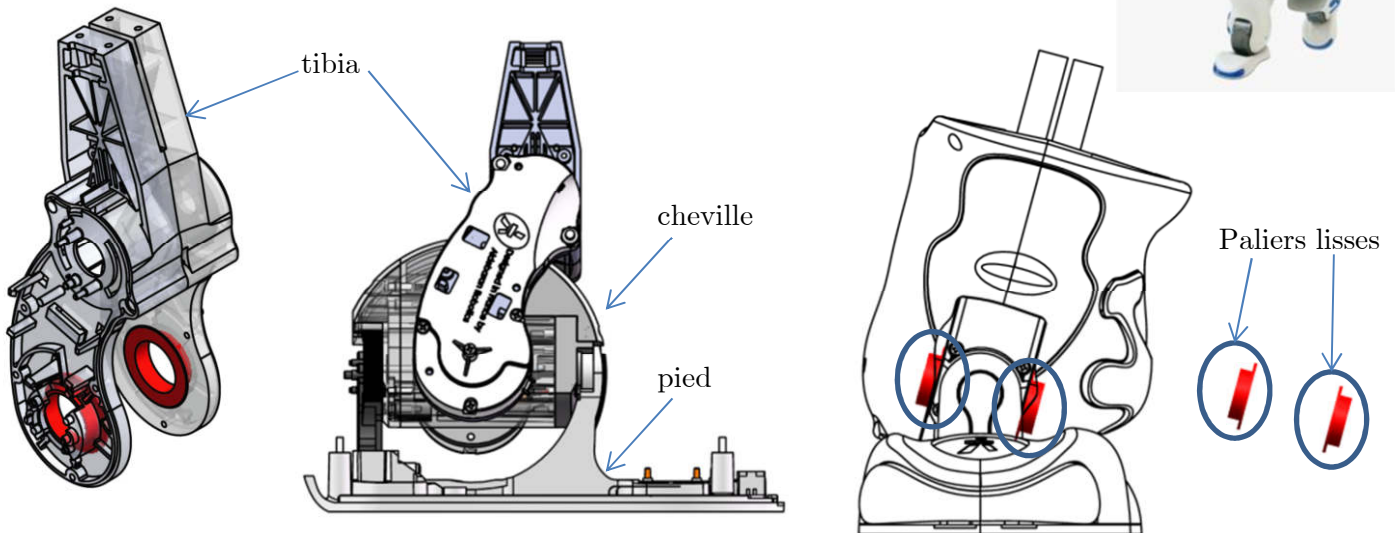


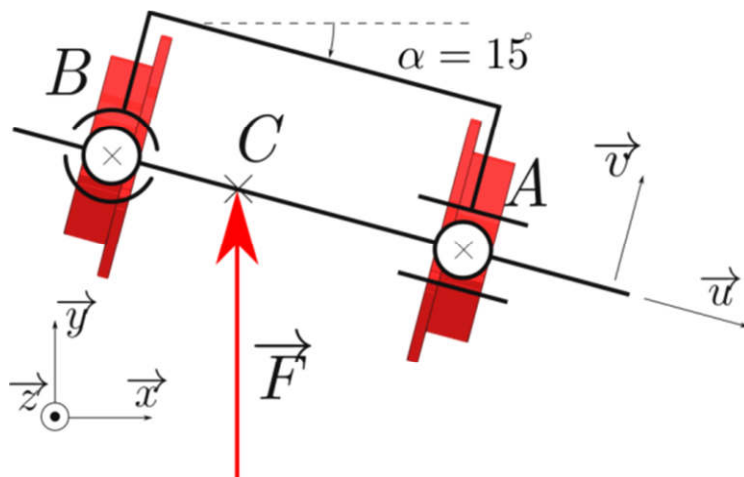
Articulation cheville-tibia du robot NAO

On ne présentera pas ici le robot NAO déjà largement médiatisé. L'objet de l'étude est la liaison pivot entre le tibia et la cheville du robot, particulièrement sollicitée lorsque le robot est en équilibre sur un pied. Cette liaison est réalisée par deux paliers lisses à colerette IGUS.



Étude préliminaire : détermination du chargement statique

On suppose que la position d'équilibre du robot sur un pied correspond à une inclinaison de 15° du tibia. La résultante des actions du sol sur le pied est rapportée au point C indiqué sur la figure. La liaison pivot cheville-tibia est modélisée par l'association d'une liaison rotule de centre B et d'une liaison linéaire annulaire de centre A .



On donne les caractéristiques suivantes :

$$AB = 33,6 \text{ mm}$$

$$CB = 12 \text{ mm}$$

$$\vec{F} = 52\vec{y} \text{ (N)}$$

Les dimensions du palier sont :

- diamètre intérieur : 15 mm
- longueur : 5 mm

Q1. Justifier le choix de cette modélisation en rotule + linéaire annulaire

Le rapport L/D est faible, nous sommes dans le cas d'un centrage court. La modélisation en liaison linéaire annulaire est donc justifiée. Compte tenu de la direction de l'effort, l'appui se fait sur la collerette du palier de centre B . Celui-ci doit donc être modélisé par une liaison linéaire annulaire plus un arrêt axial, c'est-à-dire une liaison rotule.

Q2. Déterminer l'effort radial dans la liaison linéaire annulaire, l'effort radial dans la rotule et l'effort axial dans la rotule. Quel palier (de centre A ou de centre B) subit-il l'effort radial le plus grand ?

$$F \cos \alpha - F_{rA} - F_{rB} = 0 \quad F_{rA} = 17,9N$$

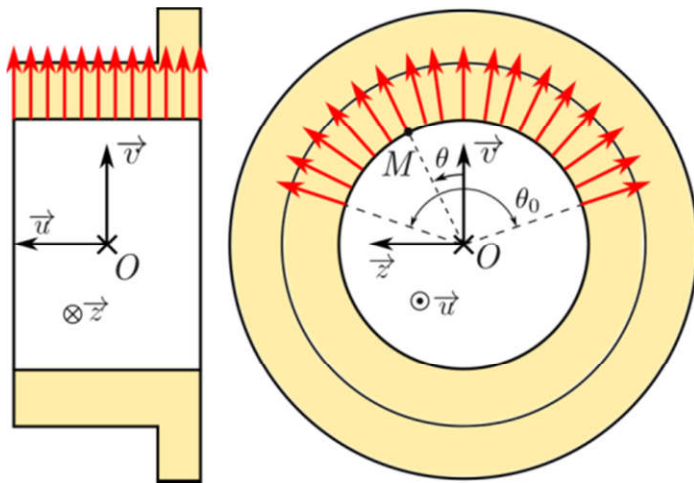
$$-F \sin \alpha + F_{aB} = 0 \quad F_{rB} = 32,3N$$

$$BC.F \cos \alpha = AB.F_{rA} \quad F_{aB} = 13,5N$$

C'est le palier de centre B qui subit l'effort radial le plus grand.

Quelle que soit la valeur trouvée, on prendra pour la suite $F_r = 35 \text{ N}$ (\vec{F}_r porté par \vec{v}) et $F_a = 18 \text{ N}$ comme effort radial et axial sur le palier le plus chargé.

Détermination de la pression superficielle de contact



Pour prendre en considération le jeu radial de fonctionnement dans les paliers, on se propose de modifier légèrement le traditionnel dimensionnement à la pression diamétrale en introduisant un angle de contact différent de π comme l'indique la figure ci-contre représentant les forces de pression sur le palier le plus sollicité. On conserve néanmoins une hypothèse de pression uniforme, notée p_0 .

Q3. Écrire la composante normale de la force élémentaire de contact $d\vec{N}(M)$ s'appliquant au point M sur une surface infinitésimale dS , en projection sur la base $(\vec{u}, \vec{v}, \vec{z})$

$$d\vec{N}(M) = -p_0 \vec{n} dS = p_0 R d\theta dz (\cos \theta \vec{v} + \sin \theta \vec{z})$$

Q4. Écrire la relation entre la force élémentaire $d\vec{N}(M)$ et la force radiale F_r définie précédemment.

$$F_r \vec{v} = \int_S d\vec{N}(M) = p_0 R \int_S (\cos \theta \vec{v} + \sin \theta \vec{z}) d\theta dz$$

Q5. En déduire la relation entre F_r , la pression p_0 et les caractéristiques géométriques

$$F_r \vec{v} = p_0 RL \left(\left(\int_{-\frac{\theta_0}{2}}^{\frac{\theta_0}{2}} \cos \theta d\theta \right) \vec{v} + \left(\int_{-\frac{\theta_0}{2}}^{\frac{\theta_0}{2}} \sin \theta d\theta \right) \vec{z} \right) = 2p_0 RL \sin \frac{\theta_0}{2} \vec{v}$$

$$p_0 = \frac{F_r}{DL \sin \frac{\theta_0}{2}}$$

Q6. Retrouver, en choisissant la valeur appropriée de θ_0 , la formule de pression diamétrale : $p_0 = \frac{F_r}{D.L}$

$$\text{Pour } \theta_0 = \pi, F_r = 2p_0 RL = p_0 DL$$

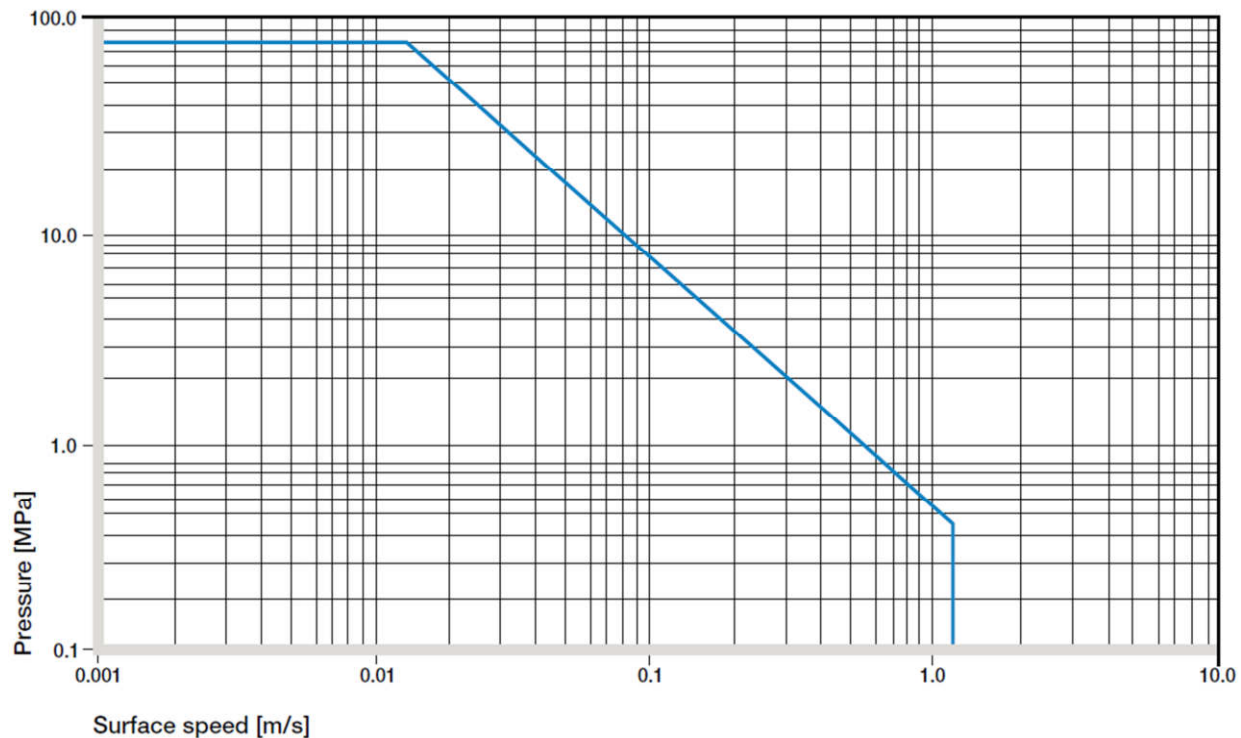
Pour la suite, en cas d'échec à la question 5, vous pourrez utiliser la formule de pression diamétrale.

Q7. Calculer p_0 pour $\theta_0 = 180^\circ$ et $\theta_0 = 160^\circ$.

$$\text{Pour } 180^\circ : p_0 = 0,467 \text{ MPa et pour } 160^\circ, p_0 = 0,473 \text{ MPa}$$

Validation du dimensionnement

Le fabricant de paliers lisses fournit le graphe suivant :



Graph 01: Permissible pv values for iglidur® G with a wall thickness of 1 mm dry running against a steel shaft at +20°C, mounted in a steel housing

Q8. Déterminer par lecture du graphe les valeurs approximatives des trois critères de dimensionnement d'un palier lisse.

Le graphe permet d'identifier la pression maximale (72 MPa), la vitesse de glissement maximale ($1,1 \text{ m.s}^{-1}$) et le produit pV maximal ($0,8 \text{ MPa.m.s}^{-1}$)

Q9. Ce palier peut-il être implanté ? Justifier.

Nous sommes en statique, seul le critère de pression peut être observé. Le palier valide ce critère

Implantation d'un montage de roulements

On souhaite étudier la faisabilité de remplacer le montage de paliers lisses par un montage de roulements. Pour limiter les modifications, on garde le diamètre de l'axe central (15 mm) et on s'oriente vers le roulement le plus petit possible. On choisira le roulement dans la documentation fournie en annexe.

Q10. Expliquer en quoi la modélisation précédente en rotule+linéaire annulaire reste valable si les paliers sont remplacés par des roulements à billes.

L'angle de déversement des roulements permet de modéliser un roulement comme une liaison linéaire annulaire.

Q11. Expliquer en quelques mots à quoi correspondent les coefficients C et C_0 fournis dans la documentation.

La charge dynamique de base permet de déterminer la durée de vie du roulement tandis que la charge statique permet de valider la capacité du roulement à résister au chargement en l'absence de mouvement.

Q12. À l'aide de l'extrait de documentation fournie, calculer la charge dynamique équivalente.

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{18}{1260} = 0,014 \text{ et } \frac{F_a}{F_r} = \frac{18}{35} = 0,514 \text{ on a donc } e = 0,19 \text{ et } \frac{F_a}{F_r} > e$$

$$\text{On trouve } P = XF_r + YF_a = 0,56.35 + 2,3.18 = 61N$$

Q13. Quelle est la durée de vie (en millions de tours) du roulement si l'on considère que le robot est en mouvement ?

La durée de vie en millions de tours se détermine grâce à la charge dynamique équivalente et la charge dynamique de base du roulement.

$$\text{On a } L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^n = \left(\frac{2080}{61} \right)^3 \simeq 39600.10^6 tr$$

Q14. Quelles sont les bagues des roulements qui devront être montées serrées ? Justifier.

Selon la règle, on monte serrées les bagues mobiles par rapport à la direction de la charge.

Dans notre cas, la charge est constamment selon \vec{y} et les bagues intérieures sont liées à la cheville. Ce sont donc les bagues extérieures, liées au tibia, qui devront être montées serrées.

Q15. Représenter à main levée le montage de roulement pour respecter les conditions de montage et en veillant à assurer la montabilité et la démontabilité. Vous nommerez les composants utilisés pour réaliser les arrêts axiaux.

