

ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES,  
ECOLES NATIONALES SUPERIEURES DE L'AERONAUTIQUE ET DE L'ESPACE,  
DE TECHNIQUES AVANCEES, DES TELECOMMUNICATIONS,  
DES MINES DE PARIS, DES MINES DE SAINT ETIENNE, DES MINES DE NANCY,  
DES TELECOMMUNICATIONS DE BRETAGNE,  
ECOLE POLYTECHNIQUE (FILIERE T.SL).  
CONCOURS D'ADMISSION 2003  
EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES  
FILIERE PSI  
(Durée de l'épreuve : 4 heures)

***Sujet mis à la disposition du concours ENTPE.***

*Cet énoncé comporte 9 pages de texte numérotées de 1 à 9 et un dossier de présentation de 11 pages (un diagramme FAST et dix figures numérotées). Le travail doit être reporté sur le document réponse de 12 pages distribué avec l'énoncé. Pour valider ce document réponse, chaque candidat doit obligatoirement y inscrire à l'encre, à l'intérieur du rectangle d'anonymat situé en première page, ses nom, prénoms (souligner le prénom usuel), numéro d'inscription et signature, avant même de commencer l'épreuve. Il est conseillé de lire rapidement la totalité du sujet avant de commencer l'épreuve. Un seul document réponse est fourni au candidat. Le renouvellement de ce document en cours d'épreuve est interdit.*

*Les questions sont organisées suivant une progression logique caractéristique de la discipline. Toutefois les parties peuvent être abordées indépendamment les unes des autres.*

*La rédaction des réponses sera la plus concise possible : on évitera de trop long développements de calcul en laissant subsister les articulations du raisonnement (la taille des zones réservés aux réponses n'est pas représentative de la longueur des réponses attendues).*

*Si au cours de l'épreuve, le candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en notant et expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.*

## **ETUDE D'UNE TELECABINE A STABILITE ACCRUE : LE FUNITEL**

***En cours de sujet les candidats seront amenés à faire des hypothèses et des approximations. Ces initiatives, attendues des candidats, font partie de la démarche de l'ingénieur et seront clairement indiquées sur la copie.***



**Funitel de La Plagne** (Photo Joël FAVRE)

## 02 – SI - PSI

Une télécabine est un système de transport de personnes permettant un changement d'altitude important dans une zone d'accès difficile, généralement en montagne.

Le dossier de présentation de l'ensemble du dispositif sous forme d'une description fonctionnelle basée sur l'outil FAST structure la description du fonctionnement et des documents sur la télécabine Funitel. Un examen d'ensemble de ces documents est indispensable avant d'aborder le sujet. Cependant pour chaque question les documents nécessaires sont rappelés.

Le tableau ci-dessous précise les données caractéristiques de l'installation :

Extrait du cahier des charges		Autres caractéristiques techniques	
Nombre de cabines	21	Masse d'une cabine vide	$M_c = 2500 \text{ kg}$
Nombre maxi de cabines en montée	8	Surface latérale d'une cabine	$S_l = 10 \text{ m}^2$
Nombre maxi de cabines en descente	8	Surface frontale d'une cabine	$S_f = 7,1 \text{ m}^2$
Nombre maxi de passagers par cabine et masse des passagers	26 $M_p = 2080 \text{ kg}$	Masse linéique du câble	$\mu = 8,47 \text{ kg/m}$
Vitesse nominale de défilement du câble (identique en tous points de la ligne)	$V = 7,2 \text{ m/s}$	Nombre de pylônes	9
Fréquence de rotation nominale du moteur d'entraînement	$N = 1700 \text{ tr/min}$	Diamètre d'une poulie motrice :	$D_p = 4 \text{ m}$
Longueur de la ligne	$L = 1669 \text{ m}$	Inertie* de l'ensemble de la motorisation ramenée sur l'axe des poulies motrices	$I_M = 575.10^3 \text{ m}^2.\text{kg}$
Dénivelé	$h = 510 \text{ m}$		

Inertie\* : Cette inertie tient compte de l'inertie du moteur et du réducteur et de deux volants d'inertie de diamètre 870 mm et d'épaisseur 200 mm.

Hypothèse : compte tenu des masses des éléments du système, l'inertie de l'ensemble des poulies est négligeable pour cette étude.

## INTERET DE LA SOLUTION FUNITEL

Dans cette architecture particulière les cabines reposent sur deux brins de câble porteur et tracteur distants de 3,2 m.

L'intérêt de cette solution par rapport à la solution classique, dans laquelle les cabines sont accrochées à un seul câble porteur tracteur, est de donner une plus grande stabilité aux cabines soumises à un vent latéral.

Dans une installation « classique » l'inclinaison d'une cabine à la position d'équilibre atteinte sous l'action d'un vent latéral constant de 30 m/s (108 km/h) est de 17°. Alors l'amplitude maximale du mouvement d'oscillation d'une cabine est de l'ordre de 34°. La solution Funitel annule ces mouvements parasites et permet de poursuivre l'exploitation par fort vent.

## I - EVALUATION DE LA PUISSANCE NECESSAIRE A L'ENTRAÎNEMENT DU CÂBLE

Afin de procéder à une évaluation de la puissance nécessaire à l'entraînement du câble, on prendra comme modèle une ligne rectiligne supportée par 9 pylônes (voir *Fig. 1 Ligne totale*).

Le guidage des brins de câble est réalisé par des palonniers à galets fixés sur les pylônes, (objets de la question IV de ce sujet) pour lesquels le contact peut être modélisé par un appui avec frottement sec avec un coefficient de frottement  $f = 0.03$ .

Cette donnée, associée à un calcul numérique des actions de contact des brins de câble sur les palonniers, a permis une estimation à 400 KW des pertes par frottement au niveau de ces palonniers (puissance galiléenne des actions des palonniers sur les brins de câble) dans la situation étudiée ci dessous.

L'action du vent sur une face d'une cabine est modélisable par une pression uniforme  $p$  :

$$p = \frac{1}{2} \rho V_a^2, \quad p \text{ en pascal}$$

$\rho$  : masse volumique de l'air = 1.3 kg/m<sup>3</sup>,

$V_a$  module de la vitesse relative de l'air par rapport à la cabine en m/s

**On étudiera la situation suivante (qui correspond à la situation la plus défavorable) :**

Redémarrage de l'installation après un incident avec une accélération de 0.15 m/s<sup>2</sup>. On se place à l'instant où la vitesse de 7.2 m/s va être atteinte, 8 cabines chargées de passagers sont en montée, 8 cabines vides sont en descente et un vent de vitesse  $V_e = 30$  m/s souffle parallèlement à la ligne dans le sens de la descente.

### QUESTIONS

*Documents à consulter : Fig. 1 Ligne totale et tableau des caractéristiques de la page 2*

- Q-1 Déterminer** l'énergie cinétique galiléenne, notée  $E_{cT}$ , des 4 brins de câble, de l'ensemble des cabines sur la ligne et de la motorisation, en fonction de  $M_c$ ,  $M_p$ ,  $\mu$ ,  $L$ ,  $V$ ,  $D_p$  et  $I_M$ . L'application numérique donne pour la situation étudiée en négligeant la longueur de câble dans les gares :  $E_{cT} = 6.7 \cdot 10^6$  J que l'on peut aussi écrire  $E_{cT} = (1/2) 1.3 \cdot 10^5 V^2$ .
- Q-2 Déterminer** la puissance galiléenne, notée  $P_p$ , des actions de pesanteur sur l'installation en fonction de  $M_p$ ,  $V$ ,  $h$ ,  $g$  et  $L$ . L'application numérique donne pour la situation étudiée :  $P_p = -3.6 \cdot 10^5$  W
- Q-3** Après avoir évalué la vitesse relative et l'action du vent sur une cabine en montée et une cabine en descente, **déterminer** la puissance galiléenne, notée  $P_v$  des actions du vent sur l'ensemble des cabines en fonction de  $\rho$ ,  $S_f$ ,  $V$ ,  $V_e$  et  $\alpha = \arcsin(h/L)$ . L'application numérique donne pour la situation étudiée :  $P_v = -2.2 \cdot 10^5$  W.
- Q-4 En déduire** une estimation de la puissance galiléenne nécessaire, notée  $P_T$  pour l'entraînement de la ligne entre les gares dans la situation étudiée. La puissance effectivement installée par le constructeur est de 1560 kW, **commentez** vos résultats par rapport à cette valeur.

## II - ETUDE DE LA SORTIE DE GARE D'UNE CABINE

Sur la ligne, les cabines se déplacent à  $V = 7.2\text{m/s}$ . En gare, pour permettre l'embarquement et le débarquement des passagers, la vitesse maximum de la cabine doit être de  $v_0 = 0.3\text{m/s}$ .

Lors de leur circulation en gare, les cabines sont donc libérées des brins de câble, supportées et guidées par 4 galets sur deux rails parallèles. Elles sont entraînées par des trains de pneus constitués de roues de 400 mm de diamètre, d'axe fixe, qui roulent sur un patin lié à la suspente articulée de la cabine.

Voir photo *Fig. 3 : Photo Gare* et dessin *Fig. 4 : Cabine* et le document *Fig. 8 : Zone de lancement*

La circulation des cabines en gare se fait en plusieurs secteurs selon un trajet en U. voir dessin *Fig. 2 : Schéma Gare*.

Dans une première analyse, on envisagera une accélération constante des cabines de  $a = 1.3\text{m/s}^2$ .

La zone rectiligne de lancement (secteur F) comporte 45 roues pneumatiques. Les roues du train de pneus sont reliées cinématiquement par des poulies-courroies qui assurent des rapports de réduction «  $k_i$  » entre deux roues successives (voir dessin *Fig. 8a : lanceur*)

L'entraînement de la roue la plus rapide (celle située en sortie de gare, roue n°45) est réalisé par la « poulie de guidage-déviage » du brin de câble en sortie de gare. Une chaîne cinématique assure cet entraînement (voir *Fig. 3 : Photo Gare* et *Fig. 1 Ligne totale*).

Cette chaîne cinématique est constituée d'un mécanisme poulie-courroie et d'un multiplicateur de vitesse dont l'arbre d'entrée est directement entraîné par l'axe de la poulie de guidage-déviage. Cette poulie a un diamètre de 4m. On notera K le rapport de multiplication de cette chaîne

cinématique :  $K = \omega_{\text{roue rapide 45}} / \omega_{\text{poulie guidage déviage}}$

La zone de freinage (secteur A) est symétrique de la zone de lancement.

### QUESTIONS

Document à consulter : *Fig. 1 Ligne totale*, *Fig. 2 : Schéma Gare*, *Fig. 3 : Photo Gare*, *Fig. 4 Cabine* et document *Fig. 8 : Zone de lancement*.

**Q-5 Quelle est alors la durée  $t$  de la phase d'accélération ? Exprimer la longueur  $x$  (en mètre) de la zone rectiligne en fonction de  $a$ ,  $v_0$ ,  $t$  et  $V$ . Pour que l'accélération de  $1,3\text{ m/s}^2$  permette le lancement des cabines de  $v_0 = 0,3\text{ m/s}$  à  $V = 7,2\text{ m/s}$ , l'application numérique donne environ :  $x = 20\text{ m}$ .**

La figure *Fig. 8b : vitesse de translation de la cabine en fonction de sa position* représente le tracé de l'expression précédente pour les valeurs  $v_0 = 0,3\text{m/s}$  et  $a = 1,3\text{m/s}^2$ .

**Q-6 Utiliser ce tracé pour déterminer la fréquence de rotation de la roue N°3 située à  $x = 0,90\text{ m}$  et de la roue n°4 située à  $x = 1,36\text{ m}$  (*Fig. 8a : lanceur*). En déduire le rapport de multiplication  $k_3 = \omega_{\text{roue 4}} / \omega_{\text{roue 3}}$**

**Q-7 Représenter schématiquement 3 roues pneumatiques successives et les poulies-courroies permettant leur entraînement.**

**Q-8 Quelle est la valeur du rapport K permettant un accrochage sans choc des cabines sur les brins de câble en quittant l'entraînement par le train de pneus.**

**Q-9** La liaison pivot d'articulation de la suspenste étant supposée parfaite (voir *Fig. 4 cabine*) et les frottements visqueux faibles, à partir de vos connaissances sur la réponse d'un système du second ordre à un échelon, **tracer** une allure des oscillations angulaires de la cabine sur un intervalle de temps de 9 secondes correspondant au lancement à accélération constante puis à l'accrochage de la cabine au câble. **NB : cette question ne nécessite aucun calcul car seule une réponse qualitative est demandée.**

En fait les rapports de réduction «  $k_i$  », variables tout au long du train de pneumatiques, conduisent à une loi complexe de l'accélération.

**Q-10 Pourquoi le constructeur n'a-t-il pas gardé une accélération constante ?**

### III – CONTROLE DE LA VITESSE DE DEPLACEMENT ENTRE GARES

La vitesse de déplacement des cabines est une des caractéristiques principales du fonctionnement du Funitel.

L'étude proposée ici modélise les variations de comportement de l'installation autour d'un fonctionnement à la vitesse nominale de 7,2 m/s.

On analyse donc les variations des efforts dus au vent relatif (vent soufflant parallèlement à la ligne dans le sens de la descente).

La charge considérée correspond à 8 cabines pleines à la montée et 8 cabines vides à la descente.

La commande de vitesse est asservie afin d'obtenir les performances définies dans le cahier des charges suivant :

- stabilité avec une marge de gain de 5 dB et une marge de phase de 45° ;
- erreur statique inférieure à 2% ;
- variation du courant moteur inférieure à 2.5  $I_{nom}$
- tension moteur inférieure à 2  $U_{nom}$ .

Les objectifs de l'étude sont :

- proposer un modèle de calcul du comportement ;
- évaluer les performances de précision et de rapidité ;
- choisir un correcteur améliorant ces performances.

Le moteur d'entraînement est à courant continu de forte puissance, commandé par l'induit

- de résistance d'induit  $R = 0.099 \Omega$  ;      — d'inductance d'induit :  $L = 0.115 \text{ mH}$  ;
- de courant nominal  $I_{nom} = 1400 \text{ A}$  ;      — de tension nominale  $U_{nom} = 300 \text{ V}$  ;
- de constante de couple  $k_c = 2.5 \text{ N.m/A}$  ;      — de constante de vitesse  $k_v = 2.5 \text{ V/(rd/s)}$  ;
- et de fréquence de rotation nominale de 1700 tr/min.

Rappel : les équations électriques générales du moteur à courant continu sont :

$$[u = e + R \cdot I + L \cdot \frac{dI(t)}{dt}] \quad ; \quad [e = k_v \cdot \omega] \quad ; \quad [cm = k_c \cdot I]$$

L'entraînement du câble par le moteur est réalisé en passant par un réducteur dont la sortie assure la rotation d'une poulie de diamètre 4 m sur laquelle s'enroule le câble. Le rapport de réduction est tel que lorsque les cabines se déplacent à la vitesse normale de 7,2 m/s, le moteur tourne à sa fréquence de rotation nominale.

Le capteur de fréquence de rotation est installé au niveau de l'axe de rotation de la dernière roue du secteur F (roue n°45 de diamètre 400 mm) (voir *Fig. 2 : Schéma Gare* et *Fig. 1 Ligne totale*).

Ce capteur (génératrice tachymétrique) délivre donc une tension proportionnelle à la fréquence de rotation de la poulie de coefficient :  $GT = 0,3 \text{ V}/(\text{rd/s})$ .

On considère pour cette modélisation que les efforts dus à la pesanteur et les frottements dus aux mouvements du câble et des poulies sont constants.

## QUESTIONS

Document à consulter : Fig. 2 : Schéma Gare, et Fig. 1 Ligne totale

**Q.11** Déterminer  $k = \frac{\dot{u}_{\text{pouliemotrice}}}{\dot{u}_{\text{moteur}}}$  en fonction de  $V$ ,  $D_p$  et  $N$ . En reprenant les résultats de la

question **Q.1** ou par calcul direct **donner l'expression** du moment d'inertie total ramené à l'arbre du moteur :  $J_{eq}$  ; **mettre cette inertie** sous la forme de  $J_{eq} = J_m + J_r$  avec  $J_m = f(I_M \text{ et } k)$  et  $J_r = f(\mu, L, M_p, M_c, D_p \text{ et } k)$  ; dans laquelle  $J_m$  est l'inertie de la motorisation,  $J_r$  inclut l'inertie due à la masse des passagers dans les cabines et l'inertie due aux masses des cabines et du câble (Rappel : on néglige les inerties des poulies et des brins de câbles dans les gares).

**L'application** numérique donne :  $J_{eq} = 420 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}$ . En déduire la valeur du bloc B2 du document réponse.

**Q.12** Déterminer les expressions littérales des blocs  $B_i$  ( $i$  de 2 à 7),  $B'_1$ ,  $B''_1$  et  $A$  de la figure Q-12 (document réponse page 4/12) ; étude sans perturbations.

Pour la suite : la seule perturbation prise en compte est celle due au vent  $V_e(t)$  considéré comme s'opposant au mouvement de montée des cabines.

**Q.13** A partir des résultats de la question **Q.3** écrire l'expression du couple résistant dû au vent ramené sur l'arbre moteur :  $C_{rv}(t) = f(V_e, V, \rho, S_f, D_p, k \text{ et } \alpha = \arcsin(h/L))$ .

**Montrer que** cette fonction est non linéaire. En considérant comme constante la variable  $V$ , qui varie le moins, **donner une expression** approchée linéaire de  $C_{rv}(t)$  puis **installer sur le schéma** bloc figure Q-13 (document réponse page 5/12) la modélisation correspondante, linéaire, de l'influence du vent sur la commande en vitesse des cabines.

Le schéma ainsi conçu est étudié avec deux correcteurs  $C(p)$  : ( $C_1(p)$  et  $C_2(p)$ ).

L'entrée de consigne retenue est :  $\text{cons}V(t) = 7.2.u(t)$  avec [ $u(t) = 1$  si  $t > 0$  ;  $u(t) = 0$  si  $t < 0$ ]

La perturbation est définie par  $V_e(t) = 11.u(t-20)$ .

Les courbes fournies pour chaque cas (page 6/12 et 7/12 du document réponse) donnent les évolutions de  $V(t)$  vitesse de déplacement des cabines de  $I_{mot}(t)$  courant moteur, de  $U_{mot}(t)$  tension d'alimentation du moteur et le diagramme de BODE de la fonction de transfert en boucle ouverte correspondante.

**Cas 1 -  $C_1(p) = KP \frac{a.p + 1}{p.(p + 1)}$  avec  $KP = 100$  et  $a = 3$**

**Q.14** Au regard des performances attendues de cette commande, **analyser** le comportement du système ainsi réglé (document réponse page 6/12).

Pour cela **donner** la position de chaque performance par rapport à la limite du cahier des charges, **tracer** sur chaque diagramme (en couleur rouge) les limites que vous avez définies et **compléter** le tableau avec les valeurs relevées..

**Etudier l'influence** de deux variations possibles de KP (augmentation ou diminution) sur les critères du cahier des charges pour cela **compléter le tableau à l'aide de flèches** indiquant le sens de variation.

**Est-il possible** de satisfaire complètement ce cahier des charges avec ce correcteur ?

**Cas 2 -**  $C_2(p) = KP \frac{p+1}{p.(a.p+1)}$  avec  $KP = 50$  et  $a = 3$

**Q.15** Au regard des performances attendues de cette commande, **analyser** le comportement du système ainsi réglé (document réponse page 7/12).

Pour cela **donner** la position de chaque performance par rapport à la limite du cahier des charges, **tracer** sur chaque diagramme (en couleur rouge) les limites que vous avez définies et **compléter** le tableau avec les valeurs relevées..

**Etudier l'influence** de deux variations possibles de KP (augmentation ou diminution) sur les critères du cahier des charges pour cela **compléter le tableau à l'aide de flèches** indiquant le sens de variation.

**Est-il possible** de satisfaire complètement ce cahier des charges avec ce correcteur ?

**Q.16** Quel **est alors** le meilleur correcteur (parmi les deux proposés) pour cette commande de vitesse ? **Justifier** l'intérêt d'asservir cette commande de vitesse.

## IV - ETUDE DU GUIDAGE DES BRINS DE CABLE

Cette étude permet de déterminer les efforts au niveau des guidages des galets supports de câble dans le but de garantir la sécurité.

Un balancier support à 6 galets et le modèle retenu pour l'étude sont représentés sur les figures *Fig. 6 Balancier* et *Fig. 7 modèle de balancier*. Toutes les liaisons sont des liaisons pivots parfaites et on envisage une modélisation plane.

### QUESTIONS

*Document à consulter : Fig. 6 Balancier, Fig. 7 modèle de balancier et document réponse*

**Q.17** A partir de la figure 6 **porter** sur le document réponse les numéros des pièces de ce dessin d'ensemble et **donner** la valeur numérique de «  $l$  »

En appui sur les galets, le câble prend une forme assimilée à un arc de cercle, les brins d'entrée et de sortie faisant entre eux un angle  $\alpha$ .

Pour un angle  $\alpha=180^\circ$  les distances AB, BC, CD, DE, EF sont égales. Dans une première analyse simplificatrice, on pourra considérer que dans le domaine de variation de  $\alpha$  ces distances restent égales entre elles donc que les angles  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ , restent égaux entre eux et que K appartient à l'axe de symétrie de l'ensemble des galets.

**Q.18** **Préciser** pour chacun des cas suivants : le système à isoler, l'équation à écrire et les hypothèses à formuler **pour montrer que** :

- les efforts exercés par le câble sur les galets de centres A et B sont égaux .
- les efforts exercés par le câble sur les galets de centres C et D sont égaux.

## 02 – SI - PSI

- les efforts exercés par le câble sur les galets de centres E et F sont égaux.
- les efforts exercés par le câble sur les galets de centres A, B, et C, D sont égaux.
- les efforts exercés par le câble sur les galets de centres A, B et E, F sont égaux.

**Q.19** En fonction de  $\alpha$  et T tension du câble, **déterminer** l'effort sur chacun des galets et l'effort sur l'articulation K du palonnier. L'application numérique donne  $35 \cdot 10^7$  N.

## V – MAINTIEN DE LA TENSION DU CÂBLE

Dans la gare de départ (voir *Fig. 1 ligne totale*) un vérin hydraulique assure le déplacement de l'ensemble (non détaillé) des poulies porte câble afin de régler la tension des quatre brins de câble (voir *Fig 9 vérin de tension*).

La commande de ce vérin reçoit six informations binaires de l'environnement du vérin. Deux sont associées à la course du vérin et quatre sont liées au contrôle de la pression dans le vérin. On appelle  $p_i$  la pression idéale visée pour régler la tension du câble et  $p$  la pression réelle dans le vérin :

- $p_0 = 1$  si  $[p < (p_i - 3\%)]$  (correspond à la tension minimale admissible du câble) ;
- $p_1 = 1$  si  $[p < (p_i - 2\%)]$  (correspond à la tension minimale en fonctionnement normal du câble) ;
- $p_2 = 1$  si  $[p < (p_i + 2\%)]$  (correspond à la tension maximale en fonctionnement normal du câble) ;
- $p_3 = 1$  si  $[p < (p_i + 3\%)]$  (correspond à la tension maximale admissible du câble) ;
- $b_0$  : limite inférieure de la course du vérin (limite de sécurité) ;
- $b_1$  : limite supérieure de la course du vérin (limite de sécurité).

Cette commande pilote 3 sorties binaires codées par :

- $V_+$  = commande de sortie de tige du vérin ;
- $V_-$  = commande de rentrée de tige du vérin ;
- $Al$  = Alarme visuelle.

Les règles de fonctionnement de cette commande sont ( $p$  : pression dans la chambre du vérin) :

- $R_1$  : si  $[p < (p_i - 3\%)]$  le vérin rentre ( $V_-$ ) jusqu'à ce que  $[p \geq (p_i + 2\%)]$  ;
- $R_2$  : si  $[p > (p_i + 3\%)]$  le vérin sort ( $V_+$ ) jusqu'à ce que  $[p \leq (p_i - 2\%)]$  ;
- $R_3$  : si  $b_1 = 1$  alors déclenchement de l'alarme ( $Al$ ) jusqu'à  $b_1 = 0$  ;
- $R_4$  : si  $b_0 = 1$  alors déclenchement de l'alarme ( $Al$ ) jusqu'à  $b_0 = 0$  .

Remarque : la vitesse de déplacement du vérin est « lente » par rapport au temps de réponse (durée de calcul suite à un événement) de la commande.

## QUESTIONS

*Document à consulter : Fig. 1 ligne totale, Fig. 9 vérin de tension et document réponse*

**Q.20** A partir de la commande proposée à six entrées et trois sorties et des règles  $R_i$  **analyser** la décomposition définie sur le document réponse en deux blocs, **compléter** pour cela les entrées des deux blocs SSCV et SSCAl.

**Q.21** **Montrer** alors que SSCAl est de type combinatoire et que SSCV est de type séquentiel.

**Q.22** **Déterminer** par une méthode de votre choix l'expression de la sortie Al.



**Q.23 Ecrire** la commande du vérin de tension du câble en utilisant le langage GRAFCET (respecter les entrées et sorties de cette commande de bloc SSCV). Le candidat remarquera que la commande comprend trois états internes distincts : pas de sortie pilotée, V+ et V-.

L'état le plus fréquent de la commande doit être celui où le vérin est arrêté. Le cahier des charges prévoit donc de surveiller les durées de correction de tension du vérin.

Un premier contrôle prévoit un voyant VP qui signale une durée de correction supérieure à  $t_p = 10$  minutes : **Q24**.

Un second contrôle prévoit une alarme sonore AS qui signale que trois fois consécutivement la même correction (V+ ou V-) a dépassé la durée  $t_p$  : **Q25**.

**Q.24 Compléter** le grafcet de la question **Q.23** par un grafcet de contrôle gérant la voyant VP. Le voyant reste allumé tant que la correction n'est pas terminée.

**Q.25 Compléter** les deux grafkets précédents **Q23** et **Q24** par un grafcet gérant l'alarme sonore AS. L'alarme se termine par l'action d'un opérateur sur un bouton poussoir d'acquiescement : acquit.

## VI ORGANISATION DU CABLE

Le Funitel présente la caractéristique d'être un système de transport à deux brins de câble. La *Fig. 10 passage du câble* présente un schéma de la ligne totale dont la vue supérieure appelée vue en élévation correspond à la *Fig.1 : Ligne totale* et dont la vue de dessus représentée sans câble(s) comprend la zone d'implantation des poulies aval (à définir) et la zone de poulies amont avec quatre poulies amont déjà mises en position dans le cas d'un câble unique.

La solution classique consiste à installer deux câbles mais elle pose de nombreux problèmes de mises en œuvre. L'innovation de la solution Funitel est de réaliser un mouflage (enroulement de câble) conduisant à un seul câble.

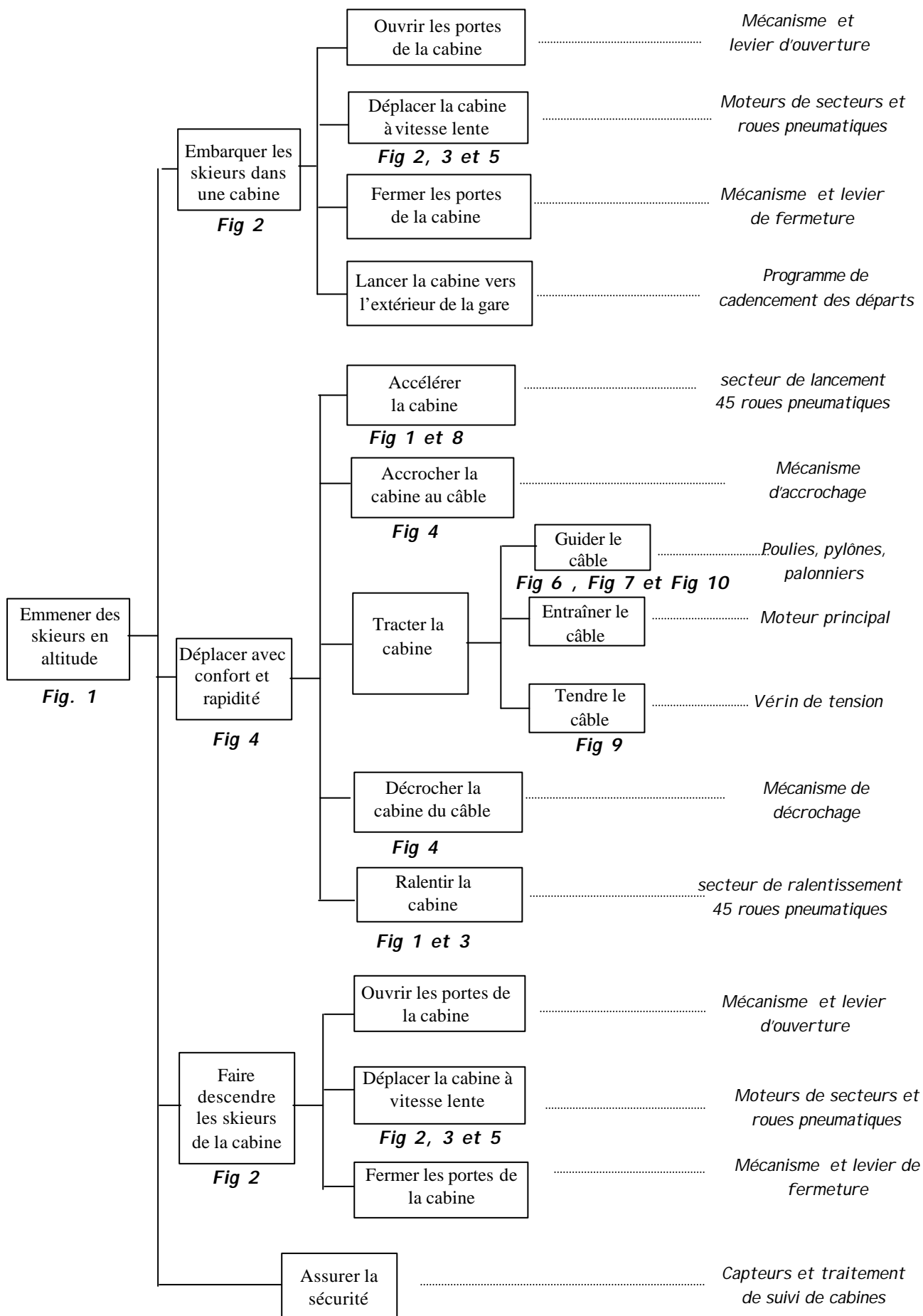
### QUESTIONS

*Document à consulter : Fig. 1 Ligne totale, Fig. 9 vérin de tension et Fig. 10 passage du câble*

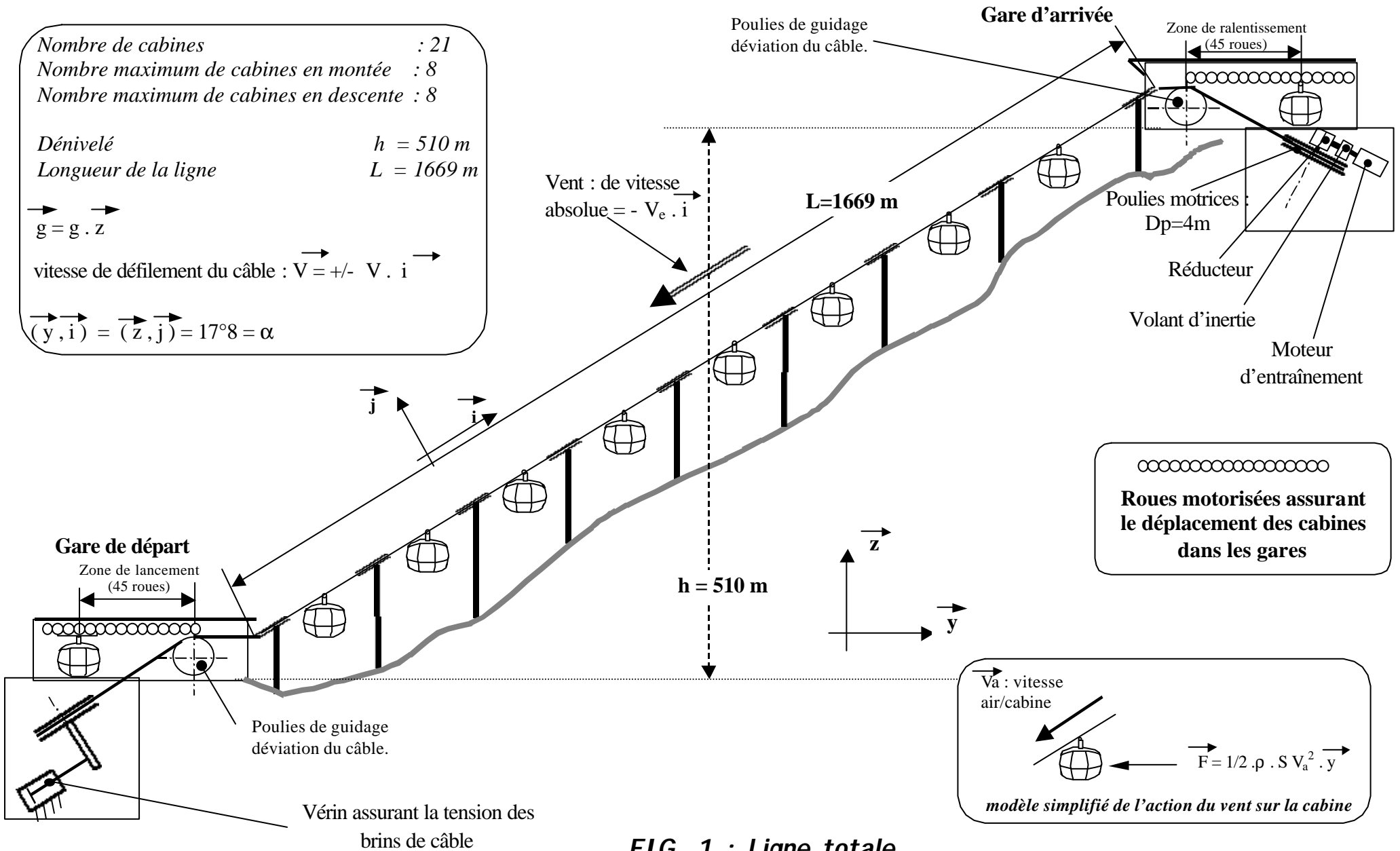
**Q.26** En considérant que les quatre brins support des cabines entre les gares appartiennent à **deux câbles indépendants**, **positionner** les poulies que vous jugez utiles (uniquement dans la zone). **Tracer, en bleu ou noir**, les poulies d'un même diamètre apparent que celui des autres poulies, puis **tracer les deux câbles** de deux couleurs différentes (**rouge et vert par exemple**). **Respecter** les règles de tracé de la figure 10 en cas de croisement.

**Q.27** En considérant que les quatre brins support des cabines entre les gares appartiennent à **un seul câble**, **positionner** les poulies que vous jugez utiles (uniquement dans la zone) **Tracer, en bleu ou noir**, les poulies d'un même diamètre apparent que celui des autres poulies, puis **tracer le câble** en **rouge ou en vert**. **Respecter** les règles de tracé de la figure 10 en cas de croisement.

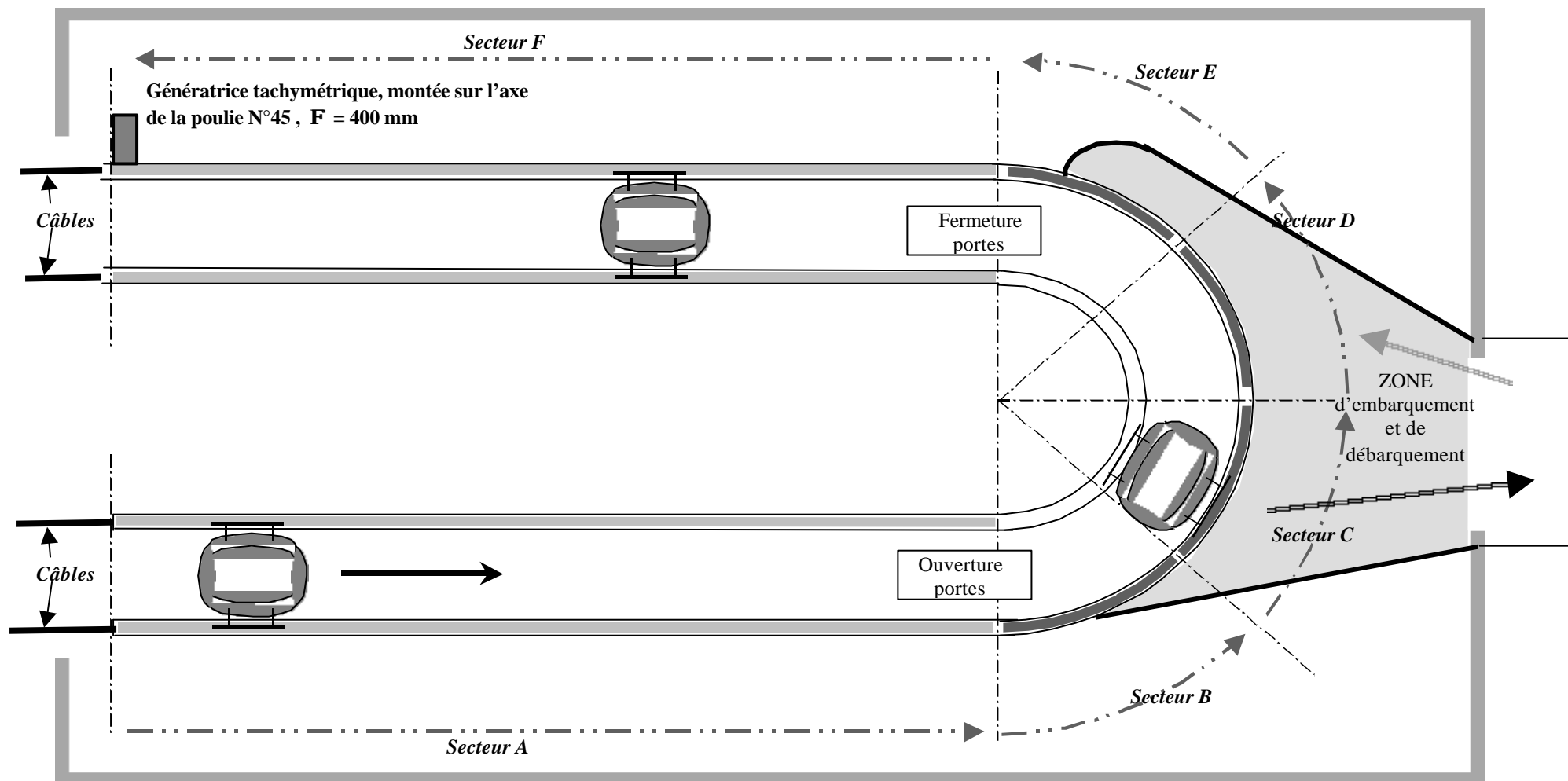
**Q.28 Comparer** ces deux solutions. **Justifier le** choix retenu pour le Funitel entre la solution à deux câbles et celle à un câble. **Préciser** en quelques en lignes les critères précis que vous retenir.



## ORGANISATION FONCTIONNELLE DU FUNITEL



**FIG. 1 : Ligne totale**



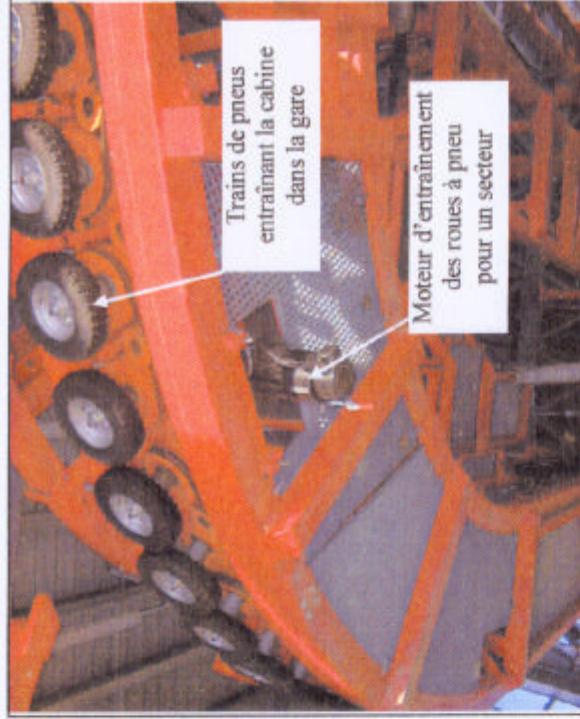
	<i>Secteur A</i>	<i>Secteur B</i>	<i>Secteur C</i>	<i>Secteur D</i>	<i>Secteur E</i>	<i>Secteur F</i>
<b>FONCTION</b>	Ralentissement: de 7.2 à 0.3 m/s	Déplacement à 0.3m/s ou arrêt	Déplacement à 0.3m/s ou arrêt	Déplacement à 0.3m/s ou arrêt	Déplacement à 0.3m/s ou arrêt	Accélération de 0.3 à 7.2 m/s
<b>MOTORISATION</b>	Poulie guidage déviation	Moteur B (fig. 3)	Moteur C (fig. 3)	Moteur D (fig. 3)	Moteur E (fig. 3)	Poulie guidage déviation

**Fig. 2 : Schéma Gare**



Arrivée en gare d'altitude d'une cabine

Photographies d'une gare

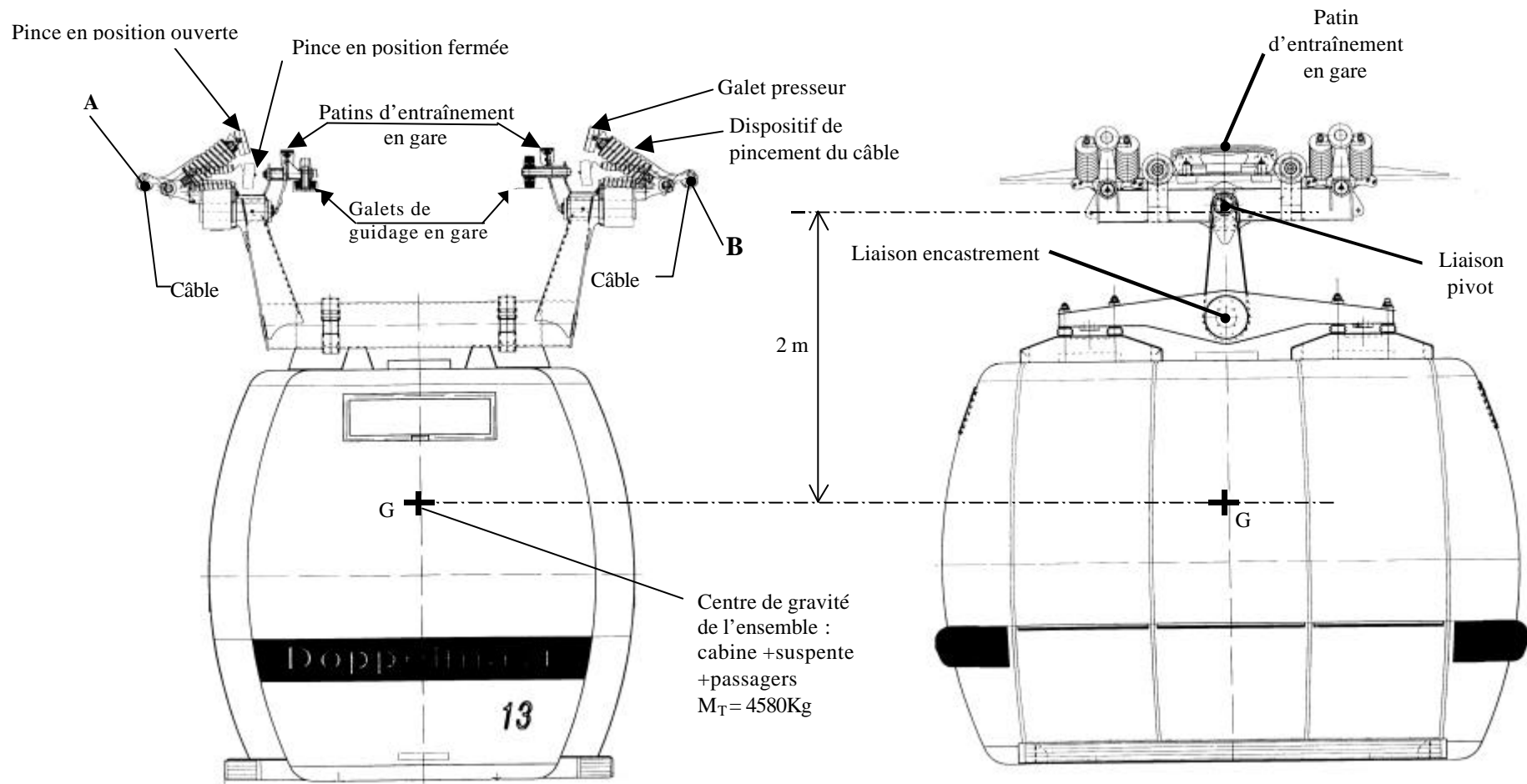


Détail des pneus d'entraînement dans un virage



Détail de la transmission entre roues

**Fig. 3 : Photo Gare**



**Fonctionnement du dispositif de pincement du câble :** lors de l'entrée /sortie des cabines des gares, une rampe vient agir sur les galets presseurs, provoquant l'ouverture des pinces nécessaire à la libération ou la préhension des brins de câble. Sur le dessin ci dessus les galets presseurs sont représentés dans les deux positions correspondant aux pinces ouvertes et fermées. Les ressorts assurent l'effort de serrage des pinces.

**Fig. 4 : Cabine du Funitel**



*Fig. 5 : Photo cabines en gare*

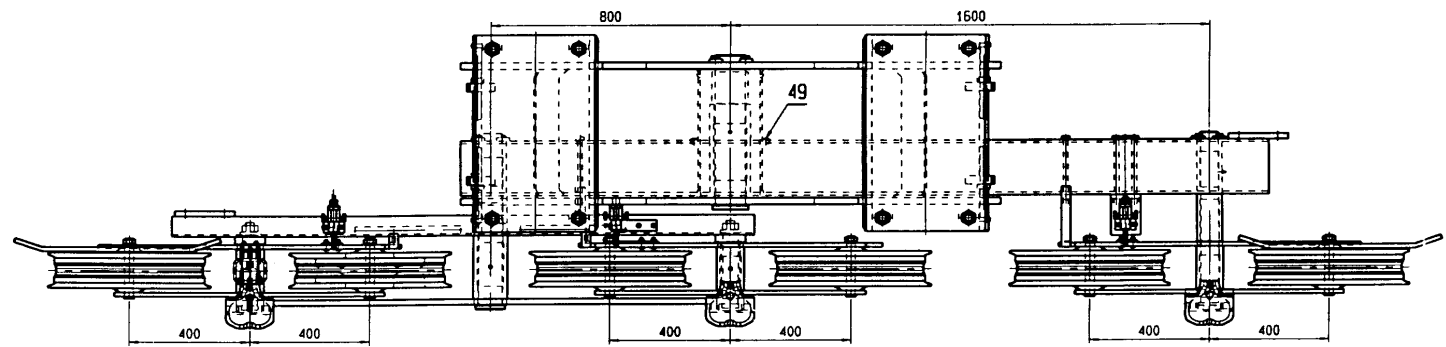
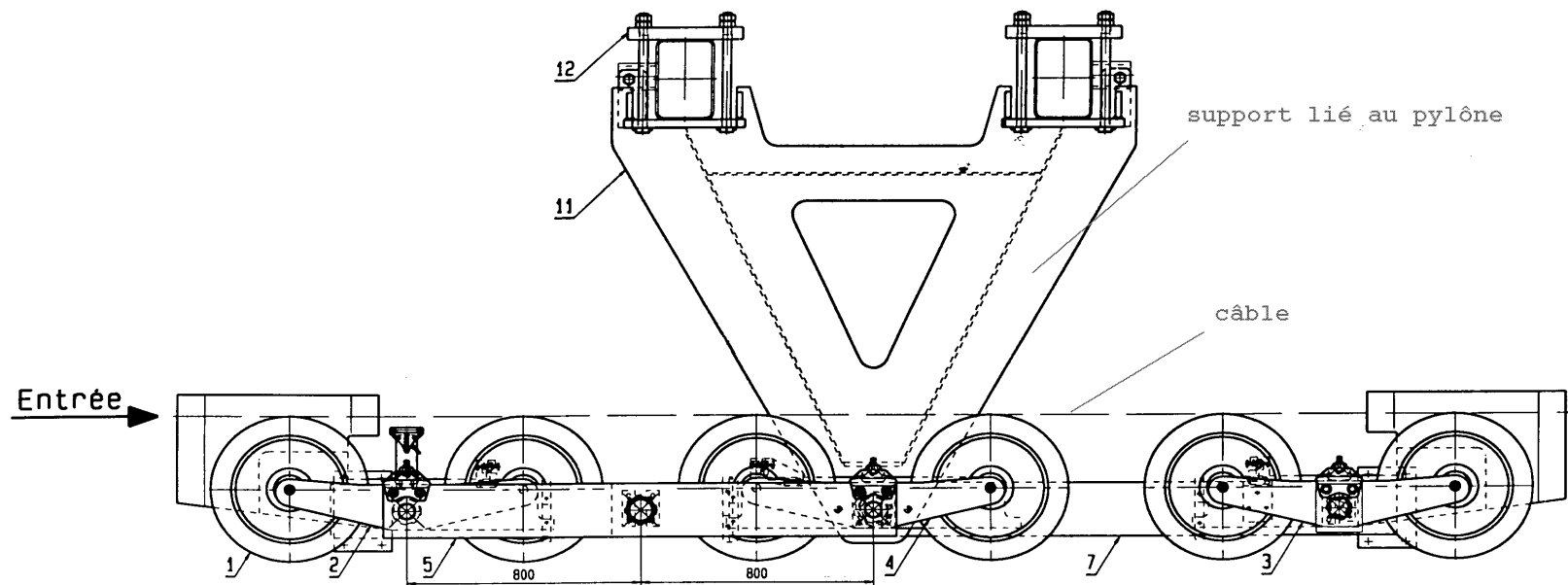
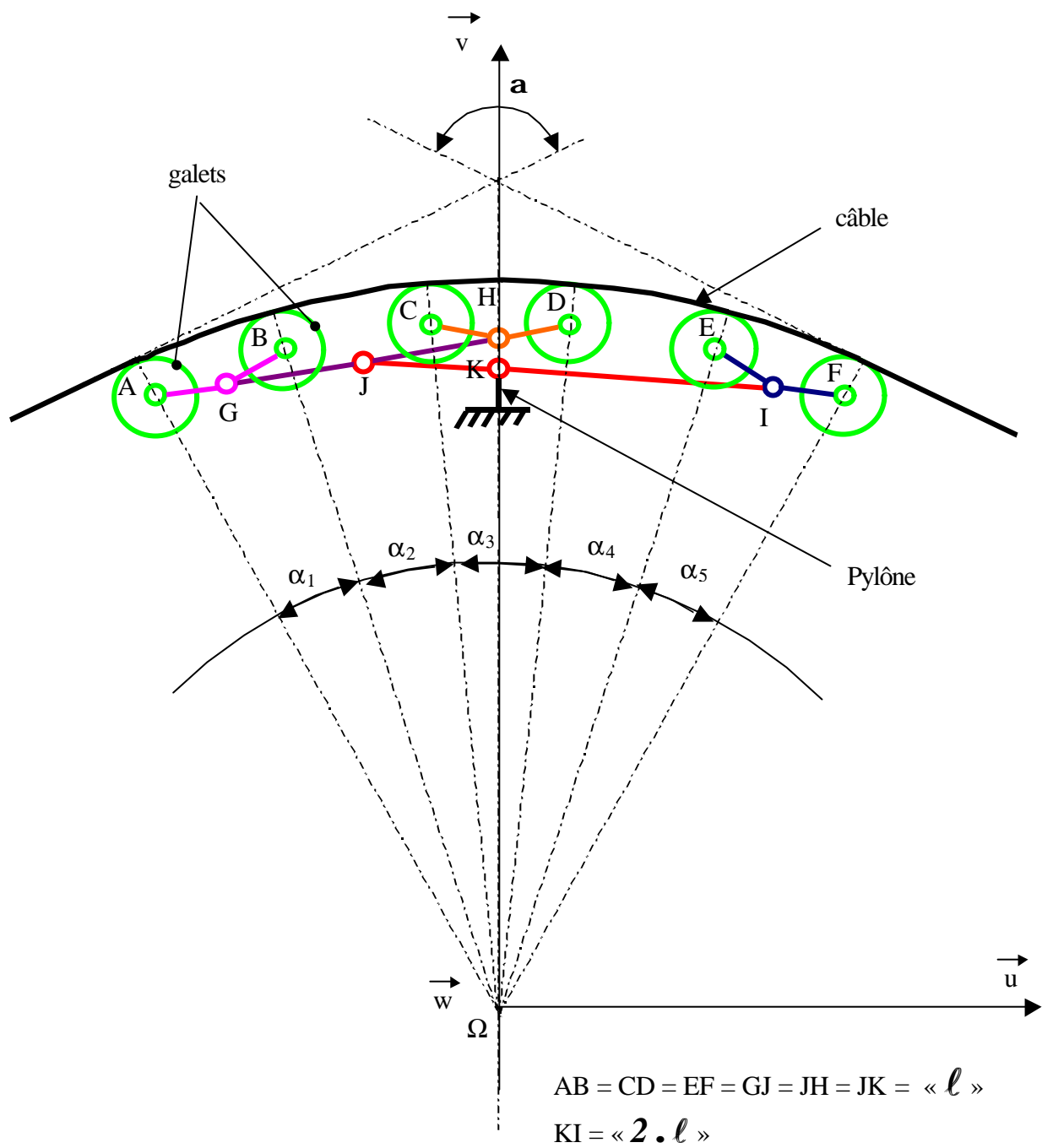
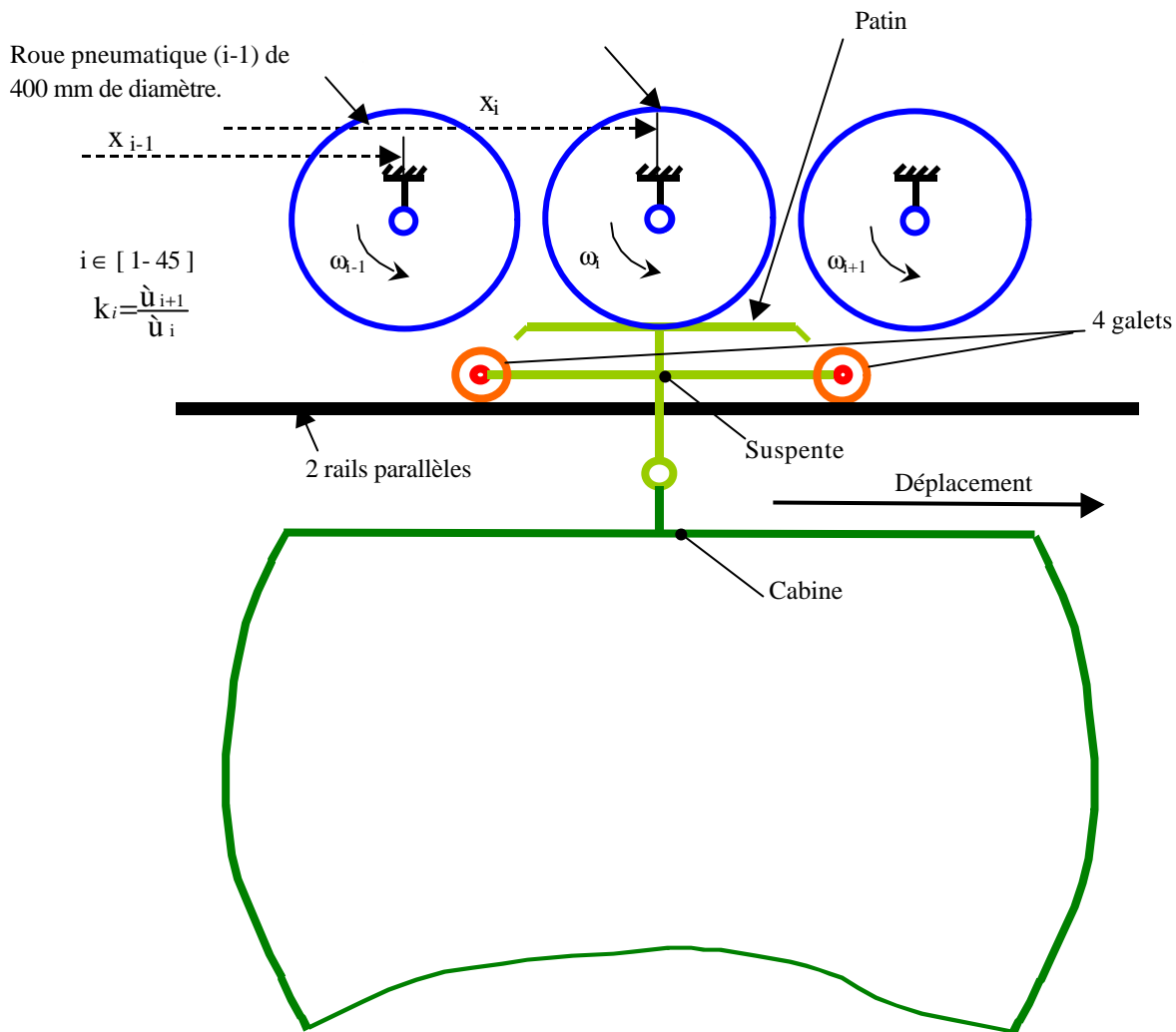


Fig. 6 : Balancier

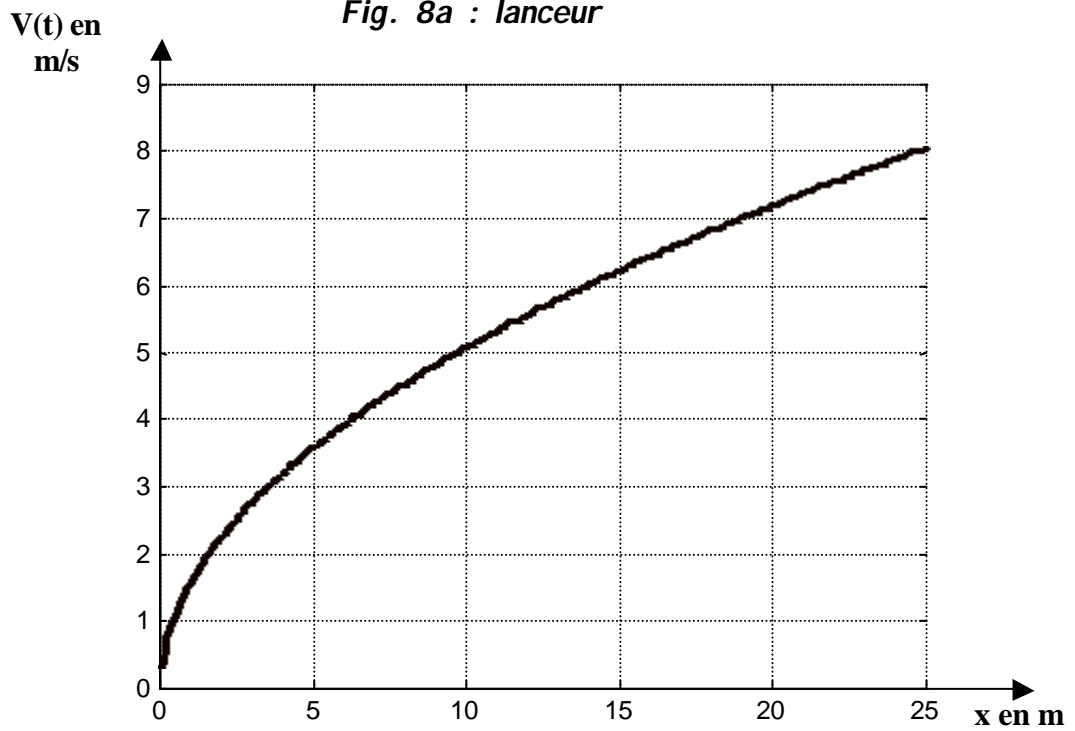




**Fig. 7 : Modèle de balancier**

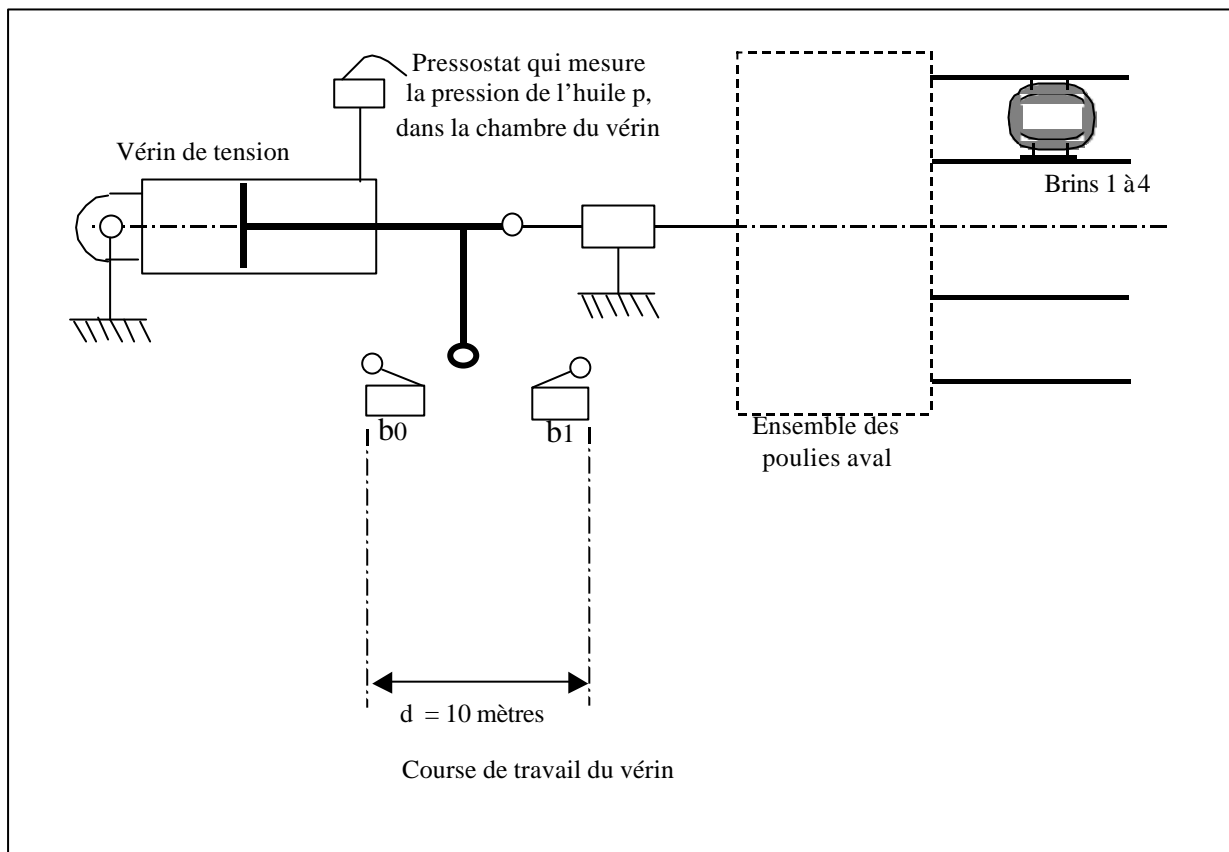


*Fig. 8a : lanceur*

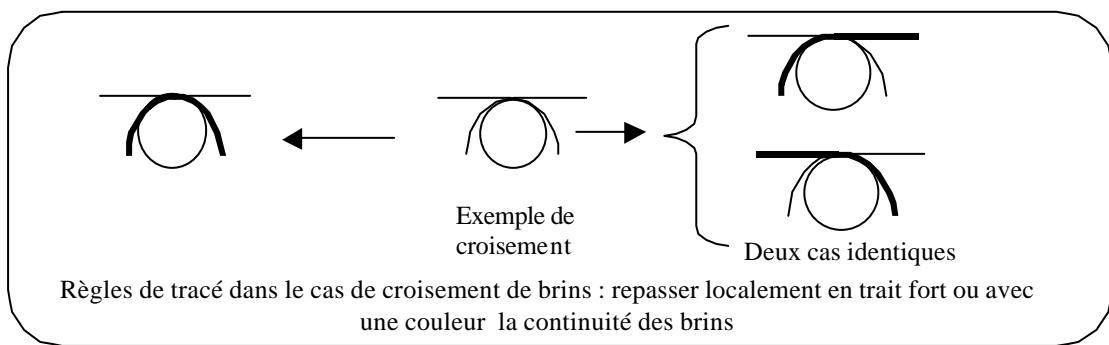
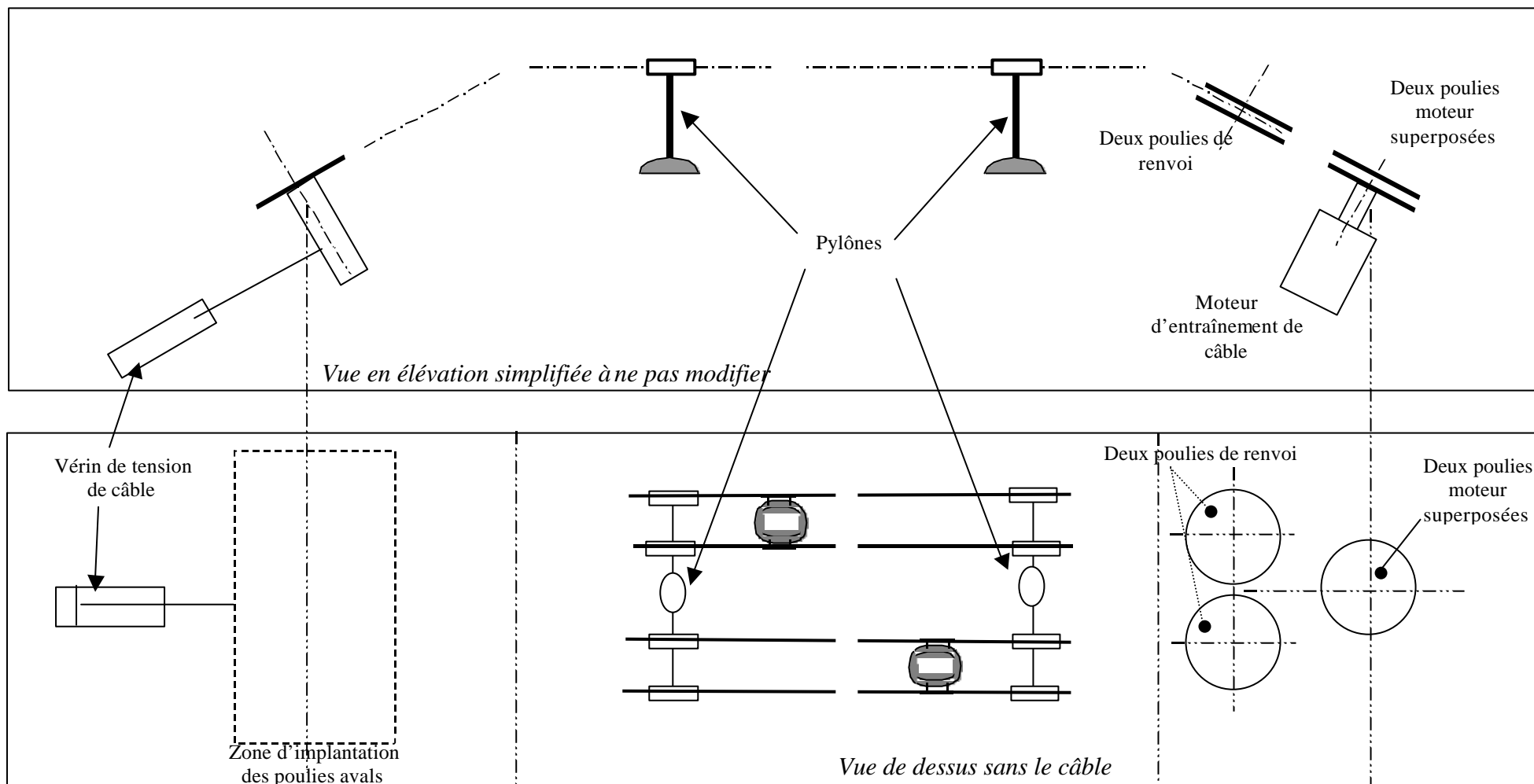


*Fig. 8b : vitesse de translation de la cabine fonction de sa position*

*Fig. 8 : Zone de lancement*



**Fig. 9 : Vérin de tension des brins**



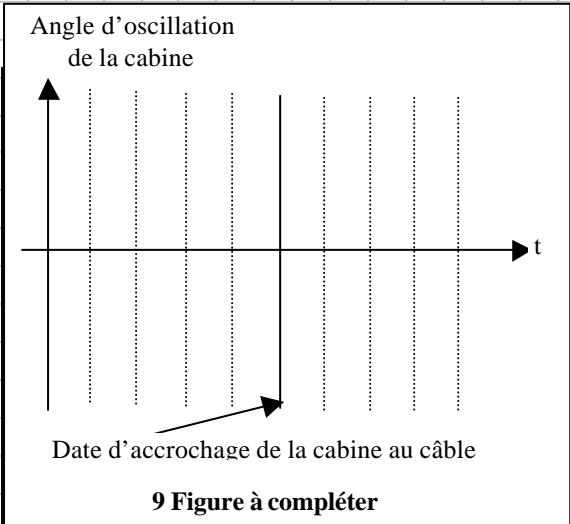
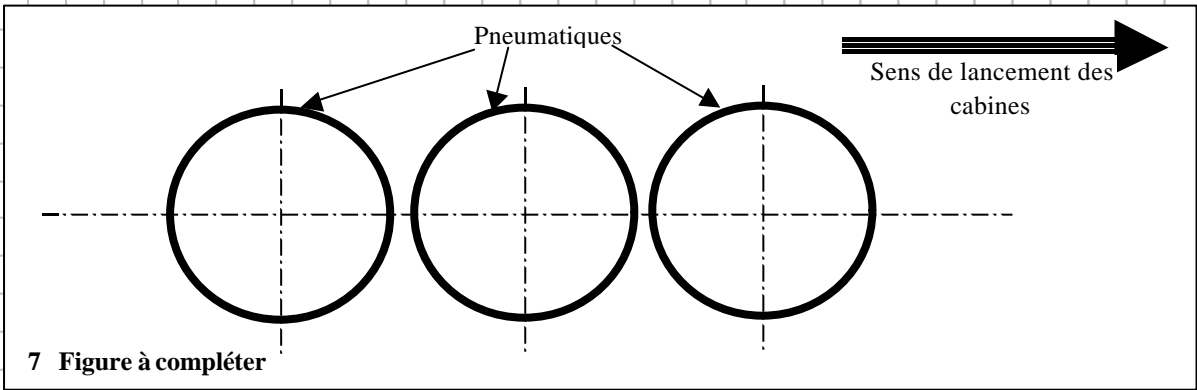
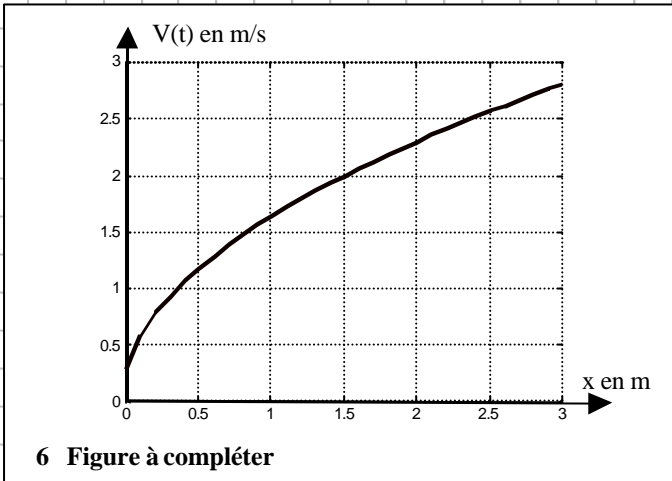
**Fig. 10 : Passage du câble**

*Dans l'espace réponse réservé à chaque partie le candidat identifiera impérativement clairement le numéro de la question à laquelle il répond.*

**EVALUATION DE LA PUISSANCE NECESSAIRE A L'INSTALLATION (1.5 pages)**  
**2 : P. des actions de pesanteur – 3 : P. des actions du vent – 4 : P. entraînement de la ligne]**

**[1 : Energie cinétique –**

**II ETUDE DE LA SORTIE DE GARE D'UNE CABINE (2 pages) [5 : Durée et longueur de zone d'accélération –  
6 : Vitesse à  $x=0.9$  – 7 : Dessin courroies – 8 :  $K=?$  – 9 : Oscillations – 10 : Loi d'accélération]**



**III CONTRÔLE DE LA VITESSE DE DEPLACEMENT ENTRE GARES (4 pages) [11 : B2=? - 12 : Bi=?B'1, B''1, A=? - 13 : Action du vent - 14 : C1(p) - 15 : C2(p) - 16 : Choix du correcteur]**

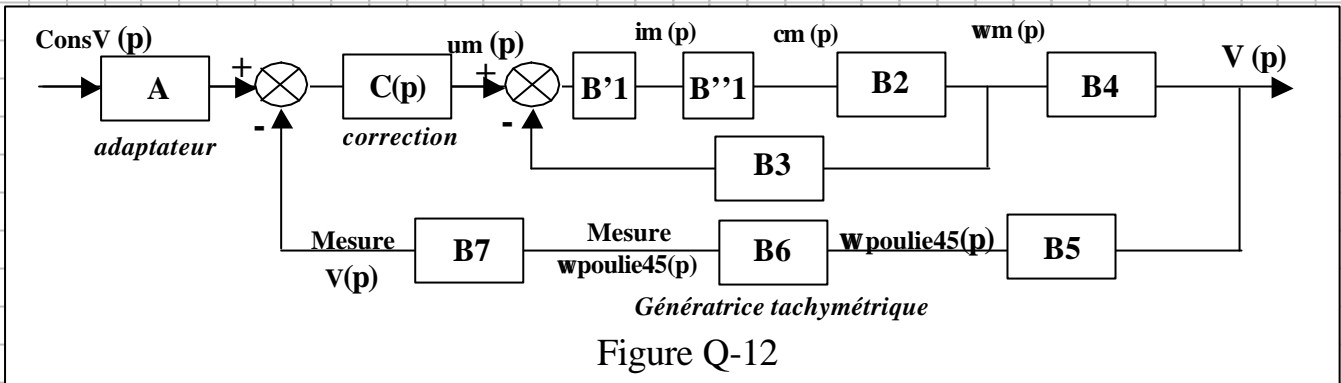
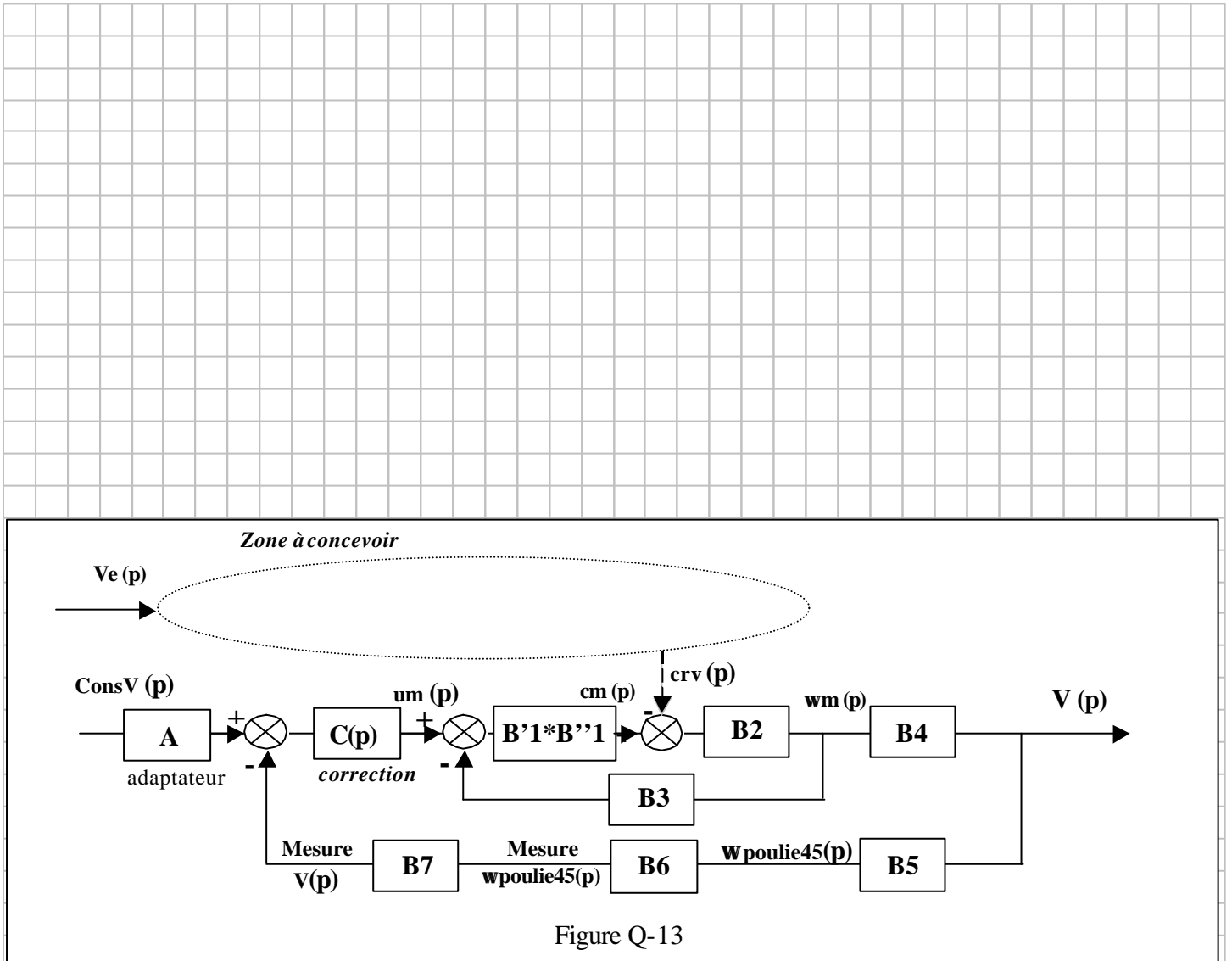
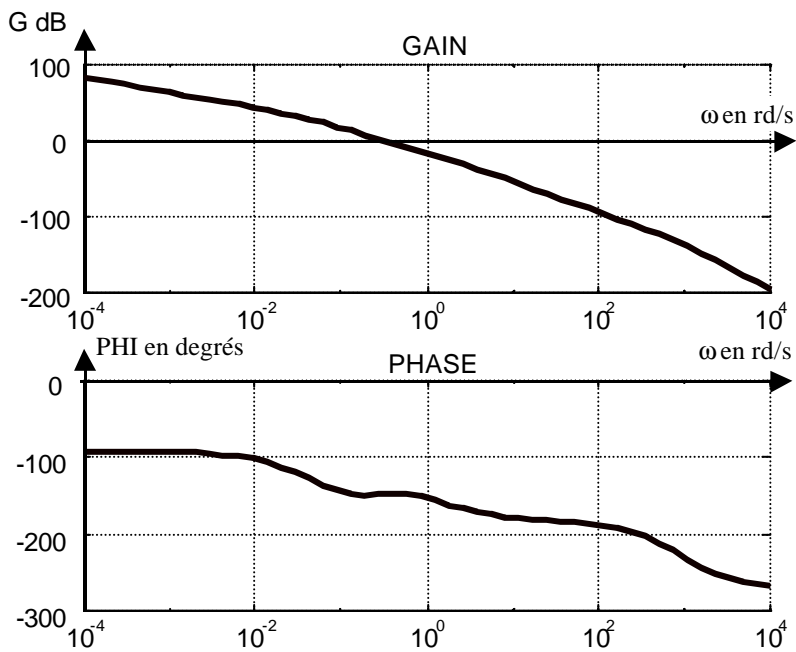
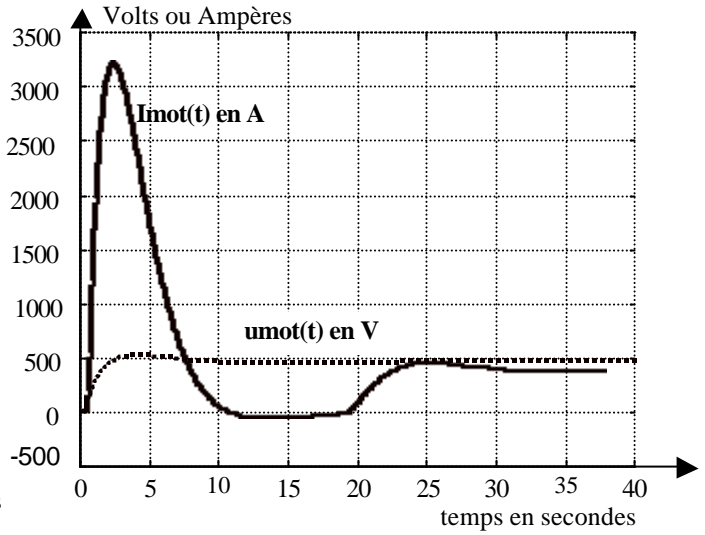
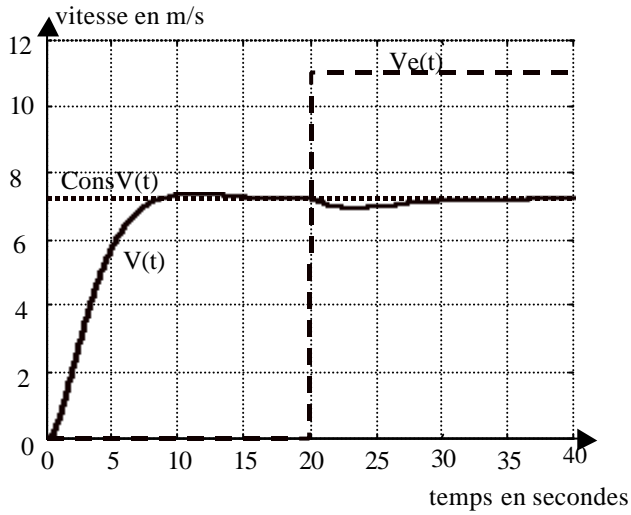


Figure Q-12







KP	100	>100	< 100
Précision			
Marges de stab.			
Imax			
Umax			

Conclusions par rapport au cahier des charges

.....

.....

.....

.....

.....

.....

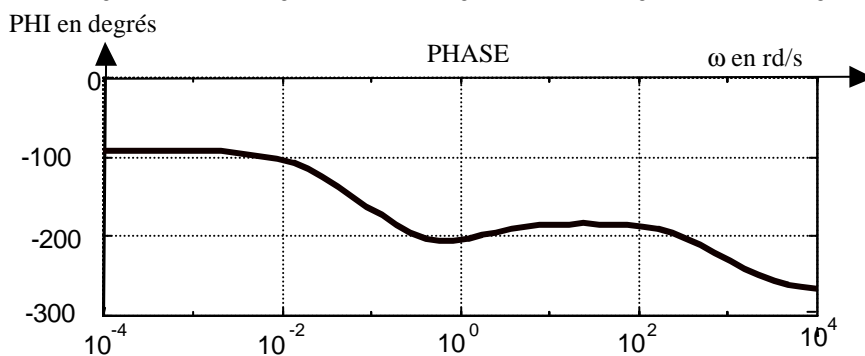
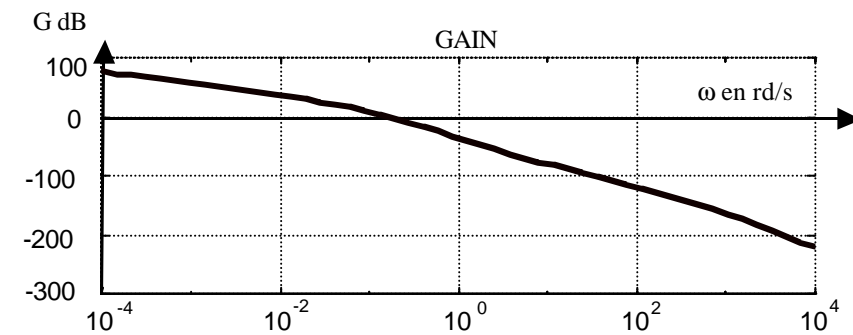
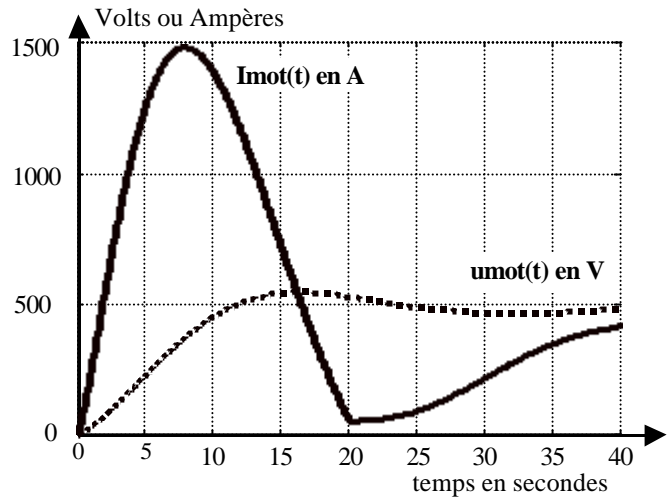
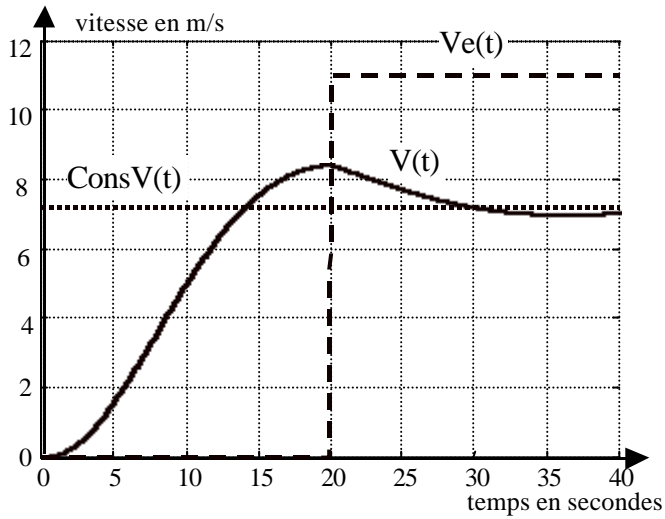
.....

.....

.....

.....

C1(p) Figures à compléter



KP	50	>50	< 50
Précision			
Marges de stab.			
Imax			
Umax			

Conclusions par rapport au cahier des charges

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

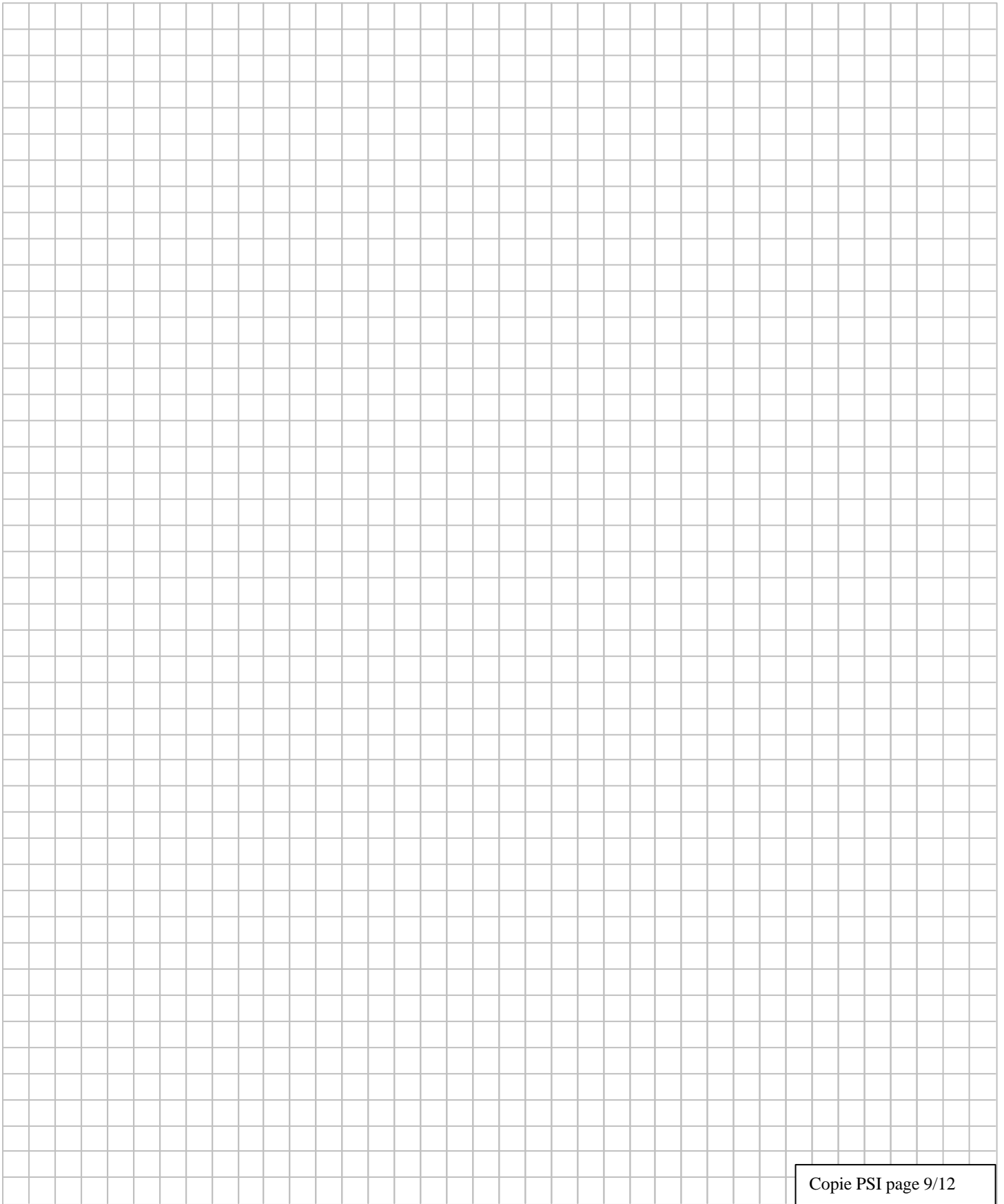
.....

.....

.....

C2(p) Figures à compléter





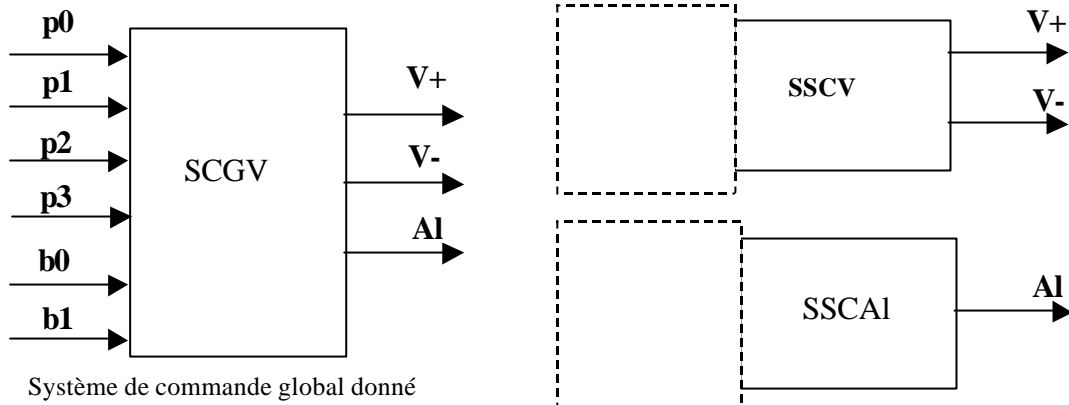


Figure à compléter

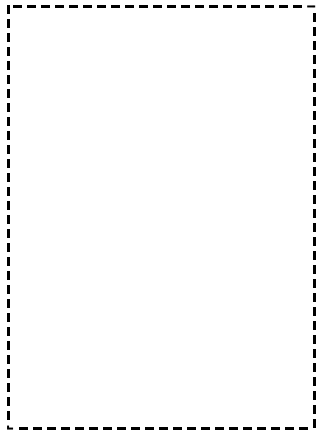
Sous système de commande à compléter en entrées



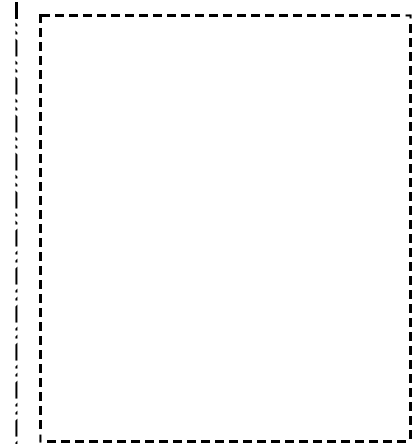
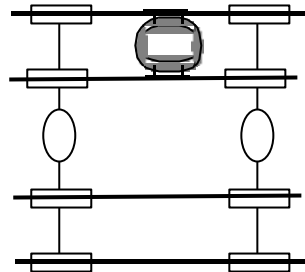
Figure à compléter

**Voyant VP**

**Alarme sonore AS**

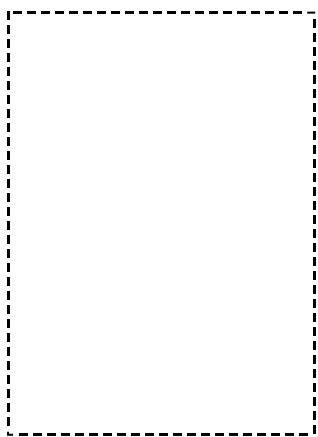


Zone d'implantation  
des poulies aval



Zone d'implantation  
des poulies amont

Figure à compléter : Schéma à deux câbles



Zone d'implantation  
des poulies aval

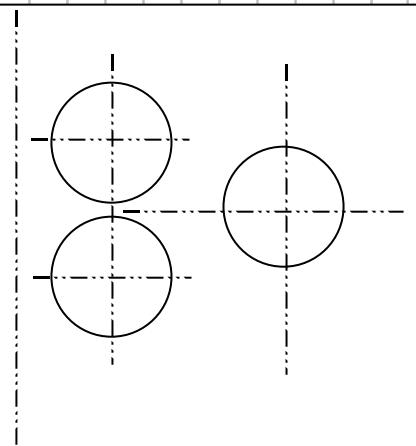
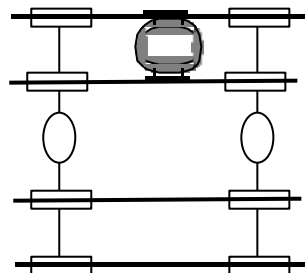


Figure à compléter : Schéma à un seul câble