

SESSION 2012

**CAPET
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP**

**Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR
Option : INFORMATION ET NUMÉRIQUE**

ÉPREUVE DE SYNTHÈSE DE SCIENCES INDUSTRIELLES

Durée : 5 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.

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 : Hormis l'en-tête détachable, 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.

Ascenseurs du nouvel hôpital de Clermont-Ferrand



Au cœur de la ville de Clermont-Ferrand (Puy de Dôme), le site Estaing, ancien îlot industriel Michelin, est parfaitement adapté pour recevoir les activités de l'ancien hôpital.

Le Nouvel Hôpital d'Estaing (NHE) d'une capacité de 565 lits, regroupe quatre grands pôles, gynécologie-obstétrique et reproduction humaine, pédiatrie, digestif, spécialités médico-chirurgicales. Il est réparti en trois secteurs, un secteur « adultes » au sud, un pôle « mère/enfant » à l'ouest et un plateau « médico-technique » au nord.

Entièrement informatisé, ouvert sur l'extérieur grâce à son artère interne longue de 200 m, respectueux de l'environnement, le Nouvel Hôpital d'Estaing est un équipement phare de l'agglomération. L'hôpital est ouvert depuis le début de l'année 2010.

Le bâtiment comporte un sous-sol, 3 étages plus un niveau « terrasse ». Les différents étages sont desservis par des ascenseurs de marque Otis.

La technologie des composants utilisés pour la réalisation des ascenseurs a fortement évolué au cours des dernières années. Ces évolutions procurent plus de confort d'utilisation, améliorent la fiabilité, augmentent la précision de l'arrêt, accroissent la sécurité et facilitent la maintenance.

Présentation des ascenseurs Otis

Les modèles installés sont des GeN2 du constructeur Otis. Ils sont représentatifs de l'évolution technologique opérée dans le domaine des ascenseurs :



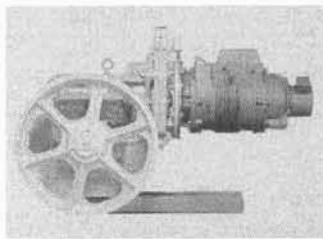
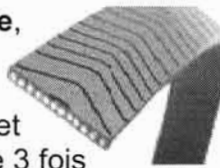
Câbles traditionnels en acier

La rigidité de l'acier nécessite un rayon de courbure important. Le serrage des câbles dans les gorges des poulies a un effet de laminage et crée un allongement de ceux-ci au cours du temps.



La courroie plate flexible,

en polyuréthane armée de torons d'acier, est jusqu'à 20 % plus légère et possède une durée de vie 3 fois plus grande qu'un câble traditionnel en acier. La flexibilité de la courroie permet un rayon de courbure beaucoup plus petit.



Machine traditionnelle à réducteur

Le large rayon de courbure des câbles requiert une machine avec une poulie de traction d'un diamètre généralement compris entre 50 et 90 centimètres.



Machine compacte sans réducteur

La poulie, d'un diamètre réduit jusqu'à 8 centimètres, a permis à Otis de concevoir des machines 70 % plus petites que des machines traditionnelles.

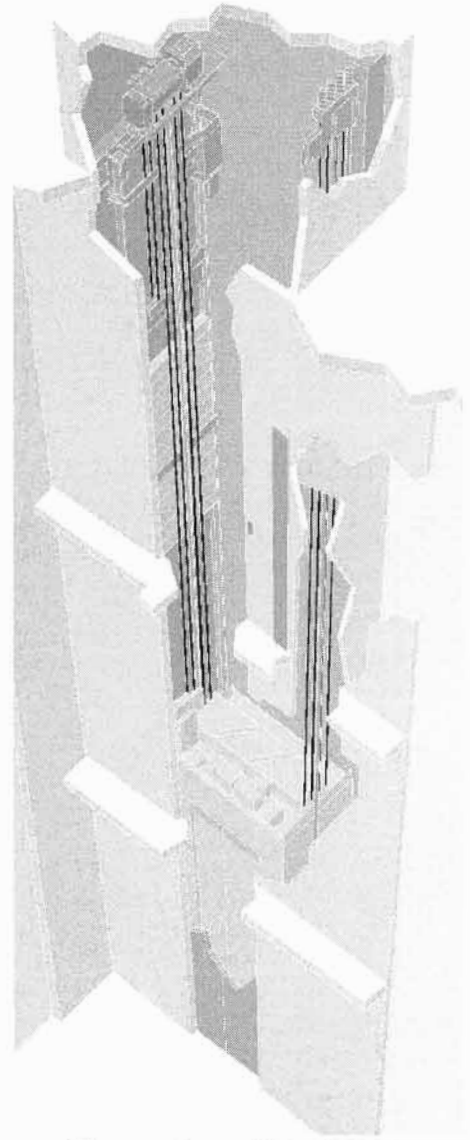
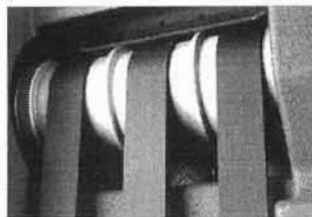
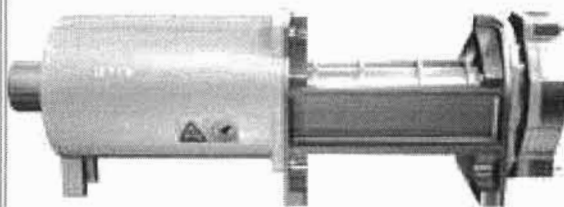


Figure 1 : architecture de l'ascenseur GeN2. Version sans local machine.



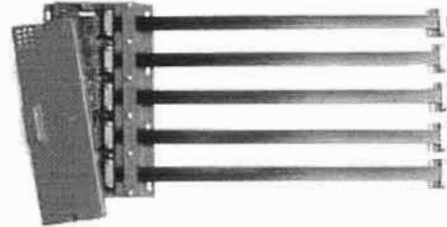
Vérification visuelle des câbles

La traditionnelle vérification visuelle des câbles est faite tous les six mois et requiert l'arrêt de l'ascenseur.

Évolution
technologique →

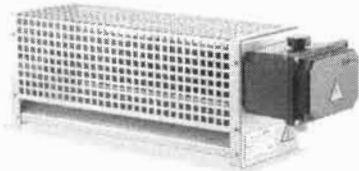
Contrôle permanent des câbles

Le système électronique contrôle l'état des torons d'acier des courroies en permanence.



Économies d'énergie

Selon la charge, un ascenseur crée de l'énergie qui doit être dissipée dans le système.



Système traditionnel

Cette énergie électrique est dissipée sous forme de chaleur dans des résistances.

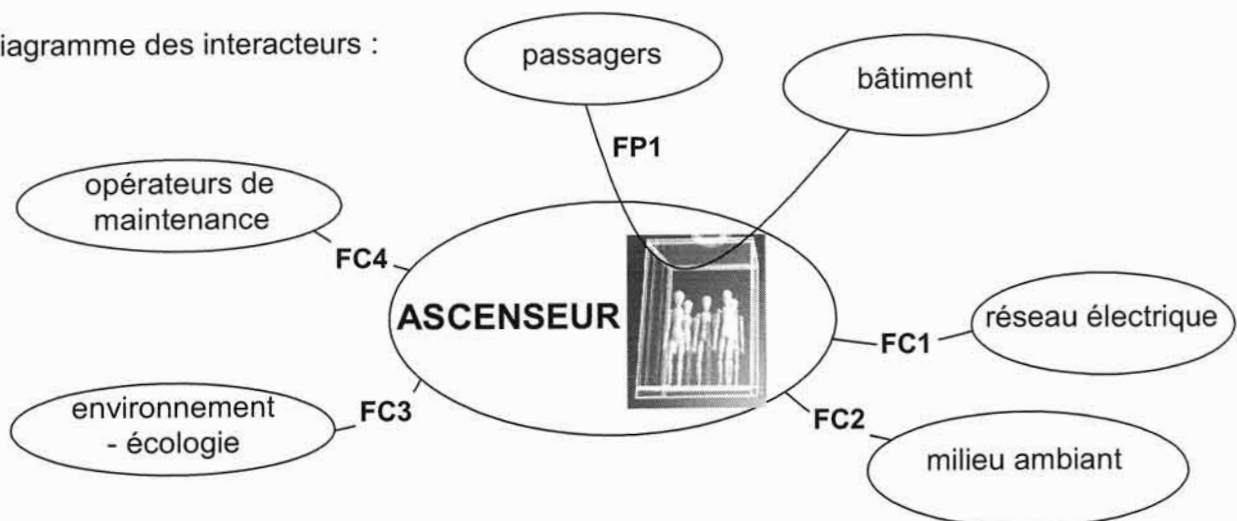
Évolution
technologique →

L'ascenseur étudié est équipé d'un convertisseur réversible appelé ReGen, (entraînement dit régénératif) qui permet de renvoyer cette énergie vers un autre ascenseur ou l'installation électrique de l'immeuble.



Éléments de cahier des charges

Diagramme des interacteurs :



Fonctions	Critères	Niveaux
FP1 : transporter des passagers vers l'étage choisi	<p>Caractéristiques générales nombre d'étages desservis course totale type d'intégration nombre maximum de passagers masse maximale embarquée nombre de voyages par jour (aller ou retour) vitesse</p> <p>Gestion de l'accès temps d'ouverture des portes ouverture totale</p> <p>Sécurité respecter les normes de sécurité EN 81-2 et EN81-70 relatives aux installations d'ascenseurs, qui définissent notamment : - le système antichute de la cabine ; - la surveillance des éléments de traction ; - la force de pincement maxi dans les portes ; - le calcul des guides.</p>	5 16 m (5 niveaux de 3,2 m) sans local machine 13 $M_e = 1000 \text{ kg}$ 350 en moyenne $V = 1,6 \text{ m/s}$ (standard) 3 secondes $\pm 5 \%$ 900 mm 150N sur des surfaces non saillantes
FC1 : s'adapter au réseau électrique du bâtiment	tension fréquence régime de neutre	3 x 400 V 50 Hz Neutre à la terre TT
FC2 : résister au milieu ambiant	température hygrométrie présence de poussières	de 0° à 50° Peut atteindre 100 %
FC3 : respecter l'environnement	respect des normes environnementales en vigueur : acoustique et thermique	
FC4 : être maintenable	fréquence des opérations de préventif	Mensuelle

De très nombreuses contraintes doivent être respectées pour un ascenseur. Toutes, bien évidemment, ne seront pas étudiées dans ce sujet, mais nous nous intéresserons plus particulièrement aux problèmes liés à l'énergie et à son éventuelle récupération, à la sécurité et au respect de l'environnement. Pour cela, seront respectivement étudiés dans les cinq premières parties de ce sujet :

1. La manœuvre et la sécurité des portes ;
2. Le choix du système d'entraînement ;
3. La prévention de la chute de la cabine ;
4. L'énergie de fonctionnement et récupération d'énergie ;
5. L'ascenseur et son environnement : confort thermique et confort acoustique.

Puis une synthèse sera proposée sur les évolutions technologiques liées à l'ascenseur.

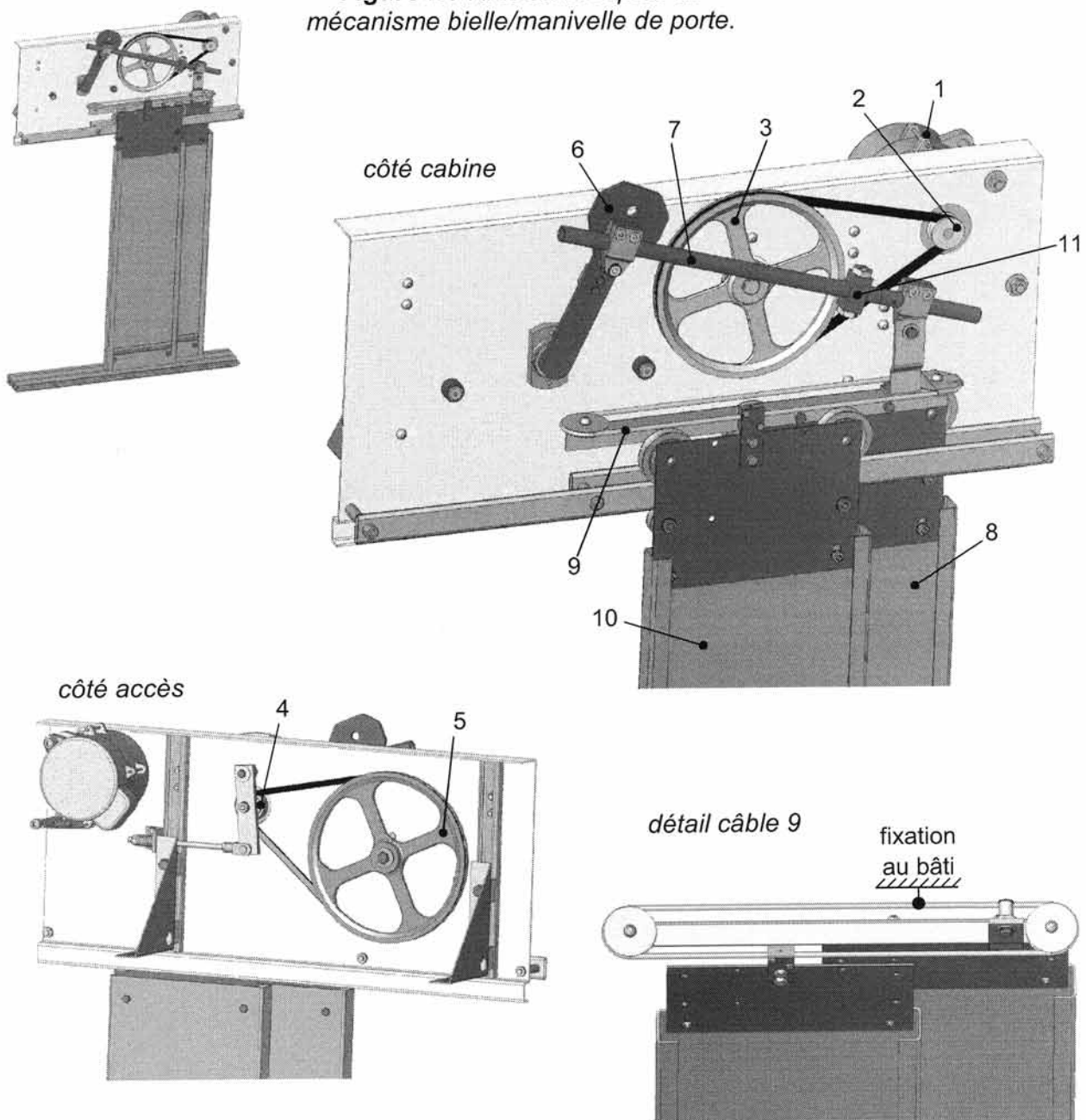
1. Manœuvre et sécurité des portes

Objectifs : analyser le système traditionnel de manœuvre des portes. Étudier le nouveau système à courroie.

L'opérateur de porte traditionnel est composé des éléments principaux décrits ci-dessous :

- un moteur électrique à courant continu (1) ;
- une réduction de vitesse par dispositif poulies-courroies (2), (3), (4), (5) ;
- un dispositif bielle (7) – manivelle (6) pour transformer le mouvement ;
- le panneau de porte (8), monté sur glissière est entraîné par la manivelle ;
- le panneau de porte (10) également monté sur glissière ;
- un limiteur mécanique réglable (11) qui se désolidarise en cas de forçage (pincement).

Figure 2 : vues sans capots du mécanisme bielle/manivelle de porte.



Données concernant le mécanisme de portes :

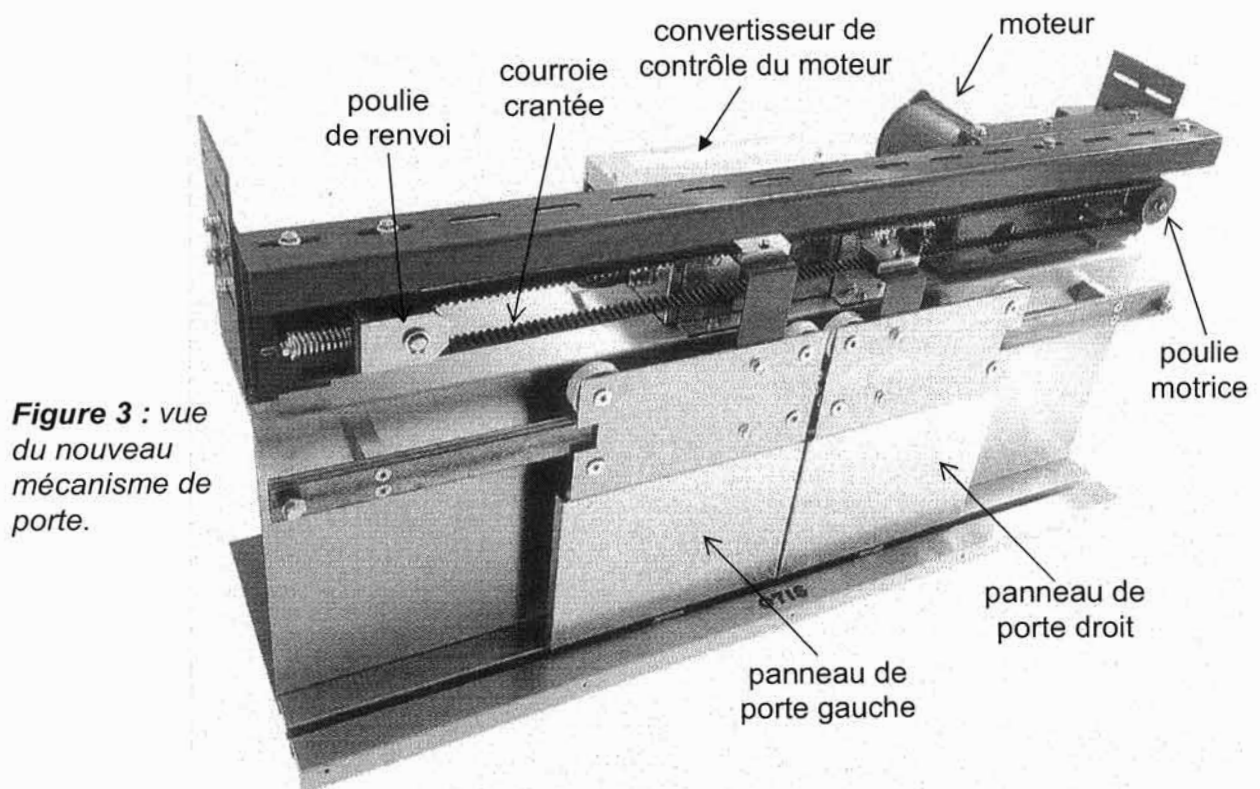
- vitesse du moteur (1) $N_{mot} = 400$ tr/min ;
- diamètres primitifs des poulies $\varnothing_2 = 35$ mm, $\varnothing_3 = 239$ mm, $\varnothing_4 = 45$ mm ;
 $\varnothing_5 = 295$ mm ;
- masse d'un panneau de porte $m_p = 42$ kg ;
- amplitude du mouvement du panneau de porte (8) $L = 450$ mm.

Question 1 : le sens de rotation de la poulie motrice (2) étant donné, indiquer **sur le DR1** par des flèches le sens du mouvement des pièces suivantes : poulie (3), manivelle (6), bielle (7), panneau de porte (8).

Question 2 : **sur le DR1**, en faisant une étude qualitative (sans calcul supplémentaire), compléter le document en dessinant l'allure de la courbe de vitesse du panneau de porte (8).

Le nouvel opérateur de porte est composé des éléments principaux décrits ci-dessous :

- un moteur électrique à courant continu et un réducteur ;
- un convertisseur électronique pour l'alimentation du moteur ;
- deux panneaux de porte montés sur des glissières ;
- une courroie crantée qui assure la transmission mécanique entre le moteur électrique et les panneaux de porte cabine.



Le convertisseur et sa carte de contrôle permettent d'optimiser les différentes phases du cycle (accélération, vitesse nominale, freinage). Les accélérations sont constantes et de même norme durant les première et dernière phases du cycle. Le blocage de la porte est détecté par un système de mesure de surintensité du courant induit du moteur.

Données concernant le mécanisme de portes :

- masse d'un panneau de porte complet $m_p = 42 \text{ kg}$;
- amplitude du mouvement de chaque porte $L = 450 \text{ mm}$;
- vitesse nominale d'ouverture et de fermeture $V_{nom} = 0,16 \text{ m/s}$;
- durée des phases d'accélération et de freinage $t_a = 0,2 \text{ s}$;
- poulie dentée (série L en pouce) $\varnothing_{\text{primitif}} = 72,77 \text{ mm}$;
- rapport de transmission du réducteur $i = 75$;
- rendement du réducteur $\eta = 0,7$;
- les effets de frottement sont négligés.

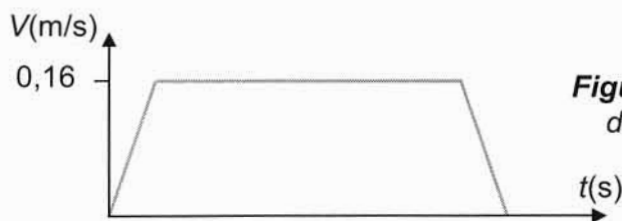


Figure 4 : allure de la courbe de vitesse d'ouverture d'un panneau de porte.

Question 3 : sur le DR1, compléter le schéma cinématique afin d'avoir un modèle cohérent du mécanisme.

Question 4 : calculer le temps d'ouverture de la porte et vérifier qu'il est conforme au cahier des charges.

Question 5 : calculer la fréquence de rotation du moteur ω_{nom} pour la vitesse nominale d'ouverture et de fermeture de la porte.

Question 6 : en appliquant le principe fondamental de la dynamique sur un panneau de porte, calculer l'effort de la courroie sur un panneau lors de la phase d'accélération.

Question 7 : calculer le couple moteur C_{acc} nécessaire lors de l'accélération.

La norme EN81-70 précise que la force de pincement ou de coincement d'une personne par une porte ne peut dépasser 150 N.

Question 8 : calculer le couple de pincement C_{pin} à ne pas dépasser pour respecter cette norme.

Question 9 : comparer les couples C_{pin} et C_{acc} et conclure quant à la sécurité des passagers qui pourraient être coincés lors de la fermeture des portes.

Étude du moteur de portes et de son convertisseur

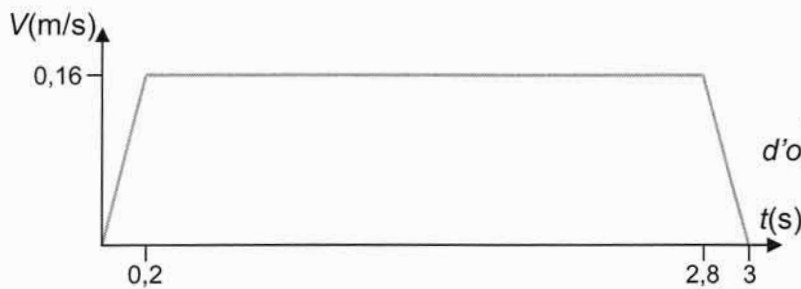


Figure 5 : courbe de vitesse d'ouverture d'un panneau de porte.

Le moteur de porte est un moteur à courant continu à aimants permanents. Ses caractéristiques sont données ci après.

Moteur KAG 28x58/l :

$U_n = 24 \text{ V}$	$N = 3150 \text{ tr/min}$	$C_u = 0,1 \text{ N}\cdot\text{m}$	$P_u = 33 \text{ W}$
$I_n = 1,6 \text{ A}$	$I_m = 1,8 \text{ A}$	$R = 2 \Omega$	$L = 5 \text{ mH}$

La sécurité anti pincement des utilisateurs est réalisée en contrôlant le couple moteur. Dans le cas d'un moteur à courant continu à aimants permanents le couple, C , est proportionnel à l'intensité efficace, I , du courant dans les enroulements d'induit, $C = k \cdot I$. Ainsi la mesure de ce courant moteur permet d'établir un ordre de réouverture des portes.

On note pour l'induit du moteur :

- U_n la tension nominale appliquée ;
- I_n l'intensité du courant au fonctionnement nominal ;
- I_m l'intensité maximale du courant ;
- E la force contre électromotrice ;
- R la résistance de l'enroulement d'induit ;
- L l'inductance de l'enroulement d'induit ;
- C_u couple nominal ;
- P_u puissance nominale.

On prendra les valeurs suivantes pour les calculs :

- couple au pincement $C_{pin} = 0,1 \text{ N}\cdot\text{m}$;
- couple moteur d'accélération $C_{acc} = 0,05 \text{ N}\cdot\text{m}$;
- fréquence de rotation $N = 3150 \text{ tr/min}$.

Dimensionnement du moteur de portes et de son convertisseur

Question 10 : calculer P_a , la puissance absorbée par le moteur au fonctionnement nominal. En déduire le rendement du moteur.

Question 11 : on néglige les pertes mécaniques du moteur ainsi que la réaction magnétique d'induit.

Montrer que le couple est proportionnel au courant d'induit. Puis calculer, I_{acc} , l'intensité du courant moteur lors de l'ouverture ou la fermeture des portes lorsque le moteur produit le couple C_{acc} .

Question 12 : calculer la puissance délivrée au moteur par le convertisseur dans les conditions de la question 11.

Étude du convertisseur de contrôle du moteur

Le convertisseur électronique de commande du moteur permet de faire varier la vitesse et de contrôler le couple. Il est alimenté à partir du réseau 230 V alternatif 50 Hz. Il délivre une tension continue variable de 0 à 35 V et un courant de 2,5 A en régime permanent et 5 A en pointe.

La tension de sortie du convertisseur est une onde modulée en largeur comme le montre la figure 7 suivante. La période, T , de ce signal est fixe. Le rapport cyclique, α , est réglable par contrôle de l'instant αT . Avec $0 < \alpha < 1$.

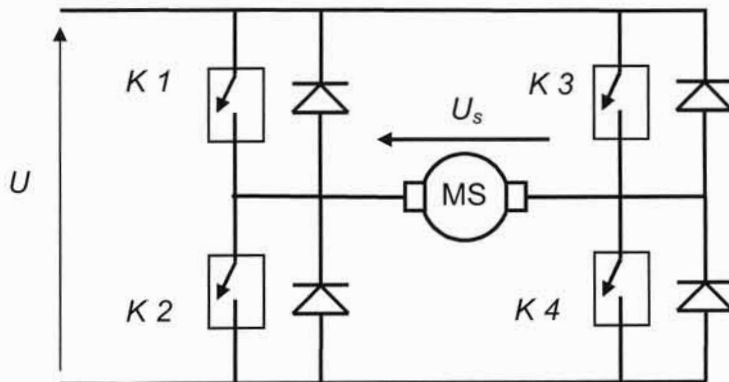


Figure 6 : schéma de principe du convertisseur.

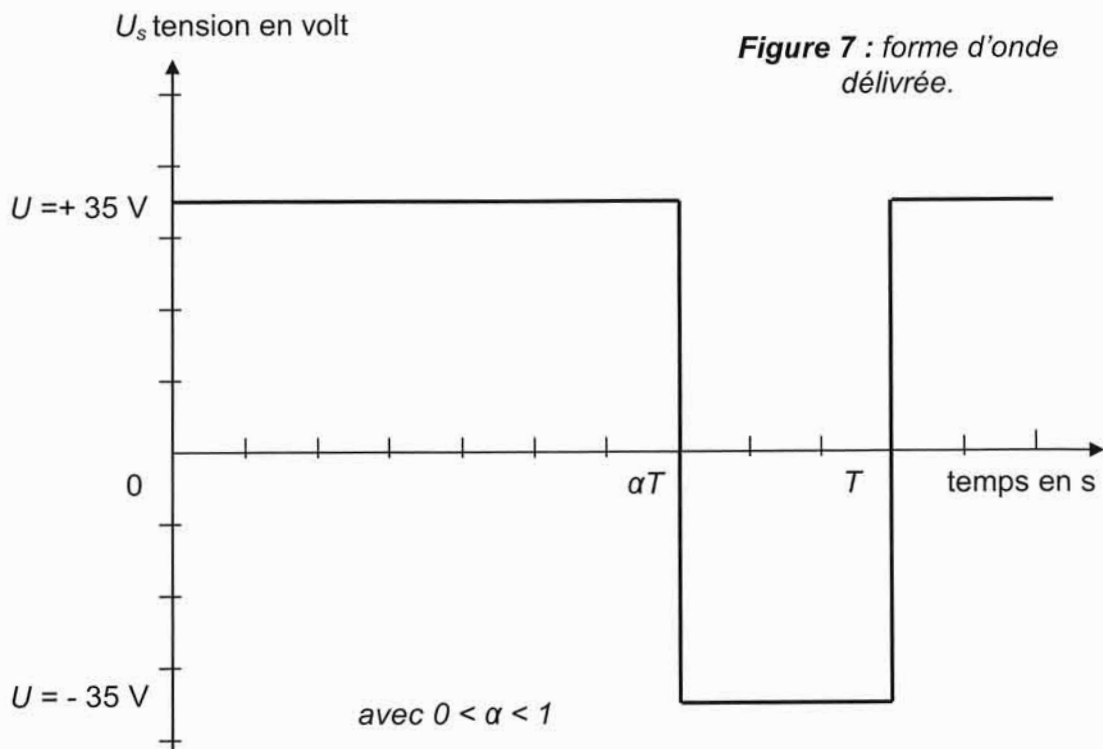


Figure 7 : forme d'onde délivrée.

Question 13 : expliquer comment ce convertisseur permet l'ouverture et la fermeture des portes ainsi que le réglage de la vitesse d'ouverture et de fermeture des portes.

Question 14 : exprimer, U_{smoy} , valeur moyenne de la tension de sortie U_s , en fonction du rapport cyclique α .

Question 15 : calculer la valeur que doit prendre ce rapport cyclique pour obtenir la vitesse nominale du moteur de porte.

Le moteur est alimenté par le convertisseur représenté figure 6.

On note L l'inductance de l'induit et E la force contre électromotrice de la machine.

La résistance R de l'induit est négligée.

On note I_m la valeur minimale de l'intensité du courant à l'instant $t = 0$ et I_M l'intensité du courant à l'instant $t = \alpha T$.

Figure 7 : de 0 à αT les interrupteurs $K1$ et $K4$ du convertisseur figure 6, sont fermés. Les interrupteurs $K2$ et $K3$ sont fermés de αT à T .

Question 16 : exprimer, i_1 , le courant d'induit du moteur dans l'intervalle $[0, \alpha T]$ en fonction des grandeurs moteur E , L .

Question 17 : exprimer, i_2 , le courant d'induit du moteur dans l'intervalle $[\alpha T, T]$ en fonction des grandeurs moteur E , L .

Tracer sur le même graphe $u(t)$ et $i(t)$ respectivement tension et courant d'induit du moteur en fonction du temps.

Question 18 : exprimer l'ondulation du courant $\Delta i = I_M - I_m$, dans l'induit du moteur. Calculer T afin que cette ondulation, pour la charge nominale, soit de 0,1 A lorsque $\alpha = 0,6$.

Comparer cette valeur à la constante de temps électrique du moteur et conclure.

Étude temporelle de la manœuvre des portes

Objectif : donner une solution grafcet au profil de vitesse des portes (figure 5).

Remarque : les phases d'accélération et de décélération ne sont pas étudiées car elles sont générées par le convertisseur.

Entrées	repère	Sorties	repère
Ordre de fermeture des portes	OFP	Ouverture des portes	OP
Information étage sélectionné	IES	Fermeture des portes	FP
Information cabine présente à l'étage	CPE		
Détection pincement	DP		
Portes ouvertes	PO		
Portes fermées	PF		

Fonctionnement des portes

Lorsque la cabine arrive à l'étage, l'information cabine présente CPE, devient active, les portes s'ouvrent automatiquement. Elles restent ouvertes pendant 10 secondes puis se referment. Ensuite si un étage a été sélectionné par l'utilisateur IES devient active. La cabine se déplace vers cet étage.

Pendant la fermeture des portes si l'information détection pincement DP devient active les portes s'ouvrent quelle que soit leur position. Elles restent ouvertes pendant 5 secondes puis se referment.

Remarque : l'information détection de pincement est fugitive. Elle disparaît donc dès que l'intensité du courant passe en dessous de la valeur du seuil, c'est-à-dire dès que la porte commence à s'ouvrir.

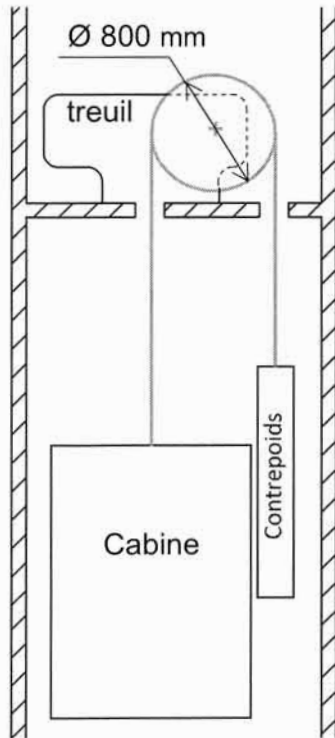
Question 19 : *sur le DR2, établir une solution grafcet pour le cahier des charges ci-dessus.*

Question 20 : *conclure sur la manœuvre et la sécurité des portes. Le système permet-il d'assurer la sécurité dans toutes les phases de la manœuvre des portes ? Justifier votre réponse.*

2 Choix du système d'entraînement

Objectif : analyser le système de traction traditionnel. Étudier et dimensionner des éléments du nouveau système.

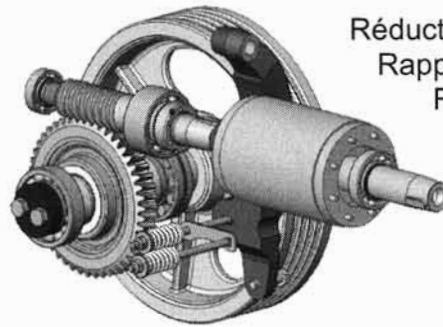
Ascenseur traditionnel avec local machine



Moteur asynchrone à deux vitesses, démarrage et arrêt en petite vitesse.

Arrêt par coupure de l'alimentation et serrage du frein mécanique.

Fréquence de l'arbre moteur : $N_{mot} = 1450$ tr/min



Réducteur à roue et vis sans fin

Rapport de transmission $i_{rv} = 38$

Rendement $\eta_{rv} = 0,75$

Diamètre poulie $\varnothing_p = 800$ mm

Frein à tambour



4 câbles en acier toronné.

rayon de courbure mini : 300 mm

facteur d'adhérence par rapport à la poulie : $f = 0,15$

Figure 8 : ascenseur à treuil traditionnel avec local machine.

On étudie l'ascenseur en charge maximale en montée à vitesse nominale et accélération constante :

- masse de la cabine seule $M_c = 600$ kg ;
- masse du contrepoids $M_p = 1100$ kg ;
- masse maximale embarquée $M_e = 1000$ kg ;
- masse des câbles négligée ;
- accélération de pesanteur $g = 9,8$ m·s⁻².

Question 21 : calculer l'effort de traction dans un seul des quatre câbles côté cabine puis côté contrepoids.

Question 22 : calculer la vitesse de la cabine de l'ascenseur.

Question 23 : calculer le couple sur l'arbre moteur à vitesse constante.

Extrait de la documentation du moteur asynchrone.

I_d courant de démarrage

I_n courant nominal

C_d moment au démarrage

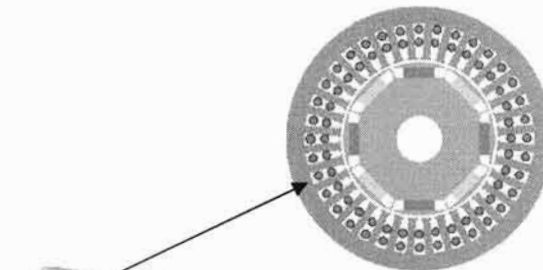
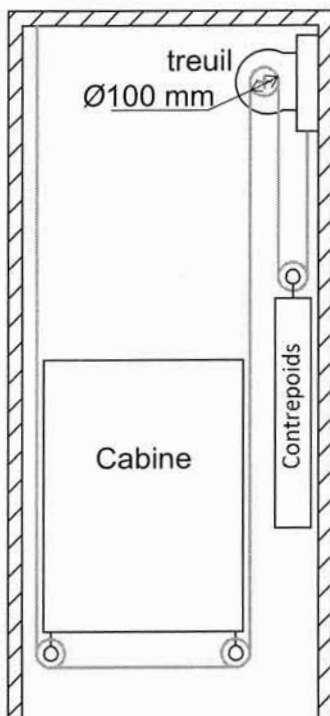
C_n moment nominal

Tableau de caractéristiques du moteur asynchrone :

	Puissance nominale	Vitesse nominale	Moment nominal	Facteur de puissance				Rendement				I_d/I_n	C_d/C_n
	P	N	C_n	$\cos \varphi$				η					
Type	KW	t/min	Nm	4/4	3/4	2/4	1/4	4/4	3/4	2/4	1/4		
LS 160	11	1454	72	0,86	0,78	0,67	0,58	88,4	87,7	86,8	66	7,7	2,3

Question 24 : le moteur installé convient-il ? Justifier votre réponse à l'aide du tableau de caractéristiques moteur ci-dessus.

Nouvel ascenseur



Moteur brushless.

Montage de la poulie sur l'arbre moteur (pas de réducteur).

Frein à disque sans entretien.



4 courroies plates armées de câbles d'acier.
Rayon de courbure : 50 mm.

Facteur d'adhérence par rapport à la poulie : $f = 0,24$.

Figure 9 : Ascenseur à treuil compact sans local machine.

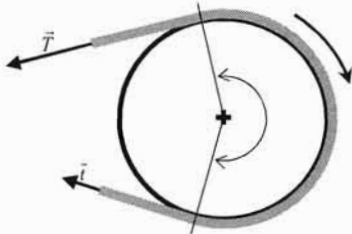
On étudie l'ascenseur dans les mêmes conditions : charge maximale, montée à vitesse nominale. On considère pour ce fonctionnement :

- masse de la cabine seule $M_c = 600$ kg ;
- masse du contrepoids $M_p = 1100$ kg ;
- masse maximale embarquée $M_e = 1000$ kg ;
- masse des courroies négligée ;
- accélération de pesanteur $g = 9,8$ m/s² ;
- vitesse de cabine est de 1,6 m/s.

Question 25 : calculer l'effort de traction dans une seule courroie côté cabine puis côté contrepoids.

L'adhérence avec une courroie plate sur un petit diamètre est forcément inférieure à celle d'un câble serré dans une gorge.

Modélisation de l'adhérence sur une poulie avec courroie plate:



À la limite de l'adhérence : $T = t \times e^{f\alpha}$ avec

- t : tension du brin mou
- T : tension du brin tendu
- α : angle d'enroulement (en rad)
- f : facteur d'adhérence courroie/poulie

Question 26 : en utilisant la modélisation d'adhérence définie ci-dessus, calculer la force transmissible dans une courroie et conclure quand à la marge de sécurité.

Question 27 : calculer la fréquence de rotation de l'arbre moteur.

Question 28 : calculer le couple sur l'arbre moteur.

Étude du comportement de la machine synchrone

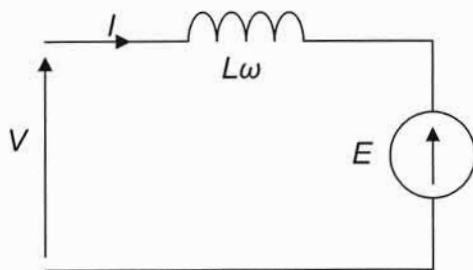


Figure 10 : schéma électrique pour une phase de la machine synchrone.

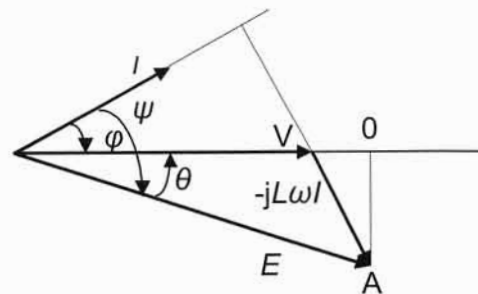


Figure 11 : diagramme de Fresnel correspondant.

θ est le déphasage entre la tension simple et la force électromotrice simple. C'est aussi l'angle interne de la machine. D'un point de vue magnétique c'est l'angle entre le rotor et le champ tournant résultant.

Soit $\Omega_s = \omega/p$ avec :

- Ω_s pulsation du champ tournant ;
- ω pulsation des courants statoriques ;
- p nombre de paire de pôles.

Soit la force électromotrice $E = 2,22 \cdot K_b \cdot N \cdot f \cdot \Phi_m = K \cdot \omega$ car le flux rotorique est constant. Toutes les pertes sont négligées.

Question 29 : exprimer, P_a , la puissance totale appelée par le moteur.

Exprimer, P_e , la puissance électromagnétique produite par la machine avec des grandeurs mécaniques.

En déduire l'expression du couple électromagnétique C_e lorsque les pertes statoriques sont négligées.

Question 30 : en vous aidant du diagramme figure 11, montrer que le couple électromagnétique C_e peut s'écrire sous la forme :

$$C_e = \frac{3p}{L} \cdot \frac{V}{\omega} \cdot \frac{E}{\omega} \cdot \sin\theta$$

Question 31 : tracer l'allure de C_e en fonction de θ lorsque V et ω sont constants.

Sur ce diagramme placer les points de fonctionnement suivants :

- P1 fonctionnement à charge nulle ;
- P2 fonctionnement à charge nominale ;
- P3 fonctionnement à mi charge.

Conclure sur le comportement de la machine.

Afin d'améliorer le fonctionnement, on place sur l'arbre de la machine synchrone un capteur de position. Le convertisseur utilise cette information pour maintenir l'angle θ constant et égal à $\pi/2$ quelle que soit la charge sur l'arbre du moteur.

Question 32 : sur le même diagramme C_e en fonction de θ , placer les nouveaux points de fonctionnement $P'1$, $P'2$, $P'3$.

Quelle grandeur doit alors régler le convertisseur afin de satisfaire ce fonctionnement ?

Question 33 : quels avantages procurent la machine synchrone par rapport à la machine asynchrone précédente lors du fonctionnement de l'ascenseur ?

3 Prévention de chute de la cabine

Objectifs : Détecter la dégradation de l'état des câbles. Immobiliser la cabine en cas de survitesse. En cette circonstance, vérifier que les rails de guidage supportent les contraintes appliquées.

Pour un ascenseur traditionnel, le contrôle visuel des câbles est effectué tous les 6 mois. Sur le système à courroies, le contrôle se fait automatiquement et en permanence.

Le constructeur a développé 2 courroies pour ses ascenseurs :

La courroie 12 câbles

Chacun des 12 câbles d'acier comporte 7 torons composés chacun de 7 brins de diamètre 0,25 mm.

Section de la courroie : 3 × 30 mm.

La courroie 24 câbles

La structure est identique mais la courroie est deux fois plus large.

Section de la courroie : 3 × 60 mm.

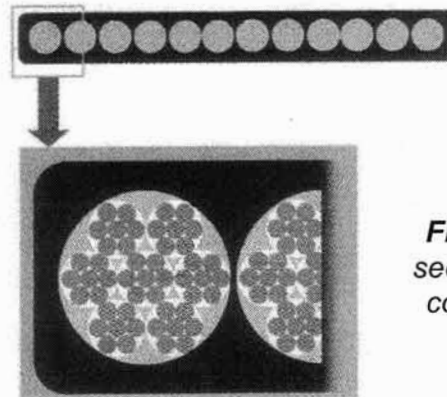


Figure 12 :
section d'une
courroie 12
câbles.

L'acier qui compose les torons a une contrainte à la rupture de $\sigma_R = 490$ MPa.

Longueur de la courroie : 47 m.

L'appareil dispose de 4 courroies.

L'effort de traction dans une courroie est de 1350 N.

Le coefficient de sécurité requis est de 10.

Étude du système de contrôle de l'état des courroies

Le boîtier peut contrôler 5 courroies simultanément. Une courroie est donc connectée à un des 5 systèmes de mesure. Une extrémité de la courroie est reliée au système de mesure. L'autre extrémité est connectée à un shunt qui assure la liaison électrique entre deux câbles voisins d'une même courroie.

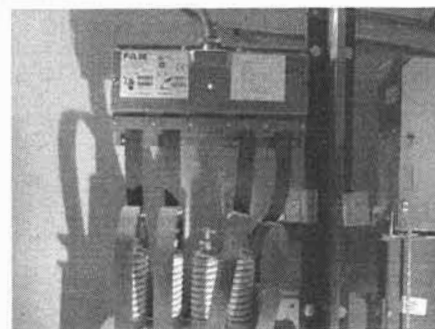


Figure 13 : boîtier de contrôle des courroies.

Le dispositif de contrôle teste les câbles 2 par 2 en appliquant une impulsion de tension d'amplitude 12V. La seconde suivante le système teste 2 autres câbles. Les 12 câbles sont ainsi contrôlés cycliquement.

La détection d'un défaut provoque l'arrêt de l'ascenseur et déclenche un code d'alerte qui est envoyé par télétransmission au service de maintenance.

Question 34 : déterminer s'il faut choisir une courroie 12 ou 24 câbles pour résister à la rupture.

Question 35 : calculer la valeur de résistance à obtenir lors du test de résistance d'un ensemble de 2 câbles pour le bâtiment.

Résistivité de l'acier : $1,7 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$.

Question 36 : comment évolue la valeur de la résistance en cas de rupture de brins ?

La tolérance de défaut est la rupture de 7 brins dans un câble. Calculer la valeur ohmique à surveiller pour imposer l'arrêt de la cabine et l'envoi d'un code de défaut par télétransmission.

Question 37 : conclure sur l'intérêt de la nouvelle solution de contrôle. Présenter les avantages et inconvénients de cette solution.

Étude du système anti chute

Toutes les cabines d'ascenseurs sont équipées de systèmes antichute qui leur permet de se freiner sur deux rails latéraux solidaires du bâtiment.

L'architecture globale du système a été inventée en 1853. Elle a fait ses preuves et a peu évolué depuis.

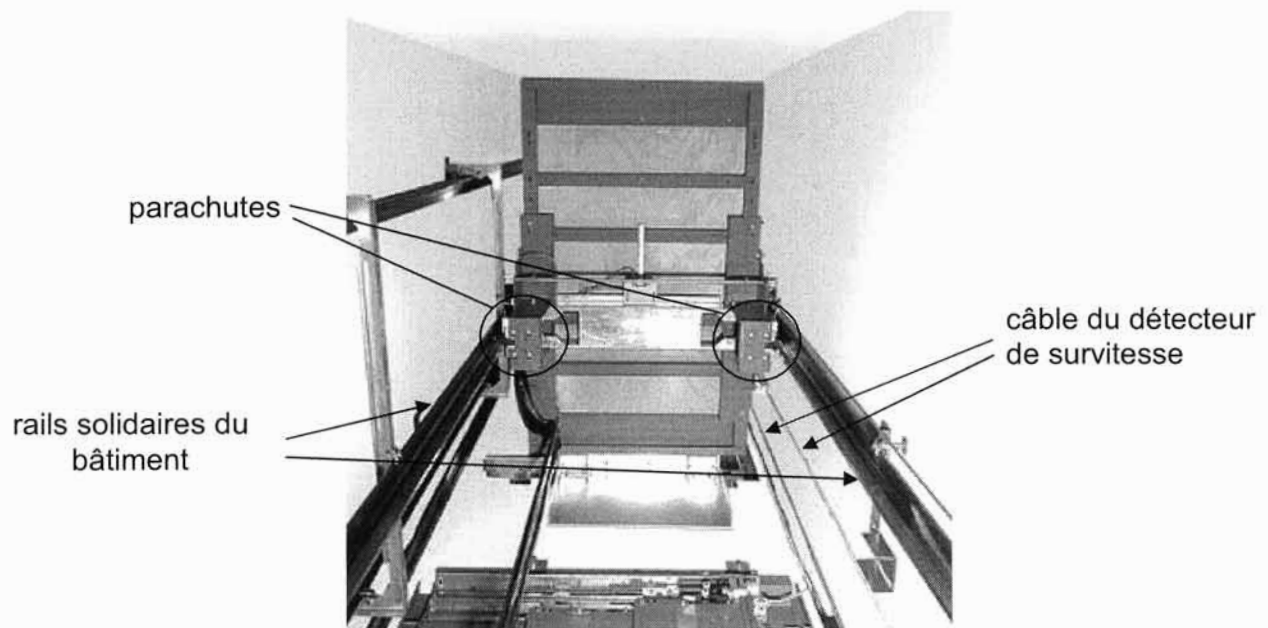


Figure 14 : cabine vue par en dessous.

En fonctionnement normal, la cabine entraîne le câble du système antichute faisant tourner le détecteur de survitesse et la poulie de renvoi.

Si la vitesse vers le bas devient trop importante :

- 1) le détecteur de survitesse se bloque et retient le câble ;
- 2) cela entraîne le basculement du levier de prise de parachute ;
- 3) le levier via une tringlerie, entraîne les coins vers le haut des deux côtés de la cabine ;
- 4) les coins s'arc-boutent sur les rails et bloquent la cabine.

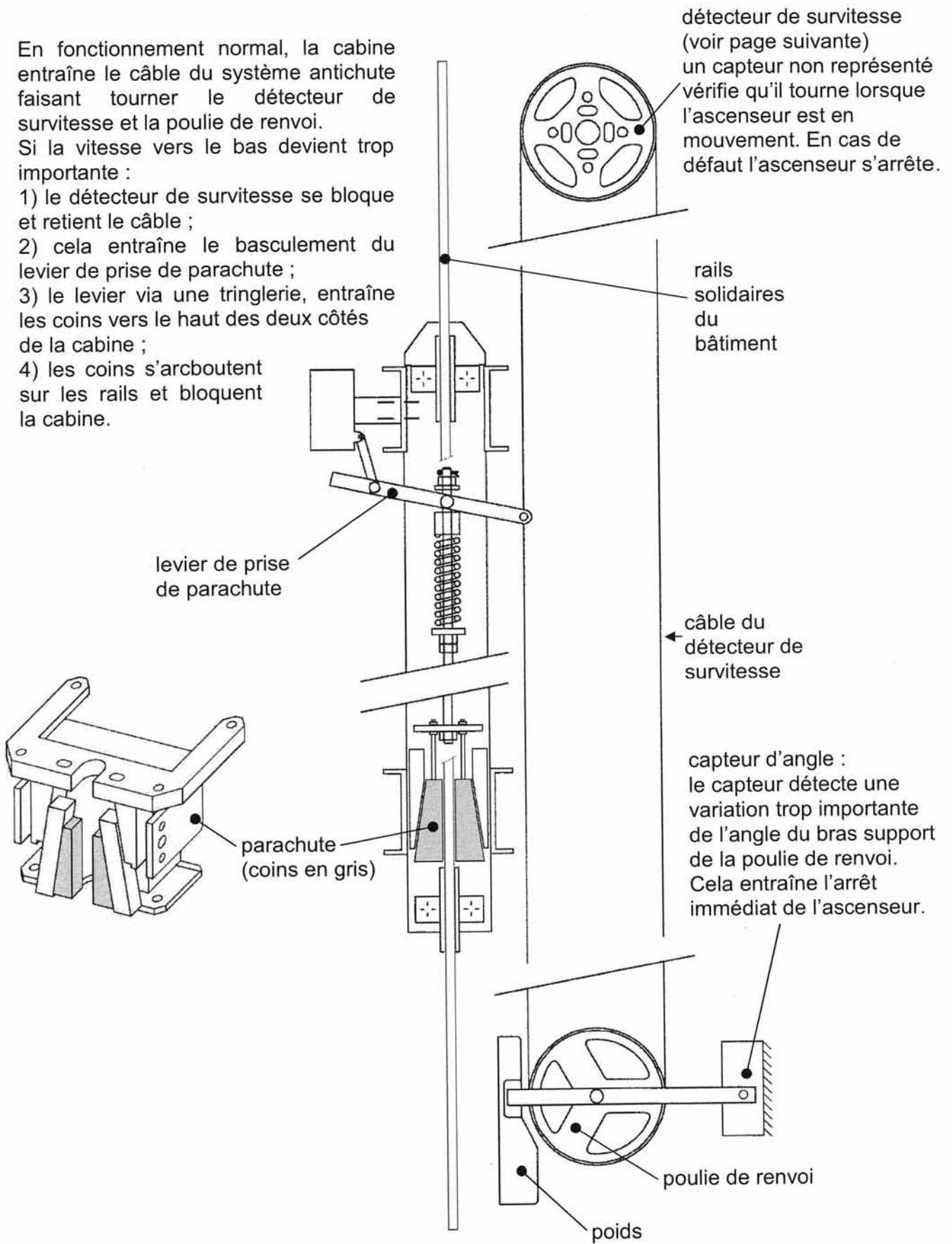


Figure 15 : architecture du système antichute.

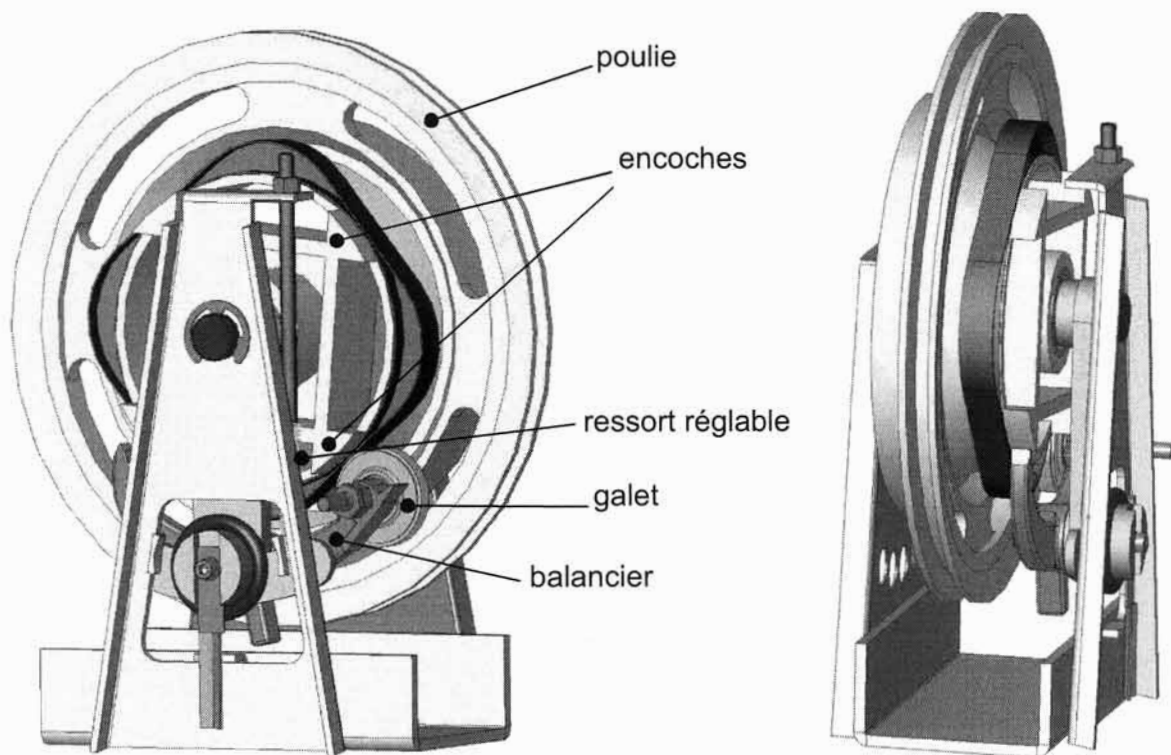


Figure 16 : détecteur de survitesse.

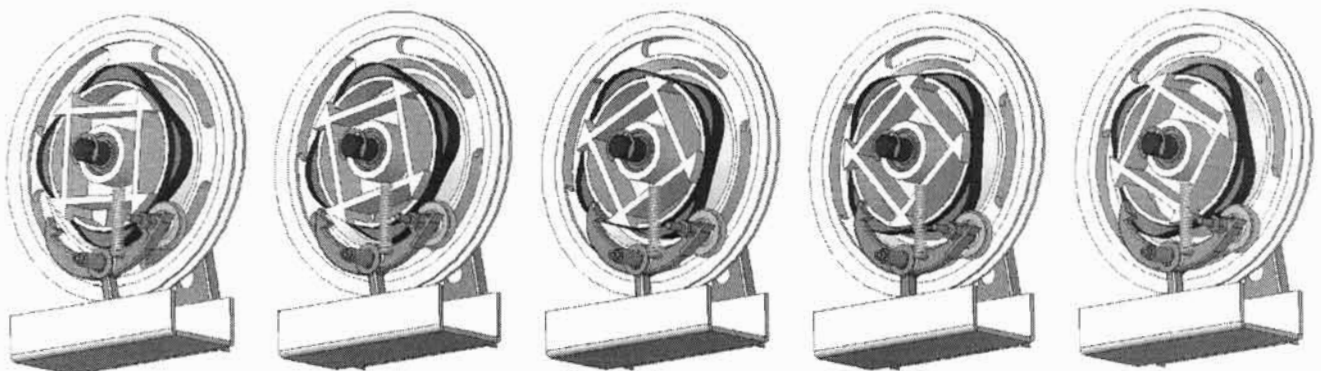


Figure 17 : positions successives sur $\frac{1}{4}$ de tour (partie avant démontée).

Question 38 : sur le DR3, tracer en bleu la trajectoire du point A, centre du galet du balancier, autour du chemin de came ($T_{A \in \text{balancier/poulie}}$). Tracer en rouge l'allure (approximative) de la trajectoire du point B, bout du crochet du balancier, autour du chemin de came ($T_{B \in \text{balancier/poulie}}$).

Question 39 : sur le DR3, expliquer ce que fait le balancier lorsque la vitesse est trop importante.

Question 40 : sur le DR3, compléter le tableau en décrivant trois autres modes de défaillance possible du système en précisant pour chacun leur conséquence et leur risque de non détection. Conclure sur la probabilité d'une chute de la cabine.

Vérification, dans le cadre d'une immobilisation de sécurité, des profilés métalliques constituant les rails de guidage solidaires du bâtiment

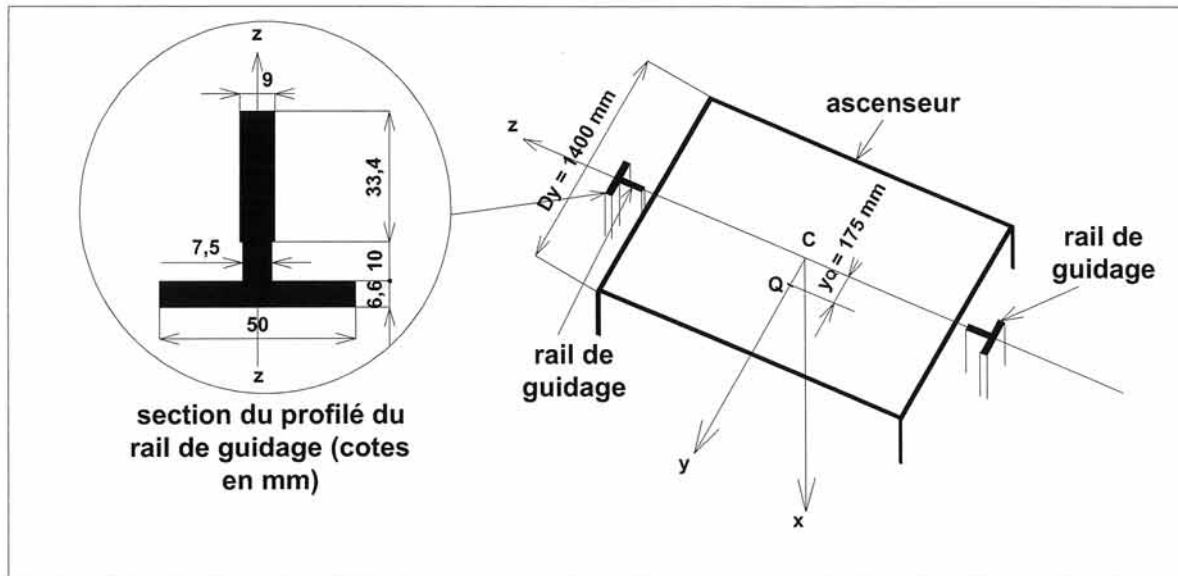


Figure 18 : rails de guidage solidaires du bâtiment.

Le calcul des guides est fondé sur les éléments suivants :

- la vérification des profilés des rails de guidage s'effectue dans le cadre d'une immobilisation de sécurité (freinage suite au déclenchement du parachute) ;
- la cabine est guidée symétriquement par 2 rails ;
- le point d'application des masses de la cabine vide et des composants qui s'y rattachent ($M_C = 600 \text{ kg}$) est considéré comme étant le centre de gravité C de la masse de la cabine ;
- la masse maximale embarquée ($M_e = 1000 \text{ kg}$) est située à une distance $y_Q = 175 \text{ mm}$ du centre C de la cabine ;
- le guide est assimilé à une poutre continue dont les points de fixation sont à intervalles de longueur $\ell = 1,350 \text{ m}$;
- la résultante des efforts provoquant des contraintes normales de flexion agit au milieu de la distance séparant deux fixations contiguës ;
- les moments de flexion agissent dans l'axe neutre du profilé du guide ;
- la distance verticale entre coulisseaux de la cabine est : $h = 2,700 \text{ m}$.

Question 41 : montrer que le profilé métallique constituant un rail possède les caractéristiques géométriques suivantes :

- aire de la section transversale $A = 706 \text{ mm}^2$;
- moment quadratique relatif à l'axe (G, \bar{z}) $I_z = 71131 \text{ mm}^4$;
- module élastique de résistance à la flexion relatif à l'axe (G, \bar{z}) , $W_{el,z} = 2845 \text{ mm}^3$;
- rayon de giration relatif à l'axe (G, \bar{z}) , $i_z = 10,040 \text{ mm}$.

Rappels :

Soit une section rectangulaire de centre de section G et de dimensions $b \times h$. Le moment quadratique par rapport à un axe (G, \bar{z}) passant par G et parallèle au côté b est :

$$I_z = \frac{b h^3}{12} .$$

Le module élastique de résistance à la flexion relatif à l'axe (G, \bar{z}) s'écrit $W_{el,z} = \frac{I_z}{v}$, v représentant la distance, prise perpendiculairement à l'axe (G, \bar{z}) , entre l'axe (G, \bar{z}) et la fibre extrême la plus éloignée.

Le rayon de giration relatif à l'axe (G, \bar{z}) s'écrit : $i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$.

Au moment de l'enclenchement du parachute, le risque d'instabilité au flambement du profilé est important.

Le calcul de la contrainte normale de compression prend en compte ce phénomène :

$$\sigma_k = \frac{F_k \omega}{A}$$

On note :

- ω le facteur d'amplification lié à l'élanement du profilé :
 $\omega = 1,6887 \times 10^{-4} \lambda^2$;

- λ l'élanement du profilé : $\lambda = \frac{\ell_k}{i_z}$;

- ℓ_k la longueur de flambement du profilé : $\ell_k = \ell$;

- F_k la valeur absolue de l'effort normal de compression :

$$F_k = \frac{k_1 g (M_c + M_e)}{n} ;$$

- k_1 le coefficient d'impact lié à l'enclenchement du parachute : $k_1 = 3$;

- g l'accélération de pesanteur : $g = 9,8 \text{ m/s}^2$;

- n le nombre de rails : $n = 2$.

Question 42 : Calculer la contrainte normale de compression prenant en compte le phénomène de flambement.

L'étude porte maintenant sur les efforts horizontaux exercés par un rail sur la cabine.

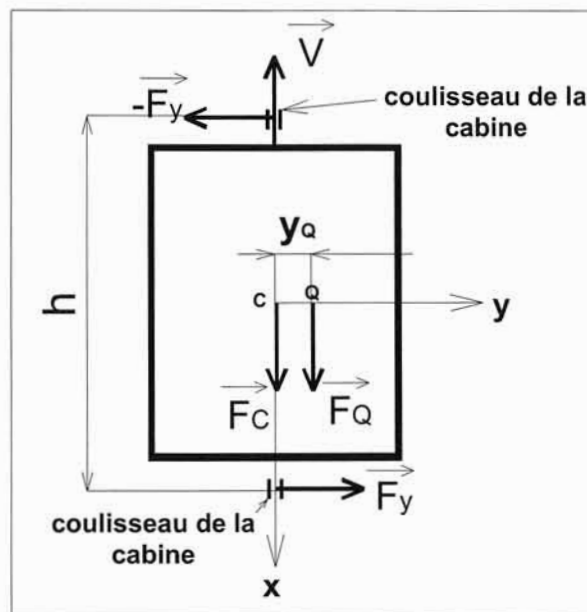


Figure 19 : actions exercées sur la cabine d'ascenseur.

Données :

- $\vec{F}_C = k_1 M_c \vec{g}$;
- $\vec{F}_Q = k_1 M_e \vec{g}$.

Question 43 : lors de l'immobilisation de sécurité, montrer que l'effort horizontal exercé par un rail sur la cabine peut être obtenu à partir de la relation suivante :

$$F_y = \frac{k_1 g M_e y_Q}{n h}$$

Calculer sa valeur numérique.

L'étude suivante concerne le rail de guidage assimilé à une poutre continue. La norme considère uniquement 4 fixations consécutives (1 articulation en A_0 et 3 appuis simples en A_1, A_2, A_3).

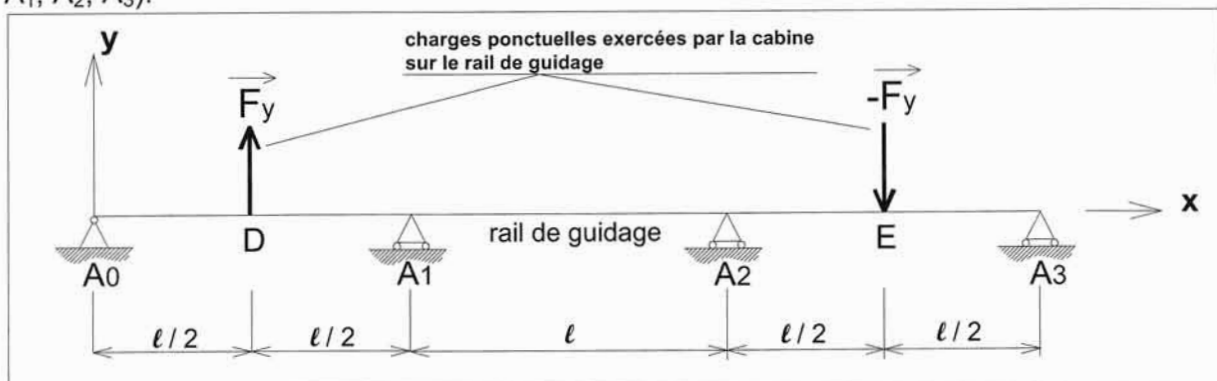
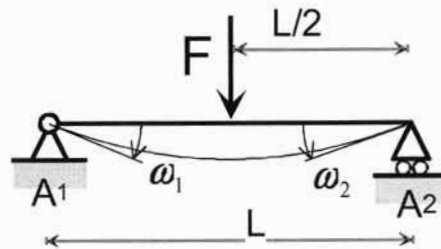


Figure 20 : modélisation d'un rail de guidage.

L'étude d'une poutre continue peut s'effectuer à partir du théorème des 3 moments :

$$l_j M_{i-1} + 2 (l_j + l_{i+1}) M_i + l_{i+1} M_{i+1} = 6 E I_z (\omega_{0di} - \omega_{0gi})$$

- M_{i-1}, M_i, M_{i+1} : moments fléchissants sur les appuis A_{i-1}, A_i et A_{i+1} ;
- l_j : longueur de la travée entre les appuis A_{j-1} et A_j ;
- l_{i+1} : longueur de la travée entre les appuis A_i et A_{i+1} ;
- E : module d'élasticité longitudinale du matériau constituant le rail de guidage ;
- I_z : moment quadratique du profilé relatif à l'axe (G, \bar{z}) ;
- ω_{0di} : rotation de la section à droite de l'appui A_i dans la travée indépendante associée $A_i A_{i+1}$ soumise à son chargement ;
- ω_{0gi} : rotation de la section à gauche de l'appui A_i dans la travée indépendante associée $A_{i-1} A_i$ soumise à son chargement.



Rappel : $\omega_1 = -\frac{F L^2}{16 E I_z}$ et $\omega_2 = \frac{F L^2}{16 E I_z}$

Question 44 : montrer que les moments fléchissants en A_1, A_2, D et E autour de l'axe z dans le rail de guidage valent respectivement :

$$M_{1z} = \frac{F_y l}{8} ; M_{2z} = -\frac{F_y l}{8} ; M_{Dz} = -\frac{3 F_y l}{16} ; M_{Ez} = \frac{3 F_y l}{16}$$

Calculer leurs valeurs numériques.

Question 45 : calculer la contrainte normale maximale de flexion dans le rail due aux forces exercées par la cabine : $\sigma_z = \frac{M_{Ez}}{W_{el,z}}$ avec $W_{el,z} = 2845 \text{ mm}^3$. Vérifier que les contraintes normales restent inférieures à la contrainte admissible : $\sigma_c = \sigma_k + 0,9 \sigma_z \leq 205 \text{ MPa}$.

Question 46 : conclure sur un autre type de vérification qui aurait dû être effectué pour valider le profilé choisi pour les rails de guidage.