

SESSION 2016

**CAPLP
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP**

Section : GÉNIE MÉCANIQUE

Option : CONSTRUCTION

ANALYSE D'UN PROBLÈME TECHNIQUE

Durée : 4 heures

Calculatrice électronique de poche – y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Il est demandé au candidat d'utiliser des feuilles de copie distinctes pour chacune des parties traitées et d'insérer les documents réponses, complétés ou non, dans les copies relatives à la partie considérée. Le candidat pourra apporter tous les compléments qu'il souhaite sur ces mêmes copies. L'ensemble sera alors placé dans une copie servant de « chemise » pour toute la composition.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

Le sujet comporte 32 pages :

- le dossier sujet commençant par la mise en situation et comportant 34 questions (pages 1/18 à 18/18) ;
- le dossier réponse comportant 3 documents réponses (DR1 à DR3) ;
- le dossier technique comportant 6 documents techniques (DT1 à DT6) ;
- le dossier ressource comportant de 5 pages (Document ressource 1 à Document ressource 5).

RECOMMANDATIONS

L'étude est composée de 5 parties qui se suivent, mais qui sont indépendantes. Il est proposé au candidat de répartir son temps de travail sur les différentes parties du sujet de la façon suivante :

I. Présentation	10 min.
II. Etude préliminaire : Montage des plates-formes et des ascenseurs	5 min.
III. Etude de FS1 : Déplacer les opérateurs au niveau désiré	2 h15.
IV. Etude de la FS3 : Assurer la sécurité	1 h30.

ASCENSEUR DE CHANTIER

I. Présentation

I.1. La société ALIMAK-HEK

Les produits et solutions d'ALIMAK-HEK sont exploités pour l'accès vertical lors de la construction d'immeubles, ponts ou sites industriels.

Ces installations sont provisoires pour les chantiers ou permanentes sur certains sites industriels.

ALIMAK-HEK est né de la fusion du Suédois Alimak, constructeur mondial d'ascenseurs de chantier et du Hollandais Hek, fabricant de plates-formes de travail.

Fort d'une solide expérience dans les solutions d'accès vertical motorisé, utilisant la technologie du pignon crémaillère, le groupe s'est forgé une réputation mondiale de qualité grâce aux performances de ses produits.

Avec leur vitesse d'élévation de 12 à plus de 60 m/min et une charge utile de 500 à 4 000 kg, les monte matériaux sont les outils idéaux pour l'approvisionnement de chantiers en matériaux lourds et encombrants comme les panneaux de plâtre, les palettes de parpaings, les éléments d'échafaudage.

Les ascenseurs, eux, permettent le déplacement rapide du personnel sur les différents étages du bâtiment.

L'intégration des aspects environnementaux engage la société ALIMAK-HEK à adopter les règles d'éco-conception et minimiser l'impact de ses produits sur l'environnement (norme ISO14001).

La problématique de la société est de mettre sur le marché des systèmes de plate-forme et ascenseurs fonctionnels minimisant :

- la consommation énergétique durant le montage et l'utilisation,
- les quantités de matières premières,
- les risques encourus.

I.2. Présentation de l'environnement de l'ascenseur étudié

Pour la rénovation d'un bâtiment de 25 étages sur le site de la défense (Paris), un grand groupe du bâtiment a fait appel à la société ALIMAK-HEK France pour la mise en place de plates-formes de travail ainsi que de deux ascenseurs pour le personnel.



Les plates-formes de travail permettent aux opérateurs le démontage des façades, la rénovation du plancher ainsi que le désamiantage de l'ensemble du bâtiment.

Tous les éléments seront acheminés par les plates-formes, notamment : les parties obsolètes, les nouvelles devantures et les matériaux divers. Les ascenseurs sont utilisés sur les chantiers de grande hauteur.

Le bâtiment est cerné de plates-formes de travail qui multiplient ainsi l'efficacité de la rénovation et de deux ascenseurs, dont l'un est l'objet de l'étude (voir DT1 et DT2).

Le sujet propose de vérifier quelques caractéristiques importantes de l'ascenseur SCANDO 650 et d'étudier des pistes de réduction de l'impact sur l'environnement.

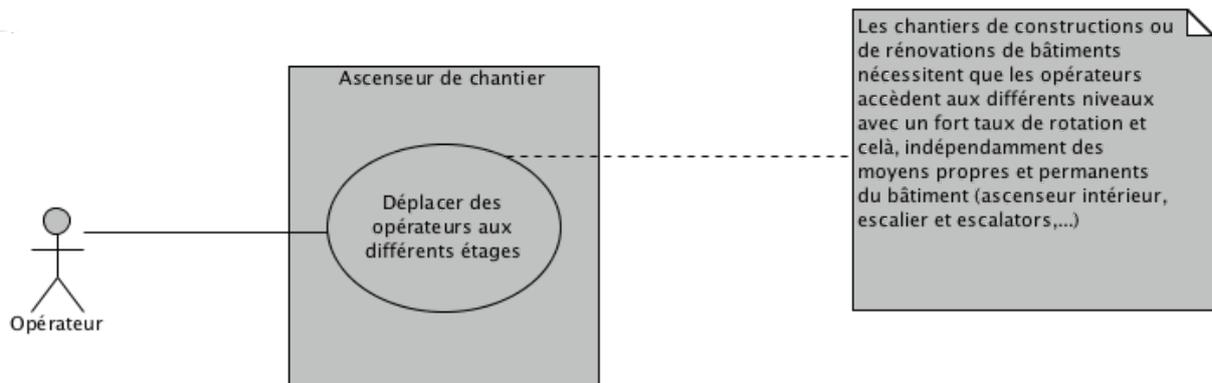
I.3. Description de l'ascenseur SCANDO 650

Les ascenseurs de la société ALIMAK-HEK sont guidés sur un mât réalisé en treillis soudé et galvanisé (voir DT2, DT3). Ces mats sont constitués par des éléments de longueur de 1,5 m boulonnés, sur lesquels court une crémaillère. Les ascenseurs sont propulsés par un groupe de motoréducteurs permettant la montée et la descente. La sécurité du mouvement est assurée par plusieurs systèmes : un frein à manque de courant, un frein centrifuge, un parachute et enfin une pesée autonome de la charge embarquée.

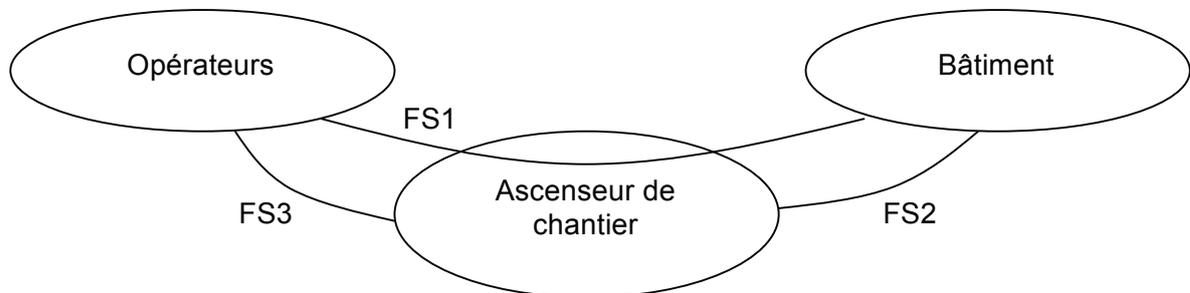
Le SCANDO 650 étudié est l'un des plus rapides et l'un des plus capables en terme de charge utile.

I.4. Contexte d'utilisation

- Diagramme de cas d'utilisation de l'ascenseur de chantier Alimak-Hek.



- Diagramme APTE et cahier des charges fonctionnel partiel.



Fonctions de service	Critères d'appréciation	Niveau
FS1 : Déplacer les opérateurs au niveau désiré du bâtiment.	Vitesse Nombre d'opérateurs Masse des opérateurs	v=0,9 m/s 29 maximum 3200kg maximum
FS2 : Prévoir le montage de l'ascenseur sur le site du bâtiment.	Hauteur maxi Durée	150 m 7 jours par ascenseur
FS3 : Garantir la sécurité des opérateurs.	Vitesse de vent admissible en utilisation (norme EN1495) Frein à manque de courant Ralentisseur centrifuge Parachute	< 120 km/h Oui Oui, pour descente manuelle Oui, déclenchement à v+50%

II. Etude préliminaire : Montage des plates-formes et des ascenseurs

Objectif : détermination du temps de montage de l'ensemble des plates-formes et des ascenseurs pour évaluer son incidence sur le nombre d'équipes.

Le montage des ascenseurs nécessite l'utilisation d'une grue.

Les plates-formes sont autoélévatrices, c'est-à-dire que les éléments de mâts se montent au fur et à mesure par les deux opérateurs se trouvant sur la plate-forme.

On considère que le temps de travail est de cinq jours par semaine.

Voici le tableau des tâches pour le montage d'une plate-forme par une équipe.

La longueur de la plateforme n'a pas d'incidence sur la durée de montage.

Tâches de montage	Durée incompressible	Durée variable
Mise en place de la structure d'une plate forme mono-mât (Base + cabine)	2j	
Montage du mât en auto-élévation		162 m/jour
Mise en place de la structure d'une plate-forme bi-mât (Base + cabine)	3j	
Montage du bi-mât en auto-élévation		81 m/jour
Mise en place complète d'un ascenseur (base+ cabine + mât)	7j	

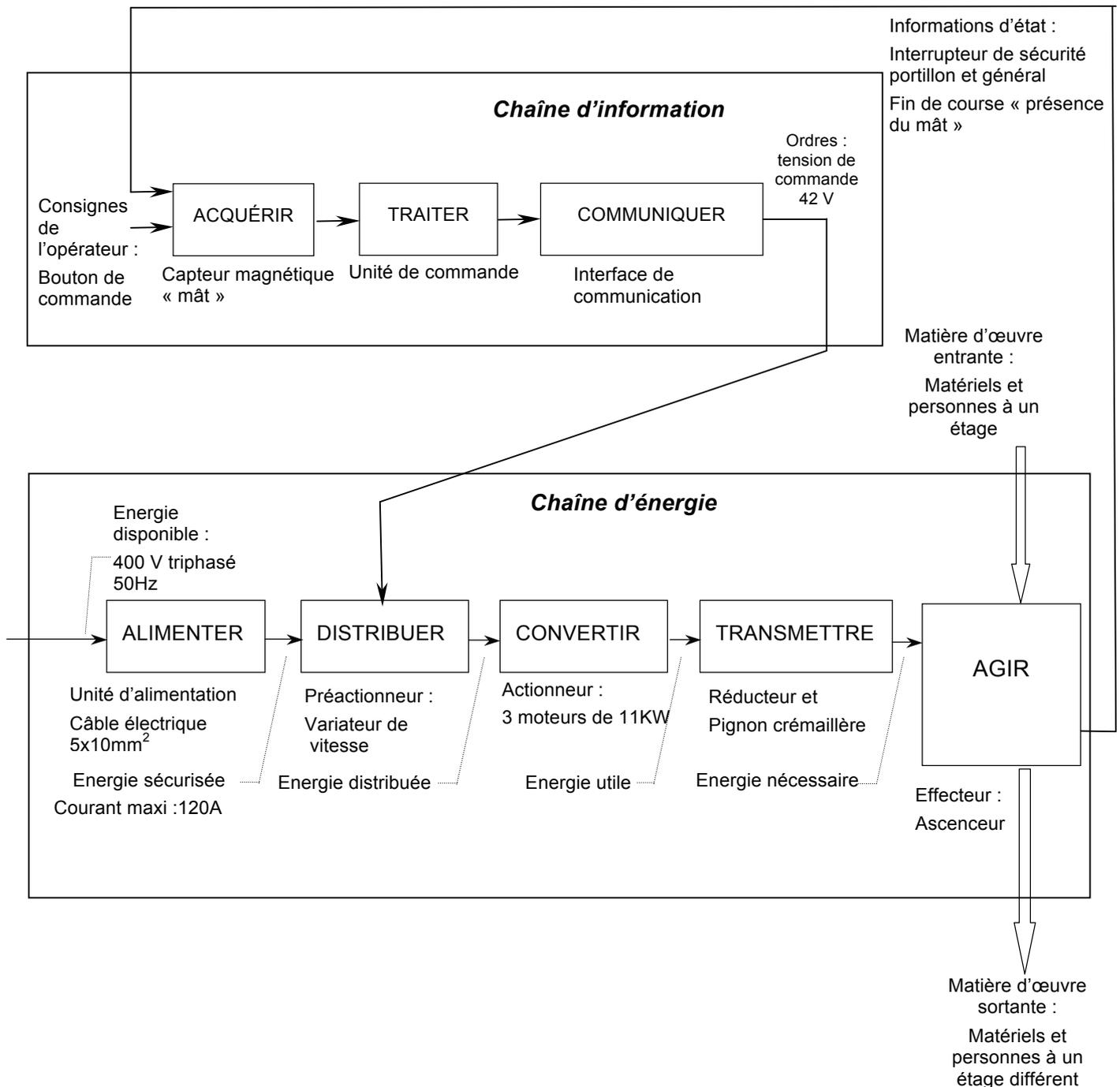
Question 1. A partir du dossier technique DT1 : déterminer, pour une équipe, le nombre de semaines de montage des plates-formes PF1 à PF12, ainsi que les deux ascenseurs LIFT1 et LIFT2 autour du bâtiment. Indiquer combien d'équipes sont nécessaires pour terminer cette installation en moins de 4 semaines.

III. Etude de FS1 : Déplacer les opérateurs au niveau désiré

III.1. Etude du démarrage de l'ascenseur

L'ascenseur est actionné grâce à des moteurs triphasés de 400V. La crémaillère permet aux pignons de sortie de faire monter ou descendre l'ascenseur. Celui-ci est en liaison glissière avec le mât.

Voici le diagramme chaîne d'information – chaîne d'énergie :



Les trois ensembles variateur-moteur-réducteur sont identiques. Le réducteur est présenté en DT4. La courbe couple moteur / vitesse de rotation est fournie sur le document réponse DR1.

On se propose d'étudier la phase de démarrage avec les hypothèses suivantes :

- Il n'y a pas de pertes par frottement dans les éléments mécaniques,
- l'ascenseur est soumis à la pesanteur ($g=9,81 \text{ m/s}^2$),
- l'ascenseur est initialement à l'arrêt,
- la charge est maximale et se répartit équitablement sur les trois moteurs,
- l'inertie du réducteur et du moteur sont négligées.

On note C_m le couple moteur (somme des couples des trois moteurs).

Question 2. Déterminer la relation entre le couple moteur C_m et l'effort tangentiel au contact du pignon et de la crémaillère F_t .

Question 3. Appliquer le principe fondamental de la dynamique à l'ensemble {cabine + charge utile}. En déduire une relation entre l'accélération de la cabine et le couple moteur C_m .

Le constructeur donne, en document réponse DR1, les courbes de couple disponible sur les trois moteurs réunis, en fonction de la vitesse de rotation pour une fréquence d'alimentation.

Question 4. Déterminer le couple moteur correspondant à une accélération de 0,2 g, ainsi que la vitesse de rotation des moteurs lorsque la cabine se déplace à 0,9 m/s. Tracer sur le DR1 les droites correspondant à ce couple et à cette vitesse.

Question 5. Le démarrage en charge, avec moteurs alimentés sous 50 Hz, est-il possible ? Justifier.

La phase d'accélération est terminée.

Question 6. Tracer les points de fonctionnement du moteur (vitesse et couple) pour les trois fréquences d'alimentation proposées sur le DR1 et calculer la fréquence nécessaire pour que la vitesse de la cabine soit conforme au cahier des charges.

Question 7. Indiquer quel composant de la chaîne d'énergie permet d'obtenir cette fréquence. Citer l'avantage principal de ce composant.

III.2. Etude et évolution de la transmission : pignon / crémaillère hélicoïdale

Le réducteur actuel (voir DT4) dispose d'une denture hélicoïdale. Cependant la denture pignon crémaillère est droite et n'est pas sous carter. Pour ces deux raisons, elle émet un bruit important en fonctionnement. Afin de réduire la pollution sonore de l'ensemble de la nacelle, on envisage d'adopter une denture hélicoïdale sur la crémaillère.

Dans la présente partie, on s'intéressera à la faisabilité de cette évolution. Les contraintes suivantes ont déjà été recensées :

- C1 : le rapport du réducteur sera inchangé ;
- C2 : on minimisera les modifications à apporter sur le carter du réducteur. La nouvelle solution conservera si possible les mêmes moyens d'usinage que la solution actuelle (centre d'usinage 3 axes).

Question 8. A partir des documents ressource 1 et 2, mesurer la conduite de l'engrènement sur le document réponse DR2 et calculer le rapport de conduite.

Question 9. Compléter le graphique sur document réponse DR2 indiquant comment évolue le nombre de contacts en fonction du temps. Conclure sur l'une des origines du bruit dans la liaison pignon crémaillère.

On adopte une denture hélicoïdale, en conservant le module d'origine. L'angle d'hélice de celle-ci doit être suffisamment grand pour que la longueur de denture en contact soit constante.

Question 10. Calculer l'angle d'hélice minimal nécessaire pour que le recouvrement soit supérieur au pas apparent. En déduire le nombre de dents du pignon et l'angle d'hélice permettant de conserver le diamètre primitif du pignon original.

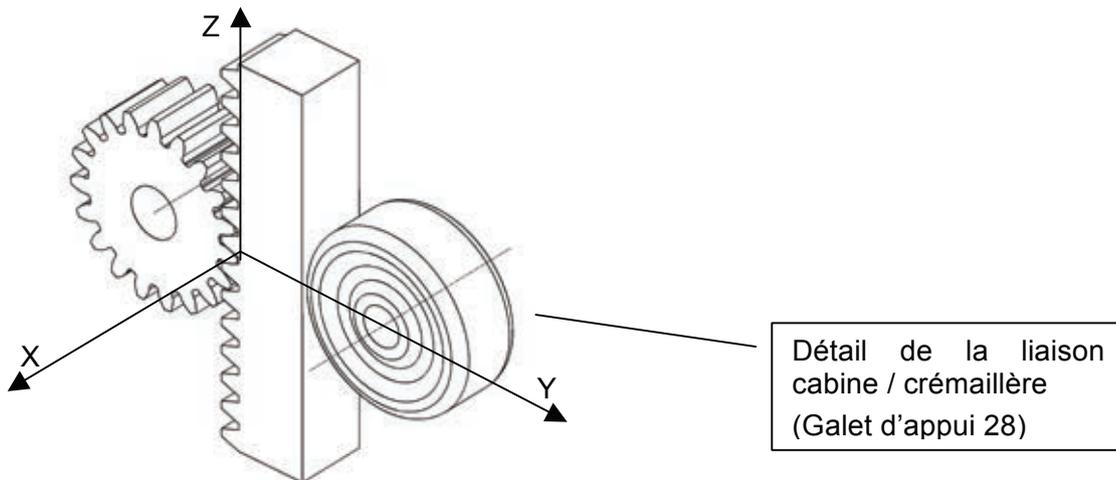
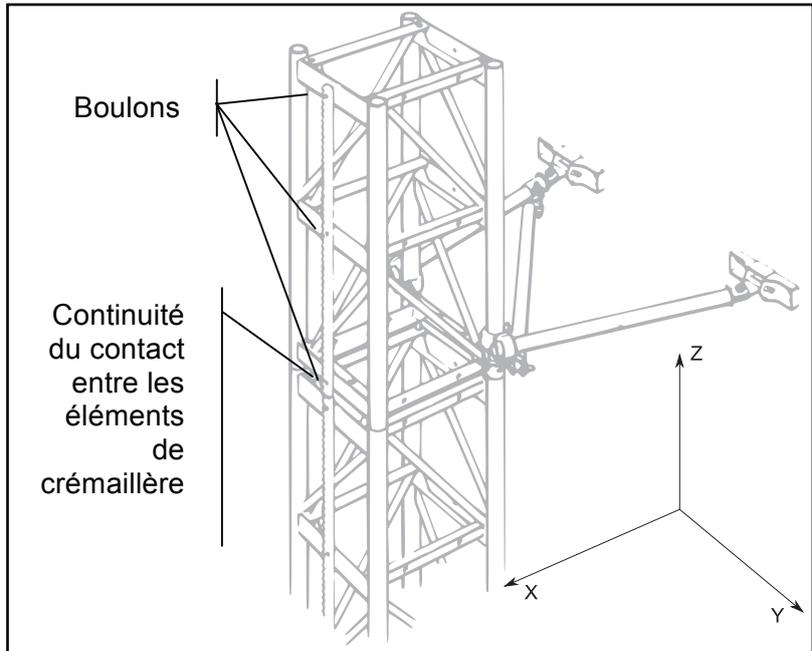
III.3. Etude des conséquences du passage en denture hélicoïdale

La crémaillère est initialement boulonnée à la structure. Les efforts que le pignon transmet à la crémaillère sont, dans le cas de la denture droite, de deux directions :

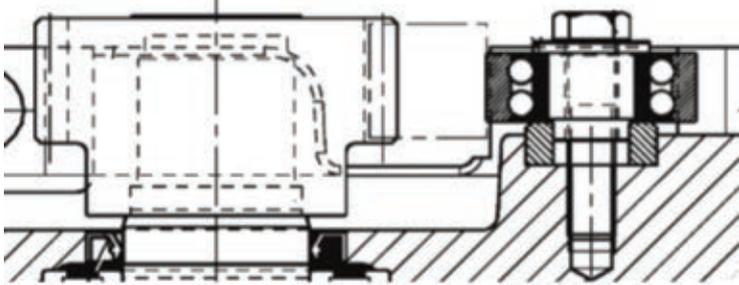
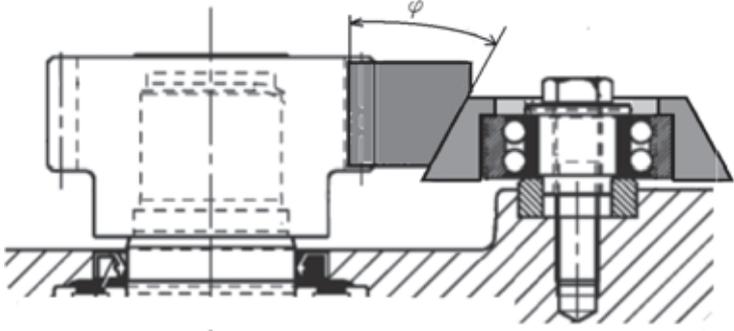
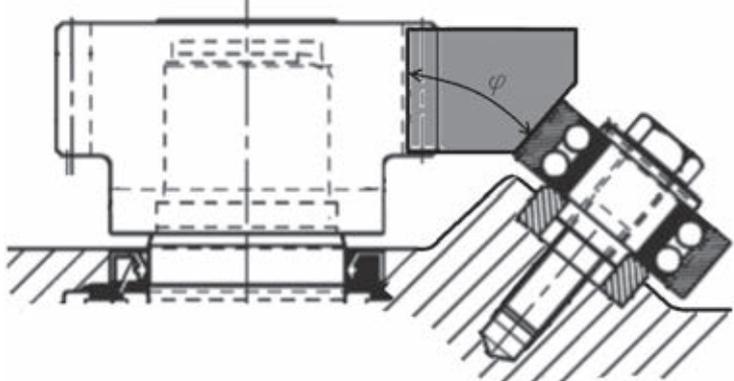
- sur Z, repris par adhérence sur le mât (liaison par boulons) et par le contact continu entre les différents éléments de crémaillère (voir figure ci contre),
- sur Y, repris par le galet repéré 28 (voir DT4),

Dans le cas de la denture hélicoïdale, on a en plus des efforts dans la direction X.

On veut que ces efforts soient repris par le galet 28 également. On propose donc deux solutions pour que le galet puisse reprendre cette composante sur X.



Solutions proposées pour reprendre les efforts dans la direction X :

Solutions	Commentaires
	<p>Solution droite (actuelle)</p> <p>Le roulement reprend les efforts radiaux engendrés par le pignon.</p> <p>Carter usiné sur centre d'usinage 3 axes.</p>
	<p>Solution hélicoïdale 1</p> <p>Le roulement reprend les efforts axiaux et radiaux.</p> <p>Carter d'origine peu modifié, mais ajout d'une pièce intermédiaire.</p>
	<p>Solution hélicoïdale 2</p> <p>Le roulement reprend les efforts axiaux et radiaux, mais n'est lui même chargé que radialement.</p> <p>Carter d'origine modifié.</p>

Quels que soient les résultats obtenus aux deux questions précédentes, on prendra $\beta=26^\circ$ et $Z= 17$ dents.

On note $\vec{F} = \begin{pmatrix} Fa \\ Fr \\ Ft \end{pmatrix}_{\vec{x},\vec{y},\vec{z}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ F \end{pmatrix}_{\vec{x}_3,\vec{y}_3,\vec{z}_3}$ la résultante de l'action pignon sur crémaillère. On fait l'hypothèse que le contact est sans frottement.

Question 11. Exprimer Fr et Fa en fonction de Ft .

Question 12. En déduire l'angle $\varphi = \text{Arctan} \frac{Fr}{Fa}$ à adopter sur la crémaillère.

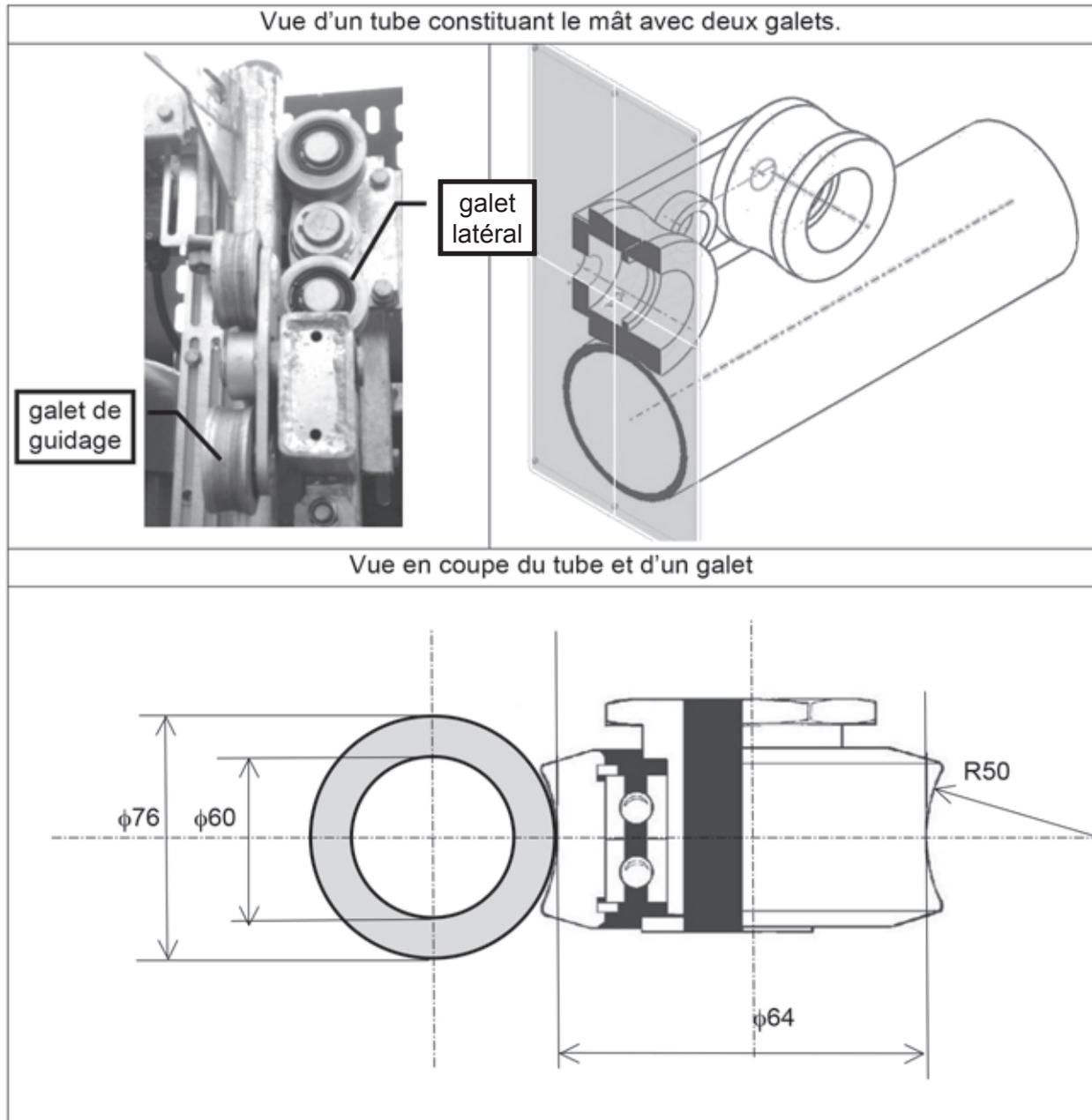
Question 13. Calculer le rapport C/P du roulement (réf. 3305) pour les deux solutions proposées, ainsi que la durée de vie du roulement en million de tours.

Question 14. Critiquer les deux solutions proposées, au regard de φ et des durées de vie déterminées.

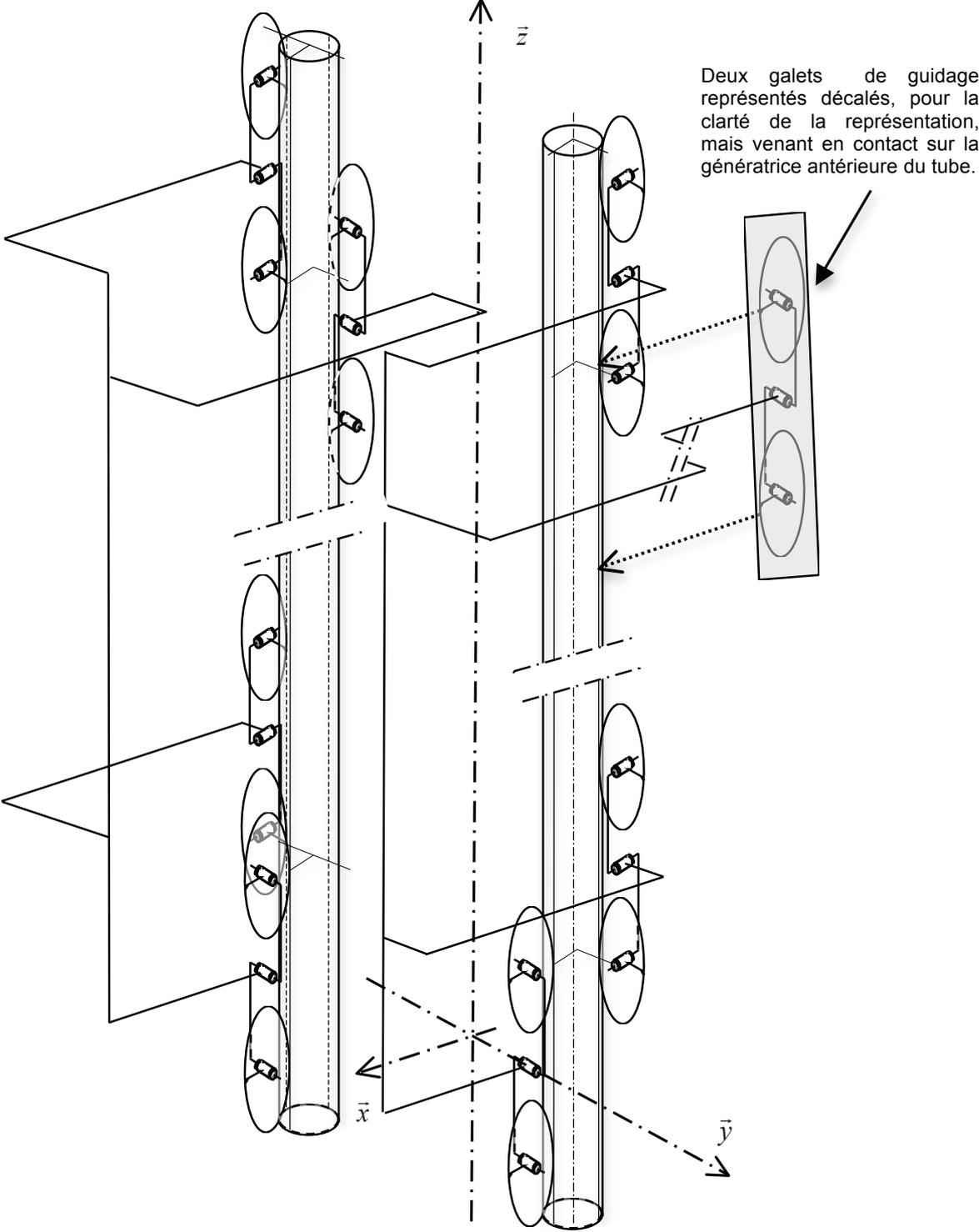
III.4. Etude de la liaison glissière mat / ascenseur

Objectif : Dans une démarche de réduction de l'utilisation de matière première, on va vérifier la tenue de la liaison glissière obtenue par un jeu de 2 x 8 galets (voir DT3).

On se propose dans cette partie d'étudier les efforts dans les paliers et leurs conséquences sur la nécessité d'avoir autant de galets en contact.



Les couples de galets sont disposés sur les 2 tubes de la face avant du mât. On distingue les galets de guidage contenus dans des plans parallèles au plan (\vec{x}, \vec{z}) et les galets latéraux contenus dans des plans parallèles au plan (\vec{y}, \vec{z}) .



III.5. Etude de la liaison équivalente

Objectif :

On retrouve huit couples de galets assurant la liaison glissière. Nous allons rechercher la liaison équivalente à la chaîne des solides 0-1-2-3-4 afin de calculer le degré d'hyperstatisme et comprendre la nécessité du réglage des galets latéraux.

Hypothèses :

Le contact entre le mât et les galets est modélisé par une liaison ponctuelle dont la normale est portée par le rayon du tube.

Liaison L_{10} : ponctuelle de normale (A_1, \vec{y}) ; Liaison L_{20} : ponctuelle de normale (A_2, \vec{y})

Liaison L_{31} : pivot d'axe (O_1, \vec{x}) ; Liaison L_{32} : pivot d'axe (O_2, \vec{x})

Liaison L_{43} : pivot d'axe (O_3, \vec{x})

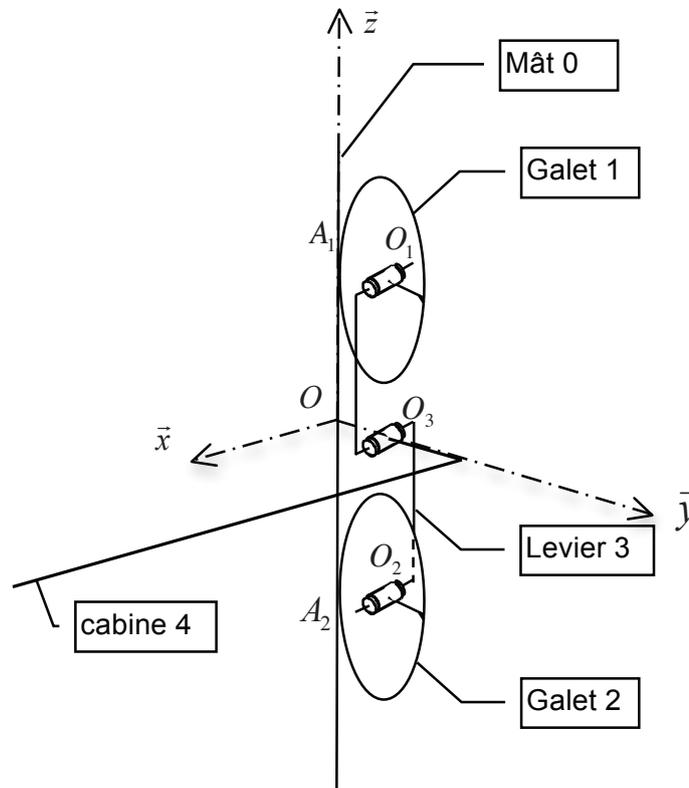
On donne :

$$\overrightarrow{O_2 A_2} = \overrightarrow{O_1 A_1} = -r \cdot \vec{y}$$

avec $r = 32mm$

$$\overrightarrow{O_3 O_1} = \overrightarrow{O_2 O_3} = l \cdot \vec{z}$$

avec $l = 100mm$



Question 15. Tracer le graphe de structure de ces 5 pièces.

Question 16. Déterminer, par une étude cinématique, la liaison équivalente L_{eq1} pour les pièces 0-1-3. En déduire la liaison équivalente L_{eq2} pour les pièces 0-2-3.

Question 17. Déterminer, par une étude statique, la liaison équivalente L_{eq3} pour les pièces 0-3, faisant intervenir L_{eq1} et L_{eq2} .

Question 18. Déterminer, par une étude cinématique, la liaison équivalente L_{eq4} pour les pièces 0-3-4, prenant en compte L_{eq3} . Que peut-on en conclure quant à l'utilisation de 2 galets.

Quels que soient les résultats précédents on adopte le schéma cinématique en document ressource 4.

B ₁	Ponctuelle de normale (B_1, \vec{x})	B ₅	Ponctuelle de normale (B_5, \vec{x})
B ₂	Ponctuelle de normale (B_2, \vec{y})	B ₆	Ponctuelle de normale (B_6, \vec{y})
B ₃	Ponctuelle de normale (B_3, \vec{x})	B ₇	Ponctuelle de normale (B_7, \vec{x})
B ₄	Ponctuelle de normale (B_4, \vec{y})	B ₈	Ponctuelle de normale (B_8, \vec{y})

Question 19. Déterminer par des considérations simples, le degré d'hyperstatisme de la liaison entre la cabine 4 et le mât 0 et justifier la nécessité du jeu imposé par le constructeur.

III.6. Vérification de la tenue des éléments des liaisons L₄₃, L₃₁ et L₁₀

Nous allons déterminer le torseur d'action mécanique exercé par la gravité sur l'ensemble {cabine 4+ personnes transportées}. L'espace dans la cabine permet d'envisager un cas de charge déséquilibrée. Les passagers seront répartis un quart à gauche et trois quart à droite du plan (O, \vec{x}, \vec{z}).

Cela donne les torseurs suivants :

Action du poids de la cabine :

$$\{\tau_1(pes \rightarrow 4)\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -24000 & 0 \end{Bmatrix}_{G_1, (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

Avec $\vec{OG}_1 = 0,75 \cdot \vec{x}$

Action du poids des personnes situées à droite du plan médian de la cabine :

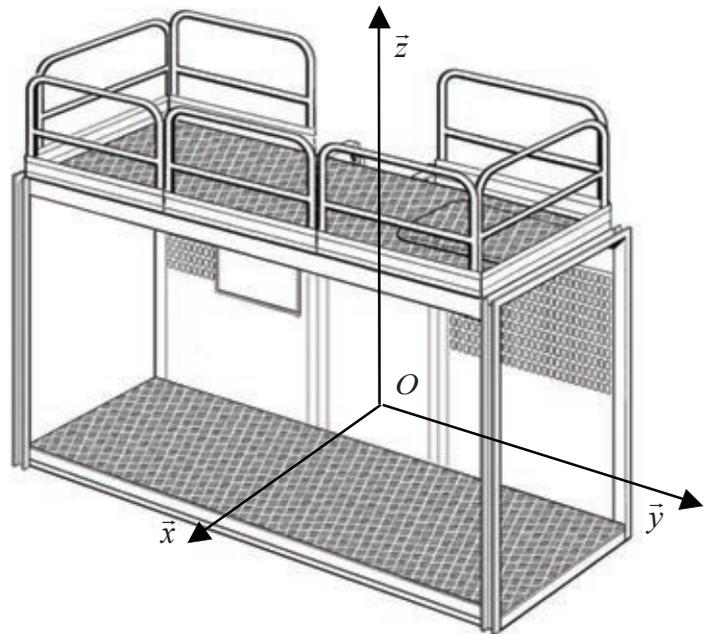
$$\{\tau_2(pes \rightarrow 4)\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -23500 & 0 \end{Bmatrix}_{G_2, (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

Avec $\vec{OG}_2 = 0,75 \cdot \vec{x} + 1,4 \cdot \vec{y}$

Action du poids des personnes situées à gauche du plan médian de la cabine :

$$\{\tau_3(pes \rightarrow 4)\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -7850 & 0 \end{Bmatrix}_{G_3, (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

Avec $\vec{OG}_3 = 0,75 \cdot \vec{x} - 1,4 \cdot \vec{y}$



Question 20. Déterminer en O le torseur résultant de la pesanteur sur l'ensemble {cabine 4+ personnes transportées}.

Les galets sont considérés comme les pièces d'usure de la liaison de la cabine avec le mât. Le constructeur veut vérifier si les éléments technologiques mis en place sont conformes à ce choix. Le constructeur indique un jeu minimum de 0,7 mm entre les galets latéraux et le mât.

Les actions dans ces liaisons peuvent être déterminées à l'aide du principe fondamental de la statique. La résolution a déjà été menée et le document ressource 4 donne les valeurs trouvées.

Question 21. Justifier les torseurs d'action mécanique du mât 0 sur la cabine 4 au point B₄ et B₆, ainsi que l'action mécanique de la crémaillère sur la cabine 4 au point I, en analysant les contacts en ces points et identifier le couple de galets le plus chargé.

- Etude de la liaison L₄₃.

Données :

Le constructeur a installé des coussinets « glacial acétal » pouvant supporter une pression de contact de 70 MPa.

Caractéristique du coussinet : d=40 mm L=40 mm.

Question 22. Vérifier la condition de non matage du coussinet et calculer le coefficient de sécurité s. Que conclure ?

- Etude de la liaison L₃₁.

Afin de réduire sa gamme d'éléments, le constructeur veut modifier les roulements à billes à gorges profondes par un roulement à billes à contact oblique référence 3205 (voir document ressource 3).

Question 23. Calculer la durée de vie en millions de tours de ce roulement et calculer le nombre d'aller retour possible si l'ascenseur se rendait toujours au 25^{ème} étage (80m). Que conclure ?

- Etude de la liaison L₁₀.

La théorie des pressions de Hertz gérant ce type de liaison repose sur la connaissance de la forme du contact.

L'étude du contact entre le mât 0 et le galet 1 est délicate car la surface de contact est une ellipse dont la détermination est compliquée.

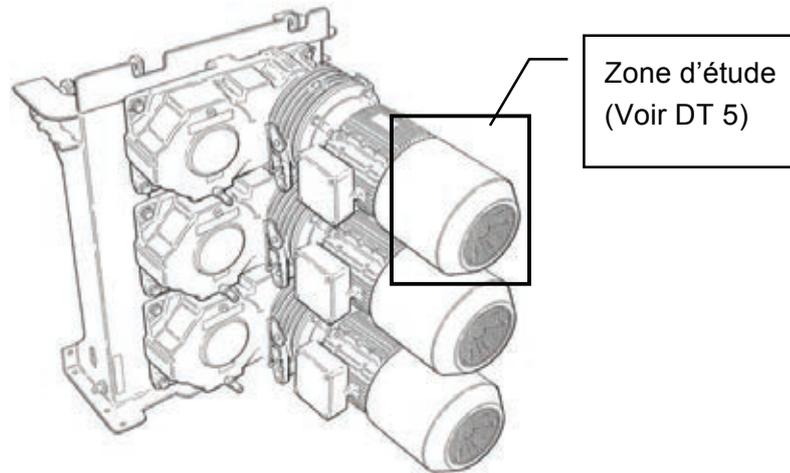
On donne dans les conditions de l'étude la valeur du grand axe a et du petit axe b de l'ellipse.

Grand axe a	Petit axe b	Pression maxi
3,08 mm	1,3 mm	$P_{MAX} = \frac{3}{2} \frac{N}{\pi ab}$

Question 24. Calculer la valeur de la pression maximale. Conclure d'un point de vue de la maintenance.

IV. Etude de FS3 : Assurer la sécurité

IV.1. Etude du frein électromagnétique placé sur le motoréducteur



Le frein de chaque moto réducteur est taré à une valeur de consigne de 120 Nm.

Objectif : Vérifier que ce couple de tarage est obtenu et permet le maintien de la cabine à l'arrêt.

Le moteur du groupe de levage est équipé d'un frein électromagnétique à manque de courant, monté à l'arrière du moteur (voir DT5).

Il se compose de :

- un disque de freinage **9**, coulissant sur un moyeu cannelé **7**. Celui-ci est claveté sur l'arbre moteur,
- le disque **9** est équipé de garnitures de frein des deux cotés,
- un plateau fixe **8** faisant corps avec le bâti du moteur et supportant 3 douilles **5** en acier traité,
- une armature flottante **2**, immobilisée en rotation par les douilles et coulisse sur les douilles **5**,
- la carcasse de l'électro-aimant **1:1** ainsi que la bobine **1:2**, fixée sur le bâti par des vis d'immobilisation **10**,
- trois ressorts de pression **4** précontraints par les vis de réglage auto-freinées **13**. Ces 3 ressorts exercent l'effort normal N transmis aux disques de freinage.

En l'absence de courant dans la bobine de l'électro-aimant, ce dernier est au repos et les ressorts plaquent le plateau de l'armature **2** contre les disques de frein. L'arbre moteur est freiné. Lorsque la bobine est alimentée, l'armature **2** est attirée fortement ce qui libère les disques. L'arbre moteur est libre de tourner. Le levier **16** permet le déblocage manuel du frein pour tester que le couple de consigne est bien respecté.

Hypothèse :

On suppose que la pression de contact entre les garnitures et les disques de freinage est uniforme.

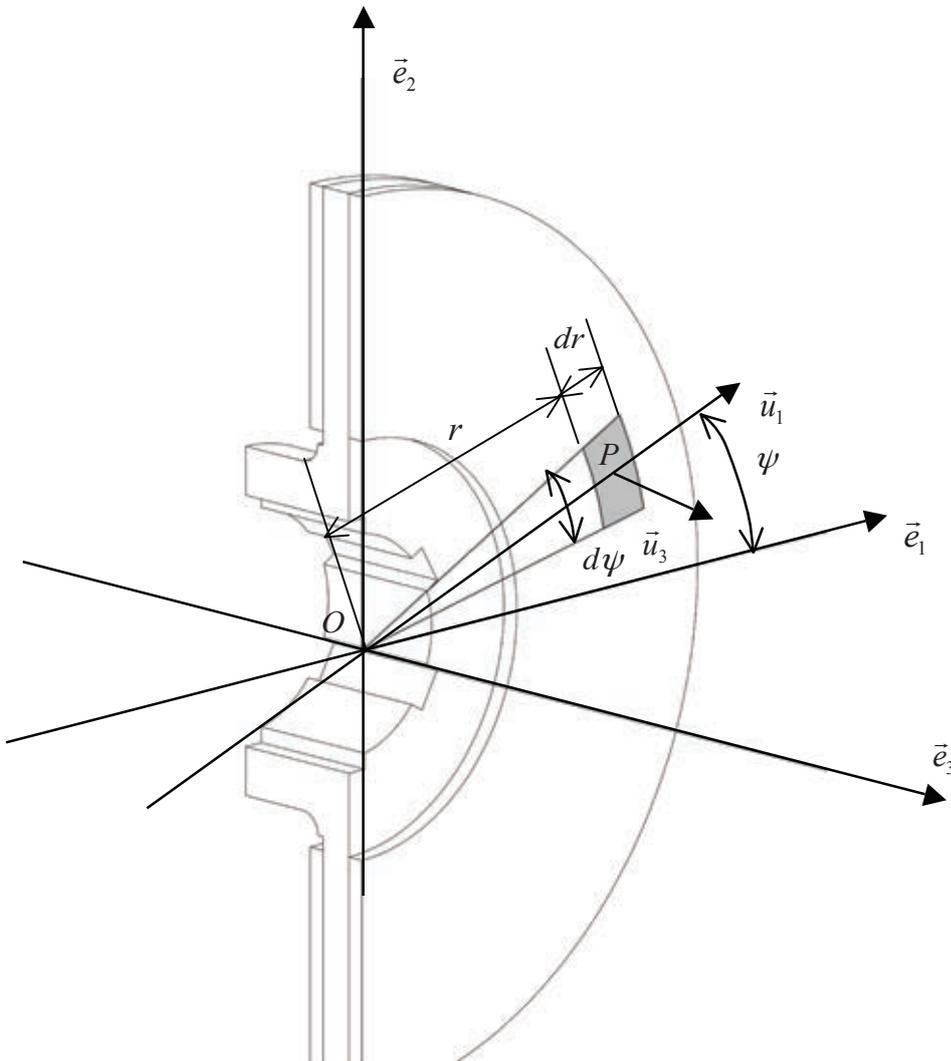
Données :

Le coefficient de frottement d'une garniture sur un plateau acier vaut $f = 0,25$.

$R_i = 115 \text{ mm}$, $R_e = 230 \text{ mm}$ et $N = 1350 \text{ N}$

Paramétrage :

On pose $\vec{OP} = r\vec{u}_1$ et l'élément de surface $ds = r dr d\psi$.



- Question 25.** Retrouver l'expression $C = \frac{2}{3} N.f. \frac{R_e^3 - R_i^3}{R_e^2 - R_i^2}$ du couple maximal transmissible par une surface frottante.
- Question 26.** A partir de cette expression, calculer la valeur du couple de freinage par moteur. Est-il conforme ?
- Question 27.** Vérifier que la cabine reste à l'arrêt en pleine charge. Indiquer la marge de couple.

IV.2. Frein parachute

Le fonctionnement des freins parachute est décrit sur le DT6. Il y a un unique parachute par ascenseur, qui se déclenchera lorsque la vitesse dépasse de 50% la valeur nominale. Ce frein doit permettre l'arrêt de la cabine en une distance contrôlée :

- distance d'arrêt trop longue : l'ascenseur est hors normes de sécurité,
- distance d'arrêt trop courte : la décélération et les efforts qu'elle engendre sont trop brutaux, pour les personnes ou pour le matériel.

Pour l'ascenseur étudié, on demande au parachute une distance d'arrêt comprise entre 0,6 et 0,8 m.

Question 28. A partir du DT6, indiquer comment évolue le couple de freinage, si l'ascenseur continue à descendre alors que le parachute est engagé.

IV.2.1. Validation des performances

On se propose dans un premier temps de valider le frein existant.

	Notations et données	Relations
Bâti	Altitude de l'ascenseur : z On place l'origine ($z = 0$) à l'endroit où le parachute s'enclenche.)	
Pignon 1	$Z = 15$; module $m = 5mm$	
Rondelles ressort 5	Constante de raideur par rondelle : $k = 15000N/mm$ Précharge : $P = 12000N$	
Liaison écrou 6 / vis 4	Effort axial de la vis sur l'écrou $\vec{F}_{ve} = F_{ve} \cdot \vec{x}$ Moment axial de la vis sur l'écrou $\vec{C}_{ve} = C_{ve} \cdot \vec{x}$ Rayon moyen du contact : $r = 10mm$ Pas : $p = 2,5mm$ Angle des filets β Facteur de frottement : $\tan\phi' = 0,15$	$C_{ve} = -F_{ve} \cdot r \cdot \tan(\beta + \phi')$ $\tan\beta = \frac{p}{2\pi r}$
Contact conique 4 / bâti	Demi-angle au sommet : $\alpha = 10^\circ$ Petit rayon : $Ri = 62mm$ Grand rayon $Re = 75mm$ Moment axial 4 \rightarrow bâti : $\vec{M}_c = M_c \cdot \vec{x}$ Effort axial 4 \rightarrow bâti $\vec{F}_c = F_c \cdot \vec{x}$ Facteur de frottement : $f_c = 0,3$	$M_c = \pm \frac{2f_c \cdot F_c}{3 \cdot \sin\alpha} \cdot \frac{Re^3 - Ri^3}{Re^2 - Ri^2}$

Hypothèses :

- Au sein du parachute, seuls trois éléments vont absorber ou dissiper de l'énergie. Le théorème de l'énergie cinétique s'écrira donc : $\Delta Ec = W_{int} + W_{ext}$

Avec : W_{int} qui sera la somme des travaux suivants :

- travail de déformation des ressorts : **négligeable**
- travail de dissipation par le contact écrou/vis : **négligeable**
- travail de dissipation par le contact conique **4** / bâti;

Et W_{ext} qui sera le travail du poids.

- On se place en phase 2 (voir DT6) : engagement du doigt **3** sur la roue à rochet **4**.

Question 29. Calculer l'énergie cinétique de l'ascenseur, lorsque celle-ci descend à pleine charge, avec une vitesse supérieure de 50% à la vitesse nominale.

Question 30. Donner l'expression de l'effort axial F_{ve} , en fonction de z sous la forme $F_{ve} = F_0 + k_{eq} \cdot \lambda \cdot z$, où :

- k_{eq} raideur équivalente des rondelles, à déterminer,
- F_0 précharge du système, à déterminer,
- λ facteur de transformation de la translation verticale de l'ascenseur en translation horizontale de l'écrou, à déterminer.

Question 31. Déterminer le travail W_{int} dissipé par le contact garniture/bâti en fonction de z .

Question 32. Déterminer le travail du poids W_{pes} , en fonction de z et de la masse totale M_T (charge utile + charge cabine).

Question 33. Quels que soient les résultats trouvés précédemment, on s'appuiera maintenant sur le graphe n°1 du document réponse 3 qui donne l'énergie dissipée par le contact 4/bâti (W_{int}), ainsi que la variation d'énergie potentielle de pesanteur bâti en fonction de l'altitude z (W_{pes}). Déduire de ce graphique la distance d'arrêt de l'ascenseur et conclure au regard du cahier des charges (On mettra en évidence sur le document réponse les éléments qui justifient la réponse).

IV.2.2. Evolution du parachute

Le frein parachute doit systématiquement être testé et réglé avant la mise en service de l'ascenseur.

Cet essai permet :

- de vérifier le bon fonctionnement du frein. On contrôle notamment la distance d'arrêt en mesurant de combien s'est vissé l'écrou 6,
- de s'assurer que la garniture du frein n'est pas collée au bâti. En effet, le parachute ne servant normalement jamais, il est possible qu'en 6 mois de non utilisation la garniture "colle" au bâti. Alors le déclenchement du parachute arrache la garniture et on se retrouve, dans le pire des cas, avec un facteur de frottement réduit à 0,19 (contact acier/fonte) et un contact qui ne se fait plus sur le cône prévu.

Ainsi on est certain que le frein est opérationnel lorsque l'ascenseur est en service. En revanche, cet essai est destructif lorsque les garnitures sont collées.

On étudie une nouvelle solution pour éliminer ce problème : remplacer le contact garniture / fonte par un contact acier / acier graissé. On conserve la géométrie et les dimensions actuelles des éléments frottant, mais on va changer les rondelles ressorts afin de compenser la perte sur le facteur de frottement.

En partant du théorème de l'énergie cinétique écrit précédemment, on peut estimer la distance d'arrêt, en fonction de la précharge et de la raideur de l'empilement de rondelles.

L'abaque en document ressource fournit pour diverses distances d'arrêt des valeurs de raideurs et de précharges compatibles.

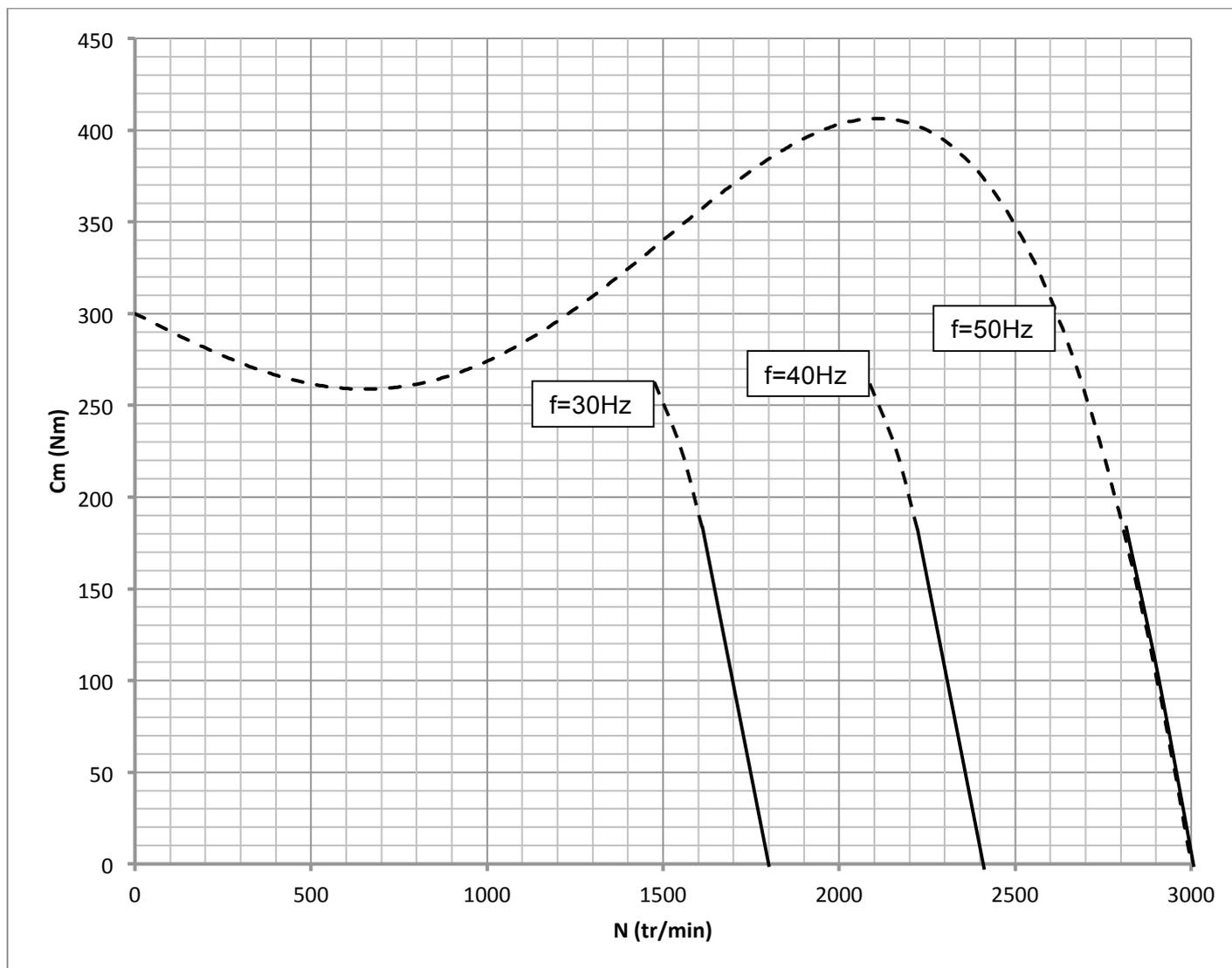
Question 34. En utilisant les mêmes rondelles, proposer un empilement, dont l'encombrement ne dépasserait pas celui de l'empilement d'origine (voir figure ci-dessous) et qui permettrait un arrêt sur une distance respectant le cahier des charges.

Le cas échéant, on pourra utiliser d'autres rondelles proposées sur le document ressource 5.



Question 4 et 5 :

Courbes de couple **pour 3 moteurs**, en fonction de leur vitesse de rotation et de leur fréquence d'alimentation.



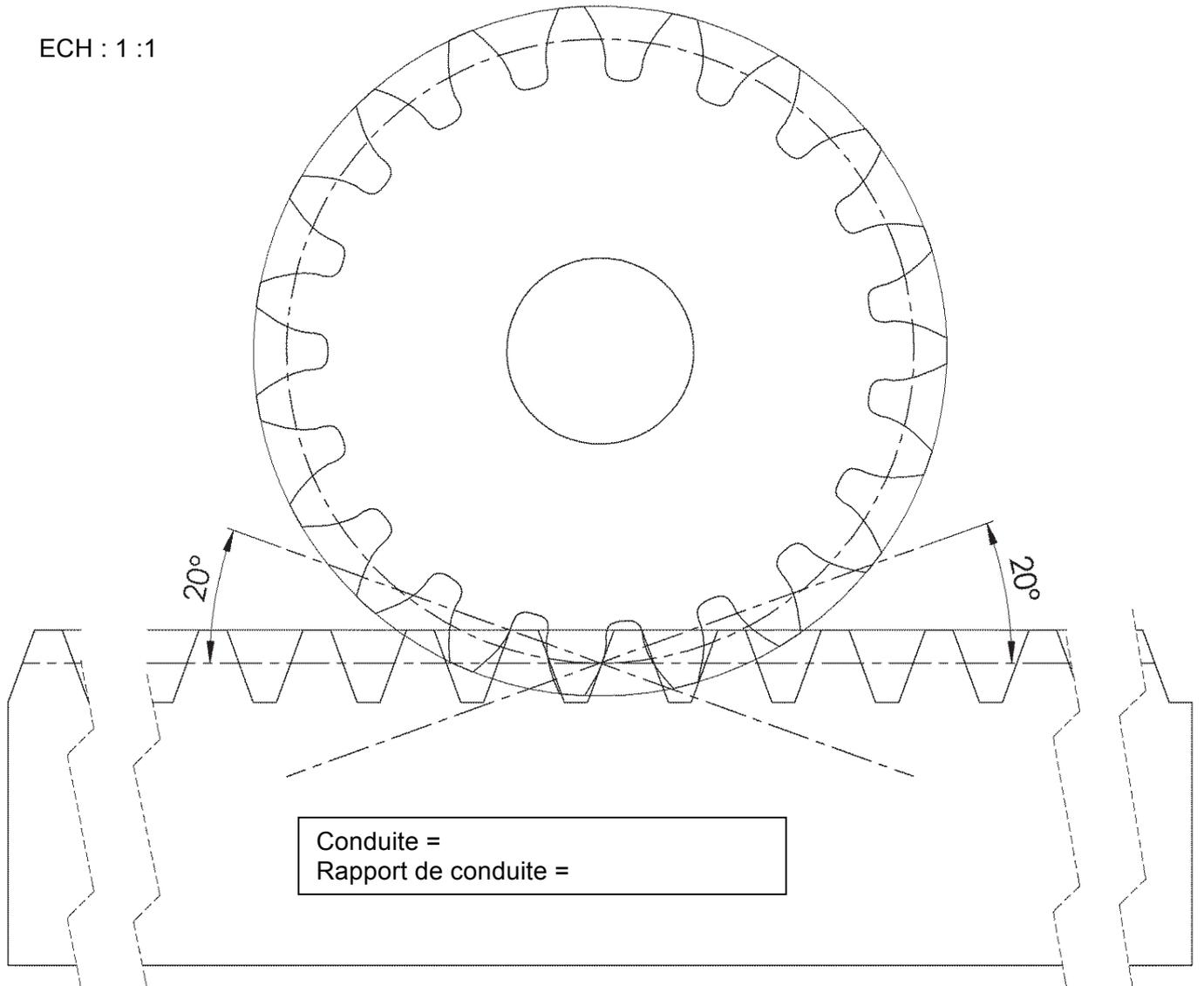
Définitions :

Point de fonctionnement : Lorsque le moteur est chargé et en régime permanent (vitesse de la cabine d'ascenseur constante), le couple délivré par le moteur est égal au couple résistant.

Zone utile : Zone tracée en trait plein sur les courbes ci-dessus. Les zones utiles correspondant aux différentes fréquences d'alimentation sont des droites parallèles. Dans le cas qui nous concerne, le rapport de la tension d'alimentation sur la fréquence d'alimentation est constant.

Questions 8 et 9 :

ECH : 1 : 1

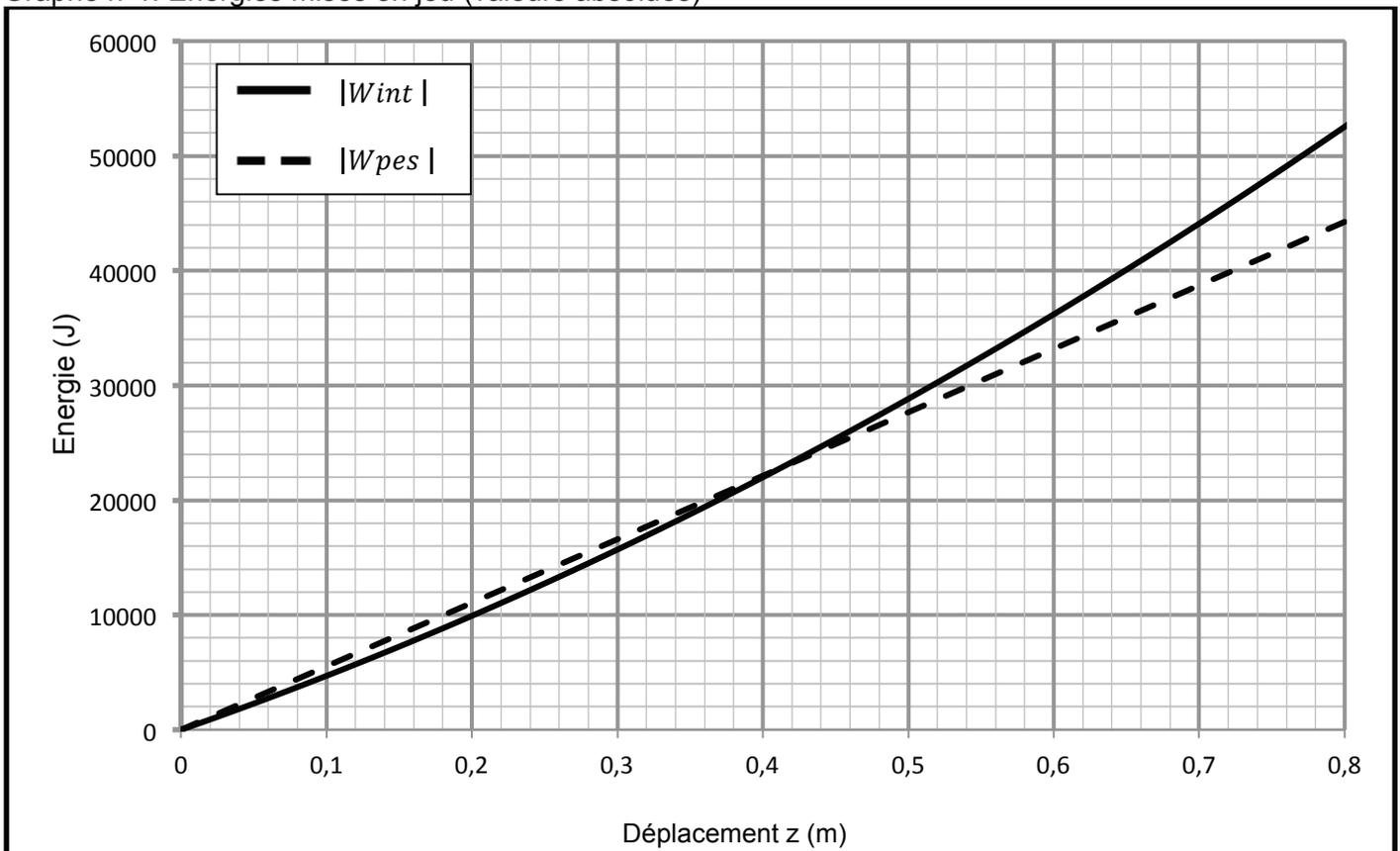


nombre de contacts



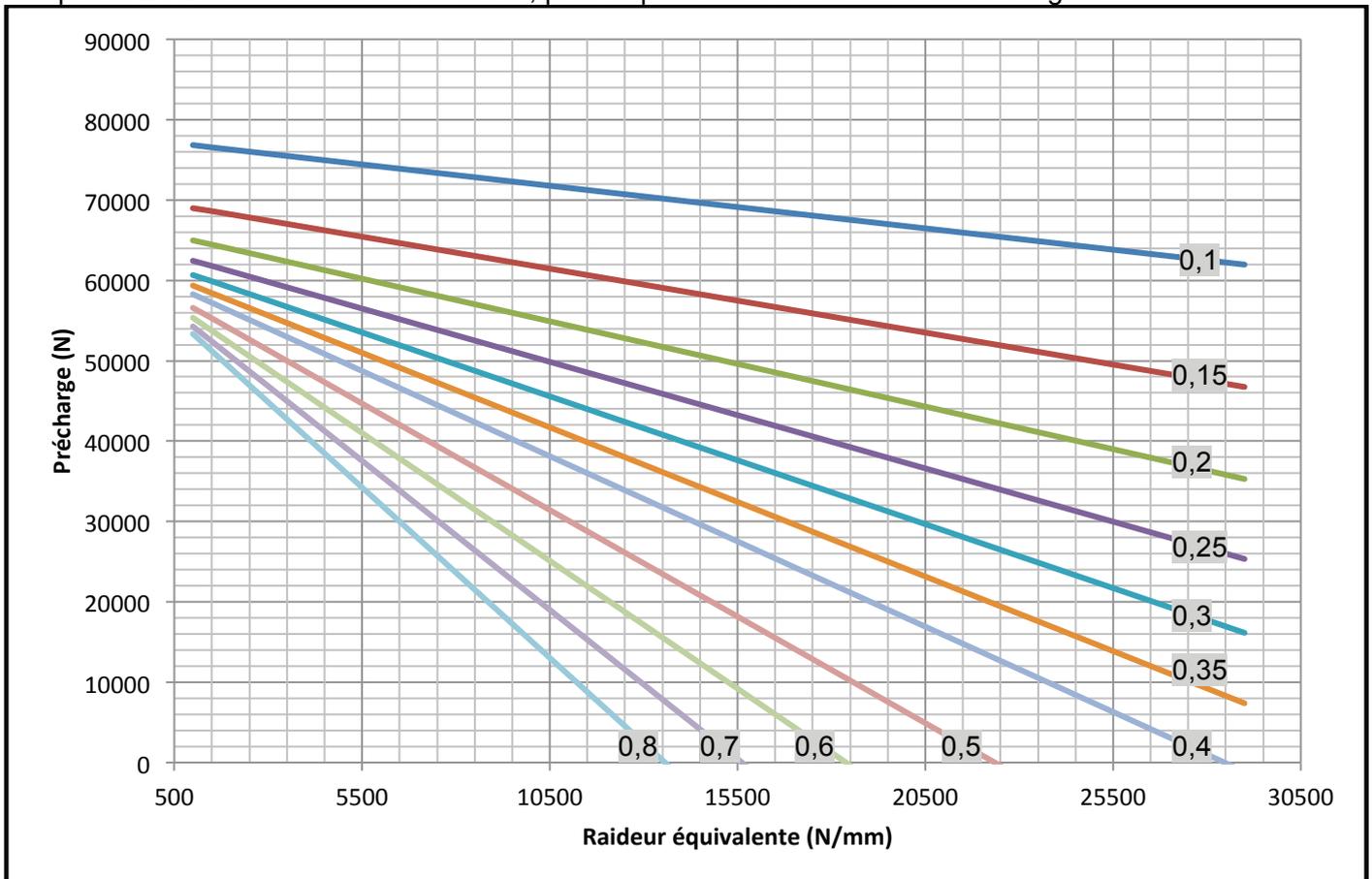
Question 33 :

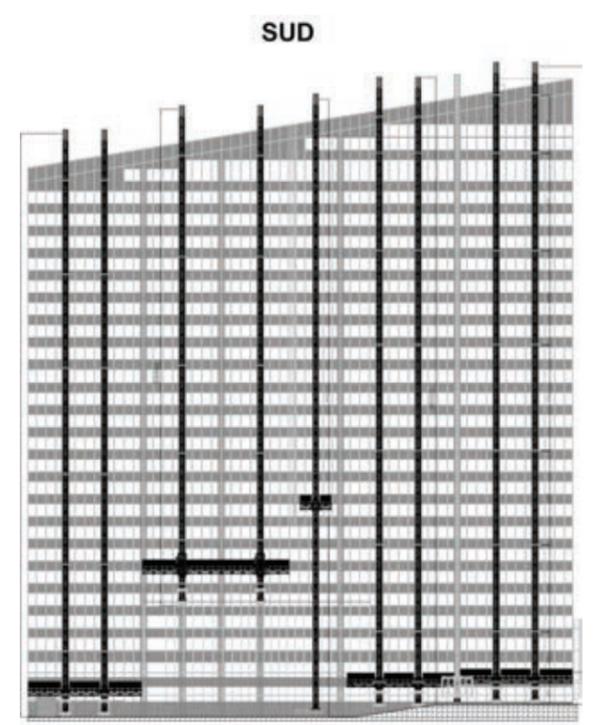
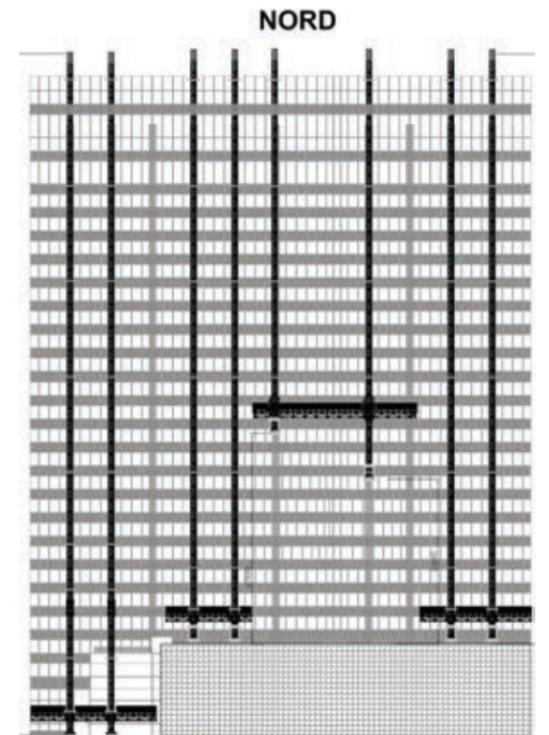
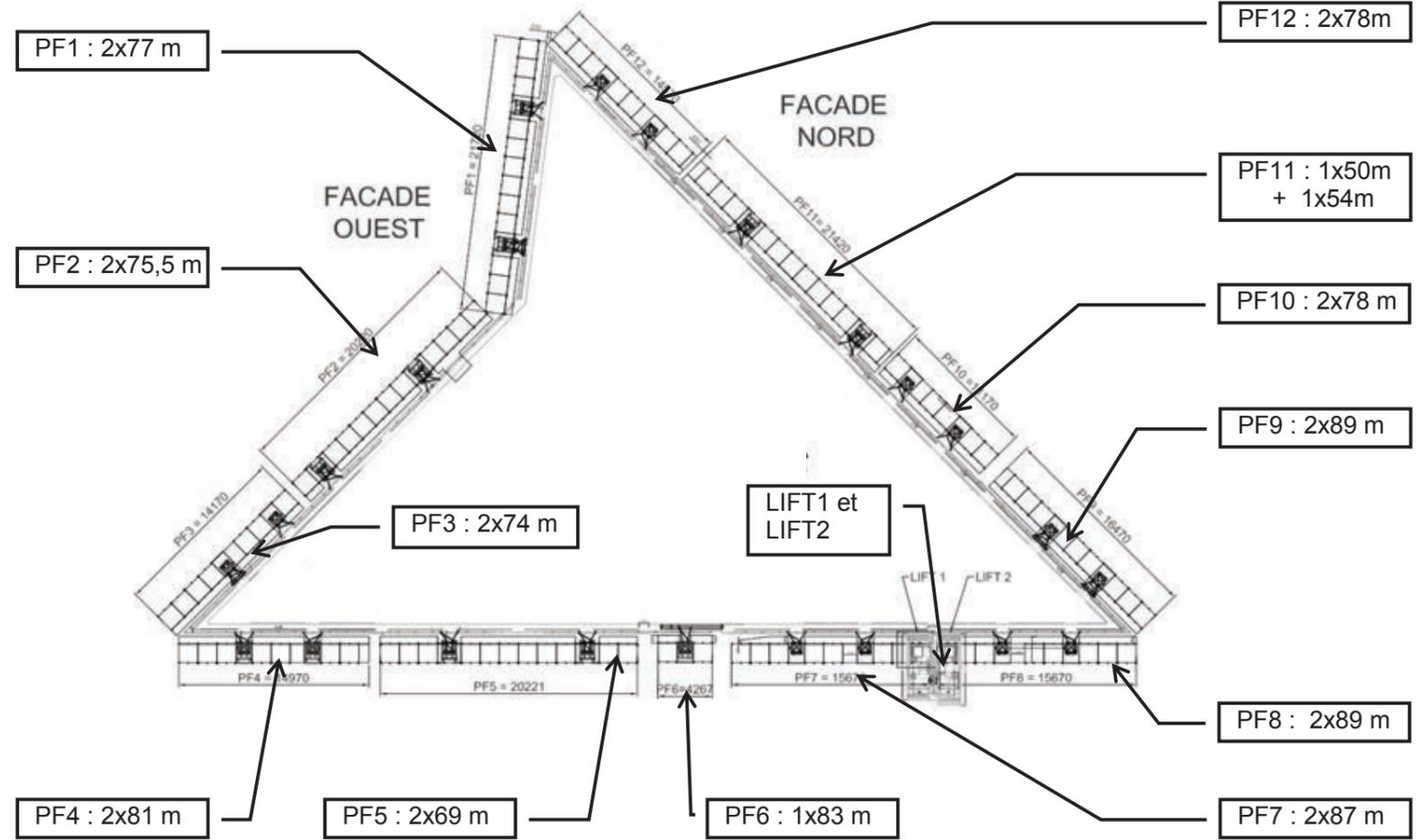
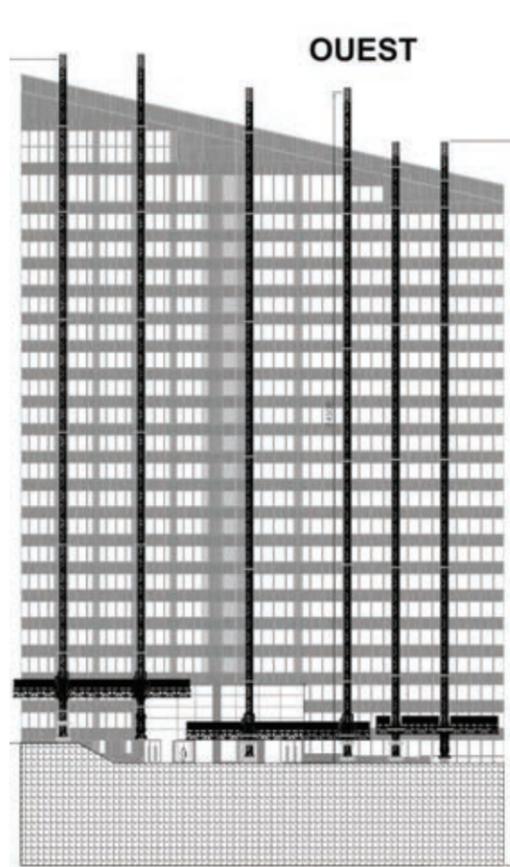
Graphe n°1: Energies mises en jeu (valeurs absolues)



Question 34 :

Graphe n°2 : Distances d'arrêts en mètre, pour le parachute à contact acier /acier graissé





SCANDO 650

ALIMAK **HEK**

Données techniques

Général

Pays d'installation	France
Régulation	EN 12 159
Motorisation	moteurs triphasés FC ou DOL

Performances

Charge utile	3200 kg
Nombre de passagers	29
Vitesse moyenne	0,9 m/s (DOL) - 0 à 0,9m/s (FC)
Hauteur d'ascension maximale	150 m

Cabine

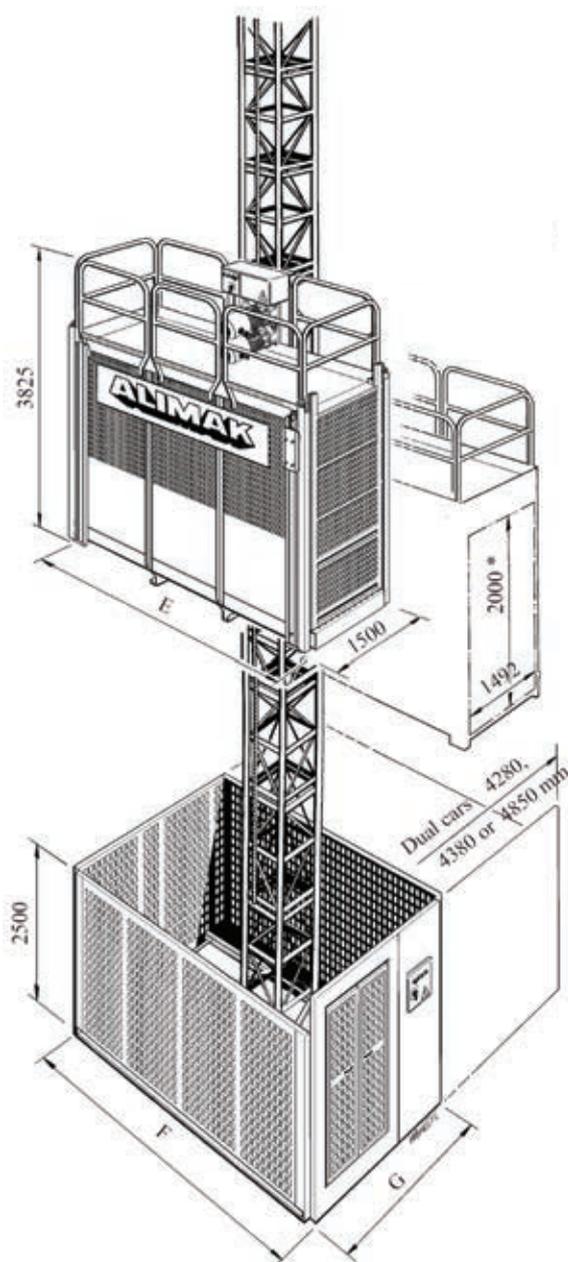
Largeur interne	1.50 m
Longueur interne	3.90 m
Longueur externe (E)	4.02 m
Hauteur interne	2.30 m
Hauteur de porte	2 m

Données électriques

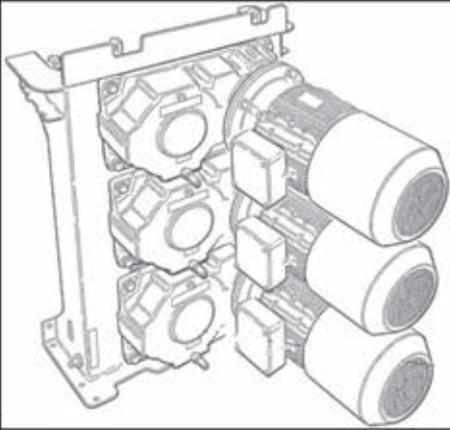
Tension d'alimentation	3x400 V - 50Hz
Fusibles recommandés	125 A
Consommation électrique	77 kVA
Courant de démarrage	128 A
Puissance motrice	3x11 kW

Dimensions et masses pour le transport

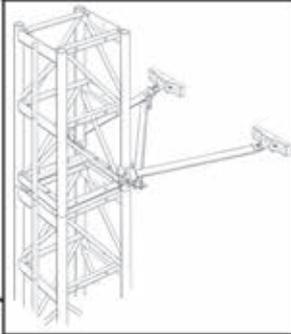
Masse cabine (bloc moteur inclus)	2440 kg
Masse de bloc moteur	890 kg
Masse de la base	3660 kg
Masse d'une section de mat	115 kg
Longueur d'une section de mât	1508 mm
Longueur de la base (F)	4.40 m
Largeur de la base (G)	4.28 m
Hauteur de la base	3.10 m



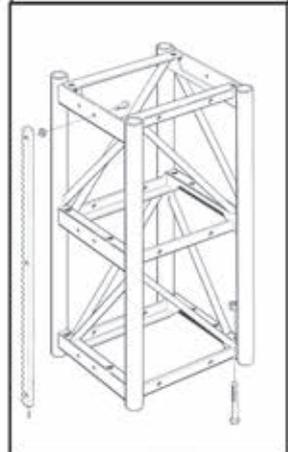
Moteurs et réducteurs



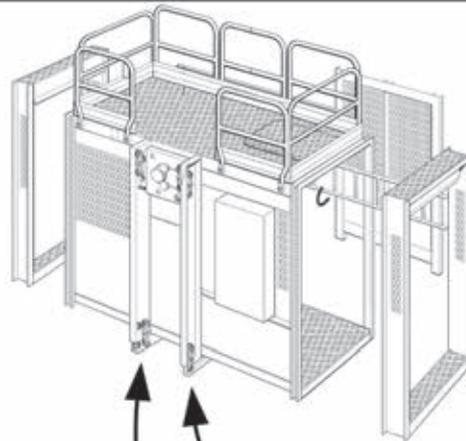
Sections de mât
assemblées et
fixation murale



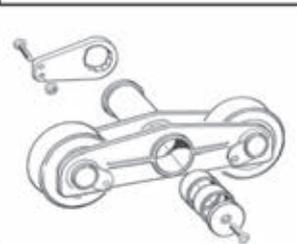
Section de mât



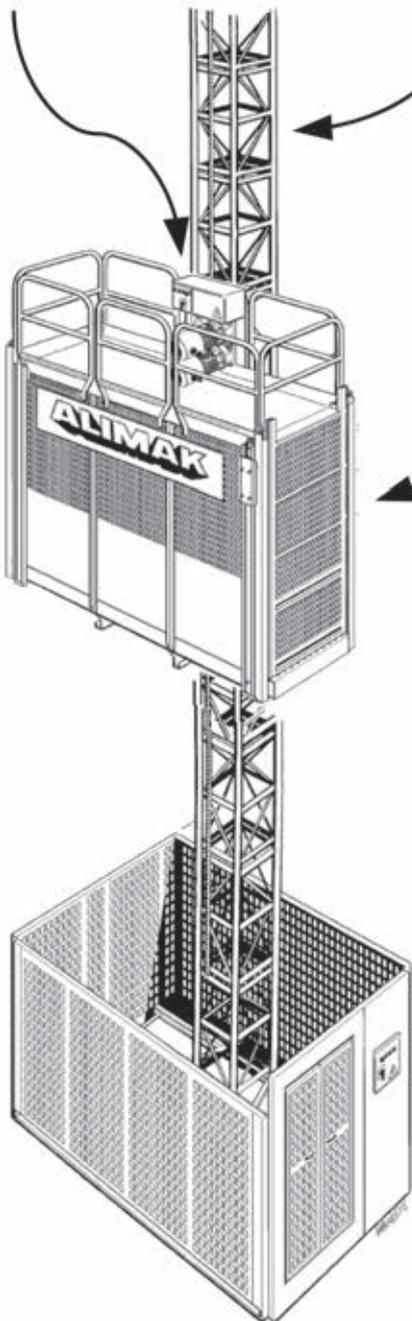
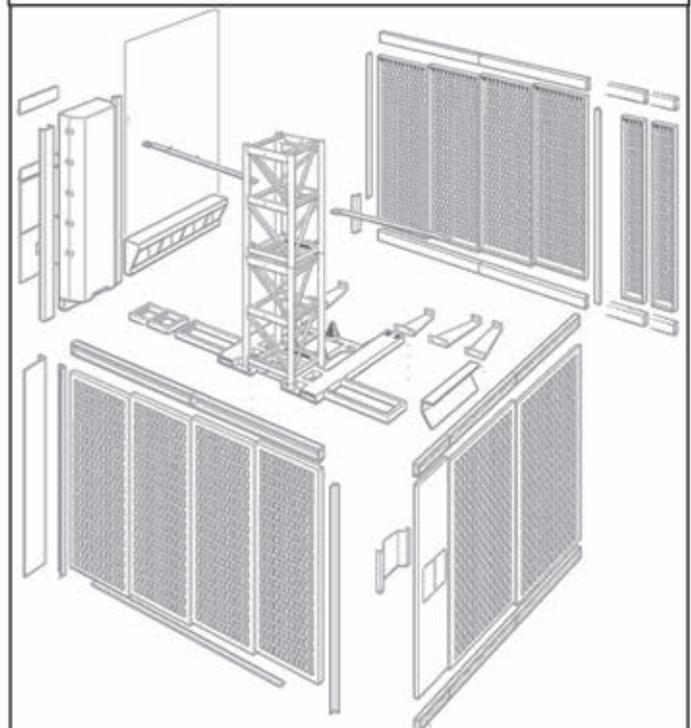
Cabine



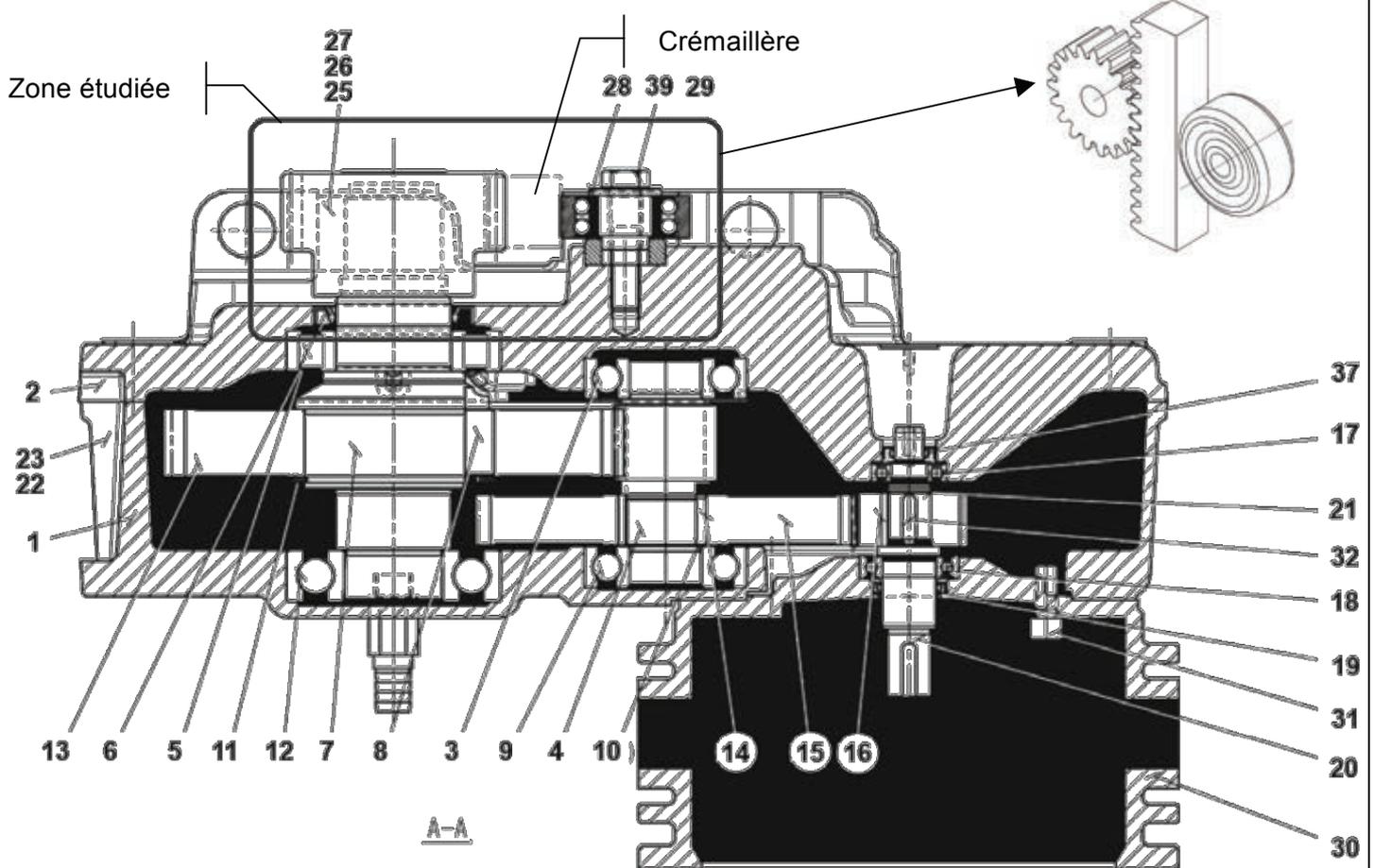
Paire de galets de guidage (x8)



Base



L'ascenseur dispose de trois motoréducteurs, partiellement décrits ci-dessous.



Réducteur :

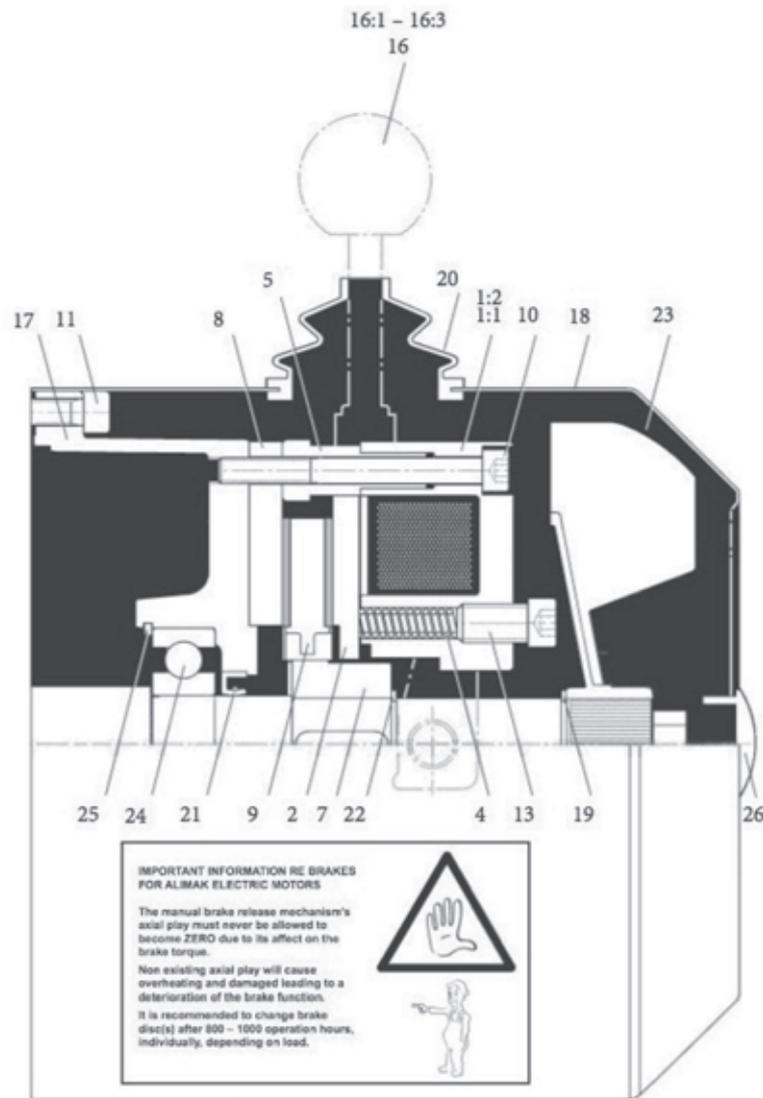
Rapport de réduction : 1 / 14,29

Pignon de sortie 25 : denture droite, $Z=19$, $m=5\text{mm}$, $\alpha=20^\circ$

Largeur de la crémaillère : 40 mm

Nomenclature partielle :

- | | |
|-------------------------------|----------------------------|
| 1- demi carter avant | 25- pignon |
| 2- demi carter arrière | 26- rondelle |
| 3- roulement à billes | 27- vis |
| 4- arbre intermédiaire | 28- roulement d'appui 3305 |
| 5- roulement à rouleaux | 29- rondelle |
| 6- joint à lèvres | 30- lanterne |
| 7- arbre de sortie | 31- vis |
| 8- pignon | 32- clavette |
| 9- roulement à billes | 33- |
| 10- entretoise | 34- |
| 11- pignon | 35- |
| 12- roulement à billes | 36- |
| 13- pignon | 37- anneau élastique |
| 14- clavette | 38- |
| 15- pignon | 39- vis |
| 16- pignon | |
| 17- roulement à billes | |
| 18- roulement à billes | |
| 19- joint à lèvres | |
| 20- arbre d'entrée | |
| 21- entretoise | |
| 22- vis | |
| 23- pion de centrage | |
| 24- témoin de hauteur d'huile | |

**Nomenclature partielle :**

1:1- Carcasse de l'électro-aimant

1:2- Bobine

2- Armature

3-

4- Ressort de pression

5- Douille

6-

7- Moyeu

8- Disque

9- Disque de friction

10- Boulon de fixation

11- Boulon à tête cylindrique

12-

13- Vis de réglage

14-

15-

16- Déblocage manuel

16:1- Levier

16:3- Boulon à tête cylindrique

17- Bride

18- Protection ventilateur

19- Anneau élastique

20-

21- Joint d'étanchéité

22- Anneau élastique

23- Ventilateur

24- Roulement à billes

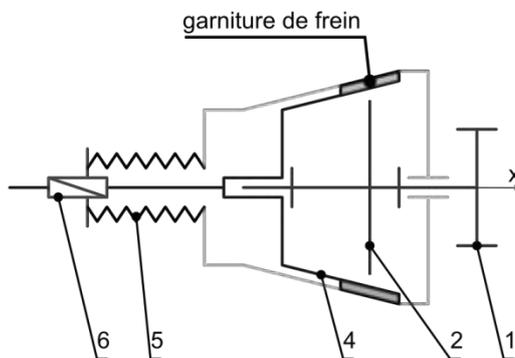
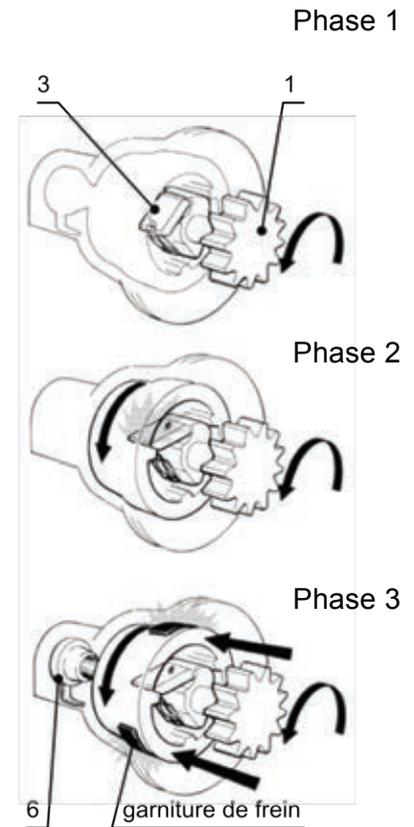
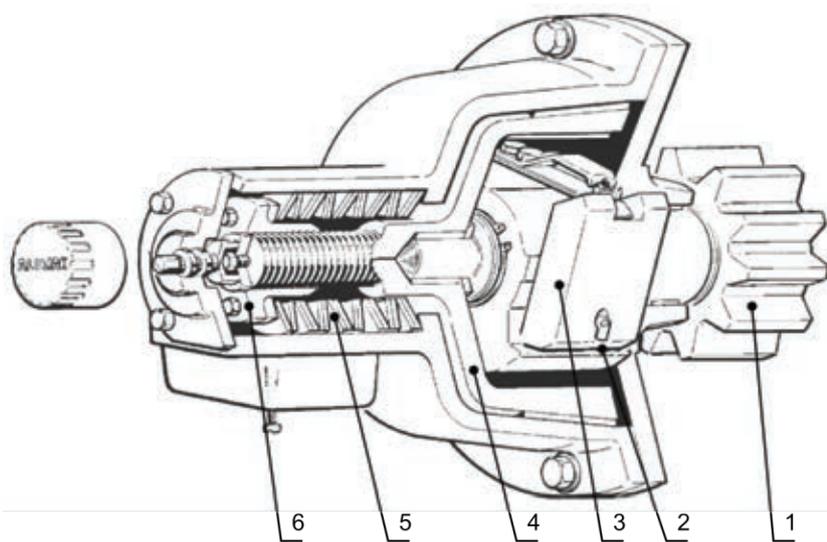
25- Bague élastique

26- Bouchon

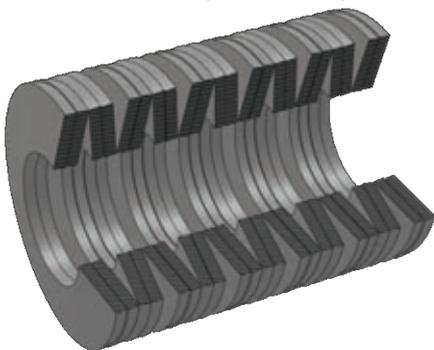
Le frein parachute est un composant obligatoire sur les ascenseurs. Il doit se déclencher lorsque la vitesse de l'ascenseur dépasse de 50% sa valeur nominale.

Principe de fonctionnement :

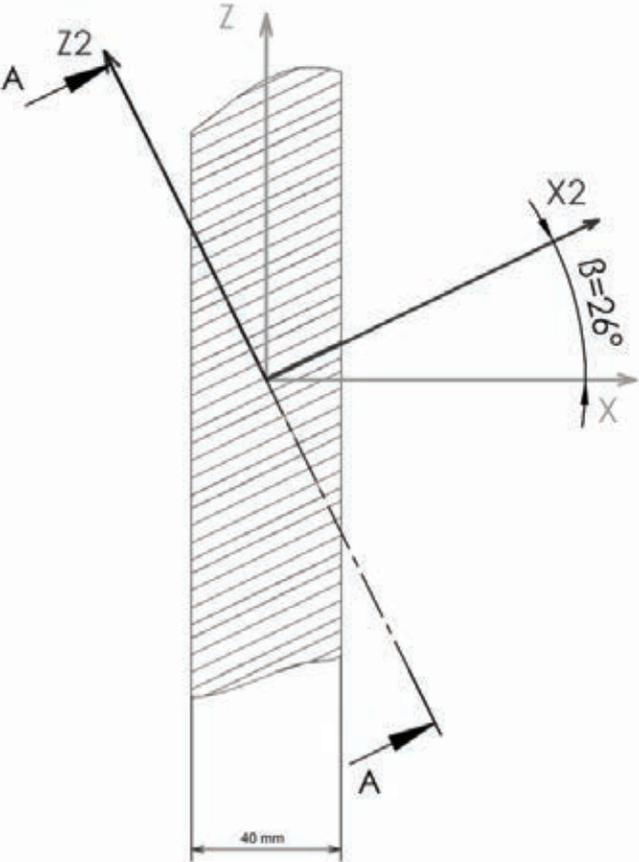
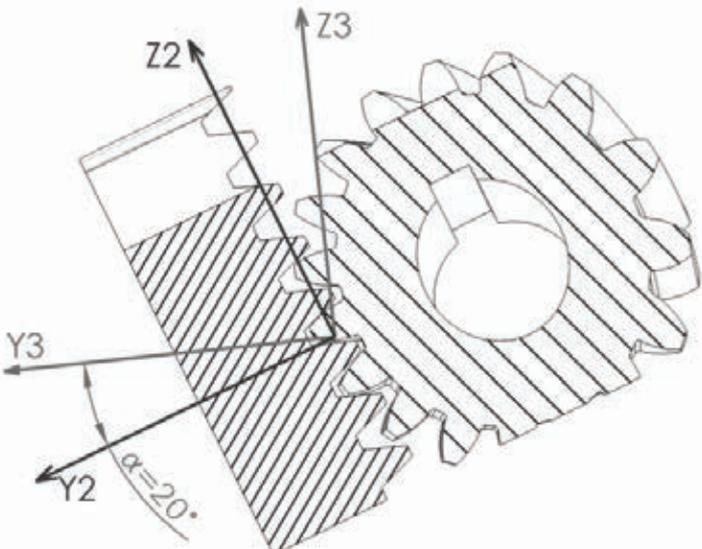
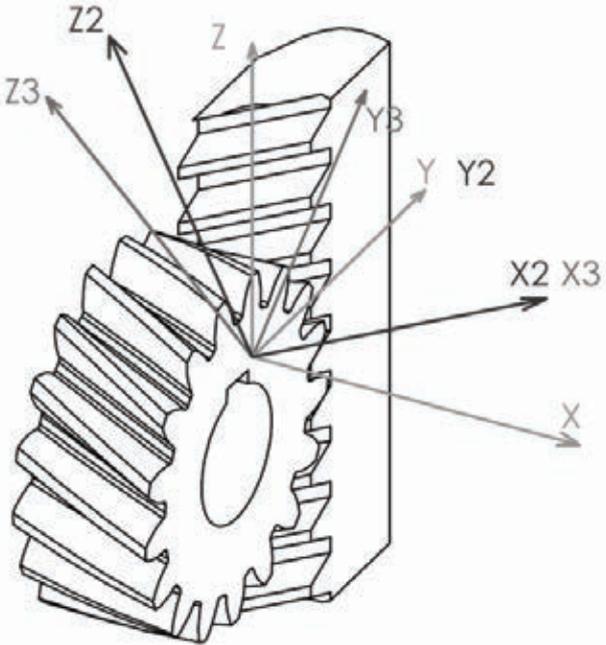
Le pignon 1 roule sur la crémaillère, entrainant le moyeu 2. Sur ce dernier, le doigt 3 s'écarte sous l'effet de la force centrifuge et accroche la roue à rochet 4. Cette dernière est munie d'une garniture de frein, qui frotte sur une portée conique. Les cônes male et femelle sont serrés l'un contre l'autre par les 22 rondelles 5, pré chargées par l'écrou 6. La charge axiale sur l'écrou augmente lorsque 4 tourne, ce qui conduit à serrer davantage le frein. On notera que pour cette raison, l'écrou 6 est immobilisé en rotation.



Détail du montage des vingt deux rondelles ressort 5 (Ref. rondelle : S23340)



DOCUMENT RESSOURCE 1 : Liaison pignon crémaillère



COUPE A-A

Géométrie des Engrenages droits et hélicoïdaux.

Module réel : m

Angle de pression réel : α

Angle d'hélice : β

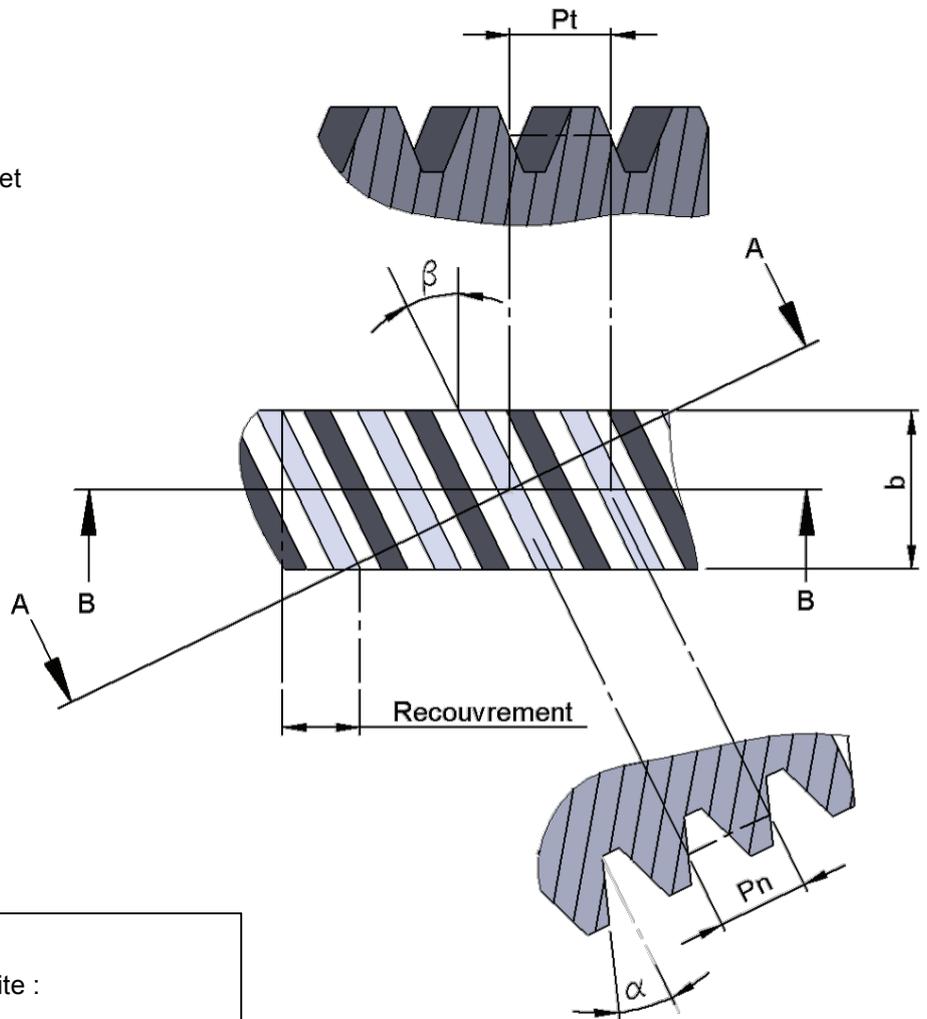
Largeur de dent : b

Pas apparent : $Pt = \frac{m \cdot \pi}{\cos \beta}$

Pas réel : $Pn = m \cdot \pi$

Diamètre primitif : $d = \frac{m \cdot Z}{\cos \beta}$

Recouvrement : $b \cdot \tan \beta$



Conduite et rapport de conduite :

La conduite est la longueur sur laquelle l'engrènement se réalise. (Voir schéma ci-contre)

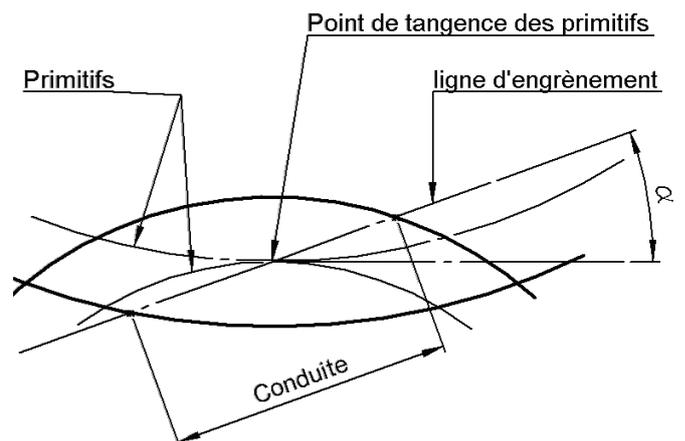
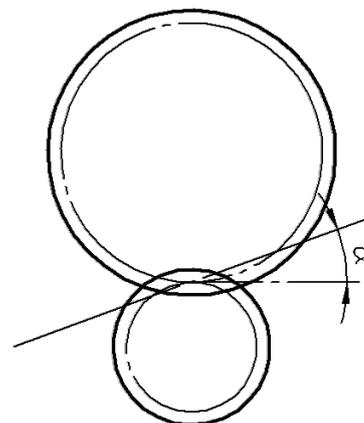
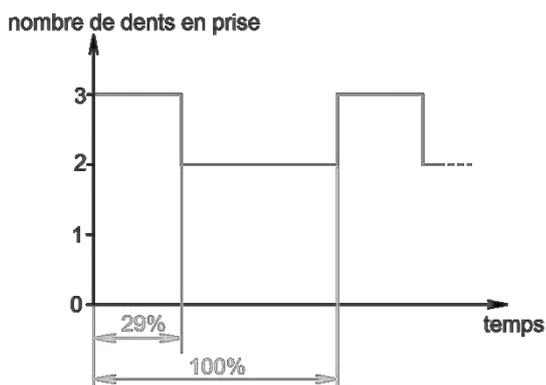
Dans le cas des dentures droites, en divisant la conduite par le pas, on obtient directement le nombre moyen de dents en prise dans l'engrenage.

Exemple :

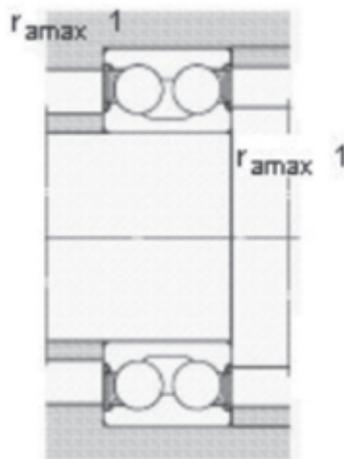
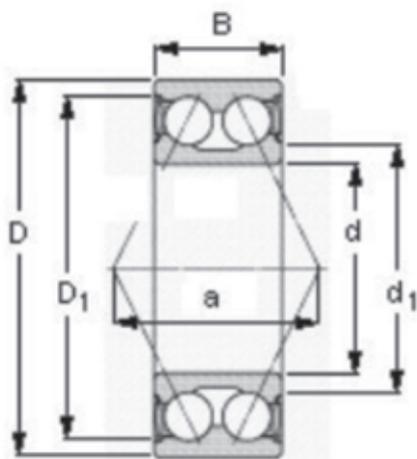
Conduite de 18mm, sur un engrènement de module 2,5mm

$$\text{rapport de conduite} = \frac{18}{2,5 \pi} = 2,29$$

Le nombre de contacts évolue donc comme suit au cours du temps :



Dimensions d'encombrement			Charges de base		Vitesses de base		Désignation
d	D	B	dynamique	statique	Vitesse de référence	Vitesse limite	
mm			kN		tr/min		-
25	52	20,6	21,6	14,3	12000	12000	3205
25	62	25,4	32	20,4	11000	11000	3305
30	62	23,8	30	20,4	10000	10000	3206
30	72	30,2	41,5	27,5	9000	9000	3306
35	72	27	40	28	9000	9000	3207
35	80	34,9	52	35,5	8500	8500	3307

**Coefficients de calcul**

k_r	0,07
e	0,8
X	0,63
Y_1	0,78
Y_2	1,24
Y_0	0,66

Symboles

d_m	diamètre moyen du roulement [mm] = $0,5 (d + D)$
e	coefficient de calcul
F_a	charge axiale [kN]
F_r	charge radiale [kN]
F_{rm}	charge radiale minimale [kN]
k_r	coefficient de charge minimale
n	vitesse de rotation [tr/min]
P	charge dynamique équivalente [kN]
P_0	charge statique équivalente [kN]
X, Y_0, Y_1, Y_2	coefficients de calcul
ν	viscosité de fonctionnement effective du lubrifiant [mm^2/s]

Charge minimale

$$F_{rm} = k_r \left(\frac{\nu n}{1000} \right)^{2/3} \left(\frac{d_m}{100} \right)^2$$

Le poids des composants supportés par le roulement, combiné aux forces extérieures, dépasse généralement la charge minimale requise. Dans le cas contraire, le roulement doit être soumis à une charge radiale additionnelle.

Charge dynamique équivalente

$$F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r + Y_1 F_a$$

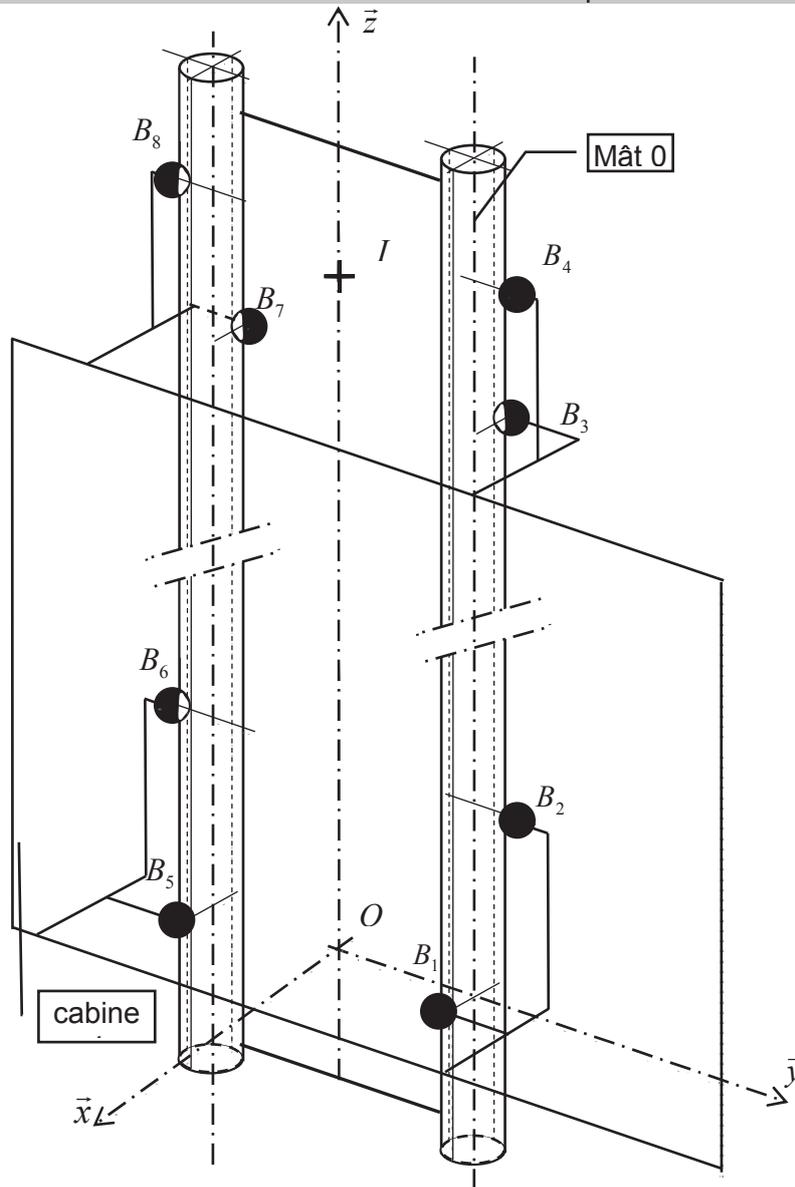
$$F_a/F_r > e \rightarrow P = X F_r + Y_2 F_a$$

Charge statique équivalente

$$P_0 = F_r + Y_0 F_a$$

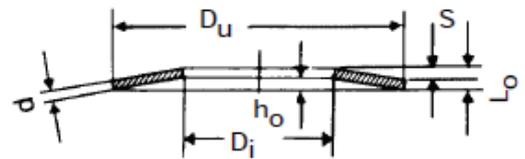
Une fois P déterminé, la durée de vie L_{10} , en million de tour est donnée par :

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^3$$



B ₁	$\{\tau(0 \rightarrow 4)\}_{B_1} = \begin{Bmatrix} 6916\bar{x} \\ \bar{0} \end{Bmatrix}_{B_1}$ $\overrightarrow{OB_1} = 40.\bar{x} + 320.\bar{y}$	B ₅	$\{\tau(0 \rightarrow 4)\}_{B_5} = \begin{Bmatrix} 6916\bar{x} \\ \bar{0} \end{Bmatrix}_{B_5}$ $\overrightarrow{OB_5} = 40.\bar{x} - 320.\bar{y}$
B ₂	$\{\tau(0 \rightarrow 4)\}_{B_2} = \begin{Bmatrix} 7333\bar{y} \\ \bar{0} \end{Bmatrix}_{B_2}$ $\overrightarrow{OB_2} = 360.\bar{y} + 400.\bar{z}$	B ₆	$\{\tau(0 \rightarrow 4)\}_{B_6} = \{0\}_{B_6}$ $\overrightarrow{OB_6} = -360.\bar{y} + 400.\bar{z}$
B ₃	$\{\tau(0 \rightarrow 4)\}_{B_3} = \begin{Bmatrix} -6916\bar{x} \\ \bar{0} \end{Bmatrix}_{B_3}$ $\overrightarrow{OB_3} = -40.\bar{x} + 320.\bar{y} + 3000.\bar{z}$	B ₇	$\{\tau(0 \rightarrow 4)\}_{B_7} = \begin{Bmatrix} -6916\bar{x} \\ \bar{0} \end{Bmatrix}_{B_7}$ $\overrightarrow{OB_7} = -40.\bar{x} - 320.\bar{y} + 3000.\bar{z}$
B ₄	$\{\tau(0 \rightarrow 4)\}_{B_4} = \{0\}_{B_4}$ $\overrightarrow{OB_4} = 360.\bar{y} + 3400.\bar{z}$	B ₈	$\{\tau(0 \rightarrow 4)\}_{B_8} = \begin{Bmatrix} -7333\bar{y} \\ \bar{0} \end{Bmatrix}_{B_8}$ $\overrightarrow{OB_8} = -360.\bar{y} + 3400.\bar{z}$
O	$\{\tau(pes \rightarrow 4)\}_O = \begin{Bmatrix} -55350\bar{z} \\ -22.10^3\bar{x} + 41,5.10^3.\bar{y} \end{Bmatrix}_O$	I	$\{\tau(cremaillère \rightarrow 4)\}_I = \begin{Bmatrix} 55350\bar{z} \\ \bar{0} \end{Bmatrix}_I$ $\overrightarrow{OI} = 2500.\bar{z}$

Référence	dimensions en mm					F in N S = h ₀	
	D _u	D _i	d	l ₀	h ₀	s	F
S 23080	40	16,3	1,75	3,1	1,35	1,35	5410
S 23090	40	16,3	2,0	3,1	1,1	1,1	6580
S 23100	40	18,3	2,0	3,15	1,15	1,15	7171
S 23110	40	20,4	1,0	2,3	1,3	1,3	1072
S 23120	40	20,4	1,5	2,65	1,15	1,15	3201
S 23130	40	20,4	2,0	3,1	1,1	1,1	7258
S 23140	40	20,4	2,25	3,15	0,9	0,9	8456
S 23150	40	20,4	2,5	3,45	0,95	0,95	12243
S 23160	45	22,4	1,25	2,85	1,6	1,6	2007
S 23170	45	22,4	1,75	3,05	1,3	1,3	4475
S 23180	45	22,4	2,5	3,5	1,0	1,0	10037
S 23190	48	16,3	1,5	3,0	1,5	1,5	2531
S 23200	50	18,4	1,25	2,85	1,6	1,6	1459
S 23210	50	18,4	1,5	3,15	1,65	1,65	2600
S 23220	50	18,4	2,0	3,65	1,65	1,65	6163
S 23230	50	18,4	2,5	4,15	1,65	1,65	12038
S 23240	50	18,4	3,0	4,2	1,2	1,2	15128
S 23250	50	20,4	2,0	3,5	1,5	1,5	5745
S 23260	50	20,4	2,5	3,85	1,35	1,35	10098
S 23270	50	22,4	2,0	3,6	1,6	1,6	6329
S 23280	50	22,4	2,5	3,9	1,4	1,4	10817
S 23290	50	25,4	1,25	2,85	1,6	1,6	1646
S 23300	50	25,4	1,5	3,1	1,6	1,6	2844
S 23310	50	25,4	2,0	3,4	1,4	1,4	5898
S 23320	50	25,4	2,25	3,75	1,5	1,5	8997
S 23330	50	25,4	2,5	3,9	1,4	1,4	11519
S 23340	50	25,4	3,0	4,1	1,1	1,1	15640
S 23350	56	28,5	1,5	3,45	1,95	1,95	2766
S 23360	56	28,5	2,0	3,6	1,6	1,6	5379
S 23370	56	28,5	2,5	4,2	1,7	1,7	11164
S 23380	56	28,5	3,0	4,3	1,3	1,3	14752
S 23390	60	20,5	2,0	4,2	2,2	2,2	5636
S 23400	60	20,5	2,5	4,7	2,2	2,2	11008
S 23410	60	20,5	3,0	5,2	2,2	2,2	19022
S 23420	60	25,5	2,5	4,4	1,9	1,9	9997
S 23430	60	25,5	3,0	4,65	1,65	1,65	15002



- D = Epaisseur de la matière
 Du = Diamètre extérieur
 Di = Diamètre intérieur
 Lo = Longueur au repos
 Ho = Longueur en charge
 F = Force en Newton en Ho
 S = Flèche

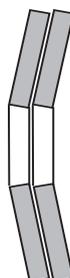
← Rondelles actuelles

Rappel sur la raideur équivalente d'un empilement :

raideur k



raideur 2k



raideur k/2

