

Consignes générales

- L'énoncé comporte 5 pages et 3 questions indépendantes. Vous répondrez de façon manuscrite sur des feuilles blanches ou quadrillées. Ces feuilles seront ensuite scannées et assemblées.
- Vous rendrez vos copies sous forme **d'un seul fichier PDF**, scanné lisiblement, comme pour vos projets par le passé. Le fichier portera le nom « type » : S000000_NOM_PRENOM_EXAMEN.pdf, dans lequel vous remplacerez les éléments NOM, PRENOM, S000000 par vos propres éléments d'identification
- Dès que vous aurez fini l'examen, **et ce avant 12h30 impérativement**, transmettez-nous votre document PDF à l'adresse habituelle de téléversement pour ce cours : <https://caxfem.org/upload/> . En cas de problème (réseau), attendez quelques dizaines de secondes et recommencez. **Uniquement si cela ne fonctionne pas du tout**, envoyez votre réponse à eric.bechet@uliege.be.
- En cas de problème manifeste dans une question, contactez par courriel :
Pour la Q1 : eric.bechet@uliege.be Q2 : p.duysinx@uliege.be Q3 : jlbozet@uliege.be

1) Calculs d'avant projet

Soit un arbre d'hélice d'un navire de diamètre $d=50$ mm soumis à un moment de flexion maximal $M_f=48$ Nm. Cet arbre doit transmettre une puissance de 10 kW à 1500 tr/min. De plus il est soumis à une poussée axiale de 2500 N. L'arbre est fabriqué en acier St70 ($R_e=370$ MPa).

On demande :

- Le moment de torsion maximal M_t
- La tension admissible de comparaison R_{adm} si on prend un coefficient de sécurité de 1,8.
- Les contraintes de comparaison de Von Mises et de Tresca au point le plus sollicité.
- Si on ignore la poussée axiale, le D_{SER} pour les moments de flexion et de torsion.
- Le D_{SER} si on utilise la formule des arbres de manèges.

2) Dimensionnement d'engrenages

Une locomotive de manœuvre est motorisée sur chaque essieu par un moteur Diesel multi-cylindre développant 100 kW à la vitesse de rotation 2200 tr/min. La transmission hydrostatique entre le moteur Diesel et les essieux est équivalente à une boîte de vitesses de rapport de réduction de $i_r=22,5$. En plus de la boîte de vitesses, une paire d'engrenages assure une réduction finale supplémentaire de réduction $i_g=1,8$ (à une erreur près de 3%). La roue de la paire d'engrenages est frettée sur l'essieu tandis que le pignon est rapporté sur l'arbre de sortie de la transmission hydrostatique.

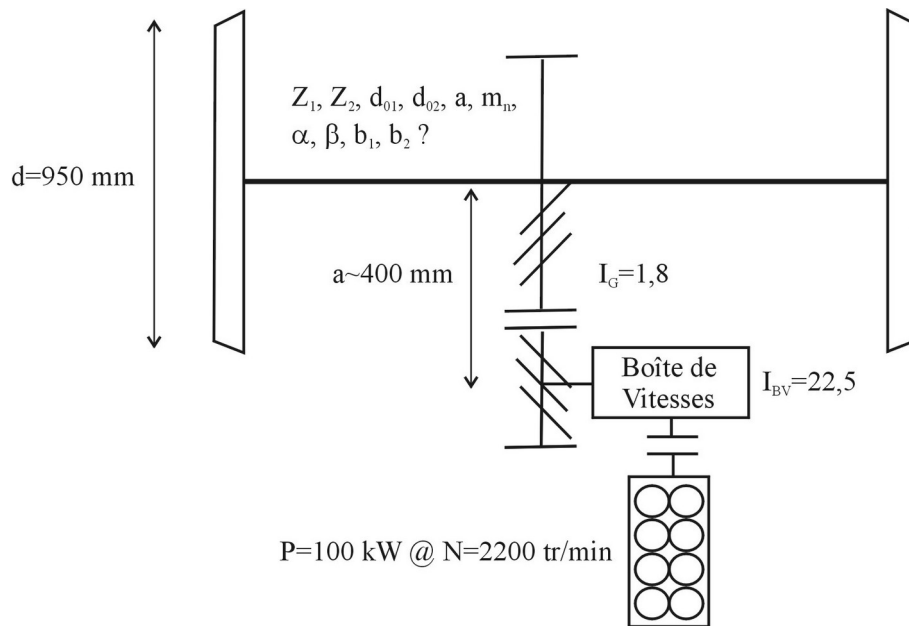


Fig. 1 : Essieu de locomotive de manœuvre

Lorsque le moteur Diesel tourne à 2200 tr/min, la locomotive avance à une vitesse 2,70 m/s (9,72 km/h).

Le diamètre des roues est de 950 mm.

La locomotive fonctionne moins de 12 heures par jour et elle est conçue pour fonctionner au moins 25.000 heures.

Le moteur est mené avec des chocs caractérisés.

Le réducteur final possède une denture hélicoïdale d'angle β à calculer. L'angle de pression est normalisé $\alpha_0=20^\circ$.

On demande de **dimensionner par la méthode ISO simplifiée** la paire d'engrenages du réducteur final placé sur l'essieu.

On essaiera de trouver un entraxe a aussi proche que possible de 400 mm.

Lors des choix à poser, on cherchera en priorité à diminuer le coût de fabrication : séries normalisées, arrondis des dimensions et angles visant à faciliter l'usinage, matériau le moins cher, réduction du volume de matière première...

On demande de

1. Calculer la vitesse de rotation n_1 du pignon du réducteur final en tr/s
2. Choisir la classe de matériau et de procédé de fabrication pour les roues dentées en mécanique générale
3. Choisir les caractéristiques des roues dentées du réducteur final : les modules normalisés m_n et tangent m_t , les nombres de dents Z_1 et Z_2 , le rapport de réduction réel $i_{\text{réel}}$, les diamètres primitifs d_{01} et d_{02} , l'entraxe a , l'angle de pression α_0 et l'angle d'hélice β , les largeurs des roues dentées b_1 et b_2).

Les réponses doivent contenir les éléments suivants :

- Les caractéristiques des dentures proposées : $Z_1, Z_2, d_{01}, d_{02}, m_n, m_t, i_{\text{réel}}, a, b_1, b_2$, l'angle de pression α_0 et l'angle d'hélice β .
- Un rapport clair et complet sur les calculs effectués, y compris les données des tables et abaques utilisées pour effectuer le dimensionnement.

ANNEXES À LA QUESTION 2

Tableau LII
Module métrique m , pas primitif p et pas de base p_b

| Modules 0,5 à 1,5 | | | Modules 2 à 6 | | | Modules 8 à 25 | | |
|-------------------|-----------|-----------|---------------|------------|------------|----------------|-----------|-----------|
| m | p | p_b | m | p | p_b | m | p | p_b |
| 0,5 | 1,570 796 | 1,476 066 | 2 | 6,283 185 | 5,904 263 | 8 | 25,132 74 | 23,617 05 |
| 0,6 | 1,884 956 | 1,771 279 | 2,5 | 7,853 982 | 7,380 329 | 10 | 31,415 93 | 29,521 31 |
| 0,8 | 2,513 274 | 2,361 705 | 3 | 9,424 778 | 8,856 394 | 12 | 37,699 11 | 35,425 58 |
| 1 | 3,141 593 | 2,952 131 | 4 | 12,566 371 | 11,808 526 | 16 | 50,265 48 | 47,234 10 |
| 1,25 | 3,926 991 | 3,690 164 | 5 | 15,707 963 | 14,760 657 | 20 | 62,831 85 | 59,042 63 |
| 1,5 | 4,712 389 | 4,428 197 | 6 | 18,849 556 | 17,712 789 | 25 | 78,539 82 | 73,803 29 |

Série de Renard des modules normalisés

| | I | | II | | III | |
|---|------|------|------|------|------|------|
| | a | b | a | b | a | b |
| A | 1 | 1,16 | 1,25 | 1,45 | 1,5 | 1,75 |
| B | 1,25 | 1,45 | 1,5 | 1,75 | 1,75 | 2,25 |
| C | 1,5 | 1,75 | 1,75 | 2,25 | 2,25 | 2,85 |

Méthode ISO. Valeurs des facteurs d'application K_A .

| | I | | II | | III | | IV | |
|----------------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| | K_i | z_∞ | K_i | z_∞ | K_i | z_∞ | K_i | z_∞ |
| $v \leq 5$ m/s | $1,60 \cdot 10^4$ | 21 | $2,95 \cdot 10^4$ | 28 | $3,31 \cdot 10^4$ | 29 | $4,05 \cdot 10^4$ | 30 |
| $5 < v \leq 10$ m/s | $1,76 \cdot 10^4$ | 21 | $3,24 \cdot 10^4$ | 28 | $3,77 \cdot 10^4$ | 30 | $4,63 \cdot 10^4$ | 29 |
| $10 < v \leq 15$ m/s | $1,88 \cdot 10^4$ | 21 | $3,43 \cdot 10^4$ | 28 | $4,15 \cdot 10^4$ | 31 | $5,16 \cdot 10^4$ | 32 |
| $15 < v \leq 30$ m/s | $1,98 \cdot 10^4$ | 21 | $3,65 \cdot 10^4$ | 27 | $4,63 \cdot 10^4$ | 31 | $5,79 \cdot 10^4$ | 32 |
| $30 < v \leq 50$ m/s | $2,16 \cdot 10^4$ | 22 | $3,95 \cdot 10^4$ | 27 | - | - | - | - |

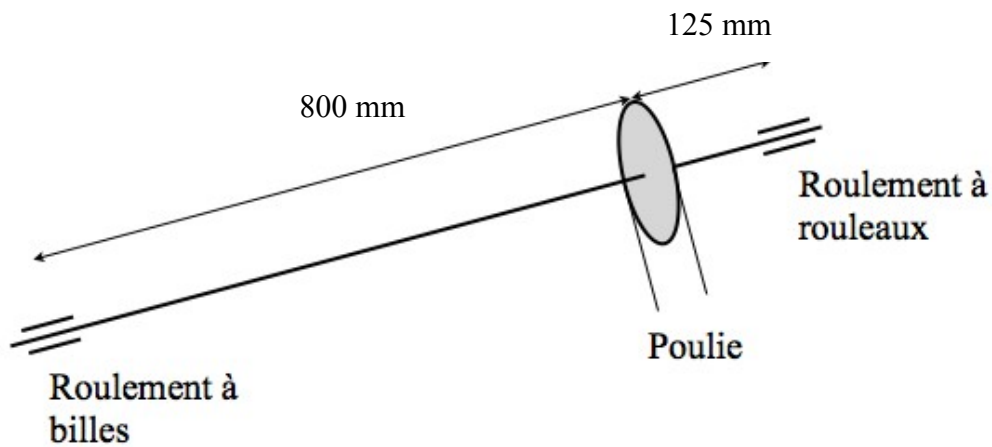
Pour les dentures droites, multiplier K_i par 1,4 et Z par 1,2

Méthode ISO. Engrenages de mécanique générale. Valeurs des facteurs K_i et Z_∞ .

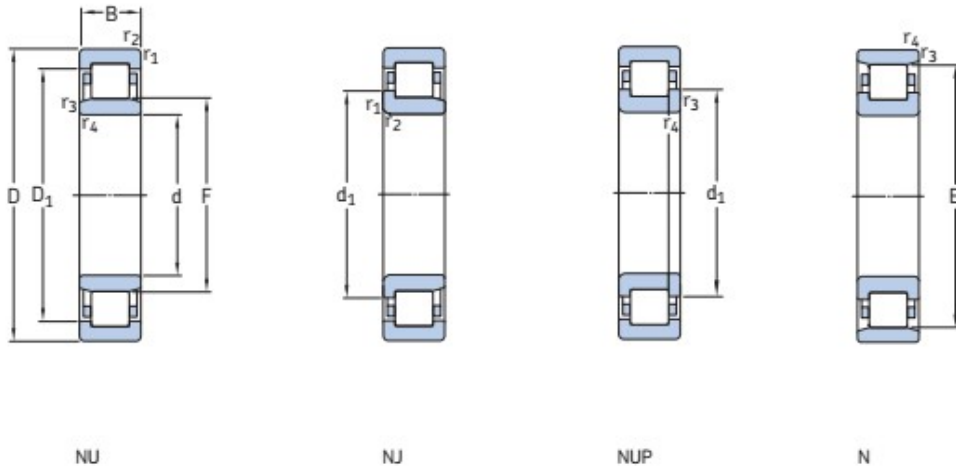
3) Dimensionnement de roulements

Un arbre de 20 mm de diamètre est supporté par un roulement à rouleaux cylindriques et un roulement à billes. Cet arbre est entraîné à une vitesse de 150 tr/min au moyen d'une courroie dont la tension est de 1.5 kN (la tension est supposée être uniforme dans toute la courroie). Le couple est transmis à l'arbre par l'intermédiaire d'une poulie située du côté du roulement à rouleaux.

- Calculez les réactions d'appui aux deux paliers.
- En se restreignant à la gamme de produits proposée par le fabricant SKF (cf. page de catalogue en annexe), désignez le roulement à rouleaux le plus léger capable de remplir sa fonction durant 37500 heures.



5.1 Roulements à rouleaux cylindriques à une rangée
d 15 – 25 mm



| Dimensions d'encombrement | Charges de base | | Limite de fatigue | Vitesses de base | | Masse | Désignations Roulement à cage standard | Autre cage standard ¹⁾ | | |
|---------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|----------------------|----------------|--------|--|-----------------------------------|-------------|--------|
| | dynamique C | statique C ₀ | | Vitesse de référence | Vitesse limite | | | | | |
| d D B | kN | | kN | tr/min | | kg | - | | | |
| mm | | | | | | | | | | |
| 15 | 35 | 11 | 12,5 | 10,2 | 1,22 | 22 000 | 26 000 | 0,047 | NU 202 ECP | PHA |
| | 35 | 11 | 12,5 | 10,2 | 1,22 | 22 000 | 26 000 | 0,048 | NJ 202 ECP | PHA |
| 17 | 40 | 12 | 17,2 | 14,3 | 1,73 | 19 000 | 22 000 | 0,068 | NU 203 ECP | PHA |
| | 40 | 12 | 17,2 | 14,3 | 1,73 | 19 000 | 22 000 | 0,07 | NJ 203 ECP | PHA |
| | 40 | 12 | 17,2 | 14,3 | 1,73 | 19 000 | 22 000 | 0,072 | NUP 203 ECP | PHA |
| | 40 | 12 | 17,2 | 14,3 | 1,73 | 19 000 | 22 000 | 0,066 | N 203 ECP | PH |
| 40 | 16 | 23,8 | 21,6 | 2,65 | 19 000 | 22 000 | 0,087 | NU 2203 ECP | - | |
| | 16 | 23,8 | 21,6 | 2,65 | 19 000 | 22 000 | 0,093 | NJ 2203 ECP | - | |
| | 16 | 23,8 | 21,6 | 2,65 | 19 000 | 22 000 | 0,097 | NUP 2203 ECP | - | |
| 47 | 14 | 24,6 | 20,4 | 2,55 | 15 000 | 20 000 | 0,12 | NU 303 ECP | - | |
| | 14 | 24,6 | 20,4 | 2,55 | 15 000 | 20 000 | 0,12 | NJ 303 ECP | - | |
| | 14 | 24,6 | 20,4 | 2,55 | 15 000 | 20 000 | 0,12 | N 303 ECP | - | |
| 20 | 47 | 14 | 25,1 | 22 | 2,75 | 16 000 | 19 000 | 0,11 | NU 204 ECP | ML,PHA |
| | 47 | 14 | 25,1 | 22 | 2,75 | 16 000 | 19 000 | 0,11 | NJ 204 ECP | ML,PHA |
| | 47 | 14 | 25,1 | 22 | 2,75 | 16 000 | 19 000 | 0,12 | NUP 204 ECP | ML,PHA |
| | 47 | 14 | 25,1 | 22 | 2,75 | 16 000 | 19 000 | 0,11 | N 204 ECP | - |
| | 47 | 18 | 29,7 | 27,5 | 3,45 | 16 000 | 19 000 | 0,14 | NU 2204 ECP | - |
| | 47 | 18 | 29,7 | 27,5 | 3,45 | 16 000 | 19 000 | 0,14 | NJ 2204 ECP | - |
| 52 | 15 | 35,5 | 26 | 3,25 | 15 000 | 18 000 | 0,15 | * NU 304 ECP | - | |
| | 15 | 35,5 | 26 | 3,25 | 15 000 | 18 000 | 0,15 | * NJ 304 ECP | - | |
| | 15 | 35,5 | 26 | 3,25 | 15 000 | 18 000 | 0,16 | * NUP 304 ECP | - | |
| | 15 | 35,5 | 26 | 3,25 | 15 000 | 18 000 | 0,15 | * N 304 ECP | - | |
| 52 | 21 | 47,5 | 38 | 4,8 | 15 000 | 18 000 | 0,21 | * NU 2304 ECP | - | |
| | 21 | 47,5 | 38 | 4,8 | 15 000 | 18 000 | 0,22 | * NJ 2304 ECP | - | |
| | 21 | 47,5 | 38 | 4,8 | 15 000 | 18 000 | 0,22 | * NUP 2304 ECP | - | |
| 25 | 47 | 12 | 14,2 | 13,2 | 1,4 | 18 000 | 18 000 | 0,083 | NU 1005 | - |
| 52 | 15 | 28,6 | 27 | 3,35 | 14 000 | 16 000 | 0,13 | NU 205 ECP | J, ML,PHA | |
| | 15 | 28,6 | 27 | 3,35 | 14 000 | 16 000 | 0,14 | NJ 205 ECP | J, ML,PHA | |
| | 15 | 28,6 | 27 | 3,35 | 14 000 | 16 000 | 0,14 | NUP 205 ECP | J, ML,PHA | |
| | 15 | 28,6 | 27 | 3,35 | 14 000 | 16 000 | 0,13 | N 205 ECP | - | |

¹⁾ Lors de la commande de roulements avec une autre cage standard, le suffixe de la cage standard doit être remplacé par le suffixe de l'autre cage. Par exemple NU .. ECP devient NU .. ECML (pour la vitesse admissible → page 600).
* Roulement SKF Explorer