

4 Énergie de fonctionnement et récupération d'énergie

Objectif : analyser les possibilités de réaliser des gains d'énergie. Juger de l'opportunité d'installer un système de récupération d'énergie.

La rentabilité de ce système n'est pas systématique. Elle dépend des cycles d'utilisation des ascenseurs. Dans ses documents commerciaux, Otis annonce un gain d'énergie qui peut aller jusqu'à 60 % par rapport à un ascenseur GeN2 sans récupération d'énergie.

Analyse d'un document commercial de la société Otis

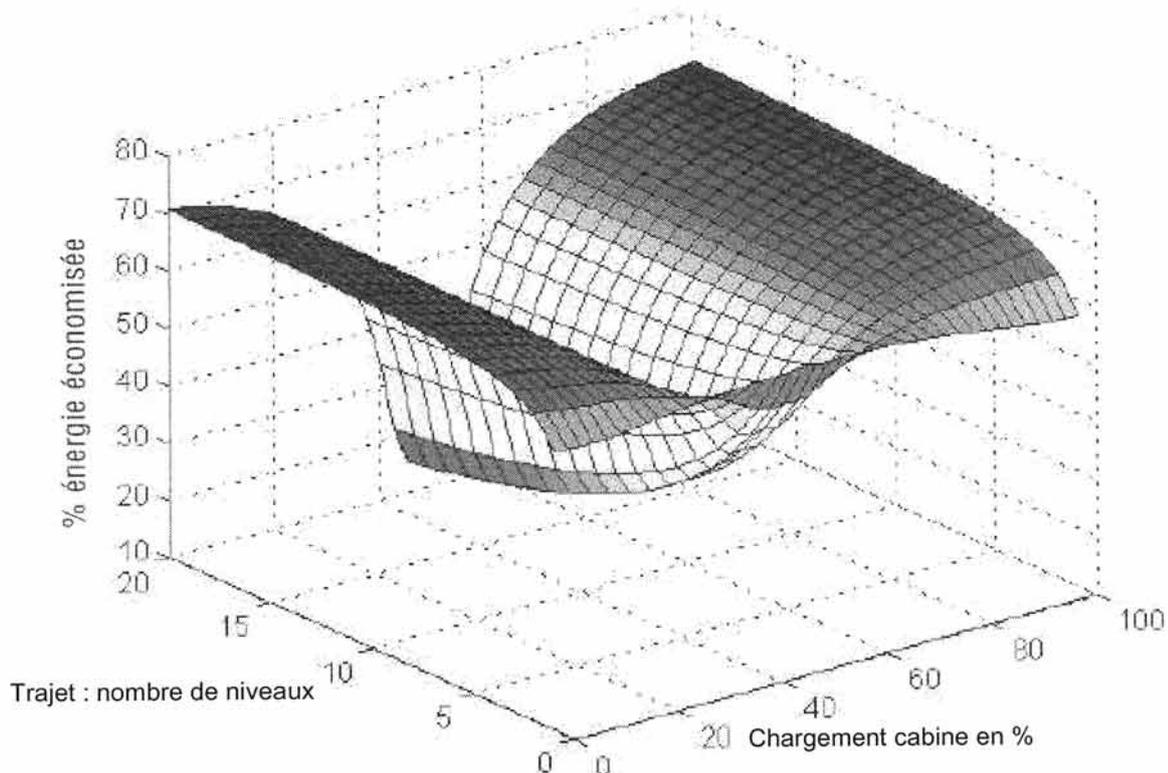


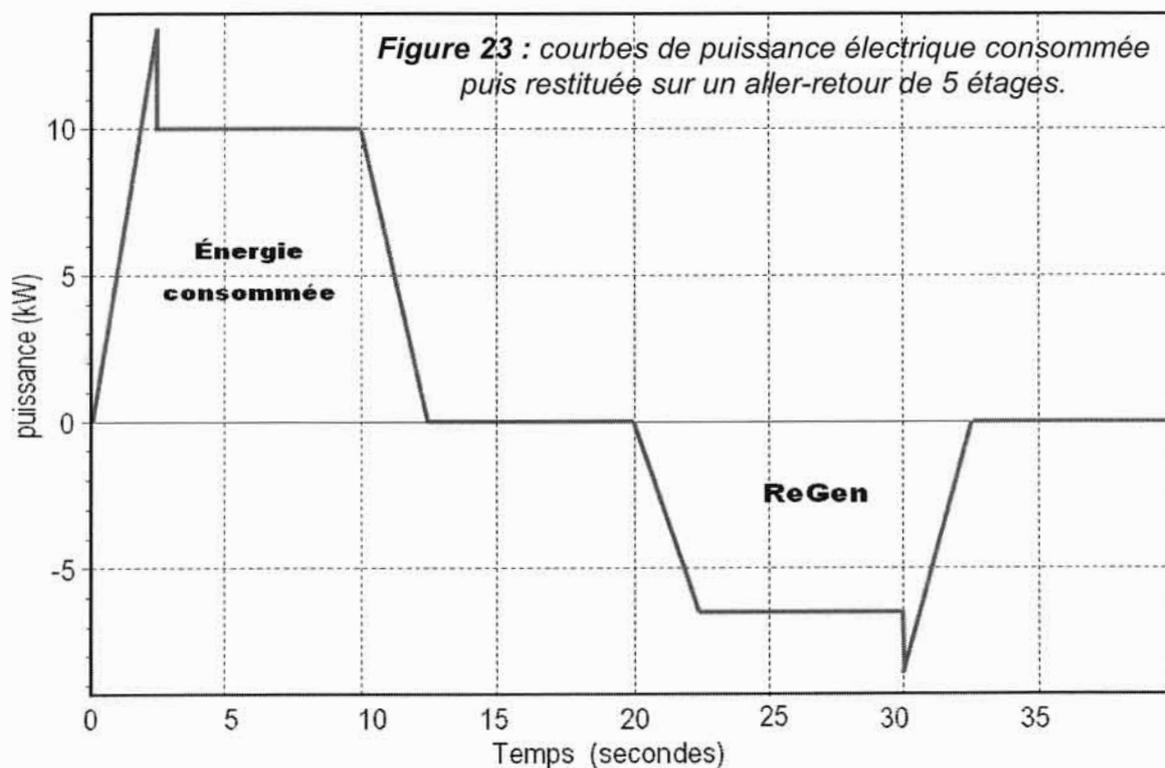
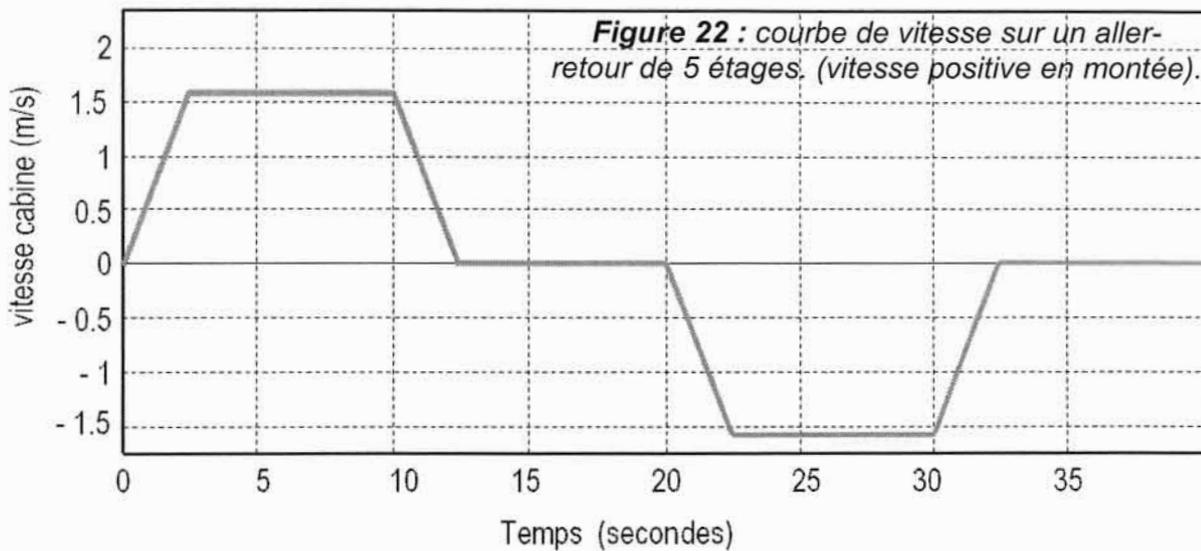
Figure 21 : économie d'énergie d'un ascenseur équipé du système de récupération d'énergie, (ReGen Otis) par rapport à un ascenseur classique (source : document commercial Otis).

Étude d'une phase de fonctionnement optimale pour la récupération d'énergie

Rappels

- nombre d'étages desservis : 5 ;
- course totale : 16 m (5 étages de 3,2 m) ;
- masse de la cabine à vide : $M_c = 600$ kg ;
- nombre maximal de passagers : 13 ;
- masse maximale embarquée : $M_e = 1000$ kg ;
- masse du contrepoids : $M_p = 1100$ kg ;
- accélération de pesanteur : $g = 9,8$ m/s².

Étude d'un cycle aller-retour sur 5 étages où la récupération d'énergie est maximale. La cabine est complètement chargée.



Question 47 : en observant la figure 21, expliquer pourquoi le nombre de niveaux et le chargement de la cabine ont une influence sur le gain d'énergie.

Question 48 : on constate, alors que la charge est la même, que les courbes de puissance sont différentes à la montée et à la descente, expliquer pourquoi.

Question 49 : pour ce cycle, où la récupération d'énergie est optimale, calculer en joule et en kilowattheure, l'énergie consommée et l'énergie restituée.

Question 50 : conclure sur le gain annoncé par Otis et sa faisabilité dans des conditions d'utilisation réelles.

Le cycle idéal ci-dessus ne se produit pas à chaque fonctionnement. D'autres situations, bien que moins avantageuses, permettent de récupérer de l'énergie. On admettra pour simplifier que l'ensemble des cycles permettant la récupération d'énergie est représenté par ce cycle idéal qui se produit sur 30% de la totalité des cycles de fonctionnement.

Question 51 : calculer l'énergie totale économisée sur une journée type comportant 350 utilisations de l'ascenseur, avec un système de récupération de l'énergie.

Le prix du kilowattheure est de 0,09 €. Le système est intégré sur les ascenseurs neufs sans que leurs prix aient augmenté. Par contre la modification d'un ascenseur pour intégrer ce système (lorsque c'est possible) a un coût de 2000 €.

Question 52 : calculer le temps de retour sur investissement d'une modification d'ascenseur puis conclure sur l'intérêt de l'installation d'un système régénératif.

5 L'ascenseur et son environnement : confort acoustique et confort thermique.

Objectifs : analyser les performances acoustiques et thermiques de la paroi verticale entourant la cage d'ascenseur.

Le confort est une notion essentielle dans un hôpital, aussi bien pour les patients que pour le personnel de l'établissement. La recherche d'une plus grande fonctionnalité des équipements et des locaux doit donc s'effectuer de pair avec l'amélioration du bien-être des occupants qui passe notamment par un meilleur confort acoustique et un meilleur confort thermique.

Comme tout dispositif électromécanique, l'ascenseur engendre des bruits, même à bas niveau sonore, dont la transmission peut dépasser des valeurs autorisées. Nous allons, dans un premier temps, nous attarder sur des solutions de conception de la paroi verticale de la cage d'ascenseur en contact avec une salle de réunion dans le but de réduire au maximum ces nuisances sonores.

Une cage d'ascenseur constitue également un espace qui rompt la continuité du volume chauffé. Or, les économies d'énergie constituent le fer de lance de la dynamique initiée par les nouvelles réglementations thermiques (RT 2005, RT 2010, RT 2012). C'est pourquoi nous allons, dans un deuxième temps, aborder la quantification du flux thermique à travers la paroi étudiée.

L'analyse des problèmes physiques mis en jeu va conduire à proposer des conceptions technologiques permettant d'assurer ces deux types de confort.

Dans un premier temps, deux types de paroi sont envisagés entre la cage d'ascenseur et la salle de réunion :

- une **paroi simple** en béton de 180 mm d'épaisseur.
Concernant l'isolation acoustique, c'est la **loi de masse théorique** qui intervient. L'indice d'affaiblissement acoustique s'exprime sous la forme
$$R = 20 \log(M_S f) + \text{constante}$$
 (il s'agit du logarithme en base 10) :
 - indice d'affaiblissement acoustique R (dB), capacité que possède une paroi à affaiblir un son ;
 - masse surfacique de la paroi M_S (kg/m^2) ;
 - fréquence de l'onde acoustique se propageant dans l'air f (Hz) ;

- une **paroi double** constituée d'un voile en béton de 180 mm d'épaisseur, d'une lame d'air comblée éventuellement d'un isolant (polystyrène expansé PSE ou polystyrène expansé élastifié PSEE) et d'une plaque de plâtre d'épaisseur 13 mm (BA13). Concernant l'isolation acoustique, on parle de **loi masse – ressort – masse**.

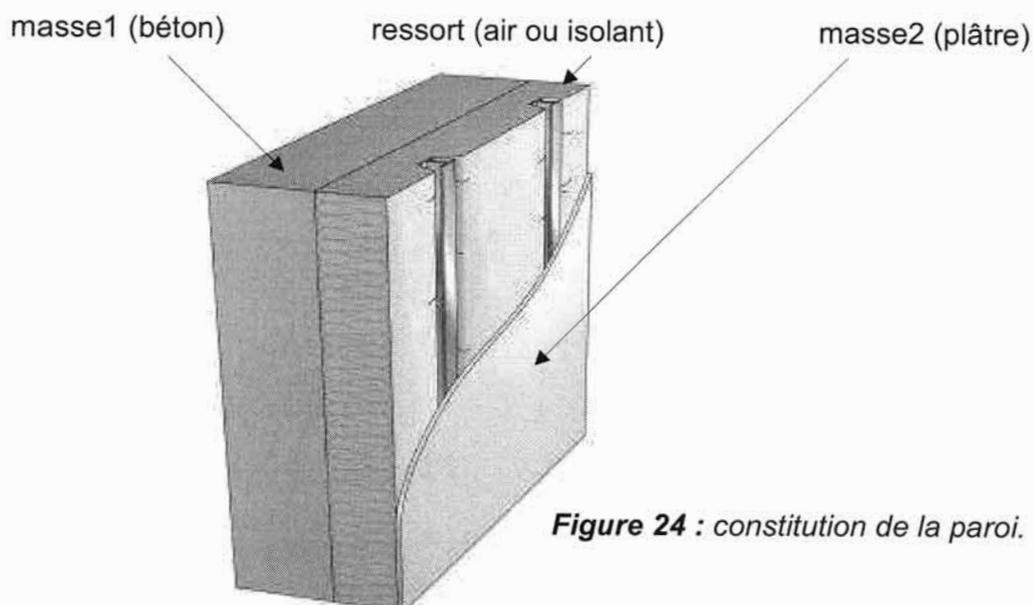


Figure 24 : constitution de la paroi.

Données acoustiques concernant la paroi séparant l'ascenseur et le local de réunion :

Paroi					R _A (dB)
Type	Masse 1	Ressort		Masse 2	
		Type	Raideur surfacique dynamique		
simple	Béton d'épaisseur 180 mm	aucun	/	aucune	57
double avec lame d'air	Béton d'épaisseur 180 mm $\rho_b = 2300 \text{ kg/m}^3$	Lame d'air $d = 0,080 \text{ m}$	$k = \frac{\rho_a c^2}{d}$ $\rho_a = 1,18 \text{ kg/m}^3$ $c = 340 \text{ m/s}$	Plaque BA13 $\rho_p = 1500 \text{ kg/m}^3$	64
double avec polystyrène expansé PSE	Béton d'épaisseur 180 mm	PSE 80 mm	$s'_t = 12,5 \text{ MN/m}^3$	Plaque BA13	55
double avec polystyrène expansé élastifié PSEE	Béton d'épaisseur 180 mm	PSEE 80 mm	$s'_t = 5 \text{ MN/m}^3$	Plaque BA13	65

Dans le tableau précédent figurent les indications et notations suivantes :

- épaisseur de la lame d'air d ;
- raideur dynamique surfacique de la lame d'air k (le produit $\rho_a c^2$ représentant le module de compressibilité de l'air) ;
- masse volumique de l'air ρ_a (kg/m^3) ;

- masse volumique du béton ρ_b (kg/m³) ;
- masse volumique du plâtre ρ_p (kg/m³) ;
- célérité du son dans l'air C (m/s).
- raideur dynamique surfacique de l'isolant S'_t .

R_A est un indice d'affaiblissement acoustique global adapté aux basses et moyennes fréquences. Pour le définir, la norme prévoit une analyse, non pas par fréquence, mais pour des bandes de fréquences (les bandes de tiers d'octave) qui permettent une représentation spectrale. Chacune d'entre elles intervient dans la définition d'un indice unique $R_W(C ; C_{tr})$ (exemple : 68(-3 ; -10)). C_{tr} (tr = trafic) et C sont des termes d'adaptation en général négatifs, le premier aux bruits de la circulation, le second pour d'autres types de bruits. Dans l'application, le terme C est utilisé car les bruits proviennent de l'ascenseur. R_A se calcule par : $R_A = R_W + C$.

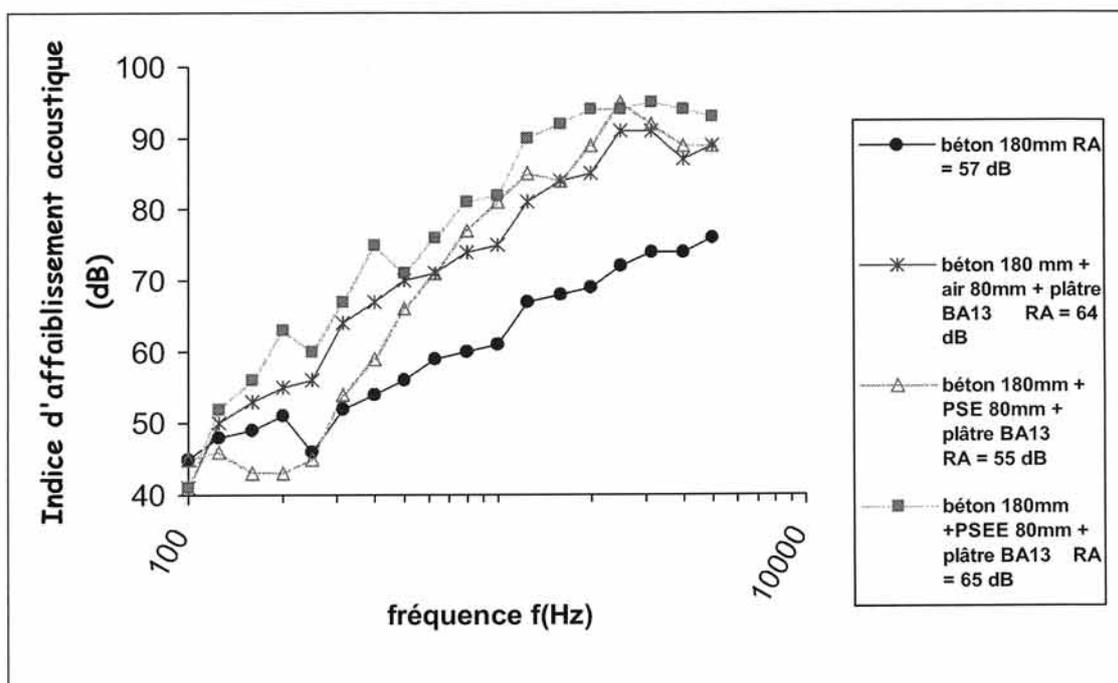


Figure 25 : influence, sur l'indice d'affaiblissement acoustique, du type de doublage associé à un voile en béton de 180 mm.

Question 53 : dans le cas d'une **paroi simple** et d'après la **loi de masse théorique**, quelle est la croissance de l'indice d'affaiblissement acoustique R d'une paroi simple lorsque sa masse surfacique est doublée ?

D'après cette même loi, quelle est la croissance de R lorsque la fréquence du son est doublée ?

En réalité, il existe une fréquence, dite fréquence critique, pour laquelle l'indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi simple diminue sensiblement. Plus une paroi simple est rigide, plus sa fréquence critique est basse. Plus une paroi simple est souple, plus sa fréquence critique est élevée.

Dans le cas d'une paroi double, on choisit les masses surfaciques des parements (M_{S1} pour le béton et M_{S2} pour la plaque de plâtre) de telle façon que les fréquences critiques

de ces derniers se situent dans la zone des fréquences peu perceptibles par l'oreille humaine, c'est-à-dire celles inférieures à 100 Hz et celles supérieures à 2000 Hz. Mais pour une paroi double, l'indice d'affaiblissement R atteint son minimum aux environs d'une fréquence, dite fréquence de résonance, notée f_0 , qui se détermine de la façon suivante :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k \left(\frac{1}{M_{S1}} + \frac{1}{M_{S2}} \right)} \text{ pour une paroi double avec lame d'air ;}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{s'_t \left(\frac{1}{M_{S1}} + \frac{1}{M_{S2}} \right)} \text{ pour une paroi double avec isolant.}$$

k et s'_t ont déjà été définies.

Question 54 : dans le cas d'une **paroi double** constituée d'un voile en béton d'épaisseur 0,180 m, d'une **lame d'air** d'épaisseur $d = 0,080$ m et d'une plaque de plâtre BA13 d'épaisseur 0,013 m, calculer la raideur dynamique surfacique k de cette lame d'air et la fréquence de résonance f_0 de la paroi. Cette fréquence est-elle susceptible de créer une gêne pour l'oreille humaine ? Quelle serait l'incidence, sur f_0 , d'une augmentation d'épaisseur de la lame d'air ? Conclure quant à l'efficacité acoustique d'une lame d'air en comparant les indices d'affaiblissement acoustique de la paroi simple en béton seul et de la paroi double avec la lame d'air.

Question 55 : dans le cas d'une **paroi double** constituée d'un voile en béton d'épaisseur 0,180 m, d'un isolant en **polystyrène expansé PSE d'épaisseur 0,080 m** et d'une plaque de plâtre BA13 d'épaisseur 0,013 m, comparer la raideur dynamique surfacique s'_t de l'isolant utilisé avec celle de la lame d'air k de même épaisseur calculée précédemment. Conclure quant à l'influence de la rigidité du matériau remplissant la lame d'air sur l'indice d'affaiblissement acoustique de la paroi double et sur la position de la fréquence de résonance f_0 de la paroi double dans la gamme des fréquences perceptibles par l'oreille humaine.

Une nouvelle génération d'isolant thermo-acoustique a fait son apparition cette dernière décennie. Il s'agit du polystyrène expansé élastifié PSEE.

Question 56 : quelle caractéristique différencie un polystyrène élastifié d'un polystyrène traditionnel ? Expliquer les avantages du premier sur le second d'un point de vue acoustique.

Question 57 : quelles sont les principales évolutions technologiques opérées dans le domaine des ascenseurs qui ont pu permettre de réduire le niveau sonore généré ?

Thermique

Données thermiques concernant la paroi séparant l'ascenseur et le local de réunion :

matériau	Épaisseur e_j (m)	Conductivité thermique λ_j ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
Béton	0,180	2
Polystyrène expansé PSE	0,080	0,044
ou polystyrène expansé élastifié PSEE	0,080	0,032
Plaque BA13	0,013	0,325

La résistance thermique superficielle interne à considérer deux fois, d'une part du côté ascenseur, et d'autre part du côté salle de réunion, est :

$$R_{si} = R'_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}.$$

La résistance thermique de la paroi s'obtient par :

$$R_p = R_{si} + R'_{si} + \sum_j \frac{e_j}{\lambda_j}$$

Le coefficient de transmission surfacique, quant à lui, s'exprime par : $U_p = \frac{1}{R_p}$.

La température dans la salle de réunion est : $\theta_i = 22 \text{ }^\circ\text{C}$.

La température dans la cage d'ascenseur est : $\theta'_i = 11 \text{ }^\circ\text{C}$.

Le flux thermique surfacique à travers la paroi se calcule de la façon suivante :

$$\varphi = \frac{\Delta\theta}{R_p} = U_p \Delta\theta.$$

Question 58 : pour la solution présentant l'indice d'affaiblissement acoustique le plus fort, déterminer la résistance thermique de la paroi double. En déduire le flux thermique surfacique à travers cette paroi.

La réglementation thermique RT 2012 prévoit de réduire le coefficient de transmission surfacique U_p à $0,230 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Calculer la nouvelle épaisseur d'isolant à prévoir entre la paroi en béton et la plaque de BA13 et le nouveau flux thermique surfacique obtenu. Exprimer la réduction des déperditions en pourcentage.

6 Conclusion générale

Question 59 : sur le DR4, en vous appuyant sur tous les éléments étudiés dans le sujet, faire une synthèse des évolutions technologiques concernant l'ascenseur et son environnement. Préciser les avantages apportés.

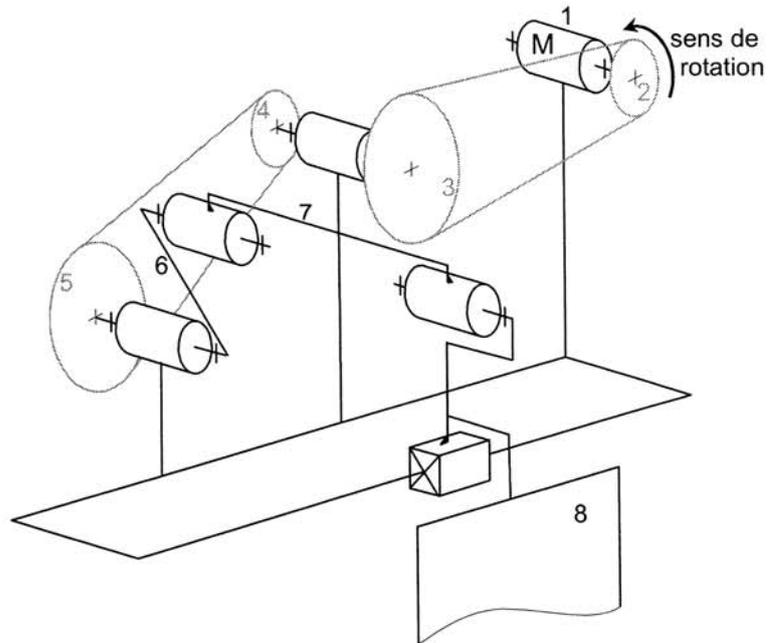
On pourra étudier les aspects suivants : sécurité, maintenabilité-fiabilité, confort de fonctionnement, confort des personnes évoluant dans l'environnement de l'ascenseur, coûts.

DOCUMENTS RÉPONSE

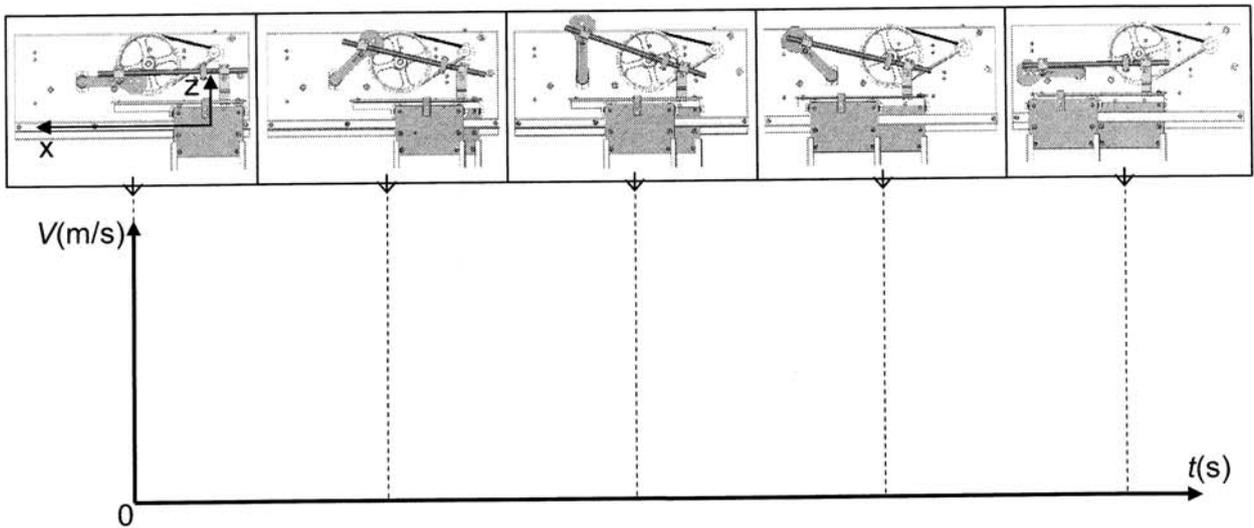
(DR1 à DR4)

Question 1

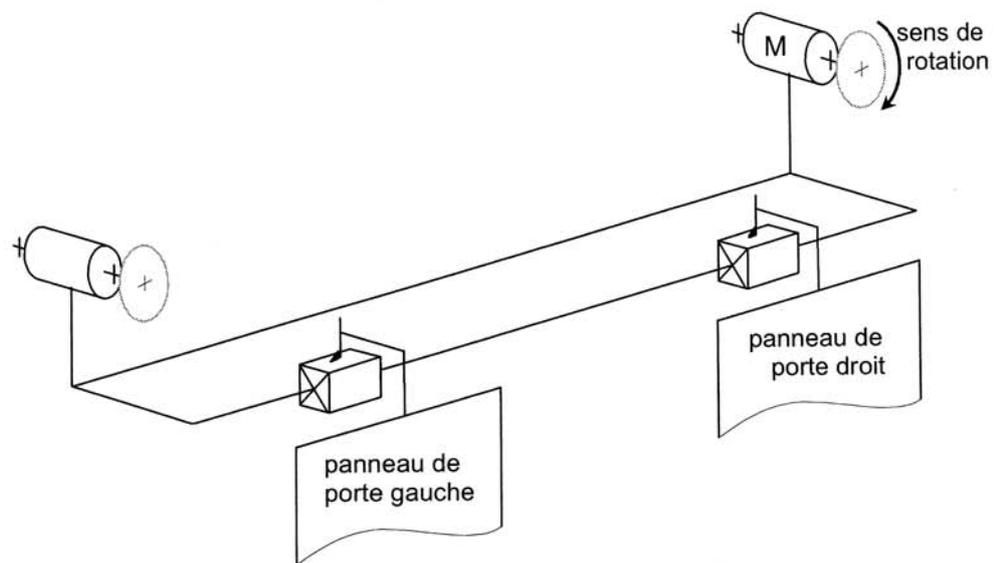
(Le câble 9 et le panneau de porte 10 ne sont pas représentés.)



Question 2



Questions 3



DR1

Question 19

Grafcet ouverture portes
À compléter

10



Grafcet fermeture portes
À compléter

20



Grafcet de sécurité
À compléter

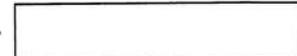
40



Grafcet déplacement
cabine
Compléter la réceptivité

30

Réceptivité à compléter



31

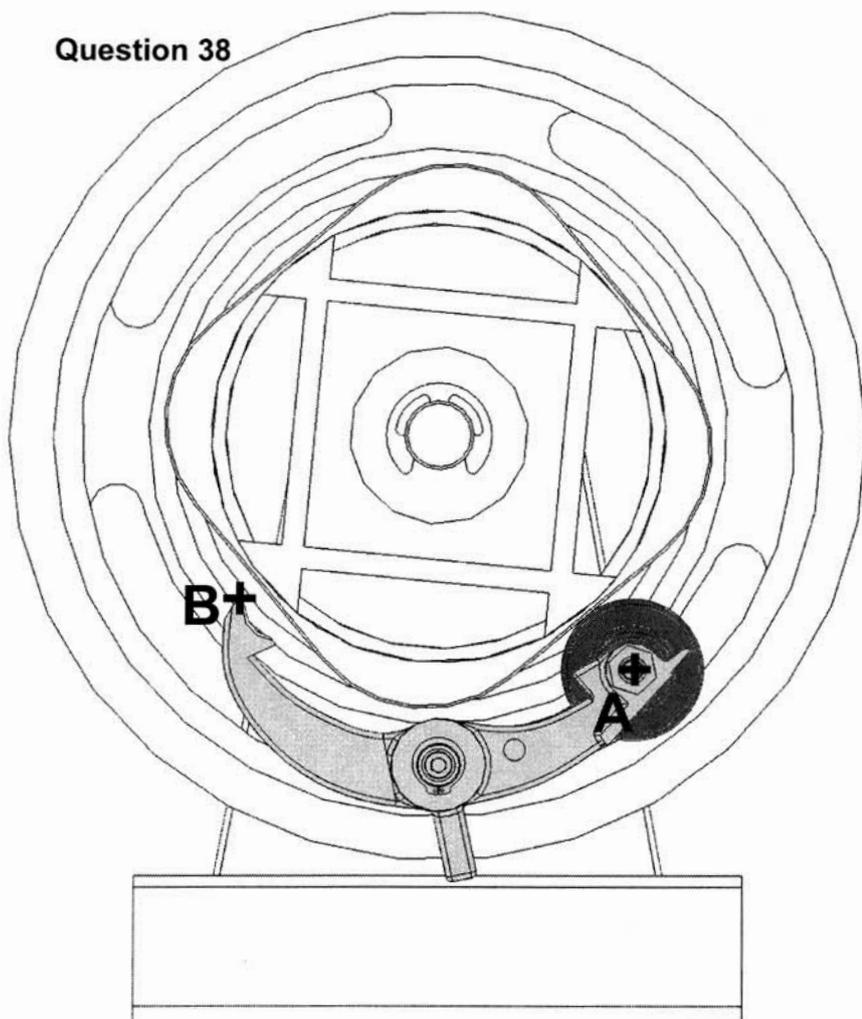


39

Fin déplacement
cabine

DR2

Question 38



Question 39 : explication

Question 40

Mode de défaillance	Conséquence	Risque de non détection
Coincement du câble du détecteur de survitesse	Le capteur d'angle du renvoi le détecte. Cela entraîne l'arrêt immédiat de l'ascenseur.	aucun

Question 59 : conclusion générale

Évolutions technologiques	Avantages apportés
sécurité :	
maintenabilité – fiabilité :	
confort de fonctionnement :	
confort des personnes évoluant dans l'environnement de l'ascenseur :	
coûts :	