

SESSION 2003

CAPET

CONCOURS EXTERNE

Section : **GENIE MECANIQUE**

Option : **CONSTRUCTION**

ETUDE D'UN SYSTEME ET/OU D'UN PROCESSUS TECHNIQUE

Durée : 8 heures

**ETUDE COMPARATIVE, ANALYSE ET ADAPTATION
D'UN DISPOSITIF DE LIMITATION DE VITESSE D'ASCENSEUR**

Aucun document autorisé

Moyens de calculs autorisés

Toutes calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique, à fonctionnement autonome et non imprimantes, conformément à la circulaire N° 99-186 du 16 novembre 1999.

Constitution du dossier :

- Dossier A : Contexte de l'étude
- Dossier B : Etude comparative de solutions constructives
- Dossier C : Dessin d'avant-projet d'une solution

Documents à compléter et à remettre en fin d'épreuve :

Pour le dossier B

- **Copies pour les réponses aux questions;**
- **Documents réponses DR1 à DR4.**

Pour le dossier C

- **Copies doubles pour les réponses aux questions;**
- **Document réponse DR5 .**

Barème de notation :

- Dossier B : 8 points/20
- Dossier C : 12 points/20

Remarques :

- Le candidat est invité à réaliser l'avant-projet du dossier C, même s'il n'a pas abordé l'ensemble des problèmes posés dans le dossier B.
- A titre indicatif, il est conseillé de répartir le temps de la façon suivante :
 - Dossier A : 15 min
 - Dossier B : 4 heures
 - Dossier C : 3 heures 45 min

DOSSIER A

CONTEXTE DE L'ETUDE

Constitution du dossier A

- Pages de texte numérotées de **1** à **2**
- Documents numérotés **document 1** à **document 8**

PROBLEMATIQUE GLOBALE : ETUDE COMPARATIVE DE SOLUTIONS CONSTRUCTIVES ASSOCIEES A LA FONCTION SECURITE DES ASCENSEURS

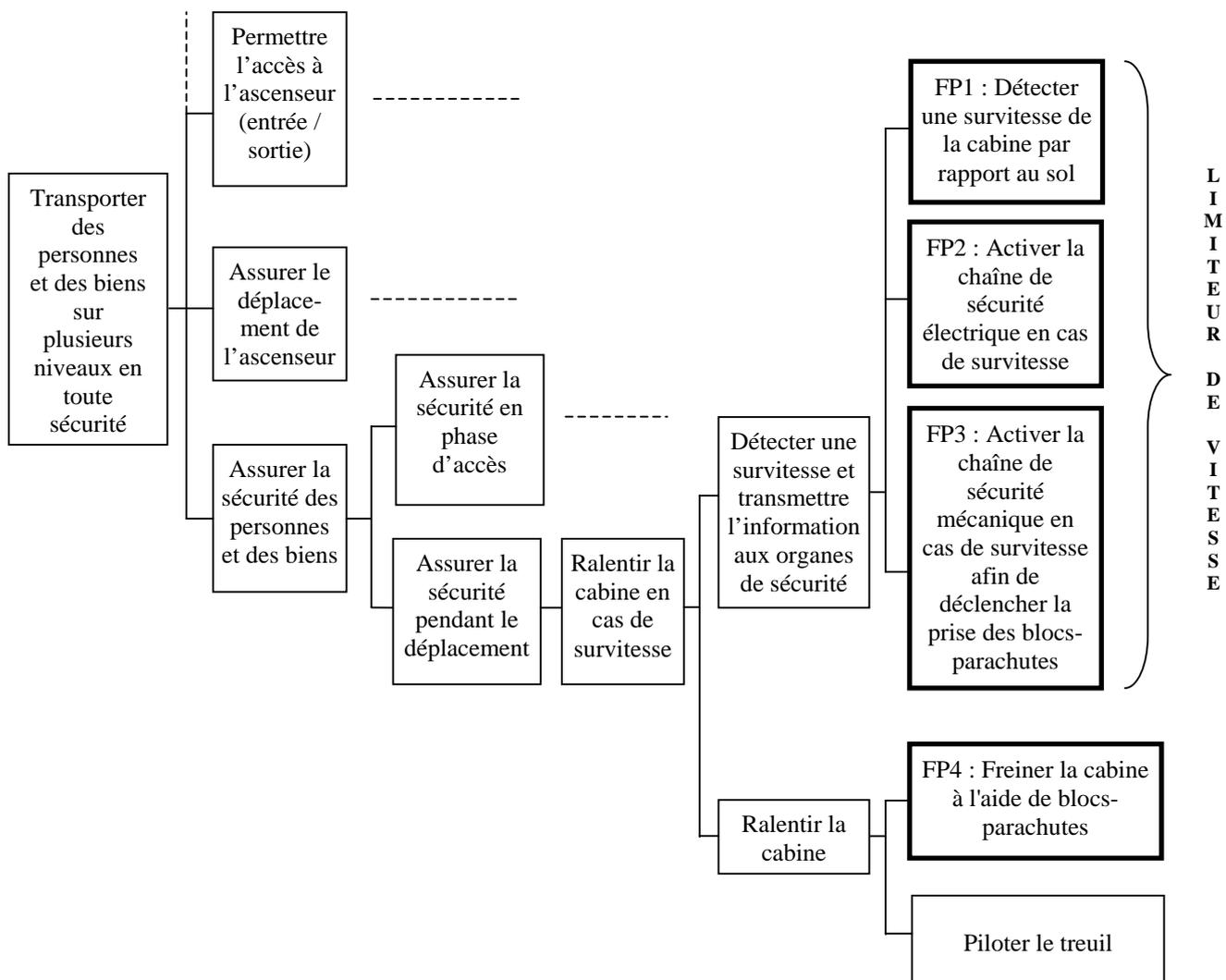
A1 . PRESENTATION

Dans cette étude, on se propose d'étudier le fonctionnement des ascenseurs. Ces derniers font appel à des organes mécaniques et/ou des composants électriques, agencés suivant l'architecture décrite sur le **document 1**.

On remarquera en particulier :

- la cabine, munie de sa porte intérieure ;
- les portes palières à chaque niveau ;
- le contrepoids ;
- le local machine, où se trouvent le treuil, l'armoire de commande, etc... ;
- les éléments de sécurité d'accès à l'ascenseur (non repérés), tels que les bloqueurs de portes-palières ... ;
- les éléments de sécurité du déplacement, tels que le limiteur de vitesse, le frein d'urgence de cabine (appelé bloc-parachute), les amortisseurs.

Pour transporter des personnes et des biens dans les étages d'un immeuble, les ascenseurs doivent assurer un certain nombre de fonctions, dont les principales sont présentées ci-après :



A2 . OBJET DE L'ETUDE

Pour **assurer la sécurité pendant le déplacement**, il s'avère nécessaire de vérifier en permanence que la vitesse effective de la cabine ne dépasse pas la **vitesse-contrat Vc** définie par le constructeur.

Les causes de survitesse sont multiples (rupture du câble tracteur, glissement du câble tracteur sur la poulie du treuil, défaillance du treuil, etc...) et les mesures à prendre pour stopper la cabine doivent être adaptées à chaque cas (du pilotage en fréquence du moteur de treuil jusqu'au freinage d'urgence de la cabine par l'utilisation des blocs-parachutes).

Il existe deux chaînes de sécurité redondantes :

- la chaîne de sécurité électrique, constituée de différents capteurs vérifiant le bon fonctionnement général de l'ascenseur. Si un incident est détecté par l'un de ces capteurs, le treuil est arrêté ;
- la chaîne de sécurité mécanique, détectant une survitesse éventuelle de la cabine par rapport au sol et déclenchant la prise des blocs-parachutes, et ce, de manière **uniquement mécanique**.

L'étude portera sur la chaîne de sécurité mécanique.

Comme présenté sur le **document 2**, le système de détection de survitesse est constitué d'un câble de limiteur, lié à la cabine par l'intermédiaire d'une tringlerie, et reliant la poulie du limiteur situé dans le local machine à une poulie tendeuse lestée située en partie basse (**figure 1 du document 2**). Le déplacement de la cabine engendre ainsi la rotation de la poulie du limiteur par l'intermédiaire du câble de limiteur.

En cas de dépassement de la vitesse-contrat lors de la descente, le limiteur bloque la rotation de sa poulie. La cabine continuant à descendre, le câble du limiteur se tend, fait basculer la tringlerie qui actionne de ce fait la prise des blocs-parachutes (**figure 2 du document 2**). La cabine est alors freinée et l'alimentation du treuil coupée par un capteur situé sur le limiteur.

Ce principe de fonctionnement est repris sur l'algorithme (**document 3**) où l'on met en évidence les trois fonctions du limiteur de vitesse, à savoir :

- **FP1** : Détecter une survitesse de la cabine par rapport au sol ;
- **FP2** : Activer la chaîne de sécurité électrique en cas de survitesse de la cabine ;
- **FP3** : Activer la chaîne de sécurité mécanique en cas de survitesse de la cabine afin de déclencher la prise des blocs-parachutes.

Remarque : Dans le cas où la cabine chuterait sans dépasser la vitesse-contrat, ou si le problème de survitesse intervenait à proximité de l'étage le plus bas (l'incident est détecté, mais l'arrêt complet de la cabine ne peut se faire à temps), des amortisseurs ont été disposés pour atténuer le choc en fin de course.

Les analyses fonctionnelles partielles du limiteur de vitesse en phase de fonctionnement et des blocs-parachutes en phase de freinage sont proposées sur le **document 4**. Le **document 5** concerne les exigences fonctionnelles principales des cahiers des charges fonctionnels.

On se propose d'analyser différentes solutions constructives (proposées sur les documents 6, 7 et 8) attachées à la fonction sécurité afin de mettre en évidence les critères permettant de faire des choix en relation avec un cahier des charges.

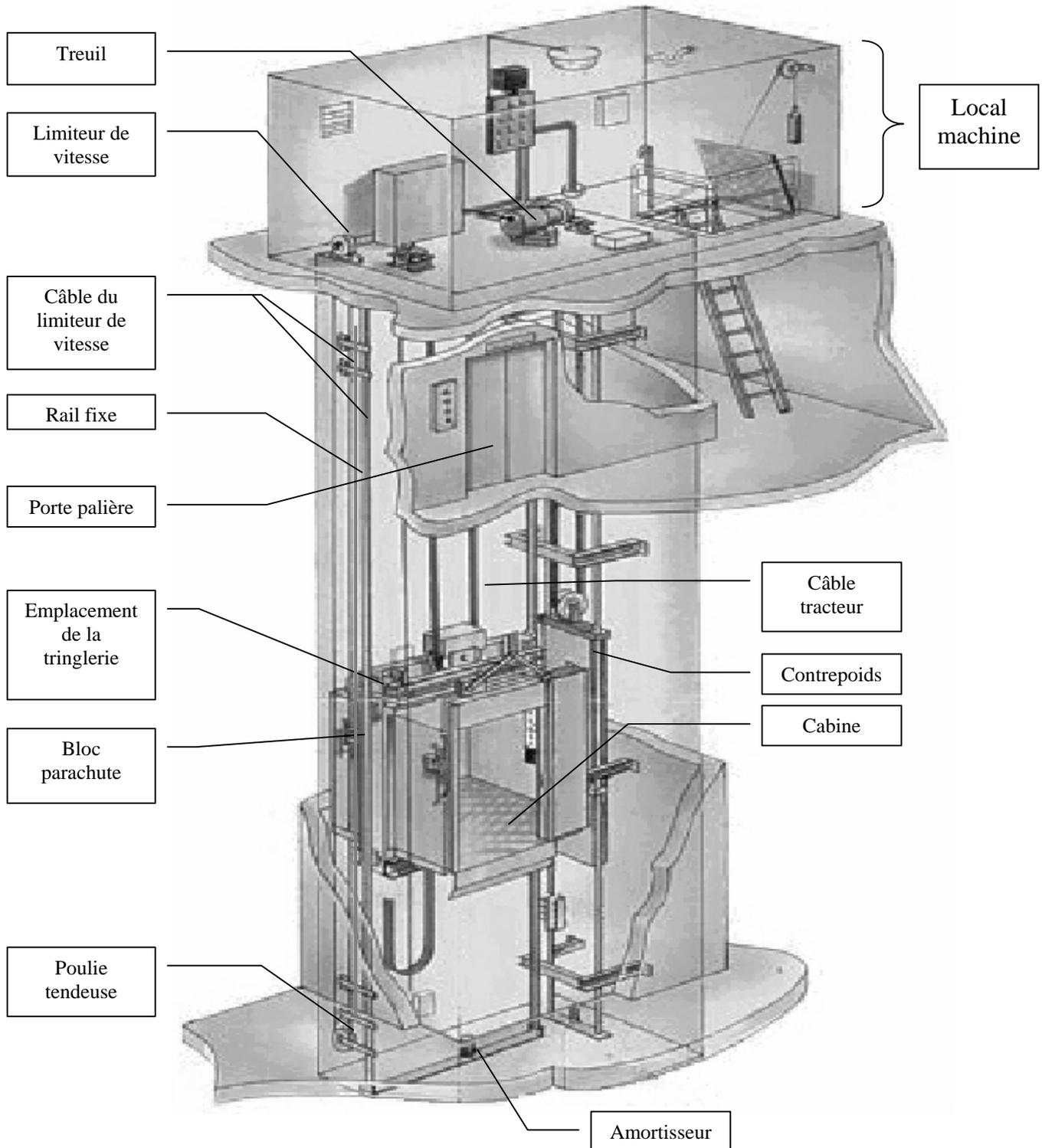
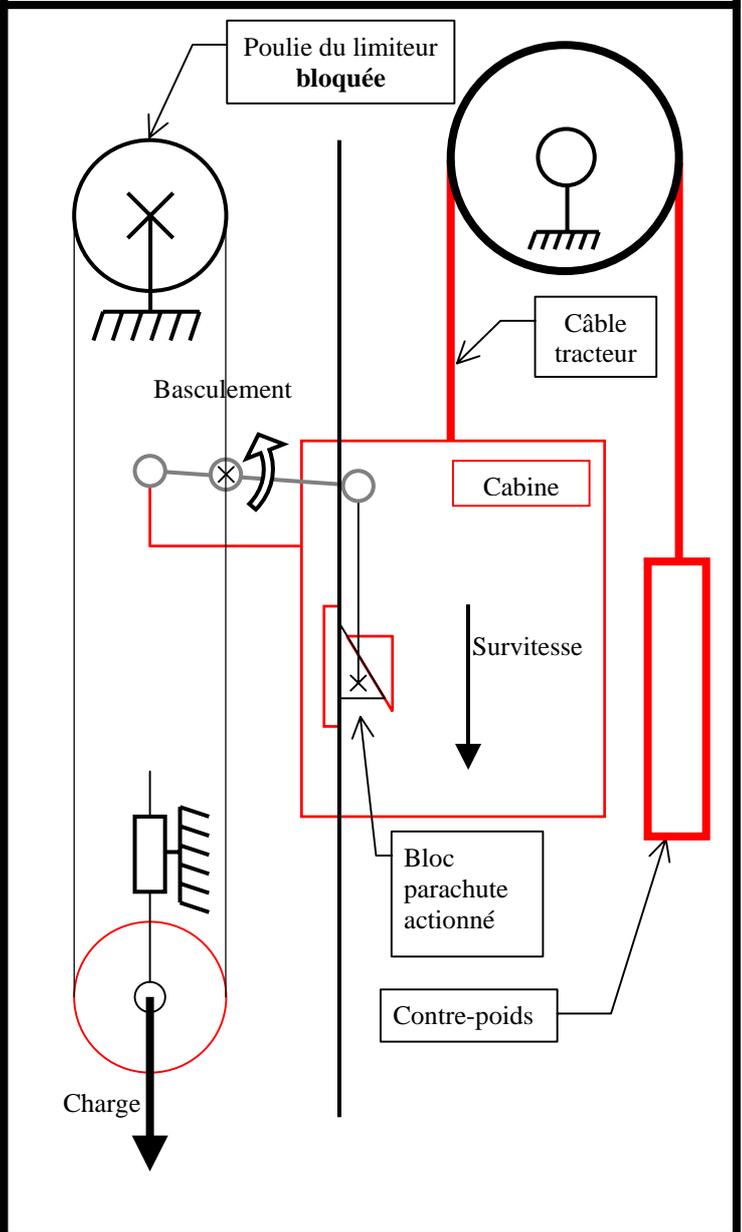
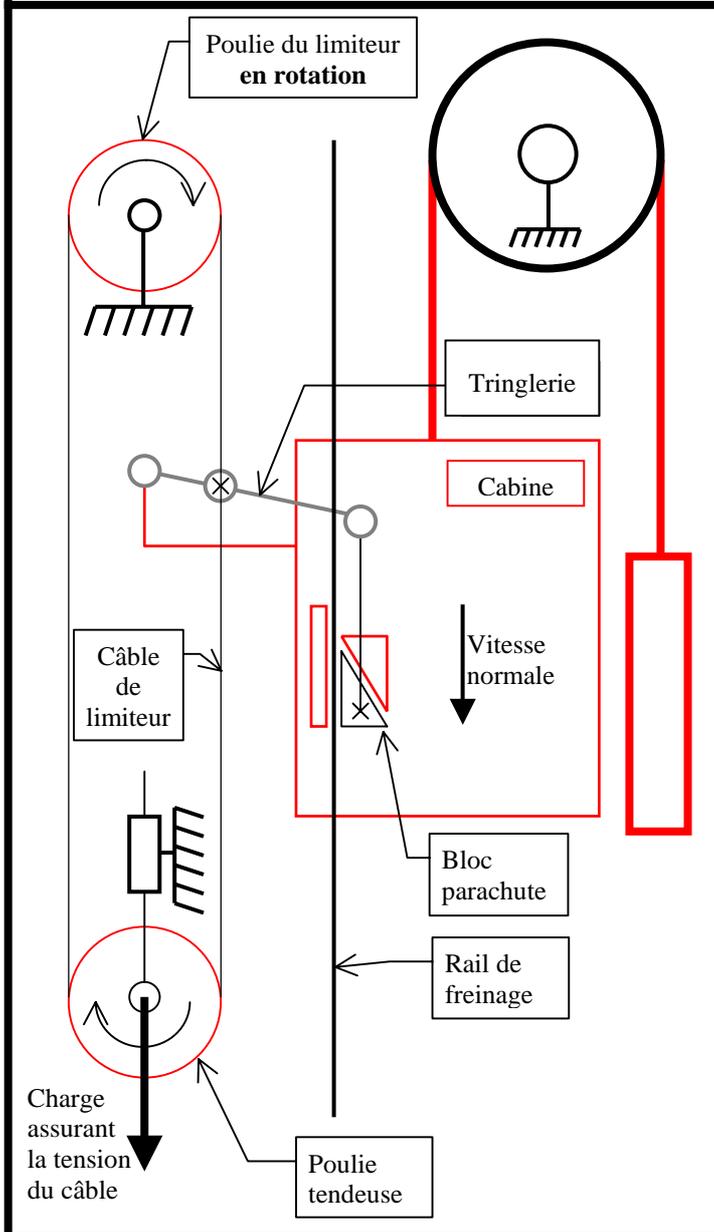


Figure 1 : Fonctionnement normal : limiteur libre en rotation, bloc parachute inactif.

Figure 2 : Début du freinage en cas de survitesse limiteur bloqué, bloc parachute en prise.

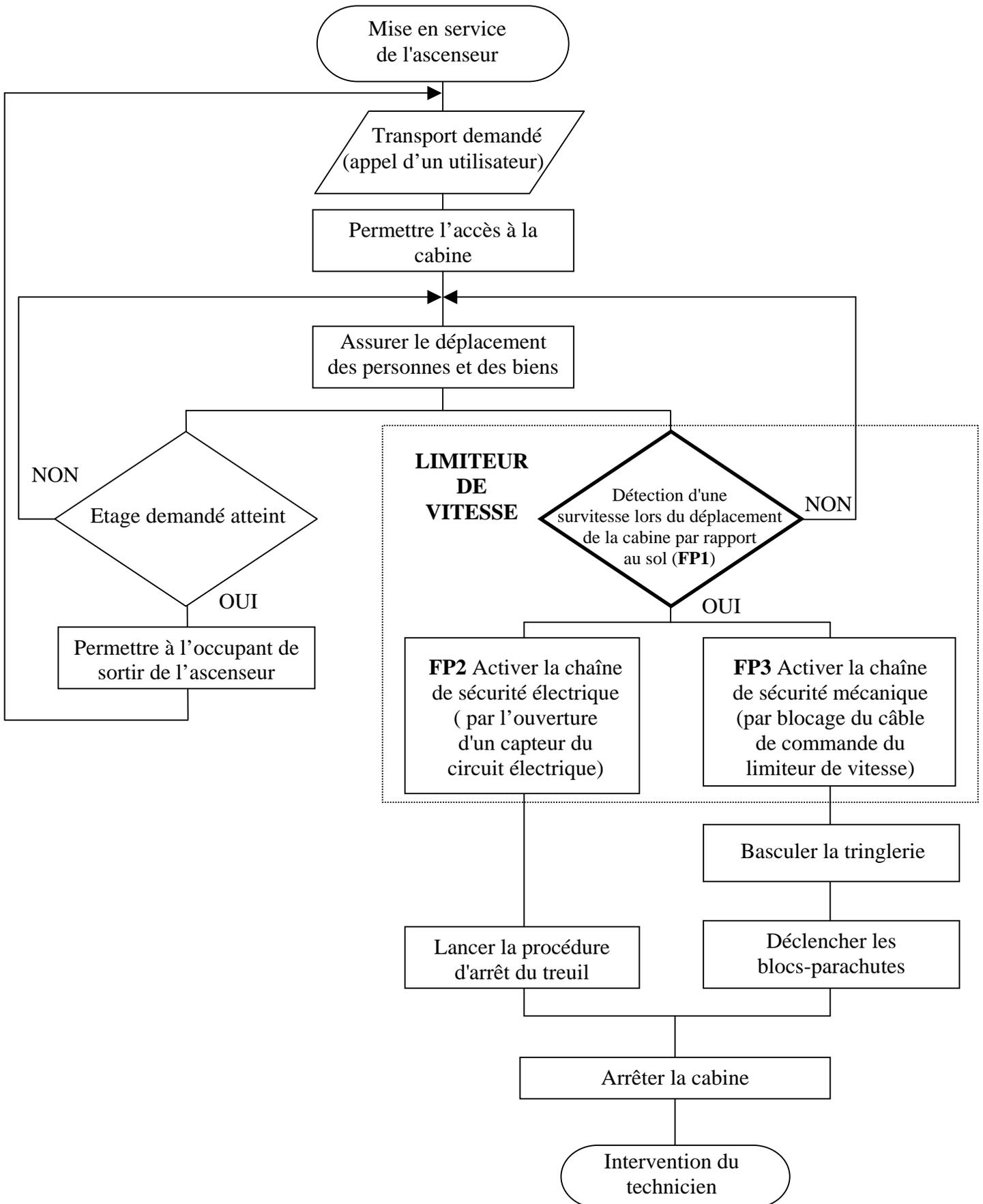


Attention : Les proportions entre les différents constituants ne sont pas respectées.

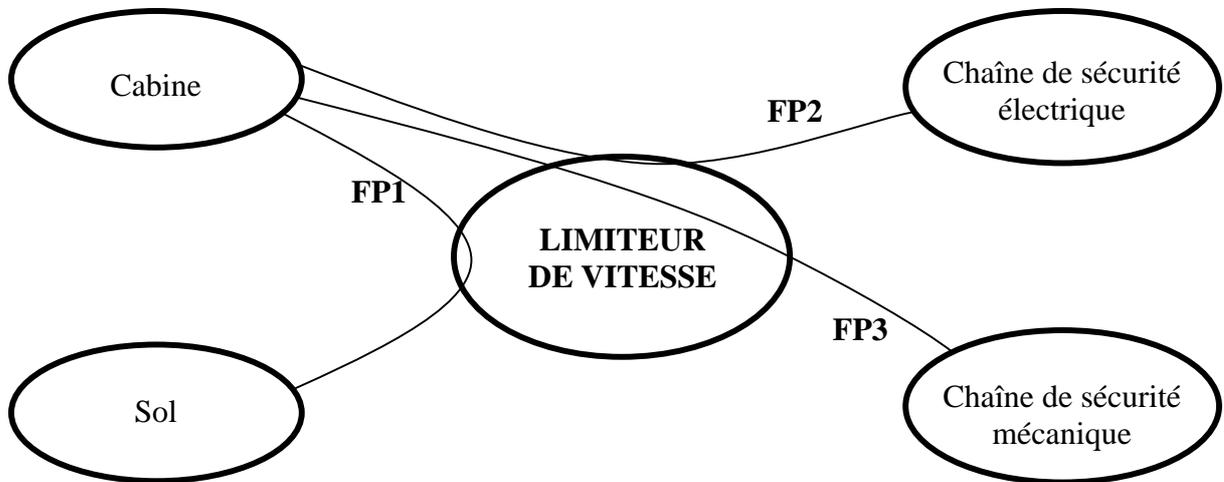
Remarque : la poulie tendeuse, par sa masse propre, assure la mise en tension du câble de limiteur (il n'y a pas de glissement entre cette poulie et le câble).

Algorithme de la détection de vitesse

DOCUMENT 3

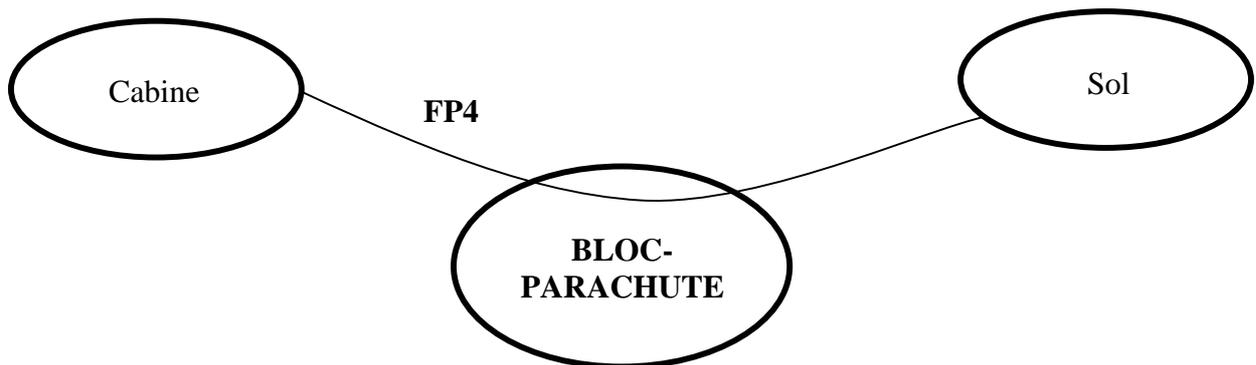


Limiteur de vitesse en phase de fonctionnement.



| N° de la fonction | Libellé de la fonction |
|-------------------|---|
| FP1 | Détecter une survitesse de la cabine par rapport au sol. |
| FP2 | Activer la chaîne de sécurité électrique en cas de survitesse de la cabine. |
| FP3 | Activer la chaîne de sécurité mécanique en cas de survitesse de la cabine. |

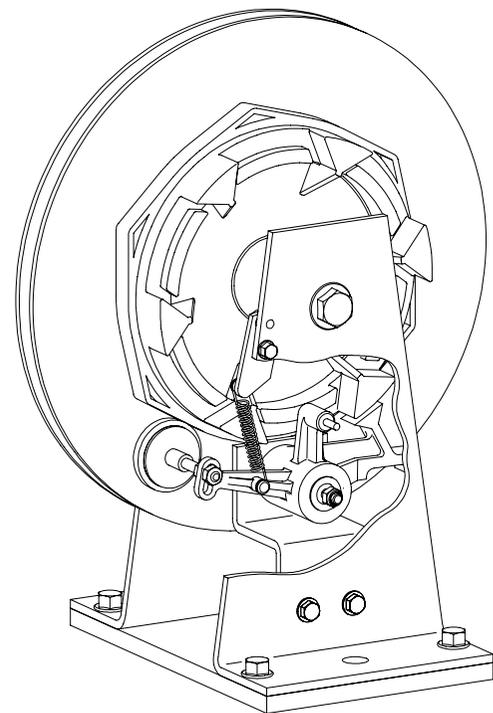
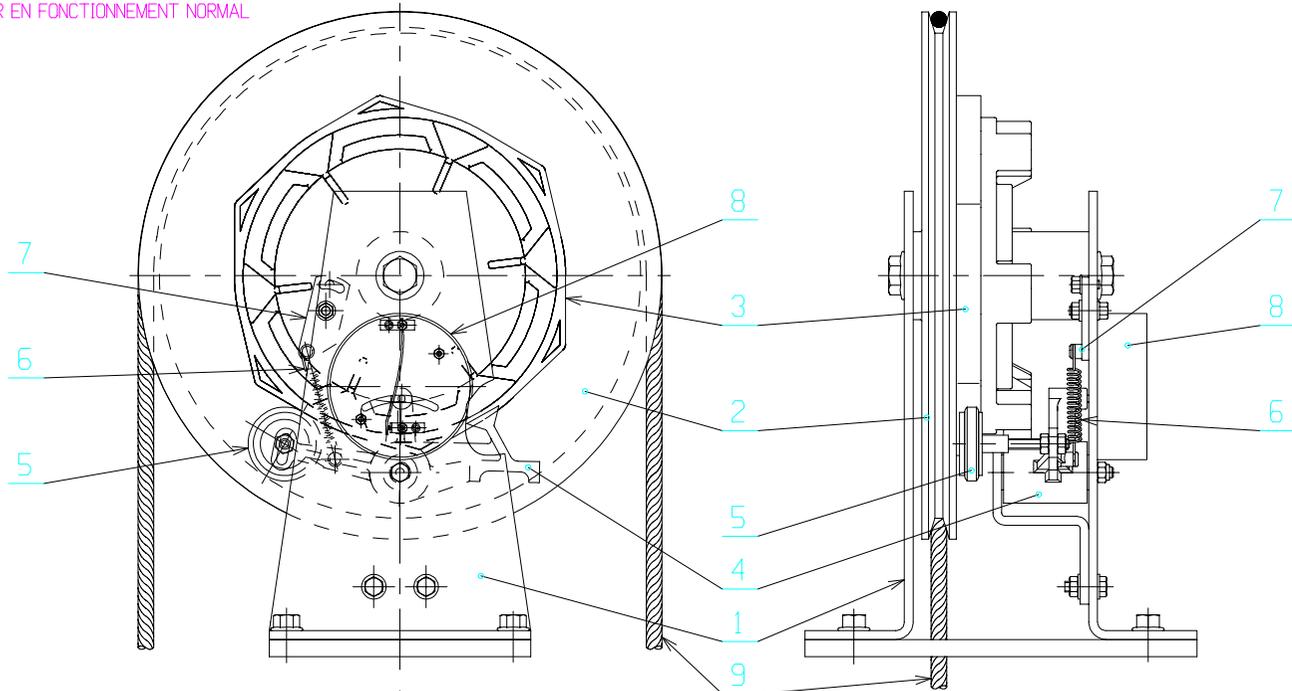
Bloc-parachute en phase de freinage (après détection d'une survitesse par le limiteur).



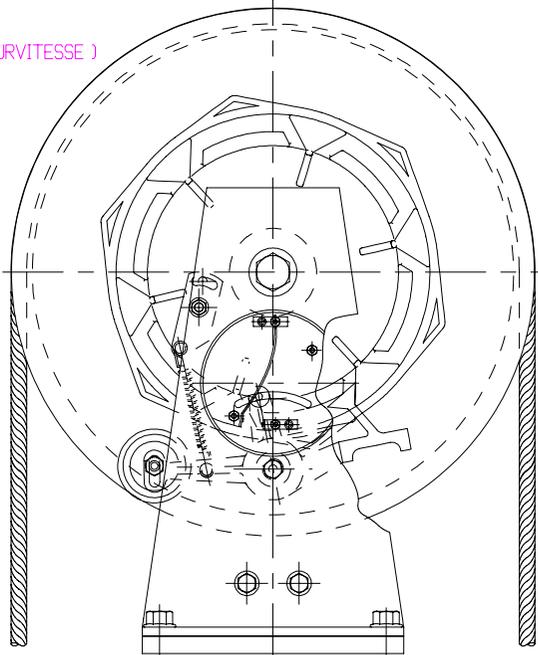
| N° de la fonction | Libellé de la fonction |
|-------------------|---------------------------------------|
| FP4 | Freiner la cabine par rapport au sol. |

| Fonction | Critères | Niveaux | Flexibilité | |
|----------------------------|--|---|--|---|
| LIMITEUR DE VITESSE | | | | |
| FP1 | Détecter une survitesse de la cabine par rapport au sol | Détecter les seuils pour $V_c < 4\text{m.s}^{-1}$ | 105% et 110% de V_c | 0 |
| | | Mesurer la vitesse pour $V_c > 4\text{m.s}^{-1}$ | Contrôle de la vitesse en continu (capteur potentiométrique) | 1 |
| FP2 | Activer la chaîne de sécurité électrique en cas de survitesse de la cabine | Activer au seuil de déclenchement | 105 % de la vitesse-contrat | 0 |
| | | Capteur placé sur le limiteur : - logique - technologie Position du boîtier de traitement de l'information | Tout ou rien Normalement fermé Armoire de commande du treuil | |
| FP3 | Activer la chaîne de sécurité mécanique en cas de survitesse de la cabine | Activer au seuil de déclenchement | 110 % de la vitesse-contrat | 0 |
| | | Effort à fournir par le câble de limiteur sur le levier de tringlerie permettant de déclencher les blocs-parachutes | 250 N mini | 1 |
| | | Longueur de glissement tolérée du câble sur la poulie du limiteur (en cas de survitesse) | 20 cm maxi | 1 |
| | | Tenue des éléments de la chaîne de sécurité mécanique | Aucune rupture dans la phase de freinage d'urgence | 0 |
| BLOC-PARACHUTE | | | | |
| FP4 | Freiner la cabine par rapport au sol | Activer au seuil de déclenchement | 110 % de la vitesse-contrat | 0 |
| | | Vitesse maximale d'utilisation d'un bloc-parachute à prise instantanée | 1 m.s^{-1} maxi | 1 |
| | | Décélération de la cabine tolérée dans le cas d'un bloc-parachute à prise amortie ($V_c > 1\text{ m.s}^{-1}$) | 10 m.s^{-2} maxi | 1 |

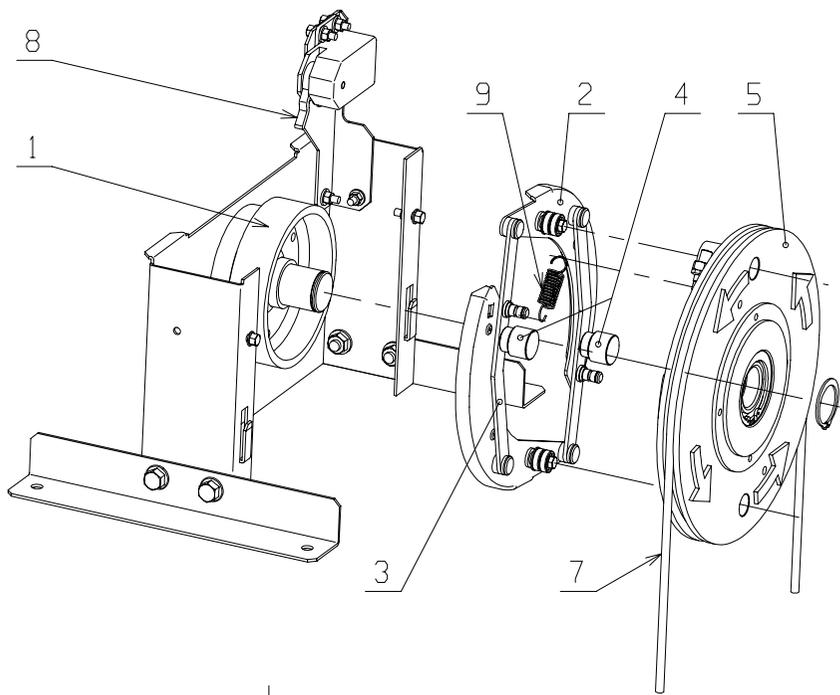
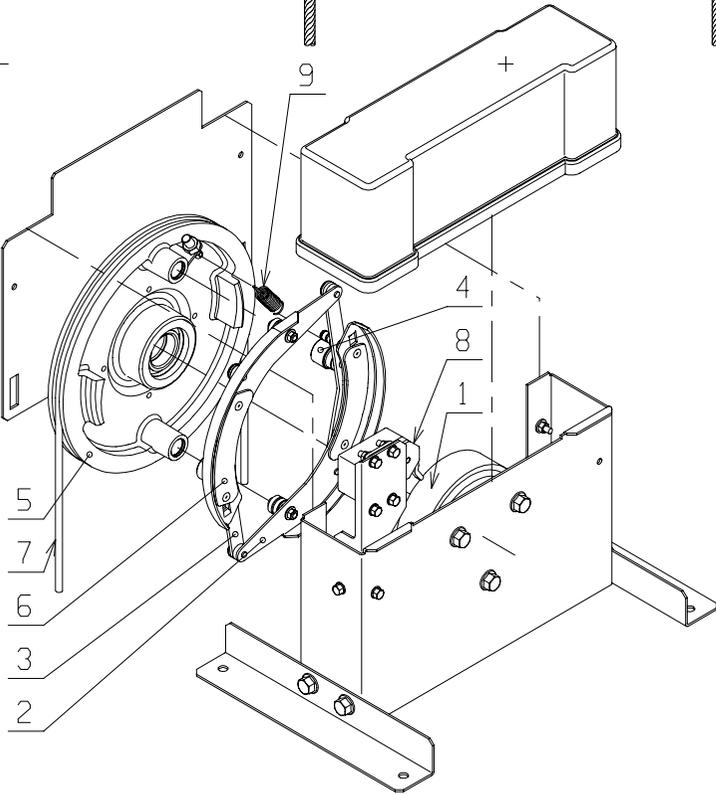
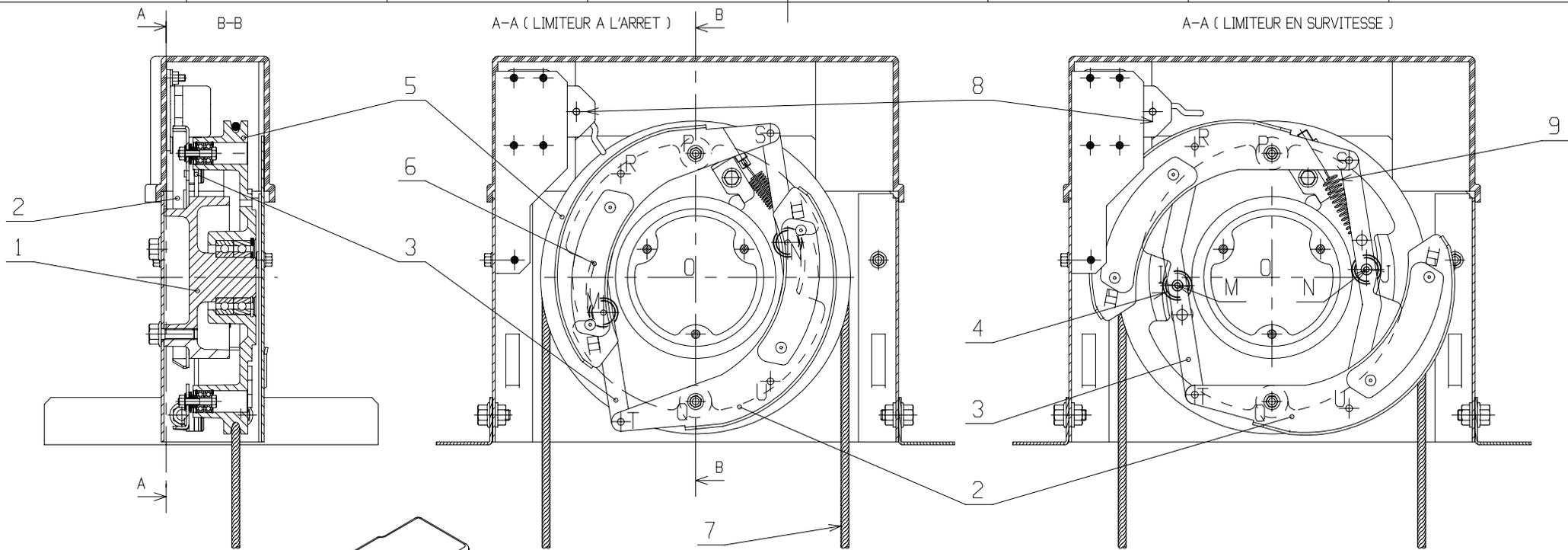
LIMITEUR EN FONCTIONNEMENT NORMAL



LIMITEUR BLOQUE (EN SURVITESSE)

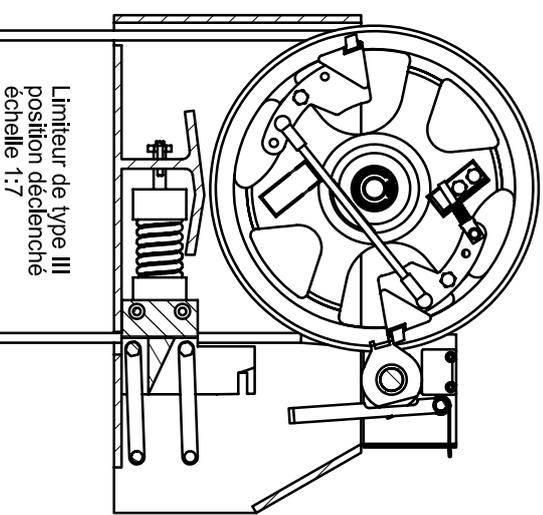
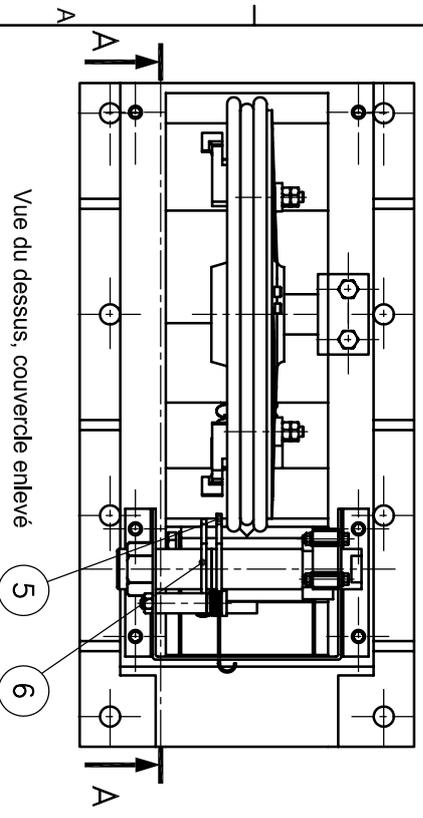
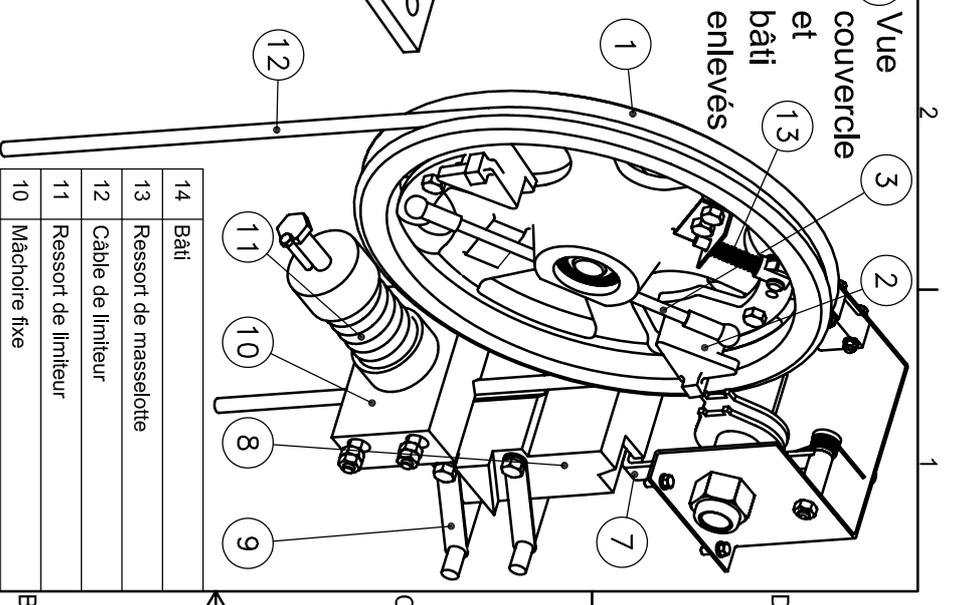
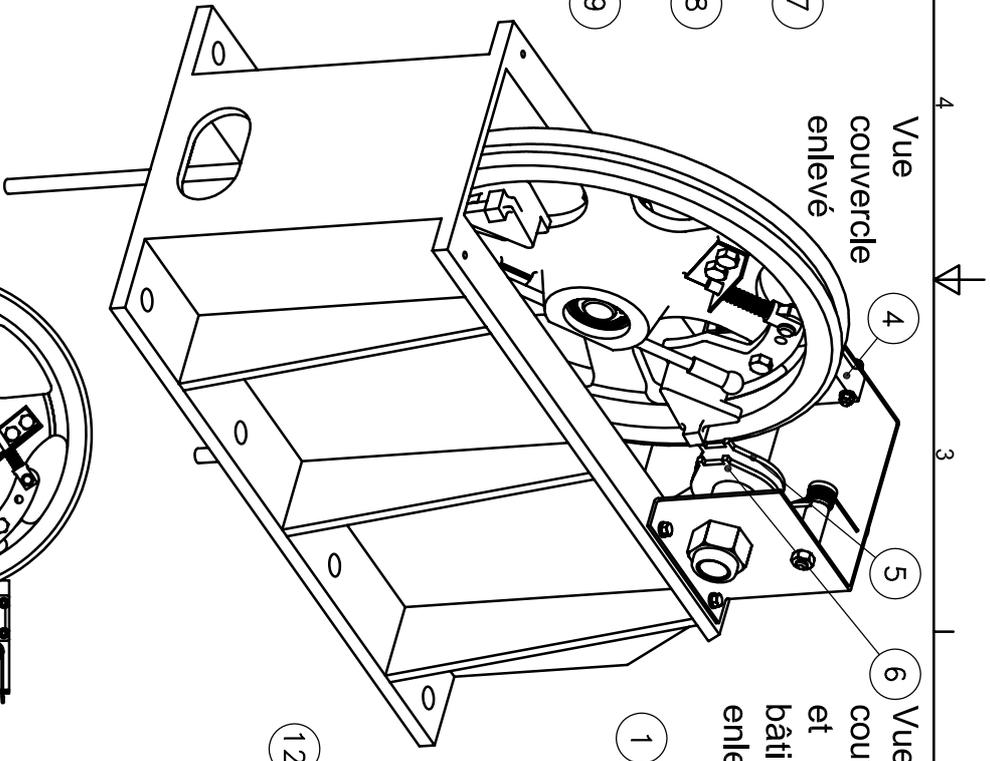
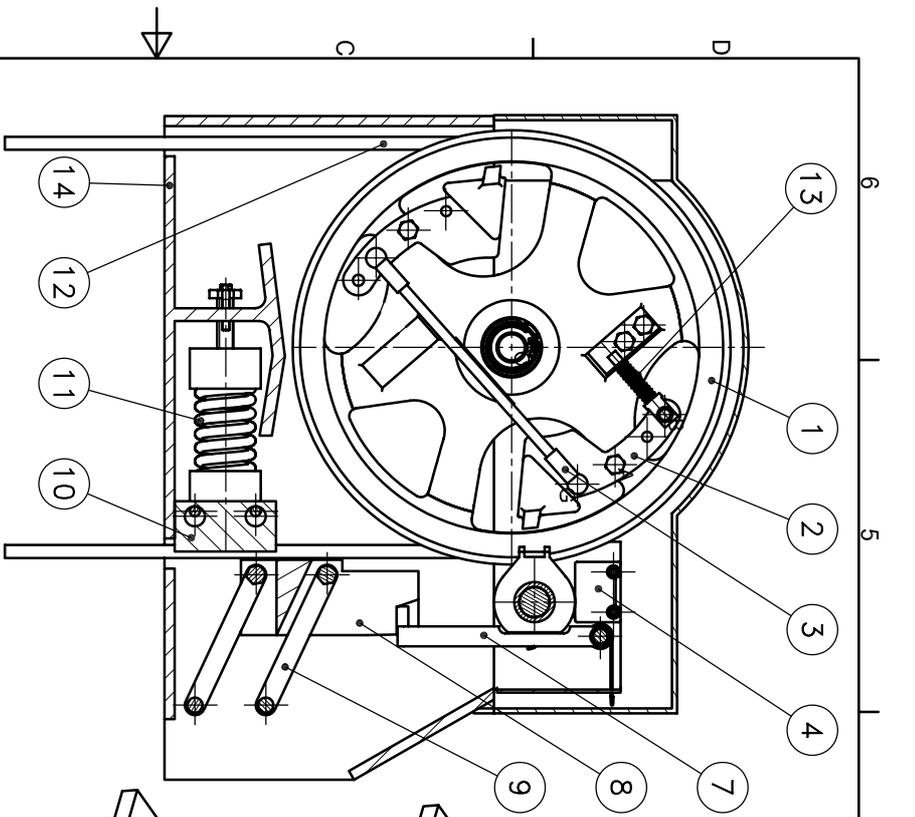


| | | |
|---|----|----------------------------------|
| 9 | 1 | Câble |
| 8 | 1 | Capteur électrique de survitesse |
| 7 | 1 | Tendeur |
| 6 | 1 | Ressort |
| 5 | 1 | Galet |
| 4 | 1 | Levier |
| 3 | 1 | Came |
| 2 | 1 | Poulie |
| 1 | 1 | Support |
| Rep | Nb | Désignation |
| CAPET Génie mécanique option construction | | |
| Echelle 1:3 | | Limiteur de type I |
| Format A3 | | Document 6 |



| | | |
|------|----|----------------------------------|
| 9 | 1 | Ressort |
| 8 | 1 | Capteur électrique de survitesse |
| 7 | 1 | Cable |
| 6 | 2 | Masselotte |
| 5 | 1 | Poulie |
| 4 | 2 | Galet cylindrique |
| 3 | 2 | Bras support de galet |
| 2 | 2 | Bras support de masselotte |
| 1 | 1 | Cylindre fixe |
| Rep/ | Nb | Désignation |

CAPET Génie mécanique option construction
 Echelle 1 : 3 Limiteur de type II
 Format A3 Document 7



Limiteur de type III
position déclenché
échelle 1:7

| | |
|----|-----------------------------------|
| 14 | Bâti |
| 13 | Ressort de masselotte |
| 12 | Câble de limiteur |
| 11 | Ressort de limiteur |
| 10 | Mâchoire fixe |
| 9 | Bielle de mâchoire mobile |
| 8 | Mâchoire mobile |
| 7 | Levier de frein |
| 6 | Carne de déclenchement mécanique |
| 5 | Carne de déclenchement électrique |
| 4 | Interrupteur électrique |
| 3 | Bielle de synchronisation |
| 2 | Masselotte |
| 1 | Poulie de limiteur |

CAFET Génie mécanique option construction

Echelle 1:5 Limiteur de type III

Format A3 Document 8

DOSSIER B

ETUDE COMPARATIVE DE SOLUTIONS CONSTRUCTIVES

Constitution du dossier B

- Pages de texte numérotées de 1 à 15
- Documents réponses **DR1** à **DR4**
- Documents techniques **DT1** à **DT3**

ATTENTION : Documents à rendre en fin d'épreuve :

- Copies
- Documents réponses **DR1** à **DR4**

ETUDE COMPARATIVE DE SOLUTIONS CONSTRUCTIVES

On se propose de comparer différentes solutions constructives associées aux fonctions FP1, FP3 et FP4 présentées dans le dossier A afin de vérifier leur adéquation à divers cas d'utilisation.

Pour les limiteurs de vitesse, les études menées mettront en évidence :

- les différentes technologies de détection de survitesse (questionnement B1),
- les divers moyens d'actionner les blocs-parachutes utilisés et en donneront les limites d'utilisation (questionnement B2).

Ensuite, une étude des blocs-parachutes permettra d'analyser les différentes solutions constructives réalisant la fonction FP4 (questionnement B3).

Au final, ces études nous permettront donc de déterminer les domaines d'application de ces différentes solutions constructives (questionnement B4).

B1 FP1 : DÉTECTER UNE SURVITESSE DE LA CABINE

Il existe plusieurs solutions constructives permettant de réaliser les fonctions attachées au limiteur (comme décrites dans le dossier A). Nous limiterons notre étude à trois familles de limiteurs de vitesse appelés type I, II et III.

La première fonction à remplir par un limiteur est de **détecter une survitesse** dont l'extrait du cahier des charges fonctionnel est rappelé ci-dessous :

| Fonction | | Critères | Niveaux |
|----------|---|---|---|
| FP1 | Détecter une survitesse de la cabine par rapport au sol | Détecter les seuils pour $V_c < 4\text{m.s}^{-1}$ Mesurer la vitesse pour $V_c > 4\text{m.s}^{-1}$ | 105% et 110% de V_c Contrôle de la vitesse en continu (capteur potentiométrique) |

L'objectif du questionnement B1 est d'analyser les diverses cinématiques mises en place pour réaliser cette fonction et mettre en évidence les contraintes et limites de chacune.

B1.1 Limiteur de vitesse de type I

Le plan du limiteur de vitesse type I est donné sur le **Document 6** du dossier A.

Principe de fonctionnement :

Le câble 2 relié à la cabine de l'ascenseur entraîne en rotation la poulie du limiteur 2 lors de la descente ou la montée. Cette poulie 2 est solidaire d'une came 3 sur laquelle roule un galet 5 (roulement sans glissement). Ce galet est maintenu en contact avec la came par un ressort 6 tarable en fonction de la vitesse-contrat.

Si la vitesse angulaire de la poulie devient trop importante, le contact galet-came est rompu (le ressort ne permettant plus le maintien du contact). La partie arrière du levier 4 supportant le galet 5 vient s'engager dans une rainure de la came 3, bloquant ainsi brutalement la rotation de celle-ci, et donc celle de la poulie 2.

Q.1 Compléter l'analyse du limiteur de type I en expliquant (document réponse **DR1**) :

- les phénomènes induits dans le mécanisme en cas de survitesse ;
- la réalisation de l'ouverture de la chaîne de sécurité électrique ;
- la façon dont est bloqué le câble afin d'actionner les blocs-parachutes.

B1.2 Limiteur de vitesse de type II

Le **Document 7** du dossier A représente le limiteur de type II.

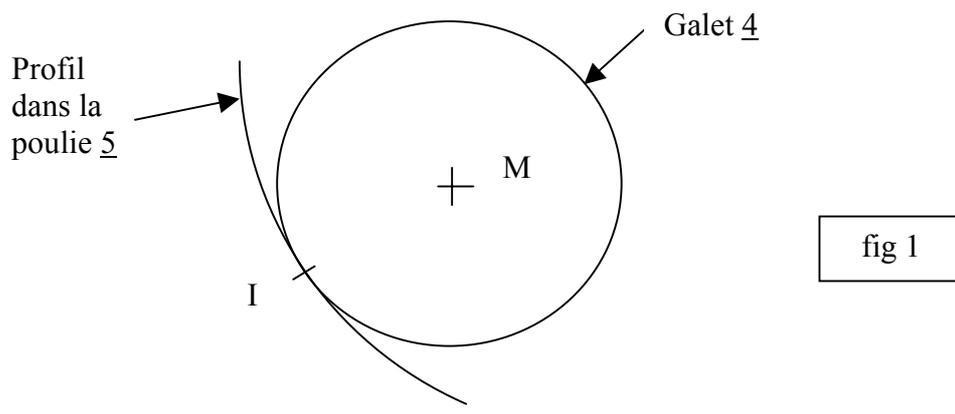
Q.2 Renseigner toutes les rubriques du document réponse **DR1** concernant le fonctionnement du limiteur de type II.

On se propose d'étudier les conditions géométriques garantissant le bon fonctionnement du limiteur de type II (voir document réponse **DR2**) :

- en fonctionnement normal, le galet 4 doit suivre un chemin de roulement dans la poulie 5,
- en cas de survitesse, la poulie 5 doit se bloquer par rapport au bâti 1.

Q.3-1 Sur copie, proposer, en la justifiant, une modélisation cinématique des assemblages :
- galet 4 / chemin de roulement dans la poulie 5
- galet 4 / bras 3

Q.3-2 Comment caractériser le mouvement du galet 4 par rapport à son chemin de roulement 5 en fonctionnement normal ?
Enoncer la ou les conditions liées à l'obtention de ce mouvement (fig 1).



Afin d'équilibrer les efforts lors du blocage de la poulie 5 (survitesse), on utilise deux galets 4 fonctionnant de façon symétrique.

Q.3-3 A l'aide du document réponse **DR2**, définir la nature du mouvement du bras 3 par rapport à la poulie 5.
Mettre en place la cotation sans tolérances (document réponse **DR2**), de la poulie 5 (4 cotes), permettant un fonctionnement correct du mécanisme.

Q.3-4 En cas de survitesse, démontrer graphiquement que tout mouvement du galet 4 par rapport au cylindre fixe 1 est impossible.
Sur le document réponse **DR3**, compléter l'épure géométrique en appui de votre démonstration.
Le facteur d'adhérence aux contacts est de 0,25.

B1.3 Limiteur de vitesse de type III

Le **Document 8** du dossier A représente le limiteur de type III.

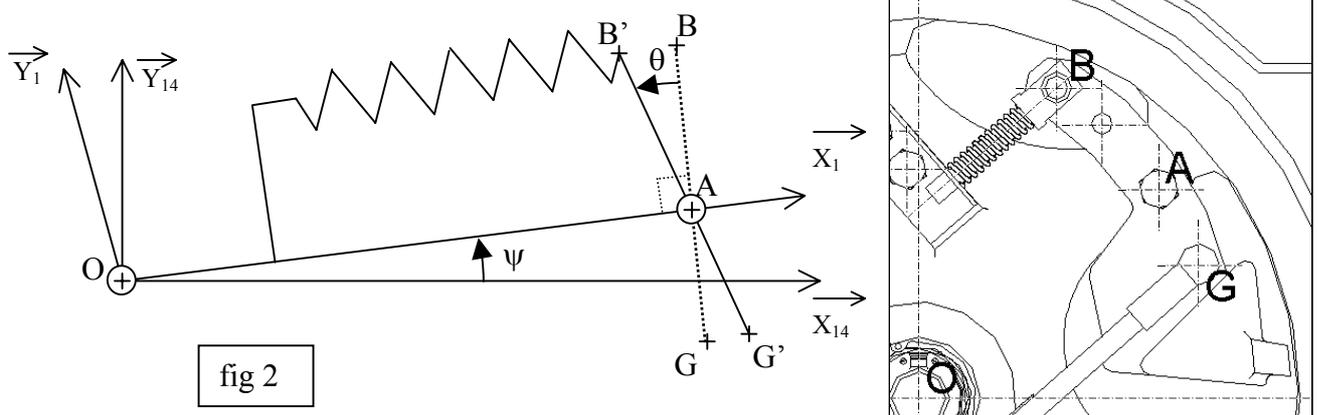
Q.4 Renseigner toutes les rubriques du document réponse **DR1** concernant le fonctionnement du limiteur de type III.

Le limiteur de type III est destiné aux vitesses-contrat élevées ($V_c > 4 \text{ m.s}^{-1}$). Il peut être équipé d'un capteur potentiométrique (détectant le mouvement de la masselotte 2) permettant de connaître à tout moment la vitesse de l'ascenseur.

L'objectif de la question Q.5 est de déterminer la relation liant la position de la masselotte 2 à la vitesse V de la cabine en vue de l'utilisation d'un capteur potentiométrique (influence de la raideur du ressort de rappel de masselotte 13 à monter sur le limiteur de type III).

Le réglage des seuils de déclenchement se fait par un choix judicieux de la raideur du ressort de rappel 13 de la masselotte. Les deux masselottes 2 (de masse m) étant liées par la bielle de synchronisation 3, on adopte une modélisation faisant appel à une seule masselotte équivalente de masse ponctuelle $2.m$ dont le barycentre est en G.

On adoptera donc la modélisation simplifiée présentée sur la figure 2 :



- O = centre de l'articulation entre la poulie 1 et le bâti 14
- A = centre de l'articulation entre la masselotte 2 et la poulie 1
- B = point d'ancrage du ressort de rappel 13
- G = centre de gravité de la masselotte 2

Notation adoptée :

- $OA = d_0$ $AB = AB' = d_1$ $AG = AG' = d_2$
- m = masse des deux masselottes 2
- k = raideur du ressort de rappel 13
- $\dot{\psi}$ = vitesse angulaire de rotation de la poulie 1 par rapport au bâti 14
- R = rayon de la poulie 1
- V = vitesse du centre de gravité de la cabine par rapport au repère R_{14}

Hypothèses simplificatrices :

- le référentiel associé au repère R_{14} ($O, \vec{X}_{14}, \vec{Y}_{14}, \vec{Z}_{14}$) est galiléen ;
- l'action du ressort de rappel (supposée nulle quand $\theta = 0$) est toujours parallèle à l'axe \vec{X}_1 ;
- on néglige l'action de la pesanteur sur les divers éléments devant les efforts mis en jeu et du fait de la présence de la biellette de synchronisation entre les deux masselottes ;
- les liaisons sont supposées parfaites ;
- les calculs seront faits dans le repère (\vec{X}_1, \vec{Y}_1) ;
- le mouvement de la cabine est uniforme, ainsi $\dot{\psi}$ est constant et la masselotte 2 est immobile par rapport à la poulie 1 ;
- pas de glissement entre le câble du limiteur et la poulie 1.

Q.5-1 Donner l'expression donnant la vitesse de la cabine V en fonction de $\dot{\psi}$.

Q.5-2 Donner l'expression de $\|\vec{OG}'\|$ en fonction de d_0, d_2 et θ .

Q.5-3 Donner l'expression du module de l'action du ressort 13 agissant sur la masselotte 2, notée $\|\vec{F}_{13 \rightarrow 2}\|$ en fonction de k, d_1 et θ .

Q.5-4 Donner l'expression de la résultante dynamique $\vec{R}_{d(2/R_{14})}$ du torseur dynamique de la masselotte 2 par rapport au référentiel galiléen en fonction de m, d_0, d_2, θ et $\dot{\psi}$.

En appliquant le théorème du moment dynamique à la masselotte 2 au point A, après linéarisation, on obtient la relation suivante :

$$\theta = \frac{2 \cdot m \cdot d_2 \cdot d_0}{k \cdot d_1} \cdot \frac{V^2}{R^2}$$

Q.5-5 Conclure quant à l'allure de la courbe $\theta = f(V)$

Pour des vitesses-contrat plus élevées, il est nécessaire de surveiller en permanence la vitesse de l'ascenseur. On modifie le limiteur de type III en ajoutant au dispositif "classique" (déclenchement des blocs-parachutes) un capteur potentiométrique mesurant l'angle de rotation θ de la masselotte 2. Pour faciliter le réglage et l'exploitation des signaux obtenus, il est souhaitable que la courbe $\theta = f(V)$ soit assimilable à une droite passant par l'origine (écart à la linéarité de 10% dans la zone de mesure).

Dans ce cas, le constructeur fait appel à un deuxième ressort, appelé ressort différentiel, possédant une course "morte" et n'entrant en action que lorsque la vitesse du limiteur dépasse une vitesse de seuil (40% à 60% de la vitesse-contrat). Cette partie sera étudiée dans le dossier C.

B2 FP3 : ACTIVER LA CHAÎNE DE SÉCURITÉ EN CAS DE SURVITESSE DE LA CABINE

Dans le cas où une survitesse est détectée, un limiteur doit activer la chaîne de sécurité mécanique. C'est la fonction FP3 décrite dans le dossier A dont l'extrait du cahier des charges fonctionnel est rappelé ci-dessous :

| Fonction | | Critères | Niveaux |
|----------|---|---|--|
| FP3 | Activer la chaîne de sécurité mécanique en cas de survitesse de la cabine | Activer au seuil de déclenchement | 110 % de la vitesse-contrat |
| | | Effort à fournir par le câble sur le levier de tringlerie permettant de déclencher les blocs-parachutes | 250 N mini |
| | | Longueur de glissement tolérée du câble sur la poulie du limiteur (en cas de survitesse) | 20 cm maxi |
| | | Tenue des éléments de la chaîne de sécurité mécanique | Aucune rupture dans la phase de freinage d'urgence |

Lors d'un freinage d'urgence, le limiteur se bloque (limiteurs de type I et II) ou freine le câble du limiteur (type III), déclenchant ainsi la prise des blocs-parachutes (suivant la chaîne d'action présentée sur le **Document 2**).

Dans la pratique, il existe deux sortes de blocs-parachutes :

- **les blocs-parachutes à prise instantanée**, basés sur le principe de l'arc-boutement. La cabine s'immobilise alors brutalement, ce qui réduit leur utilisation à des vitesses-contrat faibles (1 m.s^{-1} maximum) afin de garantir l'intégrité des personnes.
- **les blocs-parachutes à prise amortie**. Cette fois, l'intensité du freinage est limitée pour garantir une décélération maximale de 10 m.s^{-2} quelle que soit la vitesse-contrat. Dans ce cas, l'arrêt de la cabine se fait sur une certaine distance.

On se propose d'étudier dans cette partie les conséquences d'un freinage d'urgence avec des parachutes à prise amortie, en utilisant des limiteurs de type I ou II, en fonction de la vitesse-contrat.

B2.1 Cas des limiteurs de types I et II

Lors de la détection d'une survitesse, ces limiteurs réagissent tous les deux de la même façon : la poulie de limiteur se bloque, tirant sur le câble qui déclenche les blocs-parachutes.

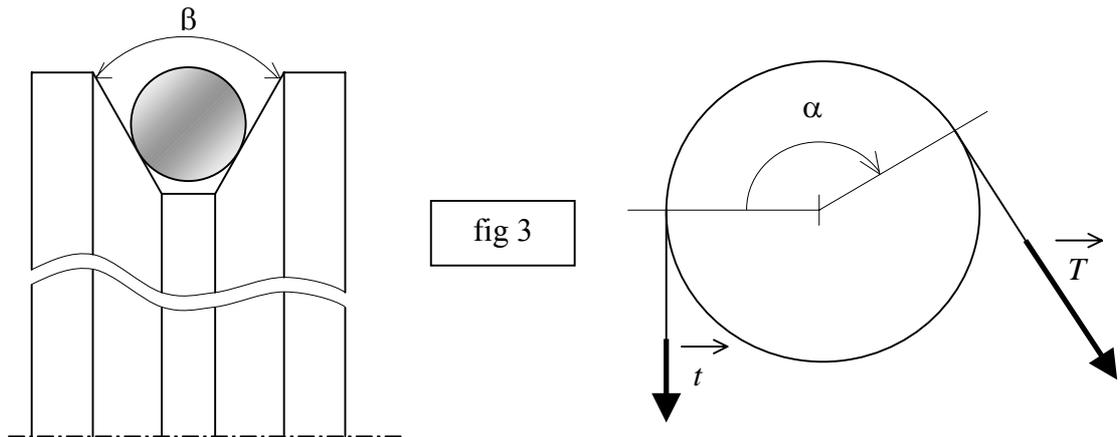
B2.1.1 Vérification de la condition de déclenchement

Pour actionner la tringlerie et donc déclencher les blocs-parachutes, il est nécessaire que l'action du câble sur la tringlerie en E (fig 4) soit de 250 N minimum.

L'objectif du questionnement B2.1.1 est de valider les solutions constructives au regard de l'effort à fournir par le câble au levier de tringlerie permettant de déclencher les blocs-parachutes (250N).

On se place dans le cas très défavorable où :

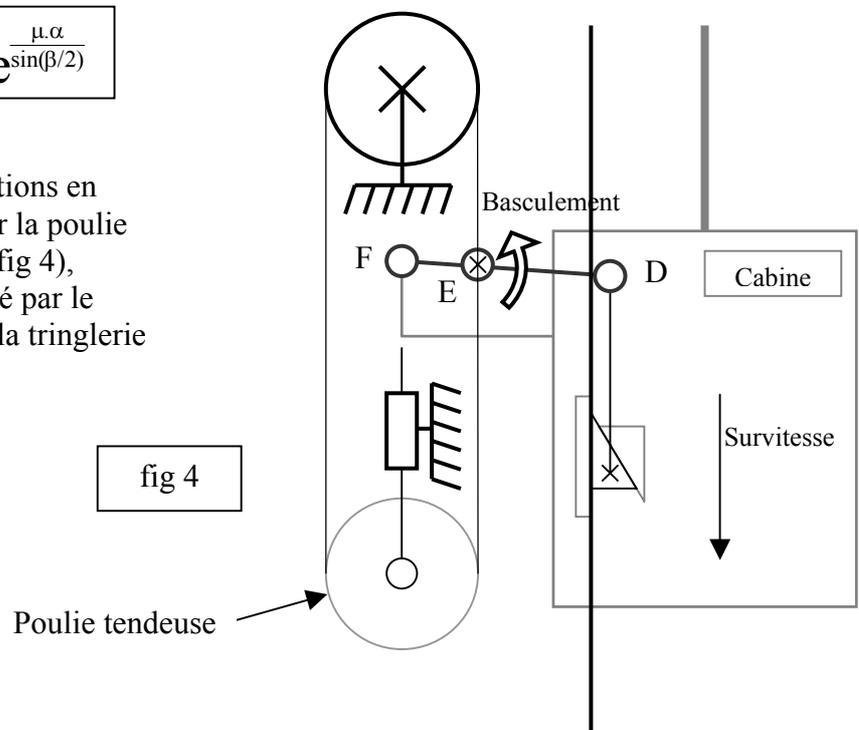
- le contact câble-poulie se situe en limite d'adhérence, en considérant un facteur d'adhérence μ de 0,1 ;
- la course de l'ascenseur est faible, ce qui nous amène à négliger le poids du câble du limiteur ;
- le poids de la poulie tendeuse utilisée de 400 N ;
- l'angle de gorge β de la poulie du limiteur est de 34° .



Par l'étude du contact câble/poulie (fig 3), on démontre que :

$$T = t \cdot e^{\frac{\mu \cdot \alpha}{\sin(\beta/2)}}$$

Q.6-1 En étudiant les conditions en limite d'adhérence sur la poulie du limiteur bloquée (fig 4), calculer l'effort exercé par le câble de limiteur sur la tringlerie au point E.



Q.6-2 Conclure sur la validité des limiteurs de type I et II au regard du critère "effort à fournir par le câble de limiteur sur le levier de tringlerie permettant de déclencher les blocs-parachutes" énoncé dans le cahier des charges fonctionnel.

B2.1.2 Vérification des éléments constitutifs de la chaîne de sécurité mécanique

Dans le cadre d'un freinage d'urgence, la poulie du limiteur se bloque par rapport au bâti. Le câble est alors freiné (type III) ou bloqué par adhérence autour de la poulie du limiteur (type I et II). Par l'intermédiaire de la tringlerie, le câble déclenche alors la prise des blocs-parachutes (voir figures 1 et 2 du **document 2** - Dossier A). Pour assurer une réelle sécurité, il faut donc qu'en cas de survitesse, l'ensemble de ces éléments (câble de limiteur et levier de tringlerie) puisse actionner les blocs-parachutes sans rompre.

L'objectif du questionnement B2.1.2 et de vérifier la tenue des composants de la chaîne de sécurité mécanique dans les cas d'efforts extrêmes.

Dans la pratique, les paramètres principaux de la chaîne d'action (diamètre du câble de limiteur, diamètre de la poulie du limiteur) sont fonctions de la course de l'ascenseur et de la vitesse-contrat V_c .

Pour cette étude, on se place dans une configuration typique, à savoir le cas d'un ascenseur de course moyenne de 25 m (soit une distance entre l'axe de la poulie du limiteur et celui de la poulie tendeuse de **30 m**), où l'on utilise un limiteur de type I ou II muni d'un câble de diamètre 7,5 mm constitué de 6 torons de 19 fils sur âme textile (dont les caractéristiques sont données sur le **document technique DT1** du dossier B).

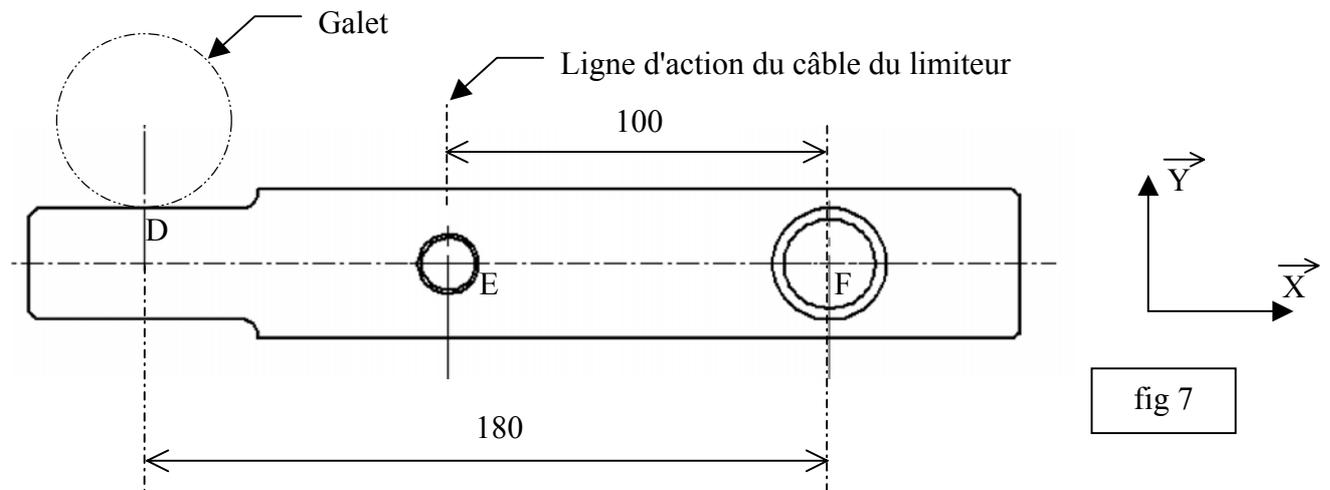
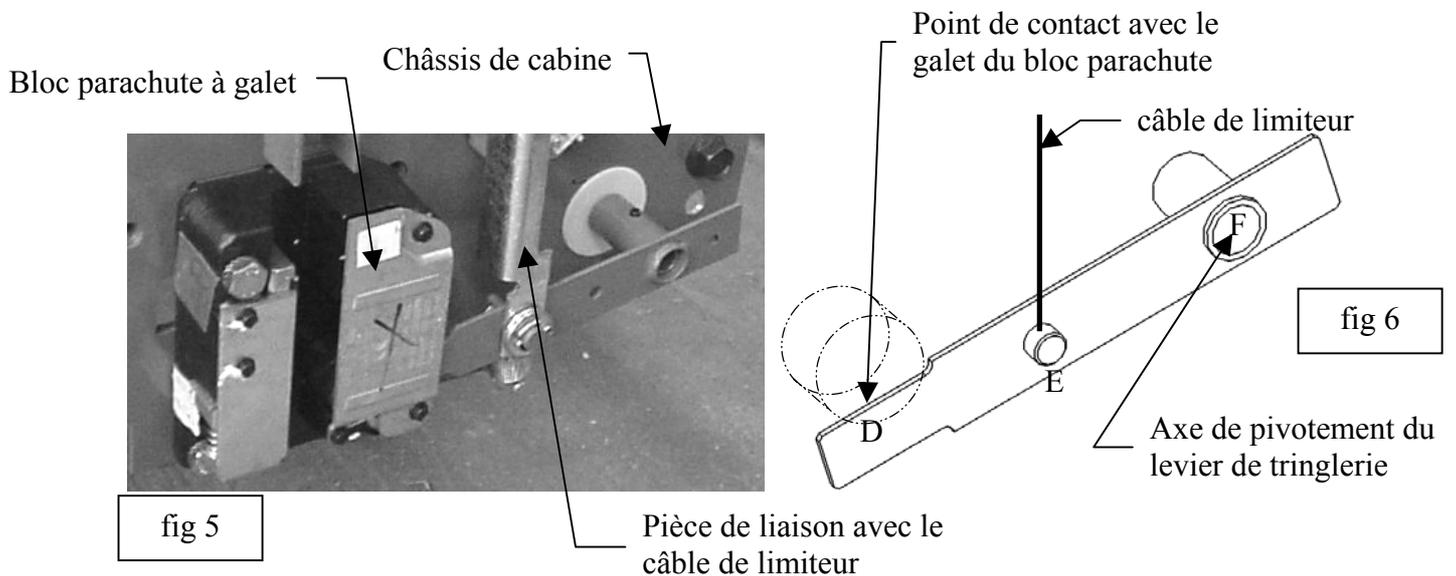
Q.7 Déterminer l'effort maximal transmis par le câble lorsque l'on se place en limite d'adhérence sur la poulie (c'est-à-dire juste avant que le câble ne glisse sur la poulie), dans un cas de fonctionnement normal, c'est-à-dire :

- le facteur limite d'adhérence entre le câble et la poulie est de 0,3 ;
- l'angle de gorge de la poulie de limiteur est de 34° ;
- le poids du câble du limiteur n'est pas négligé ;
- la poulie tendeuse a un diamètre de 400 mm et un poids de 400 N.

Q.8 Compte tenu du résultat précédent et des caractéristiques du câble (**document technique DT1** du dossier B), conclure quant à la tenue de ce dernier.

On propose de vérifier la tenue du levier de tringlerie aux efforts dans la phase de freinage (fig 5 et 6).

Une représentation simplifiée du levier de tringlerie, ramenée dans le plan de symétrie, est proposée ci-après sur la figure 7 :

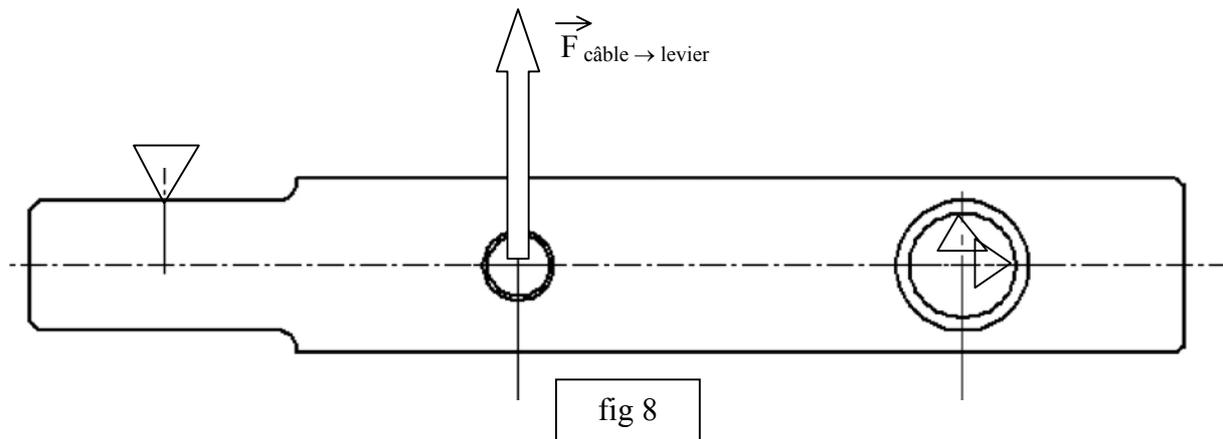


Données :

- la tension maximale dans le câble du limiteur est supposée de 7000 N ;
- le poids du levier est négligé au regard des efforts mis en jeu ;
- l'équilibre est étudié en position parachute en prise, c'est-à-dire levier horizontal ;
- les frottements dans les liaisons sont négligés.

Q.9-1 Proposer une modélisation des assemblages (en D, E et F) et des actions mécaniques entre le levier et son environnement. Déterminer ces actions en vue d'une étude de résistance des matériaux.

Le **document technique DT2** fournit les résultats d'une simulation numérique issue de la modélisation présentée en figure 8 :



- Q.9-2** Après analyse des résultats fournis (**document technique DT2**), choisir, dans la liste fournie dans le **document technique DT3**, un matériau convenable pour le levier de tringlerie, en utilisant un coefficient de sécurité de 2. Justifier la réponse.

B2.1.3 Etude du comportement au contact câble-poulie

L'objectif du questionnaire B2.1.3 est de mettre en évidence les limites de certaines configurations de limiteur au regard du critère "longueur de glissement tolérée du câble sur la poulie du limiteur" (critère de FP3).

Point de fonctionnement :

L'ascenseur se trouve au dernier étage lorsque la rupture du câble tracteur provoque une survitesse, et donc le blocage du limiteur. A cet instant, la longueur de câble entre le limiteur et la tringlerie est de **3 m**. On fera l'hypothèse que la décélération de la cabine est constante et égale à **10 m.s⁻²**.

Dans cette étude, considérant que la cabine se déplace en translation, on s'intéressera au mouvement du centre de gravité de cette dernière.

- Q.10** A l'aide du **document technique DT1** du dossier B, déterminer l'allongement du câble sous la charge maximale majorée à 7000 N.
- Q.11** Déterminer la vitesse initiale de la cabine pour obtenir un arrêt complet sur une course correspondante à l'allongement calculé à la question précédente.
- Q.12** Décrire ce qu'il se passe si la vitesse initiale est supérieure à celle calculée à la question précédente.
- Q.13** D'une façon générale, déterminer l'équation liant la distance d'arrêt **D** à la vitesse initiale **V_i** : $D = f(V_i)$

Q.14 Déterminer la vitesse-contrat (vitesse maximale d'utilisation de l'ascenseur) respectant le niveau du critère "longueur de glissement tolérée du câble sur la poulie du limiteur" de FP3 (c'est-à-dire 20 cm maximum).

Q.15 Décrire les modifications au niveau du glissement du câble sur la poulie si le limiteur se déclenche lorsque l'ascenseur est plus bas dans les étages.
Conclure quant à la pertinence du point de fonctionnement choisi en B2.1.3, à savoir une longueur initiale de câble de limiteur de 3 m.

B2.2 Cas du limiteur de type III

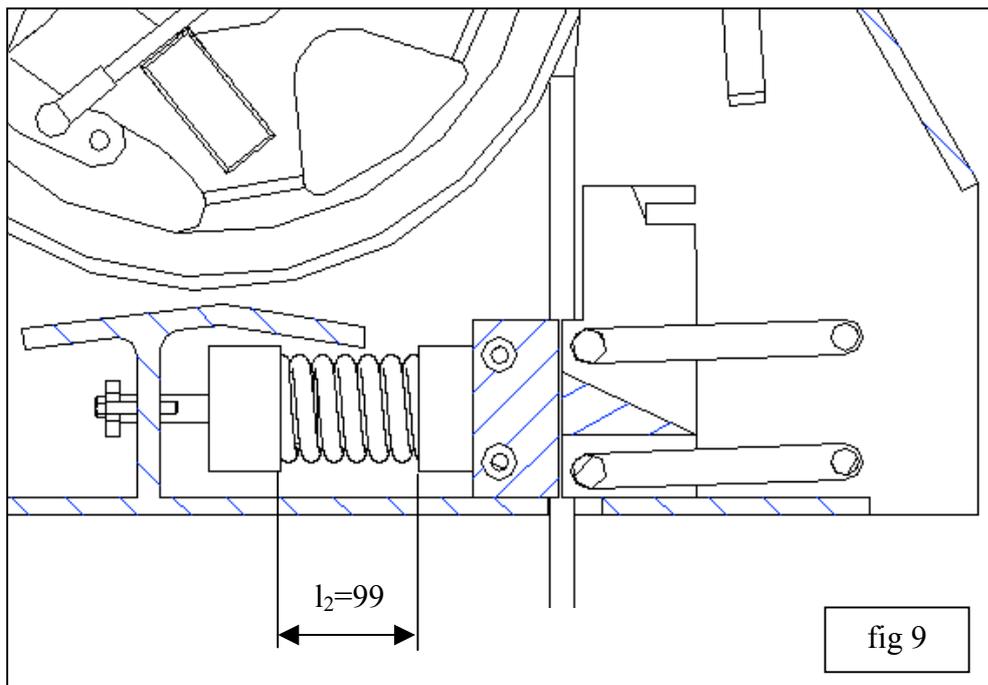
Le **Document 8** du dossier A représente le limiteur de type III.

B2.2.1 Vérification de la condition de déclenchement

L'objectif du questionnement B2.2.1 est de valider la solution constructive du limiteur de type III en terme d'effort à fournir à la tringlerie de commande des blocs-parachutes (250N).

On cherche à valider le limiteur de type III muni d'un câble de diamètre 7,5 mm constitué de 6 torons de 19 fils sur âme textile (dont les caractéristiques sont données sur le **document technique DT1** du dossier B) en ce qui concerne l'effort à fournir sur la tringlerie afin de déclencher les blocs-parachutes (FP3).

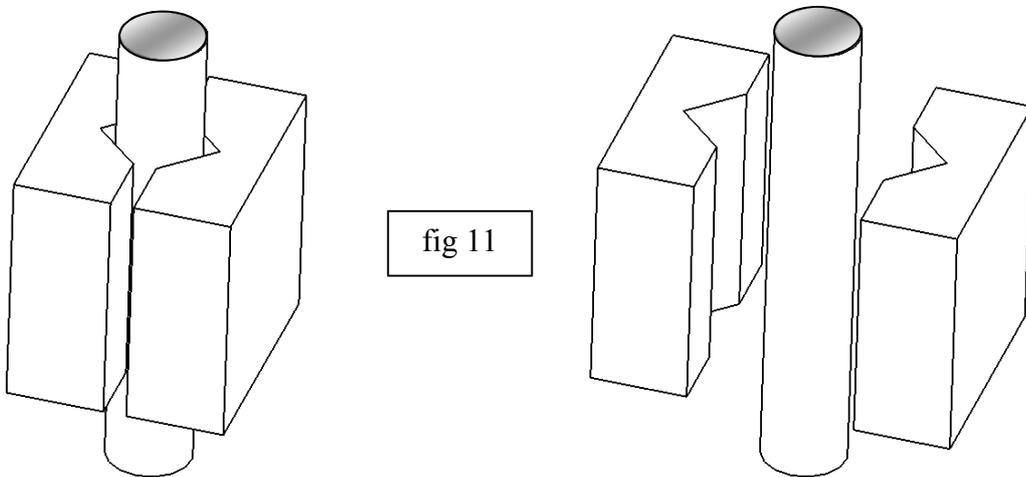
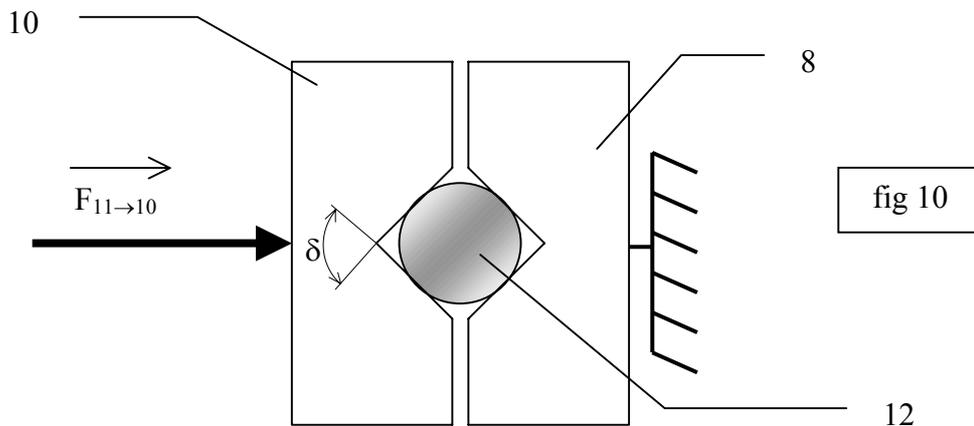
Q.16-1 A l'aide de l'extrait de plan fourni en figure 9 du dispositif de freinage et du **document technique DT3**, déterminer l'effort presseur $\|\vec{F}_{11 \rightarrow 10}\|$ exercé par le ressort 11 sur la mâchoire 10 du frein en phase de freinage.



Echelle 1: 3

Ressort:
- Matière C80
- longueur sous précharge $l_1 = 102$ mm
- longueur libre $l_0 = 110$ mm
- longueur en position de freinage $l_2 = 99$ mm
- nombre spires actives: 5,5
- Diamètre du fil : $d = 10$ mm
- Diamètre d'enroulement : $D = 50$ mm

Q.16-2 Déterminer la relation liant $\|\vec{F}_{11 \rightarrow 10}\|$ à l'effort de freinage tangentiel F_{freinage} transmis au câble 12 par les mâchoires 8 et 10 (figures 10 et 11).



Q.16-3 Calculer la valeur de cet effort pour :

- un angle de rainure en vé $\delta = 90^\circ$;
- un facteur de frottement $\mu = 0,3$.

Q.16-4 Conclure sur la validité du limiteur de type III au regard du critère "effort à fournir par le câble de limiteur sur le levier de tringlerie permettant de déclencher les blocs-parachutes" énoncé dans le cahier des charges fonctionnel (FP3).

B2.2.2 Vérification de la chaîne de sécurité mécanique (câble de limiteur, tringlerie...)

L'objectif du questionnaire B2.2.2 est de vérifier la tenue des composants de la chaîne de sécurité mécanique dans les cas d'efforts extrêmes.

Dans le cadre d'un freinage d'urgence, le limiteur bloque ou freine le câble de limiteur qui, par l'intermédiaire de la tringlerie agit sur les blocs-parachutes (voir figures 1 et 2 du **document 2** - Dossier A). Pour assurer une réelle sécurité, il faut donc qu'en cas de survitesse, l'ensemble de ces éléments puissent actionner les blocs-parachutes sans rompre.

Q.17-1 Compte tenu du résultat de la question Q.16-3 et des caractéristiques du câble (**document technique DT1** du dossier B), conclure quant à la tenue de ce dernier.

Le constructeur utilise le même levier de tringlerie pour les trois types de limiteurs. Compte tenu des faibles efforts transmis par le câble à ce dernier, le levier étudié pour les limiteurs de type I et II (questions Q.9-1 et Q.9-2) tiendra parfaitement dans le cas d'un limiteur de type III.

Q.17-2 Compte tenu des études menées précédemment et de l'analyse du **document 8** du dossier A, expliquer qualitativement pourquoi ce type de limiteur permet une utilisation pour des vitesses-contrat élevées, ce que ne permettait pas les limiteurs de type I et II (étude du contact câble-poulie : B2.1.3).

B3 FP4 : ARRÊTER LA CABINE

Les blocs-parachutes remplissent la fonction FP4 décrite dans le dossier A dont l'extrait du cahier des charges fonctionnel est rappelé ci-dessous :

| Fonction | | Critères | Niveaux |
|----------|--------------------------------------|---|-----------------------------|
| FP4 | Freiner la cabine par rapport au sol | Activer au seuil de déclenchement | 110 % de la vitesse-contrat |
| | | Vitesse maximale d'utilisation d'un bloc-parachute à prise instantanée | 1 m.s ⁻¹ maxi |
| | | Décélération de la cabine tolérée dans le cas d'un bloc-parachute à prise amortie (Vc > 1 m.s ⁻¹) | 10 m.s ⁻² maxi |

Dans la pratique, il existe deux sortes de blocs-parachutes :

- **les blocs-parachutes à prise instantanée**, basés sur le principe de l'arc-boutement. La cabine s'immobilise alors brutalement, ce qui réduit leur utilisation à des vitesses-contrat faibles (1 m.s⁻¹ maximum) afin de garantir l'intégrité des personnes.
- **les blocs-parachutes à prise amortie**. Cette fois, l'intensité du freinage est limitée pour garantir une décélération maximale de 10 m.s⁻² quelle que soit la vitesse-contrat. Dans ce cas, l'arrêt de la cabine se fait sur une certaine distance.

B3.1 Bloc-parachute à prise instantanée

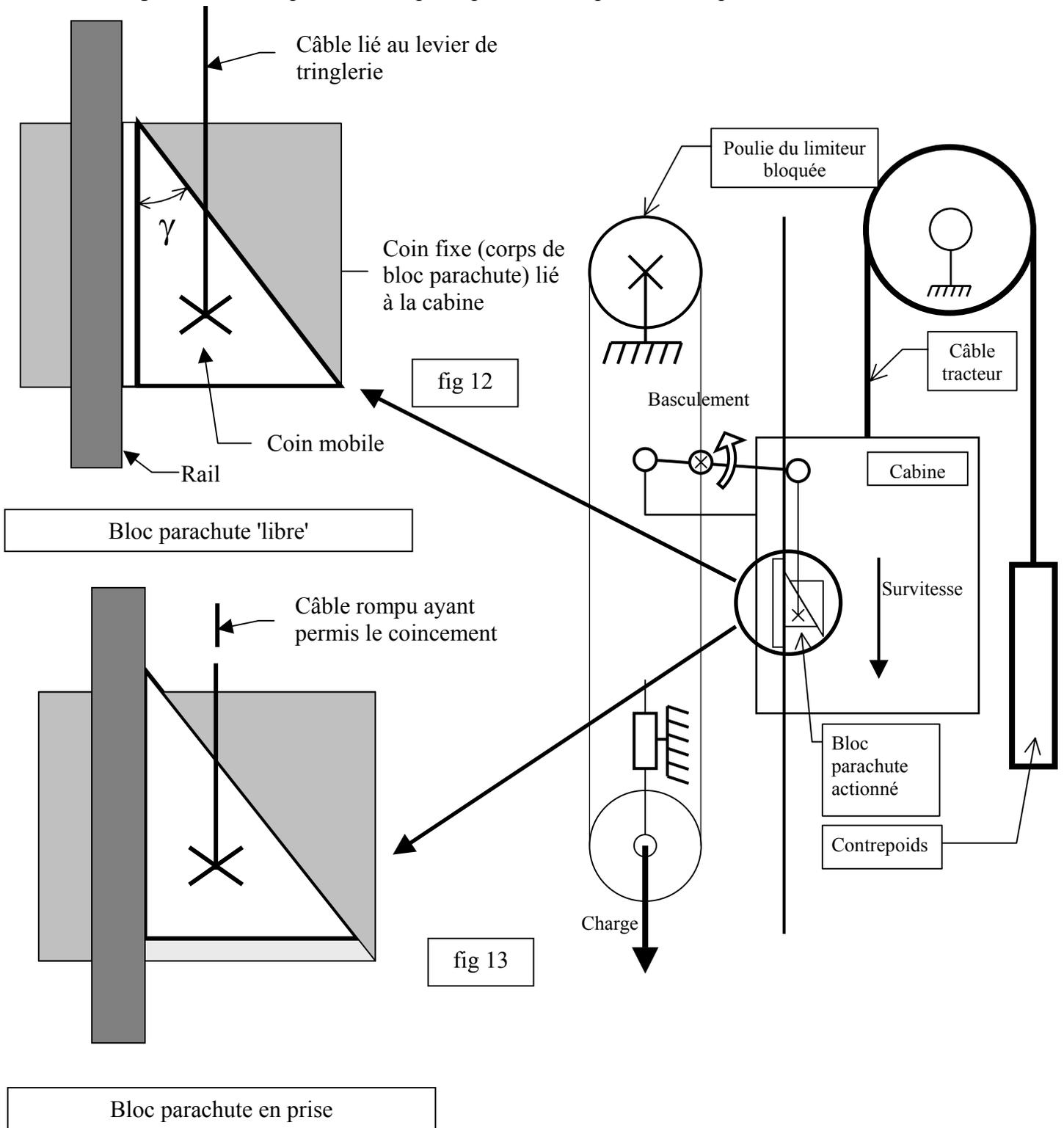
L'objectif du questionnement B.3.1 est de déterminer les conditions géométriques garantissant le coincement d'un bloc-parachute à prise instantanée.

Hypothèses :

- le système possède un plan de symétrie concernant sa géométrie et les efforts qui y sont appliqués ;
- le câble tracteur casse, le limiteur détecte alors une survitesse et déclenche les blocs-parachutes ;

- Dans le cas où le câble du limiteur casserait, il est nécessaire que le parachute reste bloqué. On fera donc l'hypothèse défavorable que le câble se rompt après le coincement (il n'agit alors plus sur le coin mobile).

Les figures suivantes présentent le principe des blocs-parachutes à prise non amortie.

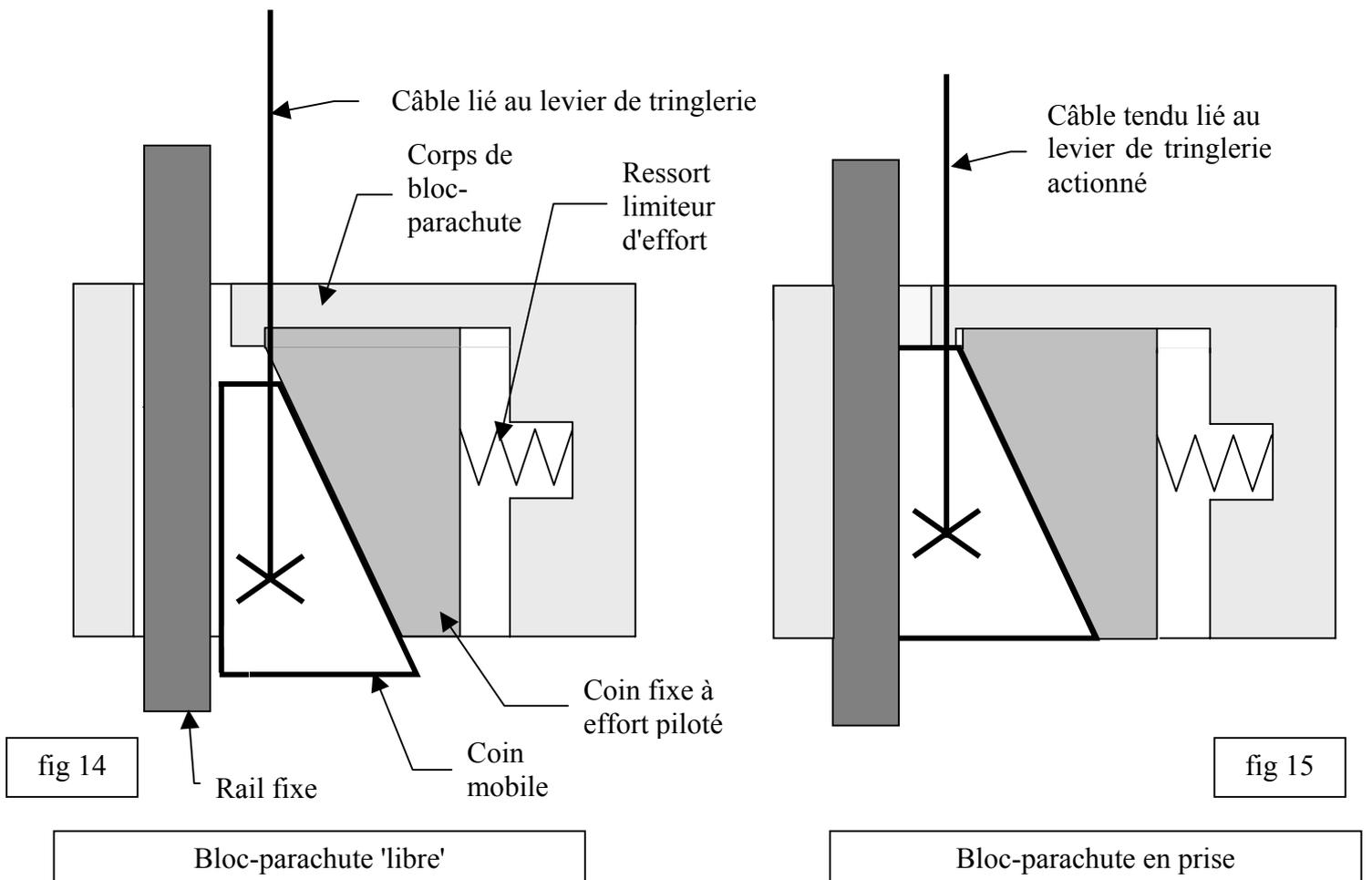


Q.18 Sachant que l'angle d'adhérence entre le coin et les surfaces de contact est φ_0 , donner la condition de coincement entre le coin mobile, le rail et le coin fixe.

B3.2 Bloc-parachute à prise amortie

L'objectif du questionnement B.3.2 est de vérifier le respect du critère de décélération maximale énoncé dans le cahier des charges fonctionnel (FP4).

Dans le cas d'un bloc-parachute à prise amortie, on souhaite limiter la décélération à 10 m.s^{-2} . L'architecture d'un tel bloc-parachute est présentée sur les **figures suivantes 14 et 15**.



On se place dans les conditions suivantes :

- la masse de la cabine à vide est de 1000 kg ;
- le contrepoids utilisé a une masse de 1250 kg ;
- une personne de 80 kg est présente dans l'ascenseur ;
- le poids du câble est négligé ;
- la vitesse-contrat est de 4 m.s^{-1} ;
- l'effort du limiteur sur le câble de tringlerie est supposé constant et égal à 1500 N (réglage du limiteur de type III) ;
- le facteur de frottement rail-coin mobile est de 0,2 ;
- la cabine est supposée en glissière parfaite par rapport à ses rails de guidage ;
- dans la pratique, la cabine est équipée de plusieurs blocs-parachutes synchronisés. Cependant, pour simplifier l'étude, on considérera leur efficacité globale ce qui revient à considérer un bloc-parachute unique équivalent.

Hypothèse : Le câble tracteur casse. Le limiteur détecte alors une survitesse et déclenche les blocs-parachutes.

Q.19-1 Calculer l'effort normal, supposé constant, agissant sur le rail de freinage garantissant la décélération de 10 m.s^{-2} (supposée constante pendant la phase d'arrêt).

L'effort normal calculé dans la question précédente, que l'on considérera égal à 100 000 N par la suite, est obtenu par tarage du ressort du bloc-parachute.

On se propose de voir comment réagit la cabine dès que l'on s'écarte des conditions précédemment énoncées.

Dans le cadre d'un incident, on peut dégager un autre cas typique : celui d'une survitesse, cabine pleine (charge de 560 kg) avec rupture du câble tracteur.

Q.19-2 Donner la distance d'arrêt de la cabine dans ce cas et la décélération correspondante.

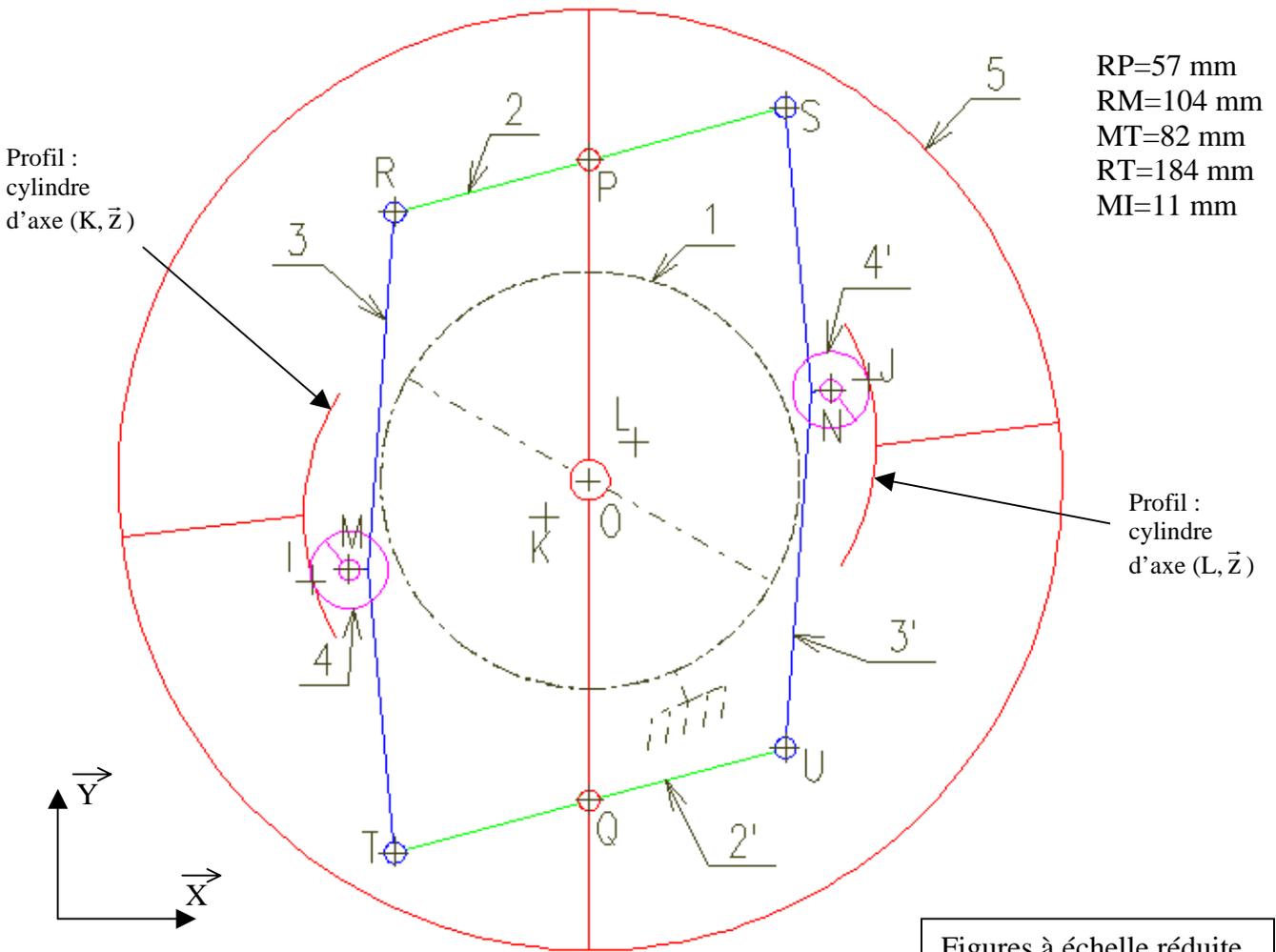
B4 Synthèse : Domaines d'applications des différents limiteurs

Q.20 Sur le document réponse **DR4**, en synthèse des études menées (questions Q.6-2 à Q.17-2), classer les familles de solutions en fonction des domaines d'applications (vitesses-contrat).

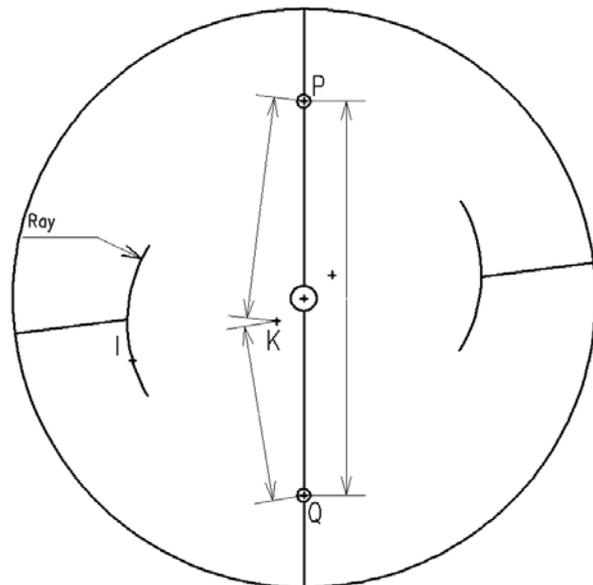
ETUDE COMPARATIVE DU FONCTIONNEMENT DES LIMITEURS

| | Q.1 Limiteur de Type I | Q.2 Limiteur de Type II | Q.4 Limiteur de Type III |
|---|---|--|---------------------------------|
| Principe de la détection de la vitesse | Un galet <u>5</u> monté sur un levier <u>4</u> suit un profil de came <u>3</u> en étant maintenu en contact par un ressort <u>6</u> . | Deux masselottes <u>6</u> sont montées en opposition sur un parallélogramme déformable maintenu aplati par un ressort <u>9</u> . Quand la vitesse de rotation de la poulie <u>5</u> augmente, et donc celle du parallélogramme, ce dernier se déploie. | |
| Action en cas de survitesse | | | |
| Principe de déclenchement de la chaîne de sécurité électrique | | | |
| Mode de freinage du câble du limiteur | | | |

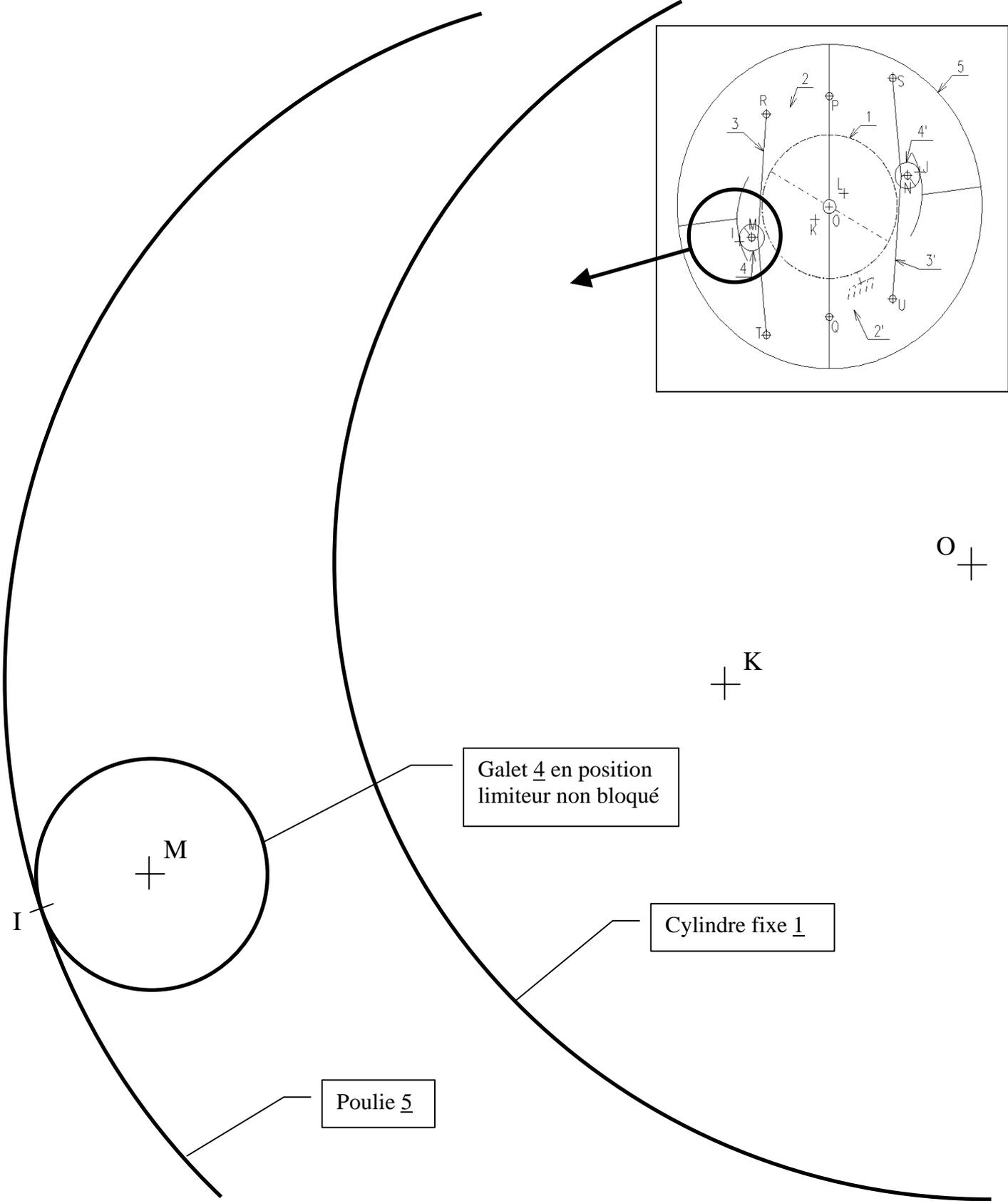
DOCUMENT DR2



Réponse à la question **Q.3-3**



Echelle 2:1



Galet 4 en position limiteur non bloqué

Cylindre fixe 1

Poulie 5

Réponse à la question Q.20 :

DOCUMENT DR4

Les diverses études menées au cours du dossier B nous ont permis de dégager les limites de chacune de solutions constructives de limiteur.

Résumer en cochant dans le tableau ci-dessous les résultats obtenus tout au long de votre démarche :

| critères | | Limiteur de Type I | Limiteur de Type II | Limiteur de Type III | |
|---|---|--|--|---|---|
| F O n c t i o n F P 3 | Effort à fournir sur la tringlerie de commande des blocs-parachutes (250 N minimum) | Question Q6.2 <input type="checkbox"/> Convient <input type="checkbox"/> Ne convient pas | Question Q6.2 <input type="checkbox"/> Convient <input type="checkbox"/> Ne convient pas | Question Q16.4 <input type="checkbox"/> Convient <input type="checkbox"/> Ne convient pas | |
| | Longueur de glissement tolérée du câble sur la poulie du limiteur (en cas de survitesse) de 20 cm maximum | pour $V_c \leq 2 \text{ m.s}^{-1}$ | Question Q14 <input type="checkbox"/> Convient <input type="checkbox"/> Ne convient pas | Question Q14 <input type="checkbox"/> Convient <input type="checkbox"/> Ne convient pas | Question Q17.2 <input type="checkbox"/> Convient <input type="checkbox"/> Ne convient pas |
| | | pour $V_c > 2 \text{ m.s}^{-1}$ | Question Q14 <input type="checkbox"/> Convient <input type="checkbox"/> Ne convient pas | Question Q14 <input type="checkbox"/> Convient <input type="checkbox"/> Ne convient pas | Question Q17.2 <input type="checkbox"/> Convient <input type="checkbox"/> Ne convient pas |

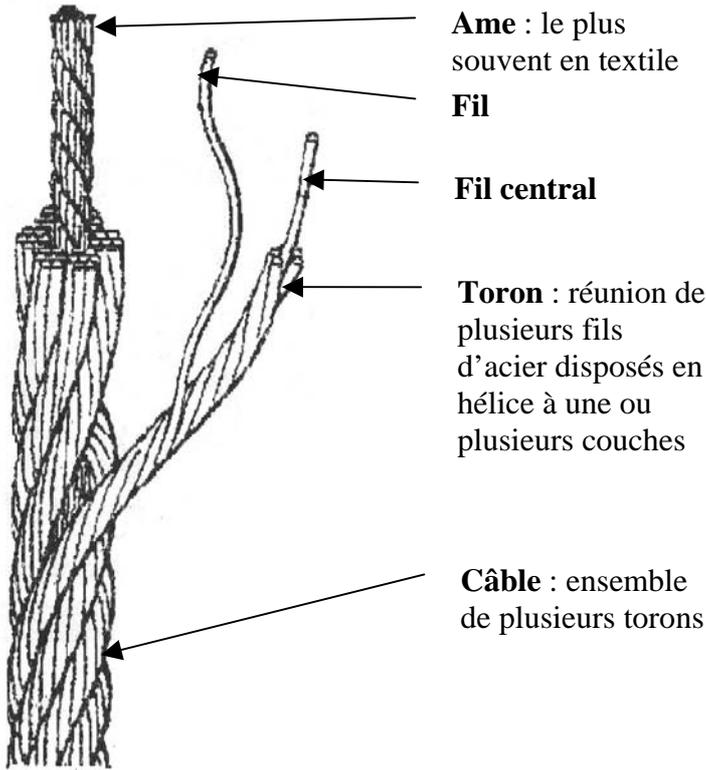
Conclure quant aux types de limiteurs pouvant être employés dans les différents cas suivants:

| | 0 m.s ⁻¹ | 1 m.s ⁻¹ | 2 m.s ⁻¹ | 4 m.s ⁻¹ |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Type bloc-parachute | Prise instantanée | Prise amortie | Prise amortie | → V _c |
| Type de limiteurs utilisables | | | | |

Rappel :

Il existe deux sortes de blocs-parachutes :

- **les blocs-parachutes à prise instantanée**, basés sur le principe de l'arc-boutement. La cabine s'immobilise alors brutalement, ce qui réduit leur utilisation à des vitesses-contrat faibles (1 m.s⁻¹ maximum) afin de garantir l'intégrité des personnes.
- **les blocs-parachutes à prise amortie**. Cette fois, l'intensité du freinage est limitée pour garantir une décélération maximale de 10 m.s⁻² quelle que soit la vitesse-contrat. Dans ce cas, l'arrêt de la cabine se fait sur une certaine distance.



Câbles de 6 torons de 19 fils sur âme textile

| Diamètre nominal du câble (mm) | Masse linéique (kg.m ⁻¹) | Charge maximale à la rupture (daN) | Diamètre des fils d'acier (mm) |
|--------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| 7,5 | 0,207 | 2700 | 0,5 |
| 9 | 0,300 | 3800 | 0,6 |
| 10,5 | 0,406 | 5200 | 0,7 |
| 12 | 0,530 | 6800 | 0,8 |
| 13,5 | 0,672 | 8600 | 0,9 |
| 15 | 0,830 | 10600 | 1 |

Raideur d'un câble :

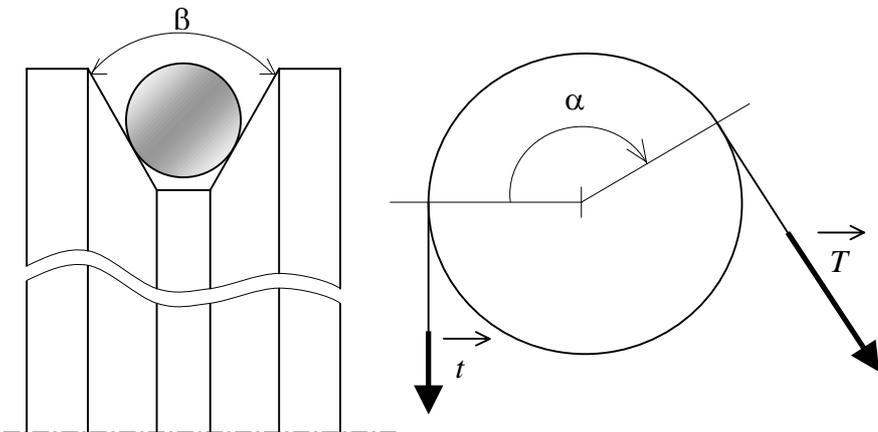
$$k = \frac{S \cdot E}{L}$$

avec : **k** raideur du câble (daN.m⁻¹)
L longueur du câble (m)
S section totale des fils d'aciers constitutifs du câble (mm²)
E module d'élasticité du câble (daN.mm⁻²) (fonction du type de tressage utilisé)

Module d'élasticité des câbles (daN.mm⁻²)

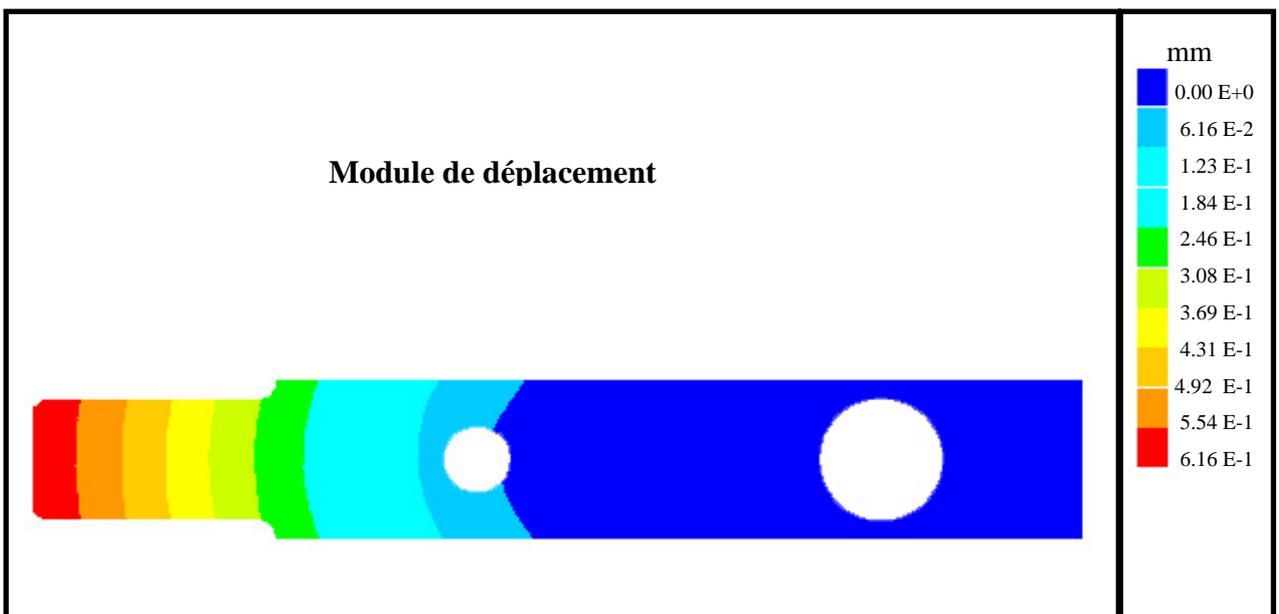
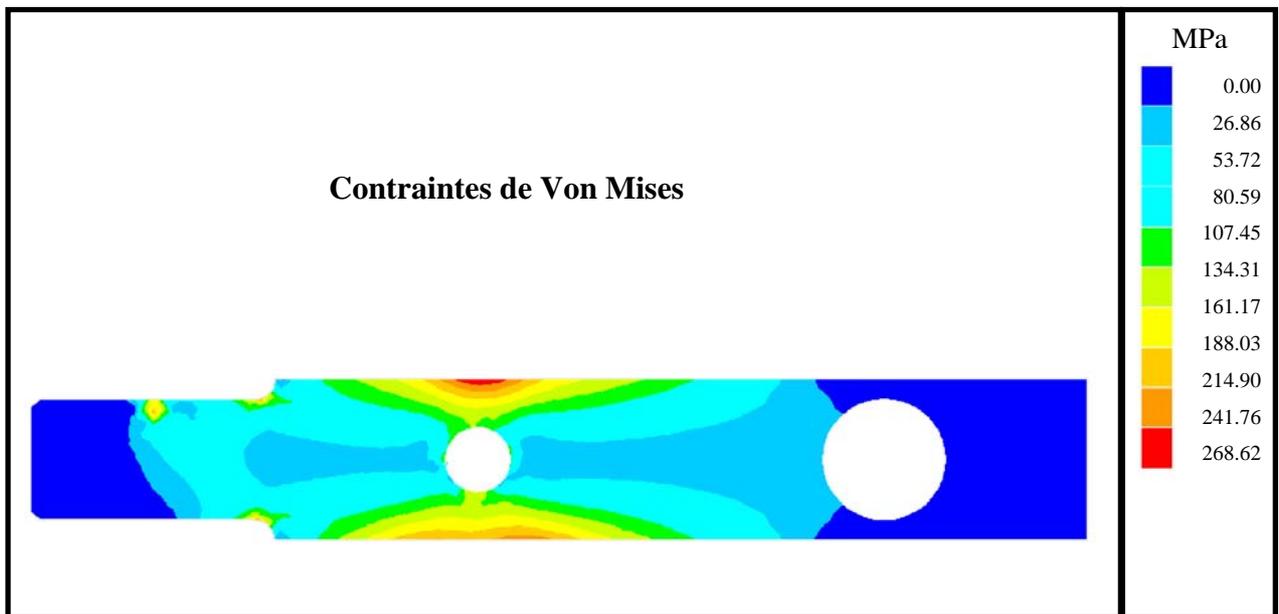
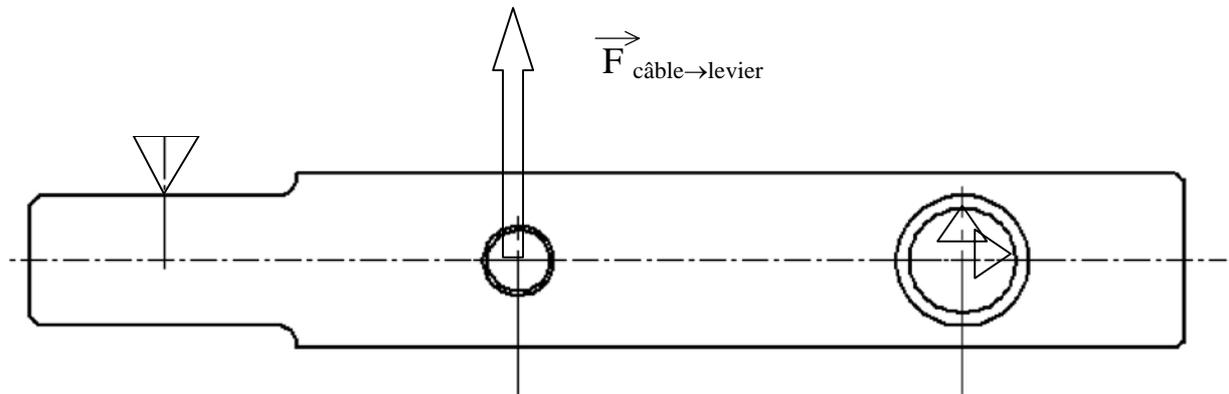
| | E |
|--------------------------------------|----------|
| Torons de 1+6 fils | 18000 |
| Torons de 19 fils | 16000 |
| Torons de 17 fils | 15000 |
| Câbles de (1+6) torons de (1+6) fils | 13800 |
| Câbles de (1+6) torons de 10 fils | 13000 |
| Câbles de 6 torons de (1+6) fils | 10800 |
| Câbles de 6 torons de 19 fils | 10000 |
| Câbles de 6 torons de 37 fils | 9200 |
| Câbles de 6 torons de 61 fils | 8700 |
| Câbles de 8 torons de 19 fils | 7800 |

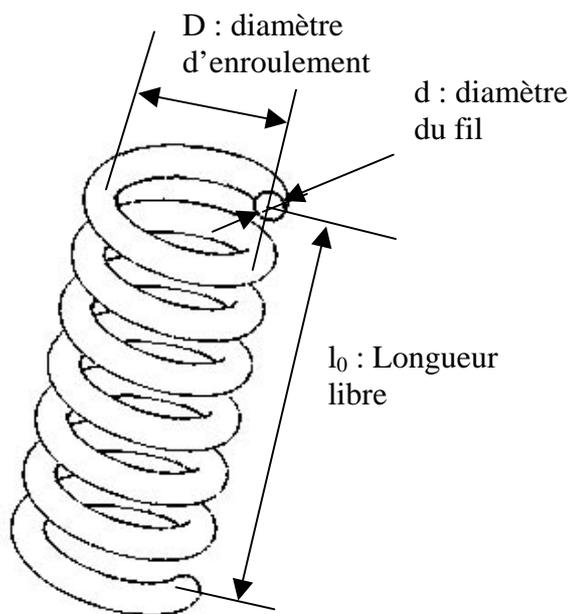
Efforts transmissibles par un entraînement par câble



$$T = t \cdot e^{\frac{\mu \cdot \alpha}{\sin(\beta/2)}}$$

- α : angle de contact (rd)
- β : angle de gorge
- μ : facteur de frottement de glissement câble-poulie
- T : effort dans le brin tendu (N)
- t : effort dans le brin mou (N)





Aciers à ressorts

| Matériau | E (MPa) | G (MPa) | R _{pg} (MPa) | R _{pe} (MPa) |
|-------------|---------|---------|-----------------------|-----------------------|
| C60 | 200000 | 80000 | 600 | 1100 |
| C80 | 200000 | 80000 | 900 | 1500 |
| 51 Cr V 4 | 196000 | 77000 | 800 | 1300 |
| 56 Si Cr 7 | 203000 | 77000 | 800 | 1300 |
| X15CrNi18-5 | 195000 | 70000 | 500 | 900 |
| Inconel | 195000 | 70000 | 500 | 900 |

Raideur et flèche d'un ressort

$$f = \frac{8.N_a.F.D^3}{G.d^4}$$

$$k = \frac{G.d^4}{8.N_a.D^3}$$

- f = Flèche du ressort (mm)
- F = Charge appliquée sur le ressort (N)
- D = Diamètre d'enroulement (mm)
- d = Diamètre du fil (mm)

- G = Module d'élasticité transversal du matériau (MPa)
- k = Raideur ou rigidité du ressort (N.mm⁻¹)
- N_a = Nombre de spires actives

CARACTERISTIQUES DES ACIERS NON ALLIES

| Nuances normalisées | Limite à la rupture R _r (MPa) | Limite élastique Re (MPa) | Allongement A% |
|---|--|---------------------------|----------------|
| Aciers d'usage général | | | |
| S185 | 290 | 185 | 13 |
| S235 | 340 | 235 | 20 |
| S275 | 410 | 275 | 17 |
| S355 | 490 | 355 | 17 |
| Aciers de construction mécanique | | | |
| E295 | 470 | 295 | 15 |
| E335 | 570 | 335 | 11 |
| E360 | 670 | 360 | 7 |
| Aciers pour traitements thermiques | | | |
| C25 | 700 | 400 | 20 |
| C35 | 850 | 500 | 18 |
| C40 | 900 | 500 | 17 |
| C45 | 950 | 600 | 17 |
| C50 | 1000 | 600 | 15 |