, kept up to date:
https://ideambox.com/fr/downloads/hertz-contact-stress/

Designing something that needs this? ideambox.com/contact