Concours Commun INP (CCINP), France

Session 2016, filière TSI

Sciences industrielles de l'ingénieur

Durée : 6 heures

Ce que traite le sujet

- Partie I : performances en vitesse du câble
- Partie II : moteurs de secours
- Partie III : tension et mesure de la tension du câble
- Partie IV : pince débrayable du siège

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années : prepahelp.com/annales/ccinp/tsi/2016/si

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

CONCOURS COMMUNS POLYTECHNIQUES

EPREUVE SPECIFIQUE - FILIERE TSI

SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGENIEUR

Vendredi 6 mai : 8 h - 14 h

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Les calculatrices sont autorisées

Télésiège débrayable 6 places

***Sujet** : page 1 à page 20*

***Partie I** : validation des performances en vitesse du câble*
***Partie II** : validation du choix des moteurs de secours retenus*
***Partie III** : respect et mesures des tensions du câble*
***Partie IV** : proposition d'une solution constructive et vérification de la tenue mécanique de la pince*

***Annexes** : annexe 1 à annexe 6 (page 1 à page 7)*

***Documents réponses** : DR1 à DR4 (pour des raisons techniques, le DR4 est placé avant le DR3)*

Indications sur la répartition des points

Les quatre parties sont indépendantes et de proportions assez différentes, c'est pourquoi, il est proposé, à titre indicatif, la répartition de points suivante :

- partie I : 40 % ;
- partie II : 15 % ;
- partie III : 20 % ;
- partie IV : 25 %.

Toutefois, il est conseillé au candidat d'aborder et de traiter le sujet dans l'ordre.

Les télésièges sont principalement utilisés dans les stations de sports d'hiver par les skieurs, pour la pratique du ski alpin.

Un télésiège est un type de remontée mécanique équipé de sièges suspendus à un câble aérien, à la fois porteur et tracteur, circulant suivant un mouvement unidirectionnel continu. Le câble est soutenu en ligne par des pylônes, via des galets. Un moteur situé dans une des gares terminales, la gare motrice, en assure le mouvement.

Il existe des « télésièges à attaches fixes » où les sièges restent solidaires du câble, y compris en gare et des « télésièges à attaches débrayables » équipés de sièges à pince débrayable qui sont désaccouplés du câble dans les gares pour un embarquement et débarquement à vitesse réduite, sans ralentissement de l'ensemble de l'appareil. Ce dernier type permet des vitesses d'exploitation supérieures. Les sièges ont une capacité qui varie selon les appareils de une à huit places et peuvent être équipés d'options comme par exemple des bulles de protection ou des assises chauffantes.

L'étude proposée dans ce sujet porte sur le télésiège débrayable 6 places (TSD6) « Biollay », mis en activité récemment au sein de la station de Courchevel. Il a été conçu par la société Poma. Le diagramme des cas d'utilisation du télésiège est donné dans l'annexe 1.



Figure 1. Télésiège débrayable 6 places « Biollay »

Ce nouveau télésiège remplace l'ancien du même nom mais est conforme aux nouveaux standards de confort et permet un débit maximal de 3 300 personnes par heure. Le diagramme des exigences de ce nouveau télésiège est donné dans l'annexe 2.

Sur ce télésiège, la gare motrice est en amont et la gare en aval permet de tendre le câble. Ceci est illustré sur la figure 2, page 3. Par ailleurs, comme le montre la figure 3, page 3, la poulie motrice située en gare motrice, entraînant le câble porteur, est elle-même mise en mouvement par l'association d'un moteur électrique principal et d'un réducteur. Deux moteurs électriques de secours et un groupe électrogène permettent de mettre en mouvement la poulie motrice par l'intermédiaire de la roue dentée et ainsi faire face à d'éventuelles pannes du moteur principal ou à des coupures électriques du réseau. Un frein à disque, situé entre le moteur et le réducteur, ainsi que deux autres freins sur la poulie motrice permettent d'arrêter et de maintenir à l'arrêt le système. Le diagramme de blocs est donné en annexe 3.

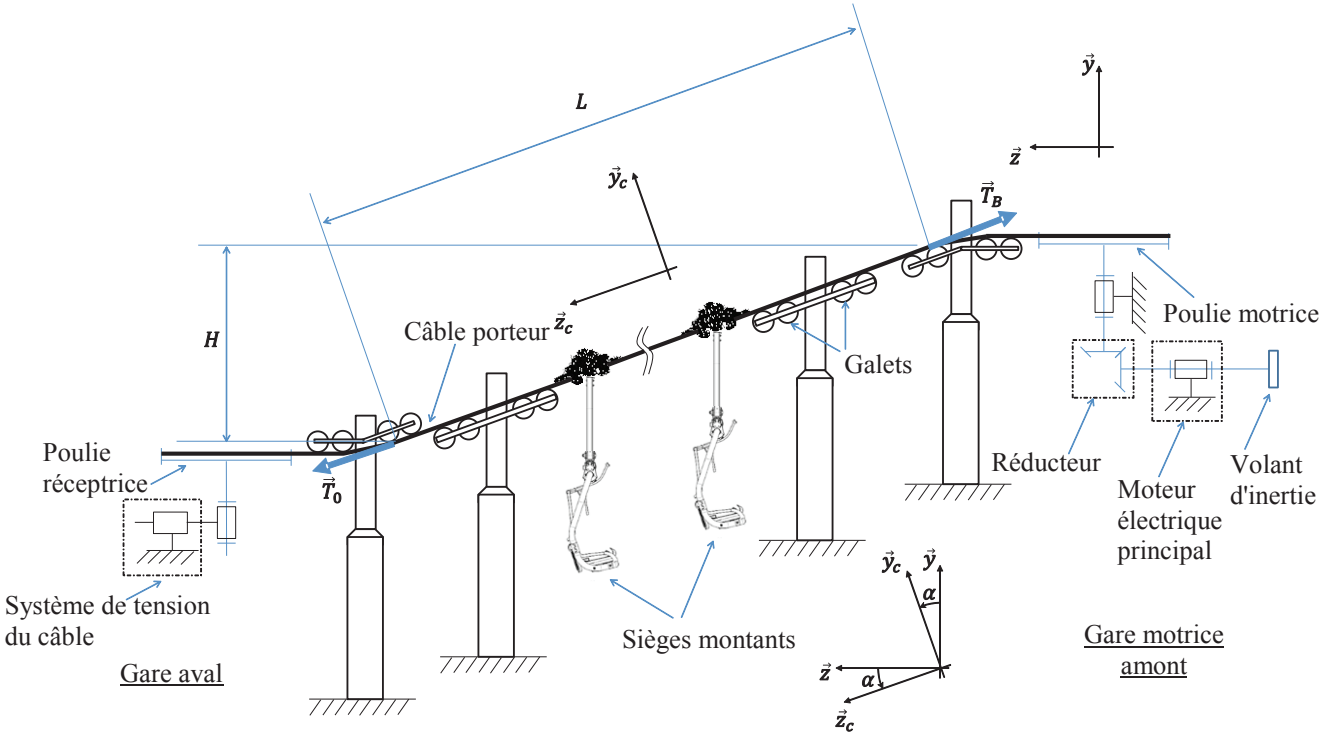


Figure 2. Situation des deux gares et des deux poulies

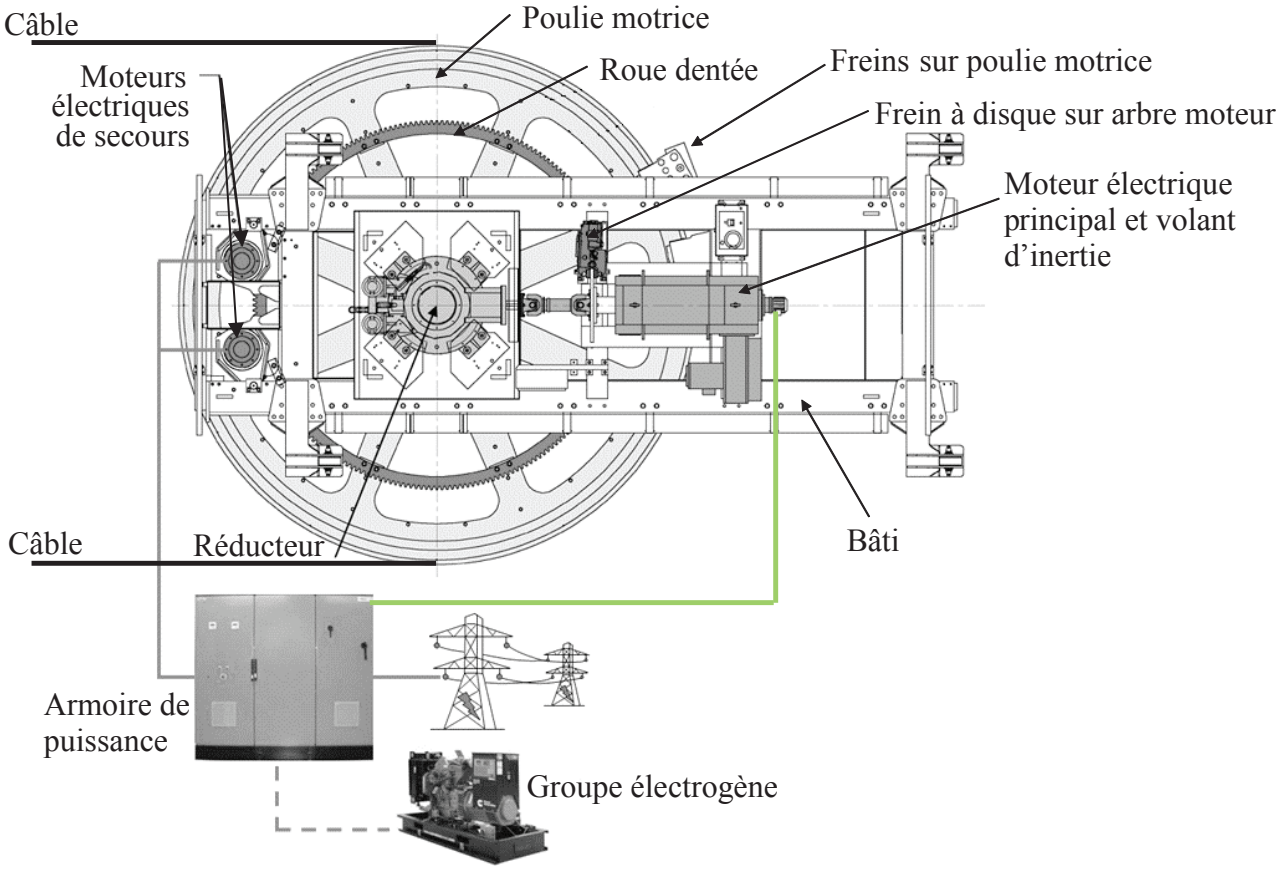


Figure 3. Vue de dessous de la gare motrice amont : motorisations principale et de secours de la poulie motrice

Objectifs de l'étude

Les objectifs de cette étude sont multiples. Dans la première partie, on cherchera à vérifier que les performances en vitesse du système sont bien atteintes. Dans la seconde partie, il conviendra de valider le dimensionnement et la commande des moteurs de secours. Dans la troisième partie, on s'attachera à vérifier que le câble est correctement tendu pour assurer un fonctionnement sans risque de la remontée mécanique. Enfin, dans la quatrième partie, on proposera une solution technique et on vérifiera la tenue mécanique d'une des pièces de la pince débrayable des sièges.

Partie I : validation des performances en vitesse du câble

Les objectifs de cette partie sont de :

- vérifier le débit du télésiège de 3 300 p.h^{-1} (personnes par heure) quand le câble atteint sa vitesse maximale souhaitée de 5,5 m.s^{-1} ;

- proposer un modèle de connaissance de l'asservissement en vitesse afin de vérifier les performances du télésiège.

Les différentes grandeurs et valeurs numériques utiles à cette partie sont regroupées dans le tableau 1.

Eléments	**Caractéristiques et notations**
Télésiège TSD6	Débit de skieurs souhaité : Q_s = 3 300 p.h^{-1} (personnes par heure)
	Dénivelé : H = 364 m
	Longueur de câble à la montée : L = 1 668 m
	Longueur de câble à la descente : L = 1 668 m
	Nombre de pylônes : 14
Moteur électrique principal LAKC 4355C	Couple moteur : C_m
	Inertie arbre moteur : I_{am} = 17,3 kg.m²
	Vitesse de rotation : ω_m
Volant d'inertie	Inertie : I_v = 20 kg.m²
	Vitesse de rotation : ω_m
Réducteur principal	Rendement : η = 1
	Inertie équivalente ramenée à l'arbre moteur : I_r = 4 kg.m²
	Rapport de réduction : $r = \omega_m/\omega_p$ = 59,1
Poulie motrice	Inertie : I_{pm} = 16 108 kg.m²
	Rayon : R_p = 2,45 m
	Vitesse de rotation : ω_p
Poulie réceptrice	Inertie : I_{pr} = 14 134 kg.m²
	Rayon : R_p = 2,45 m
	Vitesse de rotation : ω_p
Câble	Masse linéique : μ_c = 8 kg.m^{-1}
	Vitesse : v
	Vitesse consigne d'exploitation : v_c = 5,5 m.s^{-1}
Siège	Capacité : N_p = 6 personnes
	Distance moyenne entre deux sièges : d = 36 m
	Masse à vide : m_v = 530 kg
	Masse de 6 personnes : m_{6p} = 480 kg

Tableau 1. Caractéristiques techniques du TSD6 et notations utilisées pour la partie I

Extrait du cahier des charges pour cette partie

Débit de skieurs souhaité	Q_s = 3 300 p.h^{-1} (personnes par heure)
Vitesse du câble	$v = 0$ à 5,5 m.s^{-1}
Précision de mesure sur la vitesse	$\Delta V = 0{,}005$ m.s^{-1}
Erreur statique sur la vitesse du câble	< 0,1 m.s^{-1}
Temps de réponse à 5 %	< 40 s
Marge de phase minimale	45°

Respect du critère de débit

On souhaite vérifier que le débit de skieurs souhaité est bien atteint lorsque la vitesse de consigne du câble de 5,5 m.s^{-1} est respectée.

Q 1. À partir des données tableau 1, page 4, donner la relation exprimant le débit de personnes Q_s en fonction de v_c, N_p et d. Faire l'application numérique et conclure quant au respect du cahier des charges si la vitesse du câble atteint celle de la consigne.

Modélisation de la structure d'asservissement

Pour assurer la vitesse quel que soit le nombre de personnes à transporter, la vitesse du câble est asservie. Le modèle retenu sous forme de schéma-bloc est défini figure 4.

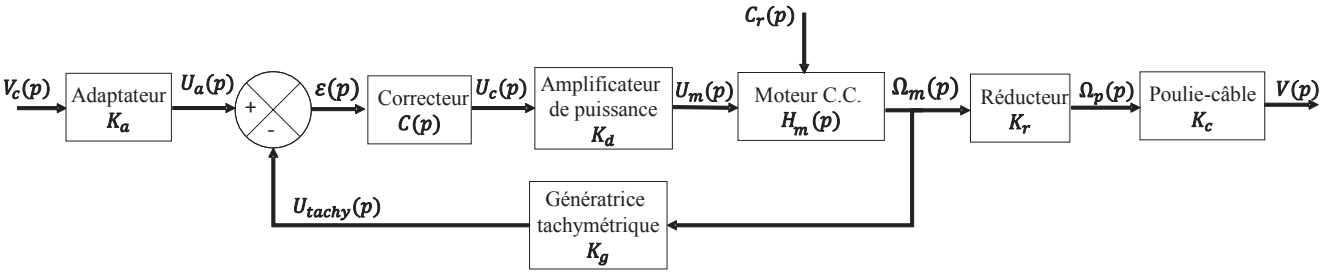


Figure 4. Modèle retenu pour l'asservissement de vitesse du câble

où $V_c(p)$ est la transformée de Laplace de la vitesse de consigne du câble ;
$U_a(p)$ est la transformée de Laplace de la tension de consigne en sortie de l'adaptateur $u_a(t)$;
$U_{tachy}(p)$ est la transformée de Laplace de la tension en sortie de la dynamo tachymétrique $u_{tachy}(t)$;
$\mathrm{E}(p)$ est la transformée de Laplace de l'écart $\varepsilon(t) = u_a(t) - u_{tachy}(t)$;
$U_c(p)$ est la transformée de Laplace de la tension en sortie du correcteur $u_c(t)$;
$U_m(p)$ est la transformée de Laplace de la tension d'alimentation $u_m(t)$ de l'induit du moteur ;
$C_r(p)$ est la transformée de Laplace du couple résistant $C_r(t)$;
$\Omega_m(p)$ est la transformée de Laplace de la vitesse de rotation $\omega_m(t)$ du moteur ;
$\Omega_p(p)$ est la transformée de Laplace de la vitesse de rotation $\omega_p(t)$ de la poulie motrice ;
$V(p)$ est la transformée de Laplace de la vitesse du câble $v(t)$.

Modélisation de la cinématique

Q 2. À partir du tableau 1, page 4, donner les expressions littérales et les valeurs numériques en U.S.I. (Unités du Système International) des gains $\boldsymbol{K_r}$ du réducteur et $\boldsymbol{K_c}$ du système poulie-câble dans l'hypothèse de non glissement.

Validation de la génératrice tachymétrique

L'acquisition de la vitesse de rotation du moteur se fait à l'aide d'une génératrice tachymétrique reliée à une carte d'entrées analogiques du variateur de vitesse SIMOREG 6RA7095. La génératrice tachymétrique choisie est la RE.0444R de Transdrive Engineering. Elle est placée sur l'arbre moteur et délivre une tension de 30 V lorsque le moteur tourne à la vitesse de rotation de 1 000 tours par minute.
La tension en sortie de la génératrice tachymétrique doit être comprise entre - 270 V et + 270 V. Elle est ensuite conditionnée (abaissée) et convertie en grandeur numérique par un convertisseur analogique-numérique de 16 bits (voir figure 5).

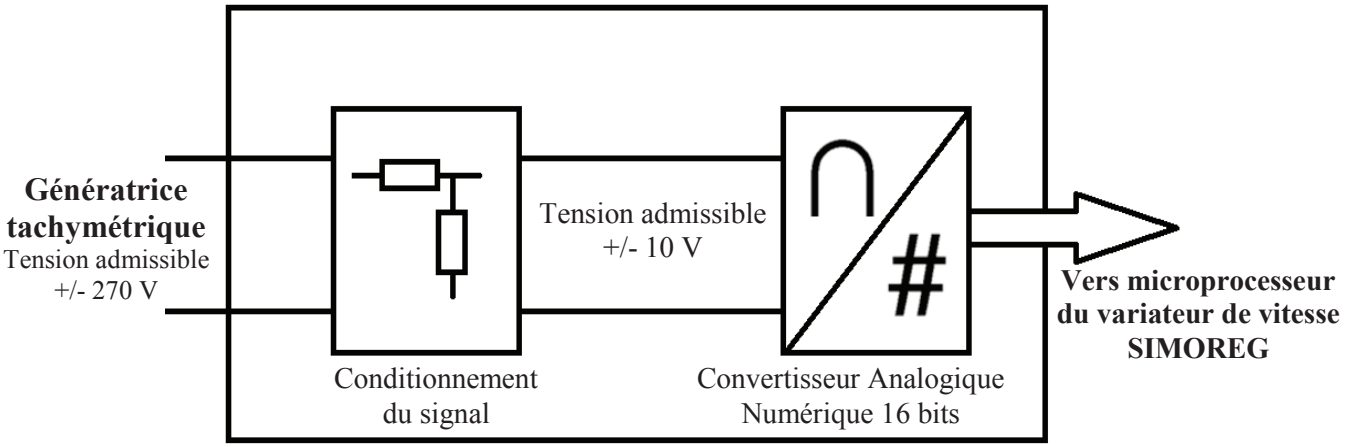


Figure 5. Synoptique de la carte d'entrées analogiques du variateur de vitesse SIMOREG

Pour assurer l'asservissement de vitesse du câble, la résolution de la mesure de vitesse doit être de 5.10^{-3} m.s^{-1}. On désire valider dans cette partie le choix de la génératrice tachymétrique RE.0444R pour respecter cette résolution.

Q 3. **a.** Pour une résolution de la mesure de vitesse du câble de 5.10^{-3} m.s^{-1}, déterminer la résolution attendue de la mesure de la vitesse de rotation en tours par minute de la génératrice tachymétrique.
b. Déterminer le quantum q du convertisseur analogique numérique (voir figure 5). En déduire la résolution en tours par minute obtenue.
c. Que vaut alors la résolution de la mesure de vitesse du câble ? Conclure sur le choix de la génératrice tachymétrique.

Modélisation de la génératrice tachymétrique et de l'adaptateur

Q 4. **a.** Donner la valeur numérique en U.S.I. (Unité du Système International) du gain $\boldsymbol{K_g}$ de la génératrice tachymétrique.
b. Justifier que le gain $\boldsymbol{K_a}$ de l'adaptateur de consigne soit égal à $\frac{\boldsymbol{K_g}}{\boldsymbol{K_r}.\boldsymbol{K_c}}$ pour que les tensions $\boldsymbol{u_a}$(t) et $\boldsymbol{u_{tachy}}$(t) soient comparables (voir le modèle de la figure 4, page 5).

Modélisation électrique du moteur à courant continu

Q 5. Citer un inconvénient de ce type de motorisation. Quelle autre solution aurait pu être utilisée ?

Le moteur à courant continu retenu par la société Poma est le LAKC 4355C de TT-Electric dont les caractéristiques sont les suivantes :

Puissance nominale	$P_n = 673$ kW	Résistance d'induit	$R = 0{,}014\ \Omega$
Vitesse de rotation nominale	$N_n = 1\,273$ tours par minute	Inductance d'induit	$L = 0{,}23$ mH
Tension nominale de l'induit	$U_n = 520$ V	Tension nominale d'excitation (inducteur)	$U_{ex} = 360$ V
Courant nominal de l'induit	$I_n = 1\,430$ A	Courant nominal d'excitation (inducteur)	$I_{ex} = 11$ A

Le modèle électrique retenu pour l'induit du moteur à courant continu est le suivant :

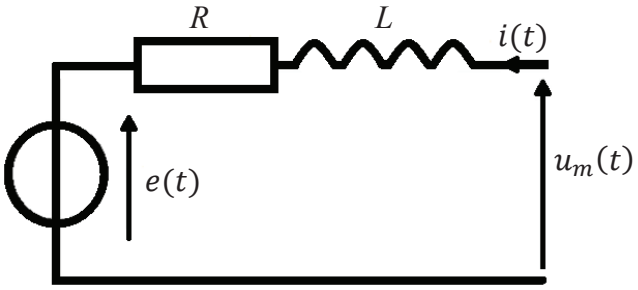


Figure 6. Modèle électrique du moteur

On rappelle que :

- la force contre-électromotrice (fcem) $e(t)$ est donnée par $e(t) = K.\Phi.\omega_m(t)$ où K est une constante caractéristique de la machine à courant continu, Φ le flux d'induction magnétique (fonction du courant d'excitation) et $\omega_m(t)$ la vitesse angulaire de rotation du rotor du moteur ;
- le couple électromagnétique est quant à lui donné par la relation $C_{em}(t) = K.\Phi.i(t)$.

Q 6. **a.** Donner l'équation électrique de l'induit du moteur. Que devient cette équation en régime permanent stabilisé : $u_m(t) = U_m$, $e(t) = E_m$, $i(t) = I_m$ et $\omega_m(t) = \Omega_m$ (constants) ? En déduire la valeur de la fcem E_n et du produit $K.\Phi$ en fonctionnement nominal ($U_m = U_n$, $I_m = I_n$, $E_m = E_n$, $\Omega_m = \Omega_n$ et $I_{ex} = 11\ A$).

b. En supposant que toutes les grandeurs sont à leurs valeurs nominales, déterminer le couple électromagnétique nominal $\boldsymbol{C_{em}}$, le couple mécanique utile $\boldsymbol{C_m}$ et le couple de perte $\boldsymbol{C_p}$ ($\boldsymbol{C_p = C_{em} - C_m}$).

La solution de pilotage choisie est un variateur de vitesse 4 quadrants SIMOREG 6RA7095 – 4GV62 de marque Siemens, qui est alimenté par une source principale pour l'alimentation de l'induit et d'une source auxiliaire pour l'alimentation de l'inducteur. Ce variateur est capable de fournir jusqu'à 2 000 A.
Deux réseaux électriques doivent alimenter ce variateur : une alimentation principale triphasée 3 x 500 V, 50 Hz pour l'induit et une alimentation auxiliaire monophasée 400 V, 50 Hz pour l'excitation.

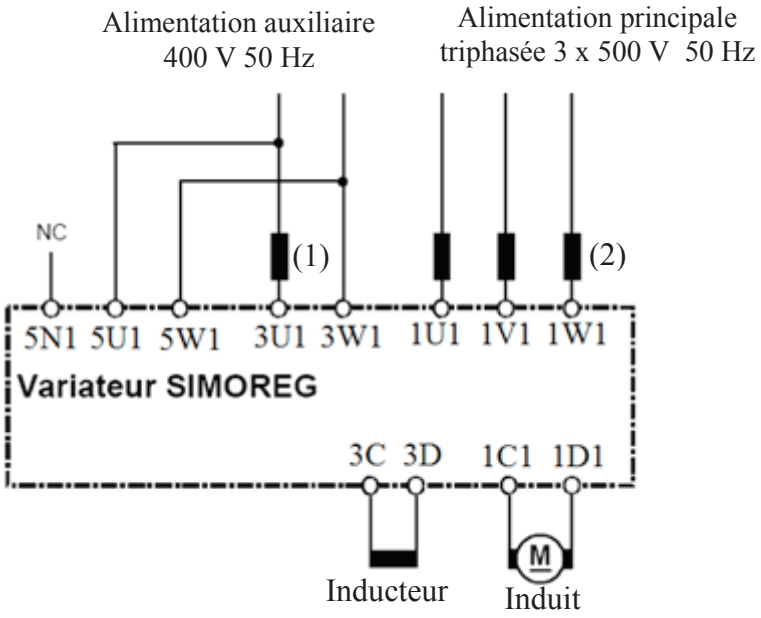


Figure 7. Schéma de câblage du variateur SIMOREG 6RA7095 – 4GV62

Les convertisseurs statiques utilisés dans ce variateur sont des redresseurs commandés. La tension d'alimentation de l'induit est donnée par l'expression : $U_m = \frac{3\sqrt{2}.U}{\pi}.cos\psi$, avec ψ angle de retard à l'amorçage ($0 \leq \psi \leq 180°$) des interrupteurs (thyristors) et U la valeur efficace de la tension entre les phases de l'alimentation triphasée principale (U = 500 V).

Pour respecter la norme EN55011 concernant les perturbations sur le réseau, Siemens préconise l'installation de dispositifs antiparasitage (1) et (2) (voir figure 7) en amont du variateur. Sans ces filtres, les courants parasites seraient trop importants pour les réseaux d'alimentation.

Q 7. **a.** Quel dipôle passif peut-on utiliser dans ces dispositifs d'antiparasitage ?
b. Déterminer les tensions d'induit maximale U_{max} et minimale U_{min} que peut fournir le variateur. Préciser la valeur de l'angle d'amorçage ψ_n pour obtenir la tension nominale de l'induit du moteur.
c. Déterminer la tension U_d maximale admissible au démarrage sachant que le courant maximal est de 2 000 A. Préciser la valeur de l'angle d'amorçage ψ_d.

L'ensemble moto-variateur doit être déclassé compte-tenu de l'altitude de 2 227 m de la gare motrice de la remontée mécanique. En effet, avec l'altitude, l'air est moins dense et le refroidissement se fait moins bien.

Ce déclassement se traduit par une limitation à 1 200 A du courant d'induit fourni par le variateur.
On supposera le couple de perte C_p = 320 N.m.

Q 8. **a.** Pour un couple mécanique utile C'_m de 5 050 N.m, déterminer la nouvelle valeur du produit $K.\Phi'$ pour un courant I' de 1 200 A. En déduire la nouvelle valeur de la fcem E' ainsi que la nouvelle valeur de la tension d'alimentation d'induit U'_m pour la vitesse de rotation nominale. Préciser la valeur de l'angle de retard à l'amorçage ψ'_n.
b. Comme $K.\Phi'$ est supposé proportionnel au courant d'excitation, déterminer la nouvelle valeur de courant d'excitation I'_{ex} dans l'inducteur que doit fournir le variateur.

Pour l'étude de l'asservissement de vitesse, on supposera le courant d'excitation constant et le couple de pertes au niveau du moteur négligeable : I'_{ex} = 13,4 A. De plus, $E = K.\Phi.\omega_m = K_e.\omega_m$ et $C_m \simeq C_{em} = K.\Phi.I = K_t.I$ avec K_e = 4,6 V.s et K_t= 4,6 N.m.A^{-1}.

Q 9. **a.** Les conditions initiales étant nulles, donner les transformées dans le domaine de Laplace des 3 équations temporelles modélisant le comportement électrique du moteur :

$$\begin{cases} u_m(t) = e(t) + R.i(t) + L.\dfrac{di}{dt} \\ e(t) = K_e.\omega_m(t) \\ C_m(t) = K_t.i(t) \end{cases}$$

b. Compléter les blocs 1, 2 et 3 du document réponse DR1.

<u>Modèle dynamique de l'ensemble en mouvement</u>

L'objectif est ici de proposer le modèle dynamique de l'ensemble en mouvement.

<u>Hypothèses</u>

- Pour cette sous-partie, on se placera dans le cas de charge suivant :
  - à la montée 100 % des sièges transportent 6 personnes ;
  - à la descente 30 % des sièges transportent 6 personnes.
- Les masses du câble, des sièges et des personnes transportées seront uniformément réparties le long du câble, ainsi μ_m sera la masse linéique moyenne à la montée et μ_d sera la masse linéique moyenne à la descente.

Q 10. Pour le cas de charge étudié, donner l'expression de la masse linéique moyenne à la montée μ_m en fonction de μ_c, m_v, m_{6p} et d, donnés dans le tableau 1, page 4. Donner l'expression de la masse linéique moyenne à la descente μ_d en fonction de μ_c, m_v, m_{6p} et d. Effectuer les applications numériques.

Dans la suite, on étudiera l'ensemble des pièces mobiles du système contribuant majoritairement à l'inertie équivalente : Σ = {arbre moteur, volant d'inertie, pièces mobiles du réducteur, poulie motrice, poulie réceptrice, câble à la montée, câble à la descente, sièges, skieurs}.

<u>Modélisation des actions mécaniques sur l'ensemble Σ</u>

- Sur la partie du câble montant de longueur L et de pente moyenne α (voir figure 2, page 3), on considérera les actions mécaniques suivantes :
  - le poids de l'ensemble (câble, sièges, skieurs) de masse linéique μ_m ;
  - la résultante des actions des galets sur le câble qui se décompose en une composante normale et une composante tangentielle s'opposant au mouvement du câble de module $f_m = 0{,}03.\mu_m.g.L$.
- Sur la partie du câble descendant de longueur L et de pente moyenne α, on considérera les actions mécaniques suivantes :
  - le poids de l'ensemble (câble, sièges, skieurs) de masse linéique μ_d ;

- la résultante des actions des galets sur le câble qui se décompose en une composante normale et une tangentielle s'opposant au mouvement du câble de module $f_d = 0{,}03.\mu_d.g.L$.

- Les liaisons pivots intervenant dans la chaine de transmission de puissance seront considérées parfaites.
- L'accélération de la pesanteur sera prise égale à g = 9,81 m.s^{-2}.

Q 11. **a.** Donner l'expression de l'énergie cinétique galiléenne de l'ensemble Σ. En déduire l'expression de l'inertie équivalente I_{eq} de l'ensemble Σ ramenée sur l'arbre moteur en fonction de μ_m, μ_d et des différentes grandeurs définies dans le tableau 1, page 4. Effectuer l'application numérique.
b. Déterminer l'expression des puissances des actions mécaniques extérieures et intérieures au système isolé Σ.

Q 12. **a.** En appliquant le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble Σ, donner sous la forme $I_{eq}.\dot{\omega}_m(t) = C_m(t) - C_r(t)$, la relation liant l'accélération angulaire $\dot{\omega}_m$ au couple moteur C_m. On donnera l'expression de C_r en fonction des différentes caractéristiques définies dans le sujet. Effectuer l'application numérique.
b. Compléter le bloc 4 du document réponse DR1 à l'aide de l'expression trouvée précédemment que l'on aura pris soin d'exprimer dans le domaine de Laplace.

Vérification des performances du système

Le modèle retenu pour l'asservissement est celui du document réponse DR1 avec les valeurs des grandeurs trouvées précédemment.
On suppose que la fonction de transfert du variateur (redresseur commandé alimentant l'induit avec sa commande) est un gain pur : K_d = 1/10.
Le variateur de vitesse permet d'assurer l'asservissement de vitesse. Pour cela, il convient de régler les deux paramètres du correcteur proportionnel-intégral utilisé : le gain proportionnel K_p et le gain intégral K_i, ces valeurs étant réglables de 0 à 100.

$C(p)$ est la fonction de transfert du correcteur : $C(p) = K_p + \frac{K_i}{p}$
Les performances attendues sont :

Précision	Erreur statique inférieure à 0,1 m.s^{-1}
Rapidité	Temps de réponse à 5 % inférieur à 40 s
Stabilité	Marge de phase minimale de 45°

Pour prendre en compte les non-linéarités et notamment les saturations existantes, ce modèle a été implanté sous Scilab et est donné en annexe 4. Des simulations à l'aide de ce logiciel permettront de déterminer les paramètres adéquats du correcteur (K_p *et* K_i). Le couple résistant sera supposé constant C_r = 2 660 N.m.
Attention, dans le logiciel Scilab, la variable de Laplace n'est pas notée « p » mais « s ».

Une méthode empirique a permis de déterminer les coefficients : K_p = 20 et K_i = 10. Nous allons vérifier si ces valeurs permettent de valider les performances attendues. La simulation de la réponse temporelle avec les valeurs obtenues est donnée sur le document réponse DR2.

Q 13. **a.** Sur le document réponse DR2, déterminer graphiquement l'erreur statique $\left(v_c - v(\infty)\right)$ et le temps de réponse t_r à 5 % pour une consigne de 5,5 m.s^{-1}.
b. Conclure quant au respect des exigences de précision et rapidité.

Une autre simulation, donnée sur le document réponse DR3, a permis d'obtenir les diagrammes de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte pour les gains déterminés empiriquement.

Q 14. **a.** Représenter et déterminer graphiquement la marge de phase M_φ sur le document réponse DR3.
b. Ces valeurs de gains empiriques permettent-elles de valider les performances attendues ?

Partie II : validation du choix des moteurs de secours retenus

L'objectif de cette partie est de valider le choix des deux moteurs de secours.

Extrait du cahier des charges pour cette partie :

Vitesse du câble en marche secours	de 0,8 m.s^{-1} à 1,8 m.s^{-1}
Nombre de moteurs en marche secours normal	2
Nombre de moteurs en marche secours dégradé	1

Les différentes grandeurs et valeurs numériques utiles à cette partie sont regroupées dans le tableau 2 :

Eléments	Caractéristiques et notations
2 Moteurs de secours asynchrones triphasés SIEMENS 75 kW de référence 1LE1501-2DA03-4AA4	Couple d'un seul moteur de secours : C_{ms}
	Vitesse de rotation : ω_{ms}
	Puissance utile : P_u = 75 kW
	Tension nominale : U = 400 V
	Courant nominal : I = 133 A
	Fréquence : f = 50 Hz
	Vitesse de rotation nominale : N_n = 2 978 tours par minute
	Rendement : η = 93,8 %
	Facteur de puissance : cos φ = 0,87
2 Réducteurs par moteur	Rapport de réduction primaire : $r_1 = \omega_{ms}/\omega_{pignon}$ = 32,7
	Réduction secondaire : r_2, couronne : Z_c = 220 et pignon : Z_p = 16
	Rendement des deux réducteurs : η = 1
Poulie motrice	Rayon: R_p = 2,45 m

Tableau 2. Caractéristiques techniques du TSD6 et notations utilisées pour la partie II

Couple moteur nécessaire

L'objectif est de déterminer le couple des moteurs de secours nécessaire à l'évacuation des skieurs.

Lors d'un dysfonctionnement de la motorisation principale ou lors d'une coupure électrique, les deux moteurs électriques de secours prennent le relais et permettent d'évacuer les skieurs. Il est alors nécessaire de désaccoupler le réducteur principal de la poulie motrice. En cas de secours, deux moteurs électriques asynchrones sont donc utilisés. La puissance de chaque moteur est transmise à un premier réducteur de rapport de réduction r_1, puis transmise à un ensemble pignon-couronne, la couronne étant solidaire de la poulie motrice. Ceci est illustré sur la figure 8, page 12. Le nombre de dents de la couronne est noté Z_c et le nombre de dents du pignon est noté Z_p.

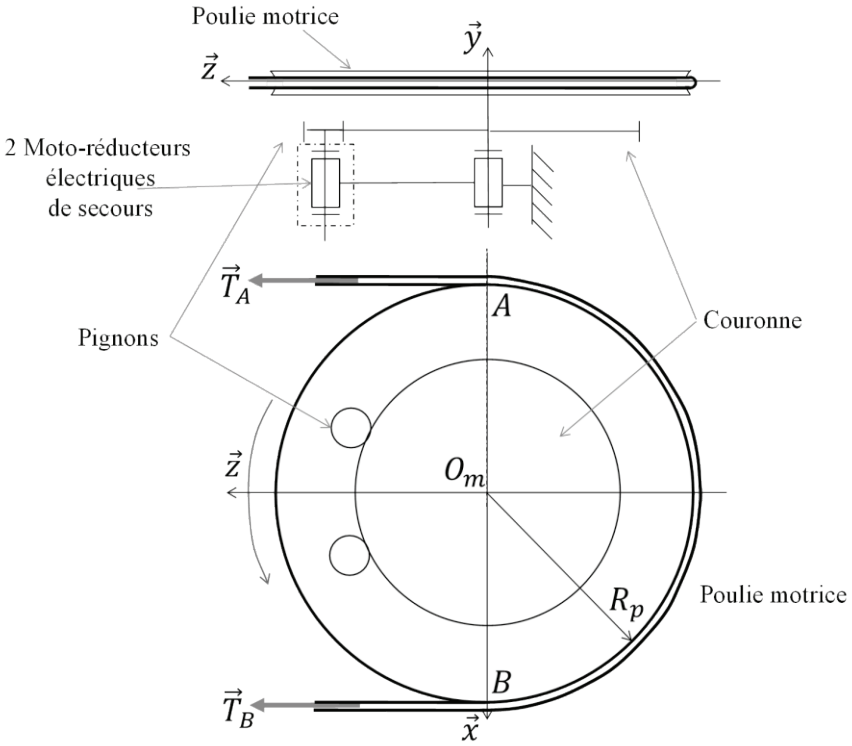


Figure 8. Motorisations de secours

Hypothèses

- On considérera les cas limites de fonctionnement :
  - au début de l'évacuation à la montée, 100 % des sièges sont pleins entrainant une tension du câble T_B = 337 000 N ;
  - à la fin de l'évacuation à la montée, 100 % des sièges sont vides entrainant une tension du câble T_B = 282 000 N.
- Du début à la fin de l'évacuation, les sièges à la descente sont vides entrainant une tension du câble T_A = 260 000 N.
- On considérera que l'on se place en régime établi et que les liaisons sont parfaites.

Q 15. Donner l'expression de C_{ms} en fonction de T_B, T_A et des différentes caractéristiques introduites dans cette partie. Faire l'application numérique de C_{ms} au début de l'évacuation et à la fin de l'évacuation.

Pour la suite, nous prendrons les valeurs suivantes :

- C_{ms} = 210 N.m au début de l'évacuation ;
- C_{ms} = 60 N.m à la fin de l'évacuation.

Validation des moteurs de secours

La solution choisie par la société Poma est le moteur asynchrone triphasé SIEMENS 75 kW de référence 1LE1501-2DA03-4AA4. Les caractéristiques données par le constructeur sont regroupées dans le tableau 2, page 11.

L'objectif est de valider la solution retenue : les moteurs doivent assurer la marche de secours avec une vitesse du câble comprise entre 0,8 m.s^{-1} et 1,8 m.s^{-1} en marche avant ou arrière. Dans le cas d'une défaillance d'un des moteurs de secours, l'autre pourra assurer le fonctionnement.

Q 16. Pour une utilisation au point de fonctionnement nominal de la machine, déterminer les grandeurs suivantes :
- la fréquence de rotation N_s, exprimée en tours par minute du champ tournant statorique ;
- le nombre de paires de pôles p de la machine ;
- le glissement nominal g_n.

Le choix d'un moteur ne peut être validé que si celui-ci peut assurer le fonctionnement dans le cas d'un mode dégradé (un seul moteur fonctionnant).
Pour cela, des essais à vide et à rotor bloqué, donnés par le constructeur, ont permis d'établir le modèle équivalent d'une phase du moteur asynchrone.

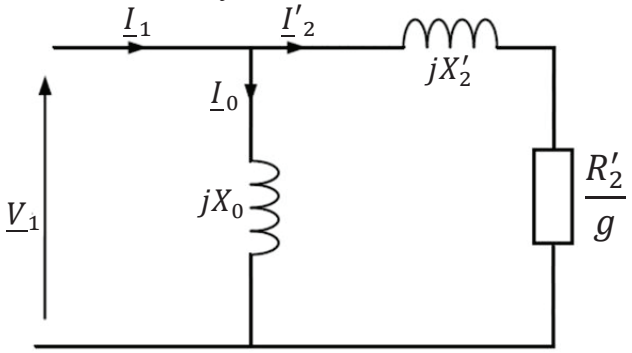


Figure 9. Modèle équivalent d'une phase du moteur asynchrone

V_1 = 230 V R'_2 = 10,5 mΩ X'_2 = 0,23 Ω X_0 = 4,76 Ω

Q 17. Déterminer l'expression de la valeur efficace du courant I'_2 en fonction de V_1, X'_2, R'_2 et g.

Pour la suite, nous négligerons les pertes mécaniques du rotor, donc le couple mécanique sera égal au couple électromagnétique.

Q 18. **a.** Déterminer les expressions de la puissance transmise au rotor P_{tr} et de la puissance mécanique $P_{méca}$ en fonction de V_1, X'_2, R'_2 et g.
b. Montrer que le couple électromagnétique développé par la machine peut se mettre sous la forme : $C_{ms} = \frac{3.p.V_1^2}{\omega}.\frac{\frac{R'_2}{g}}{\left(\frac{R'_2}{g}\right)^2+\left(X'_2\right)^2}$ avec $\omega = 2.\pi.f$.
c. Déterminer le glissement g_M tel que le couple électromagnétique C_{ms} soit maximal en fonction de R'_2 et de X'_2. Faire l'application numérique.

Pour la suite, nous prendrons $g_M = 0{,}046$.

<u>Fonctionnement « dégradé » de la marche de secours</u>

Remarque : les glissements aux points de fonctionnement stables sont **<u>inférieurs</u>** au glissement g_M.

Q 19. **a.** Déterminer les glissements g'_1 et g'_2 pour des couples moteurs respectifs C'_{ms1} = 420 N.m (début d'évacuation) et C'_{ms2} = 120 N.m (fin d'évacuation).
b. En déduire les vitesses de translation en début et en fin d'évacuation.

Conclusion

Q 20. À partir des résultats obtenus aux questions précédentes, valider le choix du moteur de secours retenu.

Partie III : respect et mesures des tensions du câble

Les objectifs de cette partie sont :

- de vérifier que les niveaux de tension du câble permettent un fonctionnement sans risques ;
- de vérifier la nécessité ou non de l'amplification du signal issu du capteur de tension ;
- de dimensionner les condensateurs nécessaires au filtrage du signal issu du capteur de tension.

Vérification des tensions du câble pour assurer un bon fonctionnement

Respect des tensions minimales et maximales

La tension la plus faible le long du câble doit respecter certains critères. Elle doit être en tout point suffisante pour :

- éviter une déflexion limite (β en rad) du câble due au poids du siège et des skieurs (voir figure 10) ;
- éviter une courbure limite (R_c en m) du câble due au poids linéique (voir figure 11).

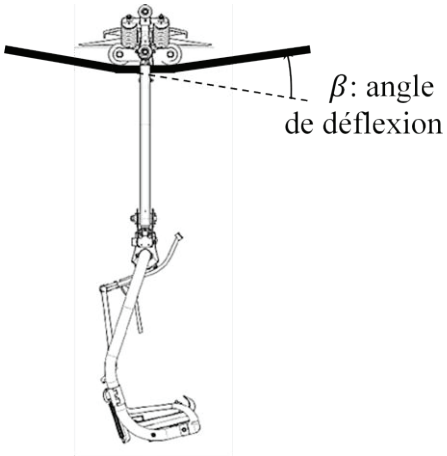


Figure 10. Déflexion du câble

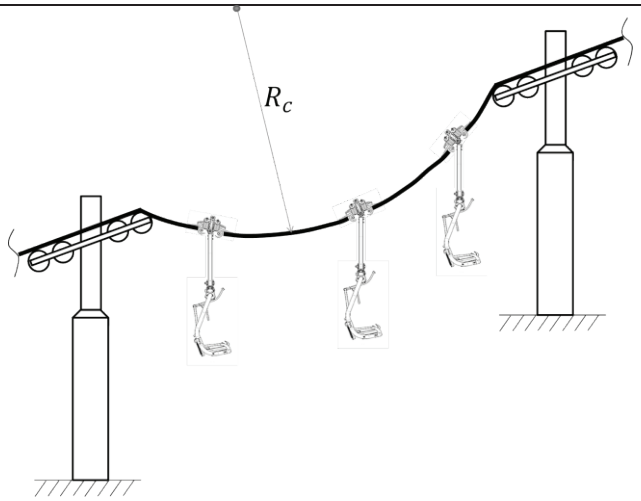


Figure 11. Courbure du câble

Pour éviter une déflexion trop importante, on admet que $T \geq 15.P_{siège+6personnes}$ avec T la tension au sein du câble et $P_{siège+6personnes}$ le poids du siège transportant 6 personnes. Pour éviter une déformation du câble trop importante, on admet que le rayon de courbure $R_c = \frac{T}{g.\mu_m}$ doit être supérieur ou égal à 300 m.

Enfin, la tension la plus importante le long du câble doit être bien inférieure à la tension de rupture T_{rupt} de celui-ci.

Extrait du cahier des charges pour cette partie :

Déflexion maximale du câble	$T \geq 15.P_{siège+6personnes}$
Rayon de courbure minimale du câble	$R_c = \frac{T}{g.\mu_m} \geq 300$ m
Tension à rupture	$T_{rupt} = 160\ 500$ daN
Coefficient de sécurité retenu	$S_c = 4$

Evolution de la tension au sein du câble à la montée et à la descente

Hypothèses

Pour cette partie, on se placera dans le cas de charge suivant :

- à la montée 100 % des sièges transportent 6 personnes ;
- à la descente 30 % des sièges transportent 6 personnes.

À la montée, entre la poulie réceptrice et la poulie motrice, la tension au sein du câble évolue entre T_0 et T_B avec $T_B > T_0$. À la descente, entre la poulie motrice et la poulie réceptrice, la tension au sein du câble évolue entre T_A et T_0 avec $T_A > T_0$. Ceci est illustré sur la figure 12.

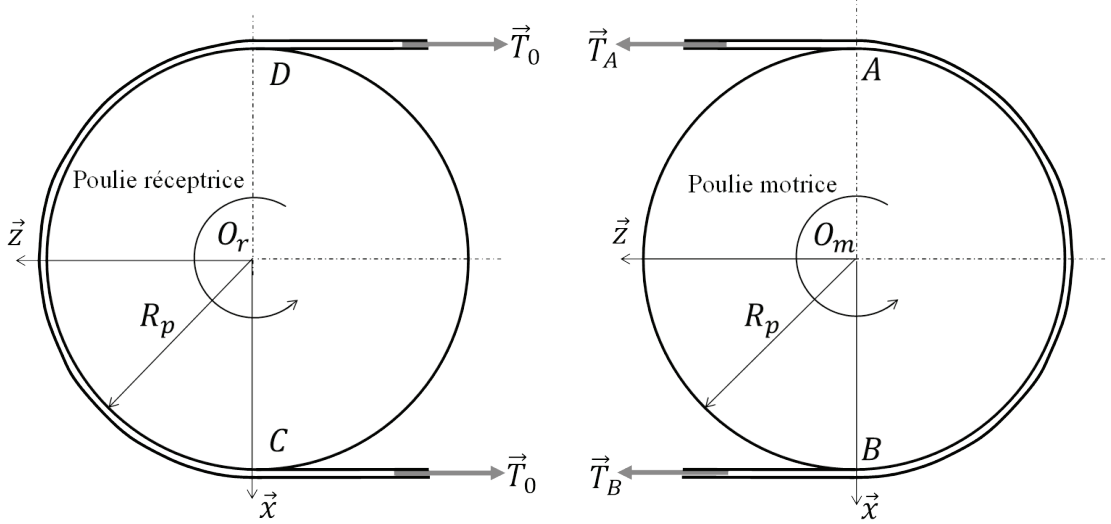


Figure 12. Tensions du câble à l'entrée et à la sortie des poulies réceptrice et motrice

Modélisation

Les évolutions de tension au sein du câble entre les deux poulies sont dues au poids du câble, aux poids des sièges et des skieurs ainsi qu'aux pertes dues à la résistance au roulement entre le câble et les galets-supports. On admet que les évolutions de tension au sein du câble sont données par les relations suivantes :

- $T_B = T_0 + \mu_m . g . (H + 0{,}03 . L)$;
- $T_A = T_0 + \mu_d . g . (H - 0{,}03 . L)$

avec μ_m la masse linéique moyenne (en kg.m^{-1}) de l'ensemble {câble, sièges, skieurs} à la montée et μ_d la masse linéique (en kg.m^{-1}) de l'ensemble {câble, sièges, skieurs} à la descente.

On prendra les valeurs suivantes :

- μ_m = 36,1 kg.m^{-1} ;
- μ_d = 26,7 kg.m^{-1}.

Q 21. **a.** En quel(s) point(s) de la figure 12 la tension au sein du câble est-elle la plus importante ? De même, en quel(s) point(s) de la figure 12 la tension au sein du câble est-elle la plus faible ?

b. Parmi T_0, T_A et T_B, quelle tension doit satisfaire aux critères de déflexion et de déformation ? Donner alors les valeurs numériques minimales de ces trois tensions en utilisant les expressions données.

Pour des raisons de résistance, la tension maximale au sein du câble doit être limitée. Pour cela, on considérera la tension de rupture du câble T_{Rupt} et un coefficient de sécurité de 4.

Q 22. Parmi T_0, T_A et T_B, quelle tension doit satisfaire ce dernier critère ? Vérifier qu'il est respecté à partir des valeurs trouvées à la question précédente.

Pour la suite, nous prendrons les valeurs simplifiées suivantes :
T_0 = 190 000 N, T_B = 337 000 N et T_A = 272 000 N.

Mesure de la tension du câble

Les objectifs sont de justifier l'amplification ou non du signal issu du capteur de tension de câble et de choisir les condensateurs du filtre anti-parasites.

La tension est assurée grâce à un vérin hydrautec 473 kN. Celui-ci fonctionne grâce à une centrale hydraulique Ethywag 650 kN, pilotée par un automate SIMATIC de Siemens à partir des mesures de la tension par un axe dynamométrique de marque ADOS SPT 1577.

Ce capteur de tension possède une étendue de mesure de 1 000 kN et une sensibilité de 10^{-5} V.N^{-1}.

Extrait du cahier des charges pour cette partie :

Erreur de mesure	$< 1\ \%$

Le capteur peut être modélisé par une source de tension réelle (fem : V_0 et résistance interne R_s = 350 Ω), le fil de connexion par une résistance R_{fil} et le module d'entrée par une résistance d'entrée R_e = 100 kΩ, comme le montre la figure 13 :

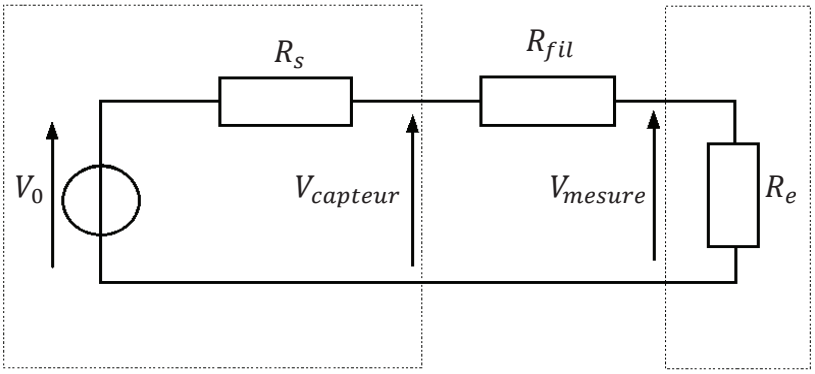


Figure 13. Modélisation électrique de la connexion du capteur sur le module d'entrée automate

Q 23. Déterminer la résistance du fil R_{fil} sachant que la longueur du fil est L_{fil} = 20 m, sa section S_{fil} = 0,5 mm² et la résistivité du cuivre est $\rho_{cu} = 22{,}5\ .10^{-3}$ Ω.mm².m^{-1}.

Q 24. **a.** Pour un effort de 418 000 N (cela correspond au seuil de déclenchement d'une alarme), déterminer V_0 puis V_{mesure}. En déduire l'erreur de mesure obtenue due à la présence du fil.
b. Conclure sur la nécessité ou non d'une amplification de tension.

Le câble est soumis à de nombreuses sources de bruits (les variateurs de vitesses, les passagers, etc.). Aussi, il convient de mettre en place un filtrage à l'entrée du module de l'automate. Le filtrage à mettre en place doit respecter le gabarit de la figure 14, page 17.

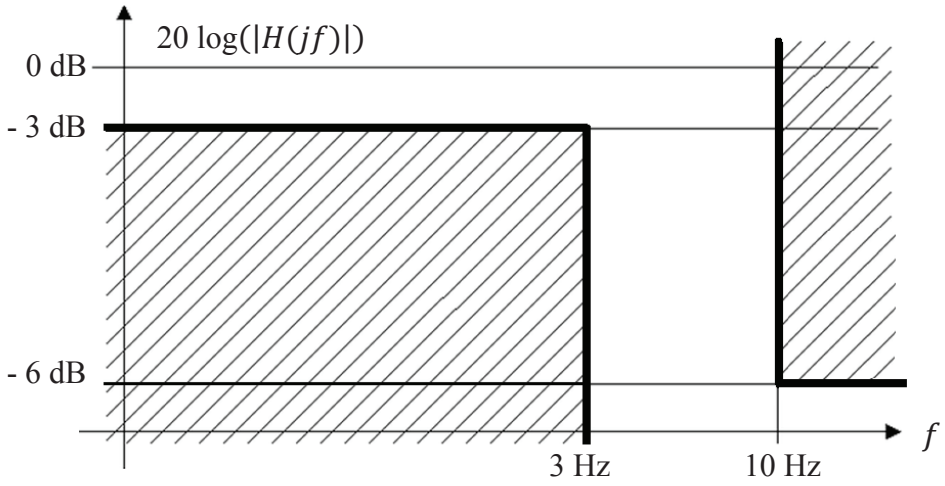


Figure 14. Gabarit du filtre à l'entrée du module de l'automate

La solution retenue est la suivante :

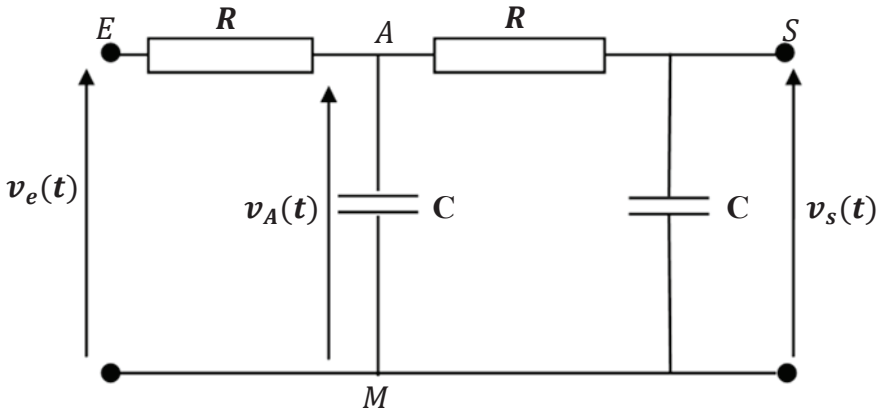


Figure 15. Filtrage passif

Il est demandé ici de déterminer la valeur de la capacité du condensateur du filtre passif pour une valeur de résistance R donnée.

Remarque : on associe aux grandeurs instantanées $v_e(t)$, $v_A(t)$ et $v_s(t)$ les grandeurs complexes $\underline{V_e}$, $\underline{V_A}$ et $\underline{V_s}$.

Q 25. **a.** Exprimer la relation liant $\underline{V_e}$, $\underline{V_A}$ et $\underline{V_s}$ puis celle liant $\underline{V_A}$ et $\underline{V_s}$. En déduire la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{V_s}}{\underline{V_e}}$.

b. Préciser la pulsation propre ω_0 et l'amortissement m de la fonction de transfert. Peut-il y avoir une pulsation de résonance ?

On suppose que $\omega_0 = 2.\pi.f_0$ avec f_0 = 10 Hz et on choisit R = 10 kΩ.

Q 26. **a.** Déterminer alors C.

b. Déterminer le gain en décibel pour f = 3 Hz et f = 10 Hz. Respecte-t-on le gabarit de la figure 14 ?

Partie IV : proposition d'une solution constructive et vérification de la tenue mécanique de la pince

Les objectifs de cette partie sont :

- de vérifier la tenue mécanique d'une des pièces de la pince débrayable supportant le siège ;

- de proposer une solution technique pour une liaison de la pince.

Vérification de la tenue mécanique de l'axe support

Extrait du cahier des charges pour cette partie :

Coefficient de sécurité retenu pour le dimensionnement des pièces de la pince	$S_c = 4$

Les différentes grandeurs et valeurs numériques utiles à cette partie sont regroupées dans le tableau 3 :

Éléments	**Caractéristiques et notations**
Siège	Masse à vide : m_v = 530 Kg
	Masse de 6 personnes : m_{6p} = 480 Kg

Tableau 3. Caractéristiques techniques du TSD6 et notations utilisées pour la partie IV

Le siège est en liaison pivot avec la pince (voir annexe 5) accrochée au câble. Cette liaison sera modélisée par deux liaisons sphériques de centres A et B, voir figure 16 ci-dessous. L'axe support (2) est considéré en liaison encastrement avec le câble.

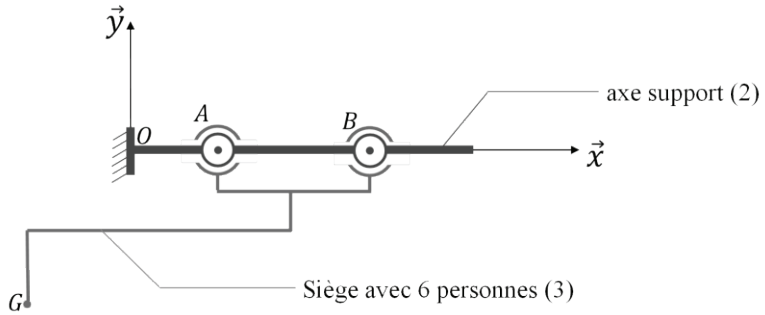


Figure 16. Liaisons entre l'axe support et le siège

Hypothèses et notations :

- G centre d'inertie du siège transportant 6 personnes ;
- $\overrightarrow{OA} = a.\vec{x}$ avec a = 75 mm, $\overrightarrow{OB} = b.\vec{x}$ avec b = 125 mm, $\overrightarrow{OG}.\vec{x} = -x_G$ avec x_G = 194 mm ;
- les liaisons sont considérées parfaites ;
- l'accélération de la pesanteur sera notée $\vec{g} = -g.\vec{y}$ avec g = 9,81 m/s² ;
- l'axe support (2) est assimilé à une poutre de section circulaire de diamètre d = 60 mm en acier dont la limite élastique R_e = 600 MPa.

Actions mécaniques de liaisons

Q 27. **a.** Démontrer que la liaison équivalente obtenue par les deux liaisons sphériques est une liaison pivot. Vous utiliserez la méthode statique en écrivant les torseurs en A.
b. Déterminer le degré d'hyperstatisme en considérant les deux liaisons sphériques du modèle proposé en figure 16, page 18. Que pouvez-vous en conclure sur la recherche des actions transmises dans les liaisons en A et B ?

Pour la suite, on considérera que le problème est plan et que la solution technologique retenue permet d'avoir des inconnues de résultante suivant $\vec{x}$ négligeables.

Q 28. **a.** Simplifier, dans ces conditions, les formes des torseurs des actions mécaniques transmises de l'axe support (2) sur le siège (3) dans les deux liaisons sphériques.
b. En appliquant le Principe Fondamental de la Statique à l'ensemble {siège, 6 passagers}, trouver les inconnues statiques introduites à la question précédente en prenant uniquement en compte le poids du siège transportant 6 personnes.

Quels que soient les résultats trouvés précédemment, nous prendrons pour la suite :

$$\{\mathcal{F}_{3\to2}^{A}\} = \left\{\begin{matrix} -F_A.\vec{y} \\ \vec{0} \end{matrix}\right\}_A \text{ avec } F_A = 63\ 200 \text{ N et } \{\mathcal{F}_{3\to2}^{B}\} = \left\{\begin{matrix} F_B.\vec{y} \\ \vec{0} \end{matrix}\right\}_B \text{ avec } F_B = 53\ 300 \text{ N}$$

Sollicitations dans l'axe support

Pour la suite, le torseur des efforts intérieurs sera écrit de la manière suivante :

$$\{\mathcal{F}_{int}\} = \left\{\begin{matrix} \vec{R}(x) = N(x).\vec{x} + T_y(x).\vec{y} + T_z(x).\vec{z} \\ \overrightarrow{M_G}(x) = M_t(x).\vec{x} + M_{fy}(x).\vec{y} + M_{fz}(x).\vec{z} \end{matrix}\right\}_{G(x)}$$

avec $G(x)$ centre d'inertie de la section droite de la poutre étudiée.

Q 29. Donner l'expression du torseur des efforts intérieurs en fonction de F_A et F_B sur chacun des deux tronçons d'étude]OA[et]AB[. À quelle(s) sollicitation(s) est soumise la poutre ?

La contribution de l'effort tranchant T_y sur la contrainte totale est négligeable. On rappelle que la contrainte normale σ_{xx} pour cette sollicitation s'écrit $\sigma_{xx}(x,y) = -\frac{M_{fz}(x).y}{I_{Gz}}$, avec $I_{Gz} = \frac{\pi d^4}{64}$, moment quadratique de la section droite de la poutre autour de l'axe (G,$\vec{z}$), en fonction de d le diamètre de l'axe.

Q 30. **a.** En tenant compte de cette remarque, quelle zone de la poutre est la plus sollicitée ?
b. Montrer que l'expression de la contrainte normale maximale positive au sein de la poutre vaut $\sigma_{xx\,Max} = \frac{32.(b-a).F_B}{\pi.d^3}$.

Vérification du dimensionnement de l'axe support

Pour dimensionner l'axe, on souhaite que la contrainte normale soit inférieure à la limite élastique R_e, corrigée d'un coefficient de sécurité S_c supérieur à 1. On considérera $S_c = 4$.

Q 31. Vérifier que l'axe est bien dimensionné pour le diamètre retenu.

Proposition d'une solution

L'objectif est de proposer une solution constructive pour la liaison pivot entre l'axe support et le siège.

Cette liaison pivot permet au siège de rester vertical quelle que soit la pente que prend le câble. La solution retenue est celle modélisée par la figure 16, page 18. Chaque liaison sphérique sera réalisée par un palier lisse à collerette défini en annexe 6. On souhaite également éviter que le siège ne se balance lors d'un changement de pente brusque du câble, notamment au passage des pylônes. Pour cela, un léger serrage axial sera effectué sur les collerettes des paliers lisses à l'aide d'un écrou.

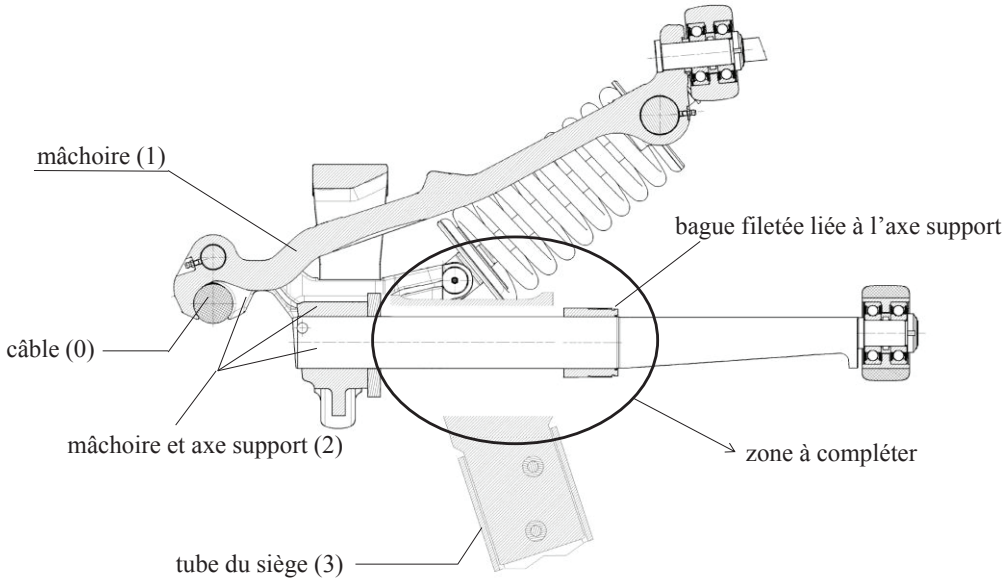


Figure 17. Pièces principales de la pince et zone à compléter

On vous demande de proposer une solution pour :

- assurer la liaison pivot avec 2 paliers lisses entre l'axe support (2) et le siège (3) ;
- finaliser la forme de la pièce en liaison encastrement avec le tube du siège.

Q 32. À partir des dimensions du document réponse DR4, choisir les dimensions du palier lisse pour assurer la liaison pivot.

Q 33. Sur la coupe A-A du document réponse DR4, proposer à main levée une solution technique permettant de réaliser les points cités ci-dessus.

Fin de l'énoncé

IMPRIMERIE NATIONALE – 16 1232 – D'après documents fournis

DANS CE CADRE

Académie : Session :

Examen ou Concours : **Concours Communs Polytechniques** Série* :

Spécialité/option : **FILIERE TSI** Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve : **SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR**

NOM :

(en majuscules, suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms :

N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

Né(e) le

NE RIEN ÉCRIRE

Examen ou Concours : **Concours Communs Polytechniques** Série* :

Spécialité/option : **FILIERE TSI**

Repère de l'épreuve : **SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR**

Épreuve/sous-épreuve :

(Préciser, s'il y a lieu, le sujet choisi)

Si votre composition comporte plusieurs feuilles, numérotez-les et placez les intercalaires dans le bon sens.

Note : /20

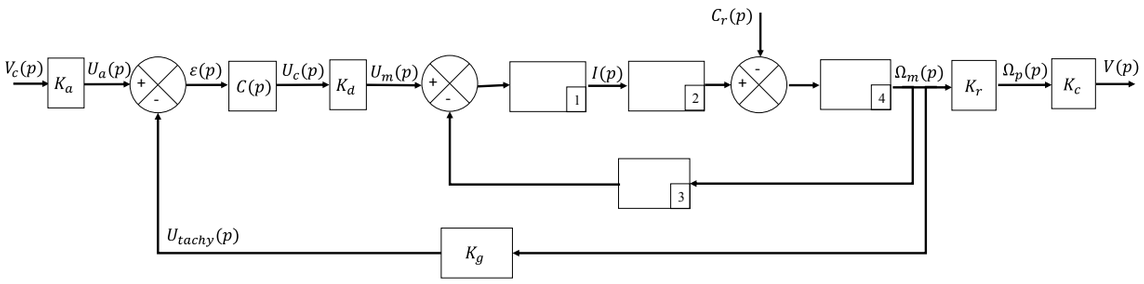
Appréciation du correcteur :*

* Uniquement s'il s'agit d'un examen.

TSISI08

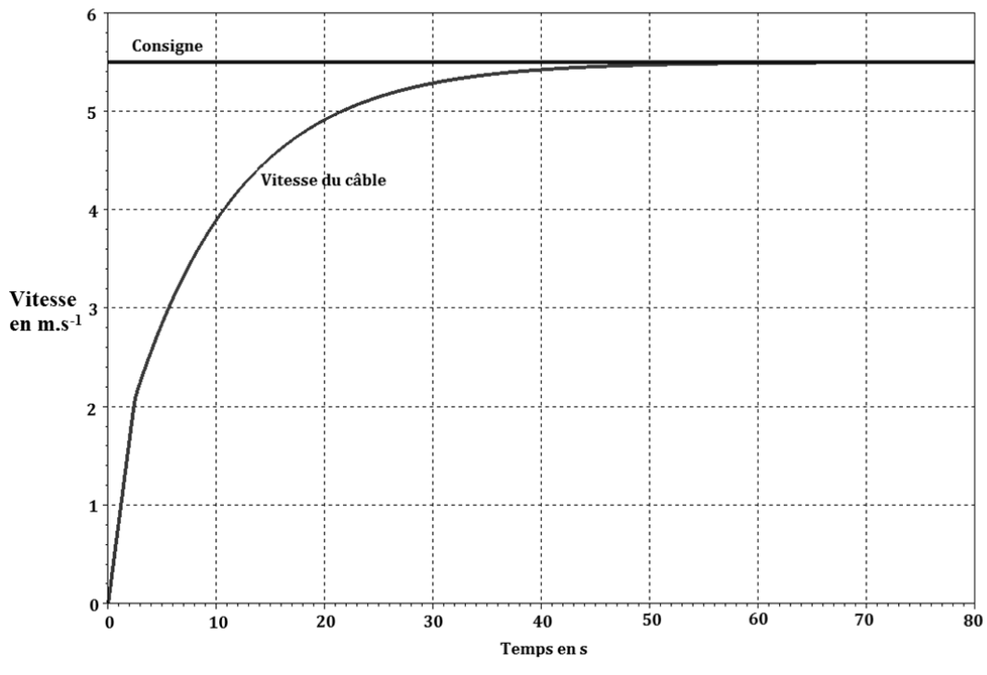
DOCUMENT RÉPONSE : DR1

Questions 9 et 12.



DOCUMENT RÉPONSE : DR2

Question 13.



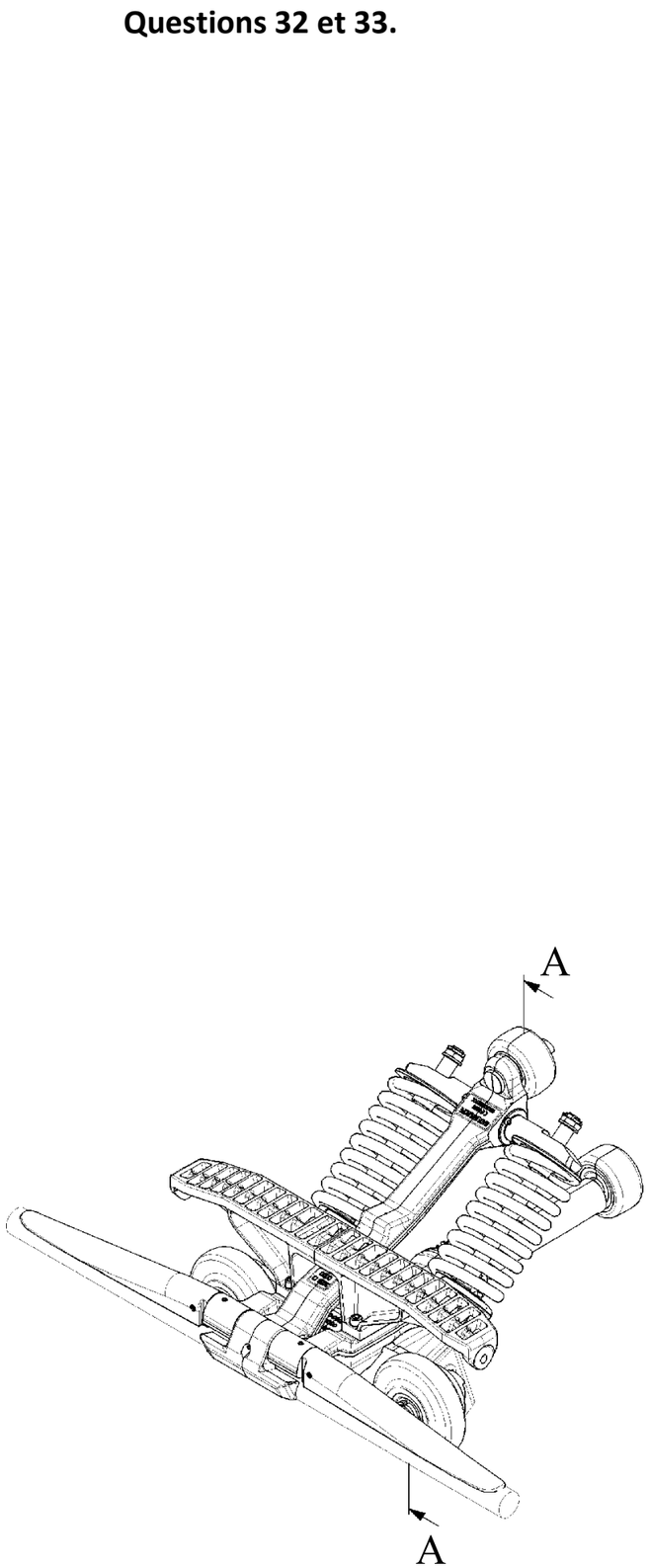
Erreur statique $(v_c - v(\infty))$ =

Temps de réponse t_r à 5 % =

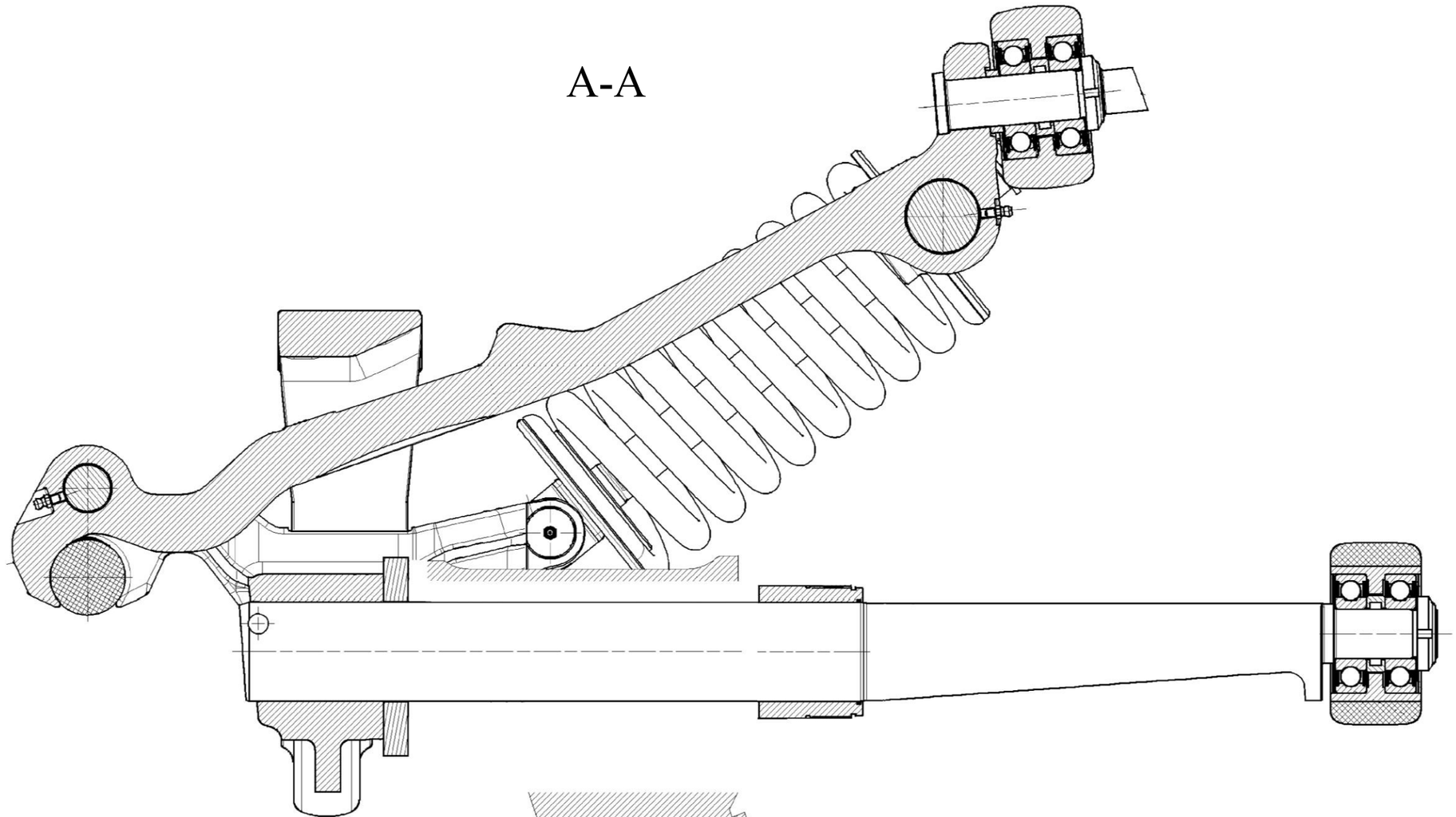
B

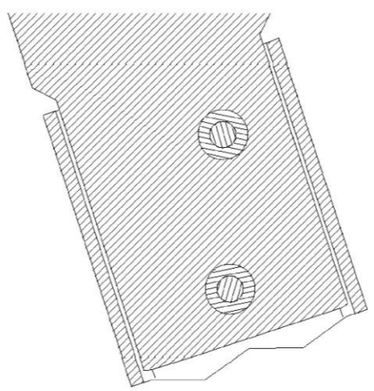
DOCUMENT RÉPONSE : DR4

Questions 32 et 33.



A-A



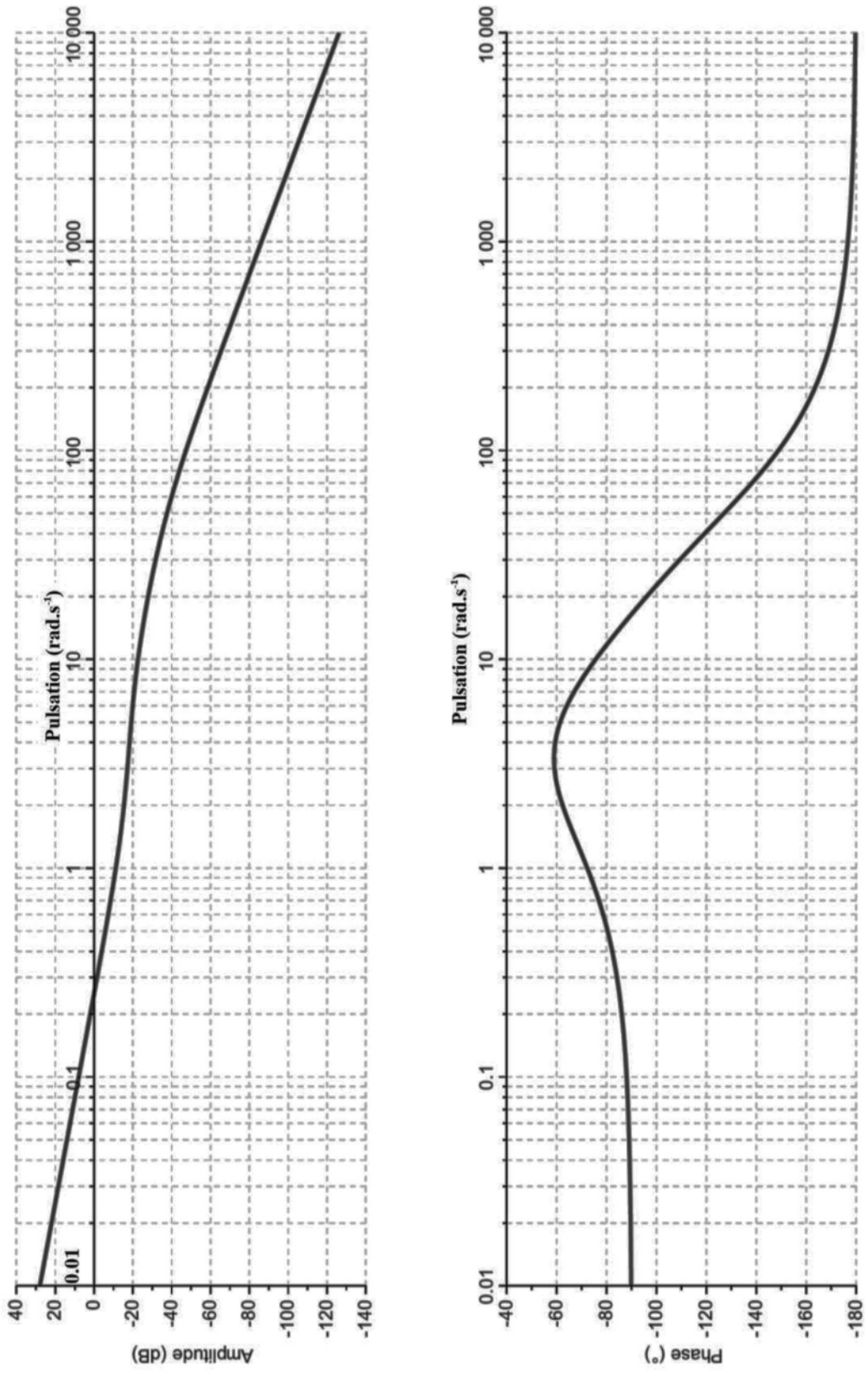


Echelle 1:3

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

DOCUMENT RÉPONSE : DR3

Question 14.



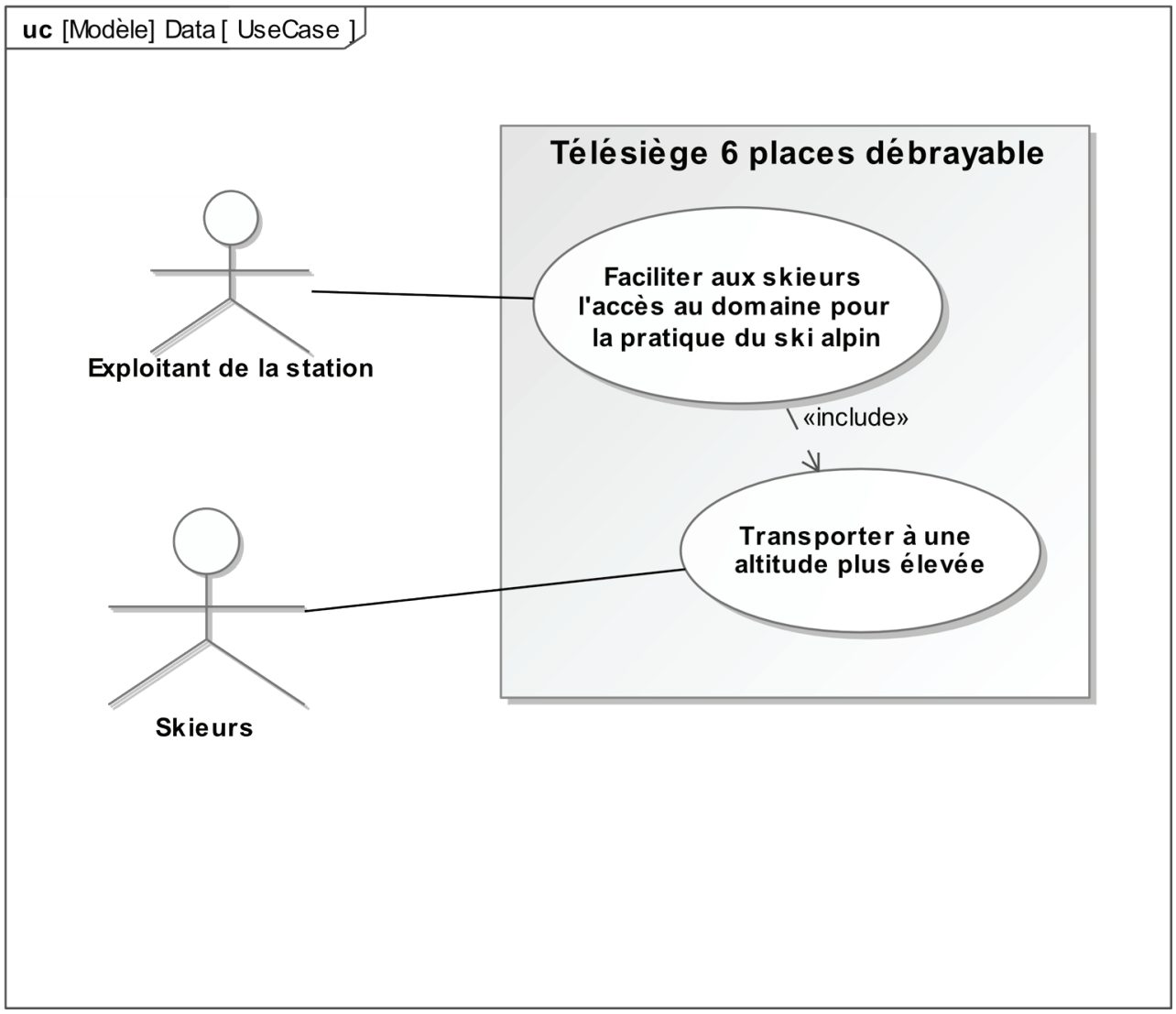
Marge de phase : $M_\varphi =$

ANNEXES :

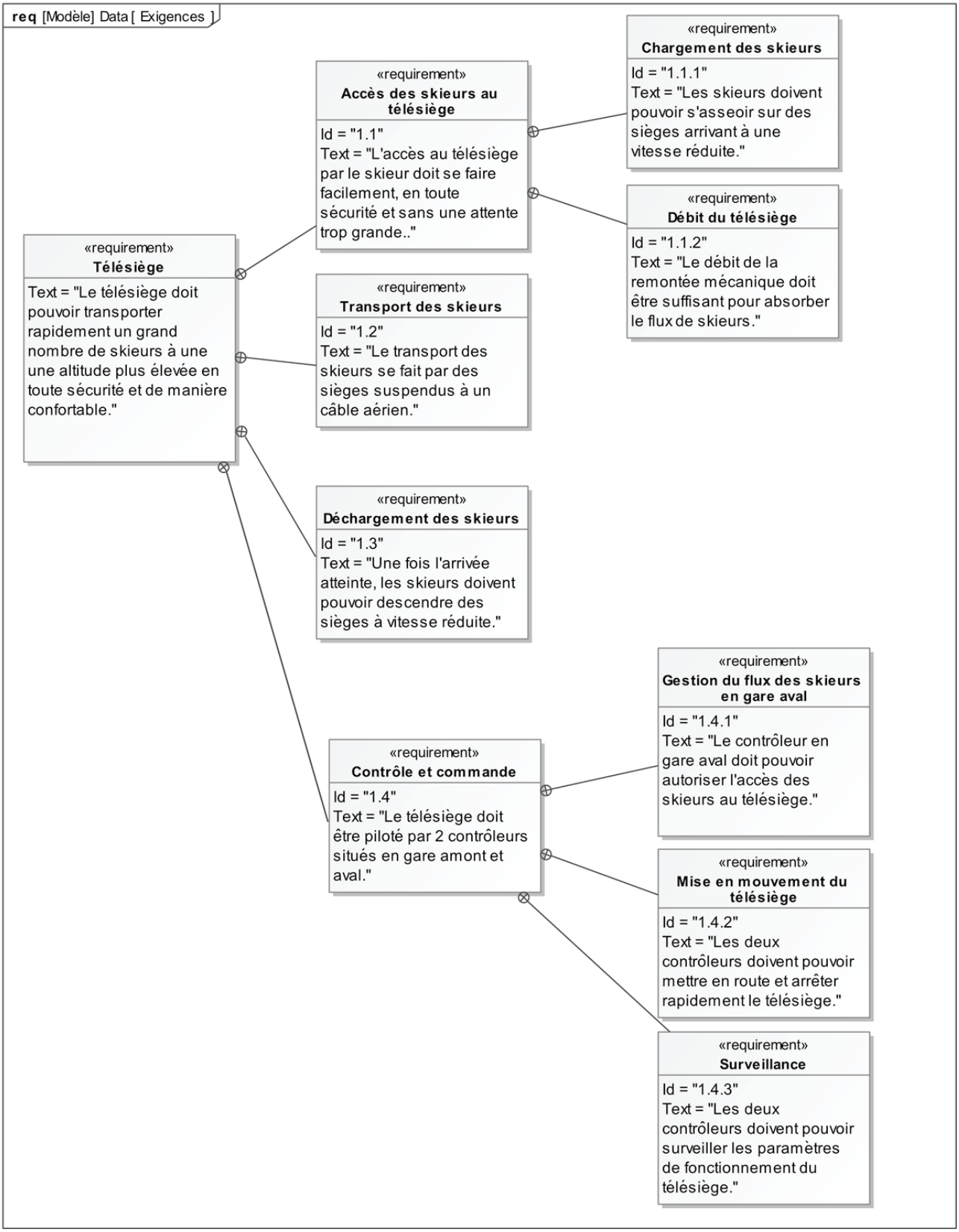
- **ANNEXE 1 : diagramme des cas d'utilisation**
- **ANNEXE 2 : diagramme des exigences**
- **ANNEXE 3 : diagramme de blocs**
- **ANNEXE 4 : modèle simulé à l'aide du module Xcos de Scilab**
- **ANNEXE 5 : pince débrayable et schéma cinématique associé**
- **ANNEXE 6 : paliers lisses à collerette nuance BP 25 en bronze**

C

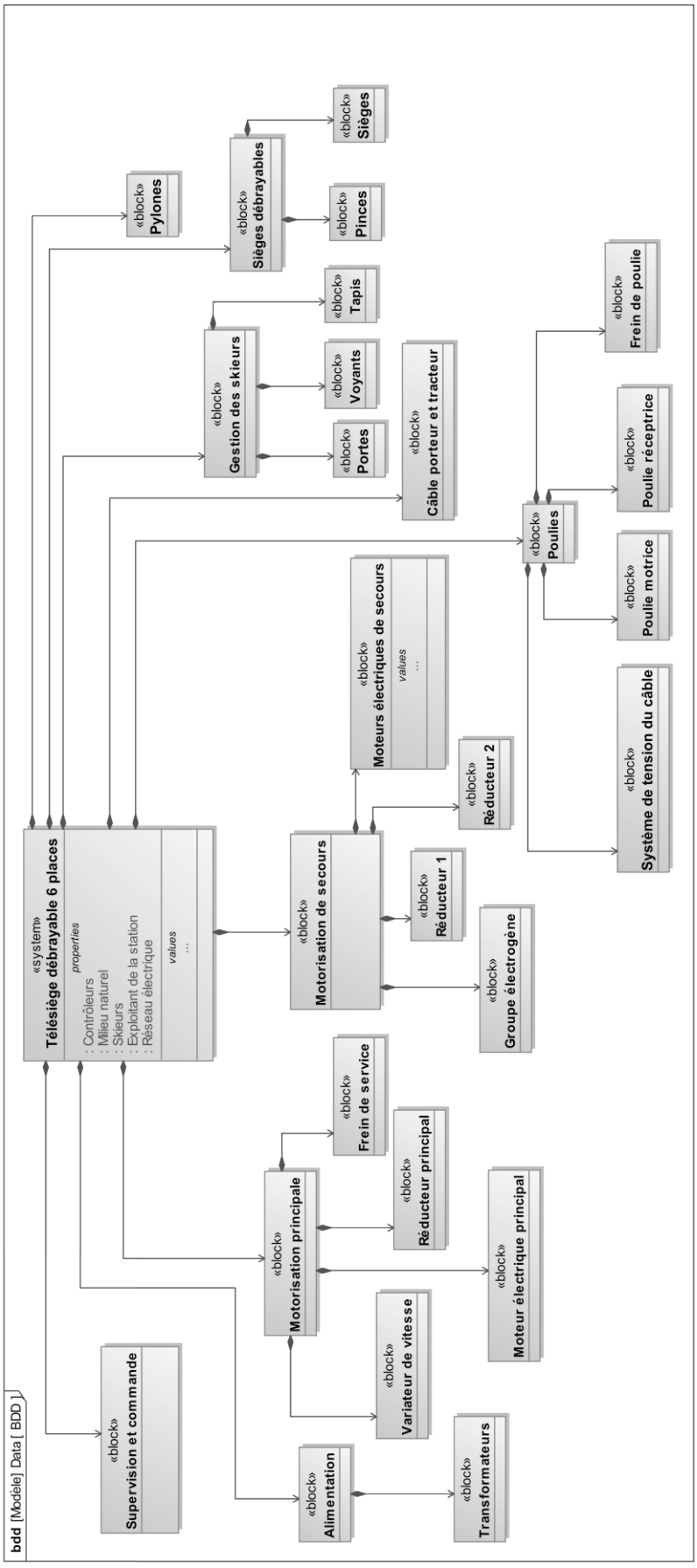
ANNEXE 1 : diagramme des cas d'utilisation



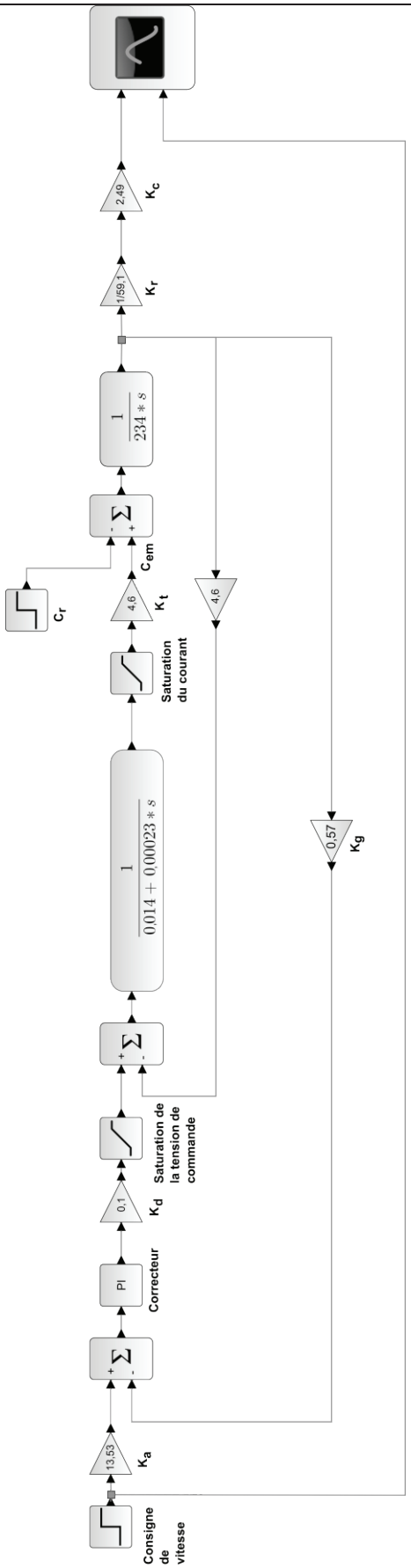
ANNEXE 2 : diagramme des exigences



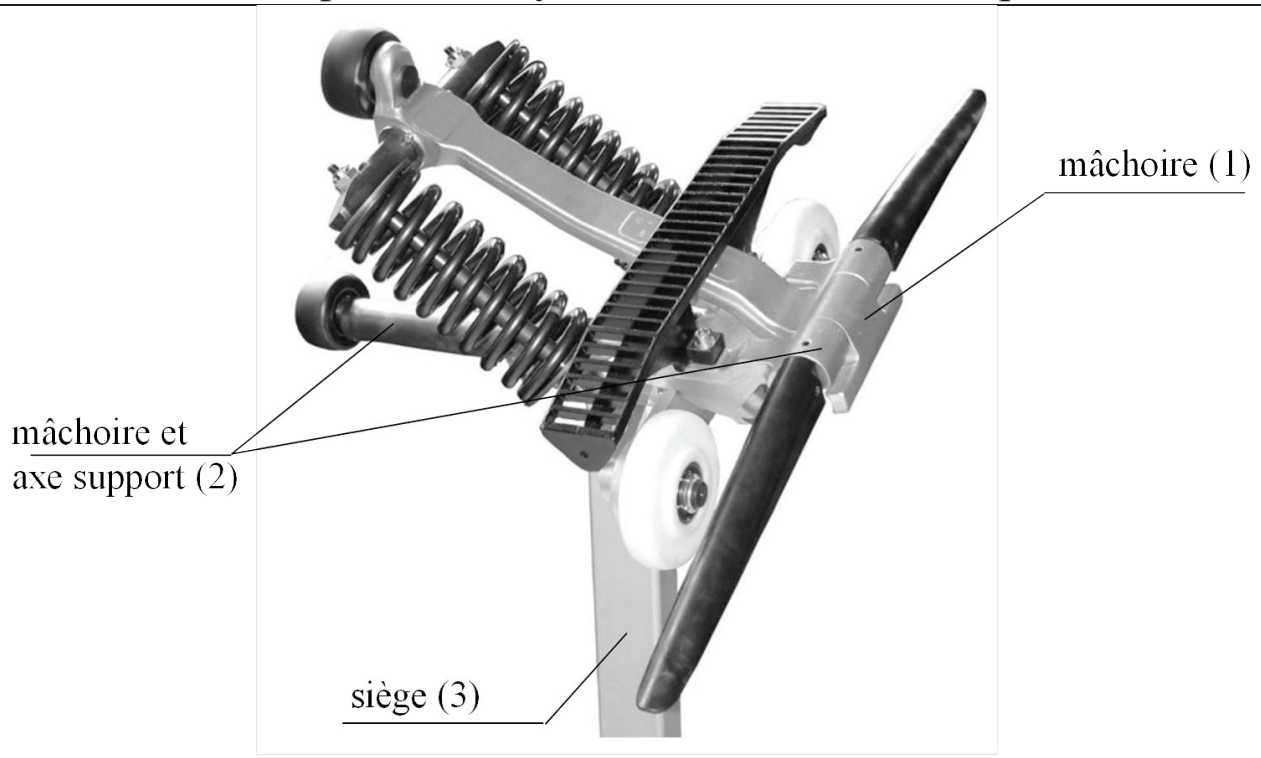
ANNEXE 3 : diagramme de blocs

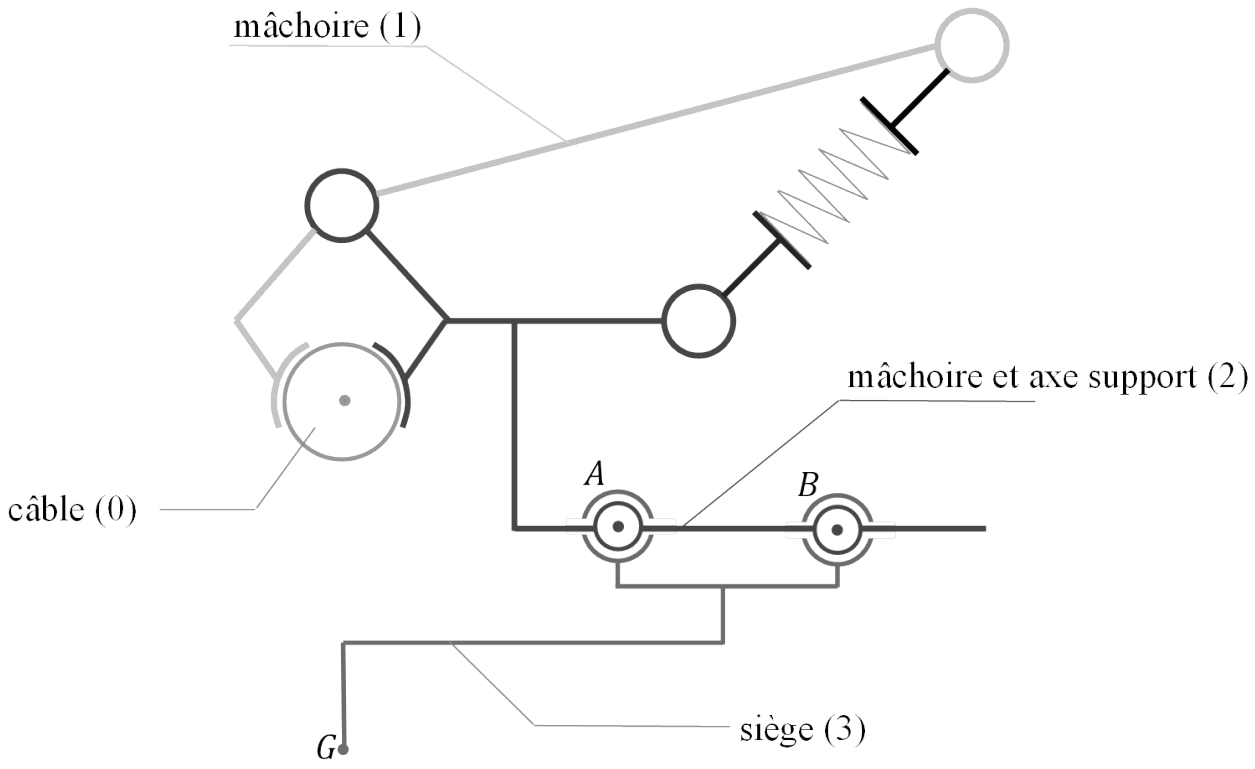


ANNEXE 4 : modèle simulé à l'aide du module Xcos de Scilab

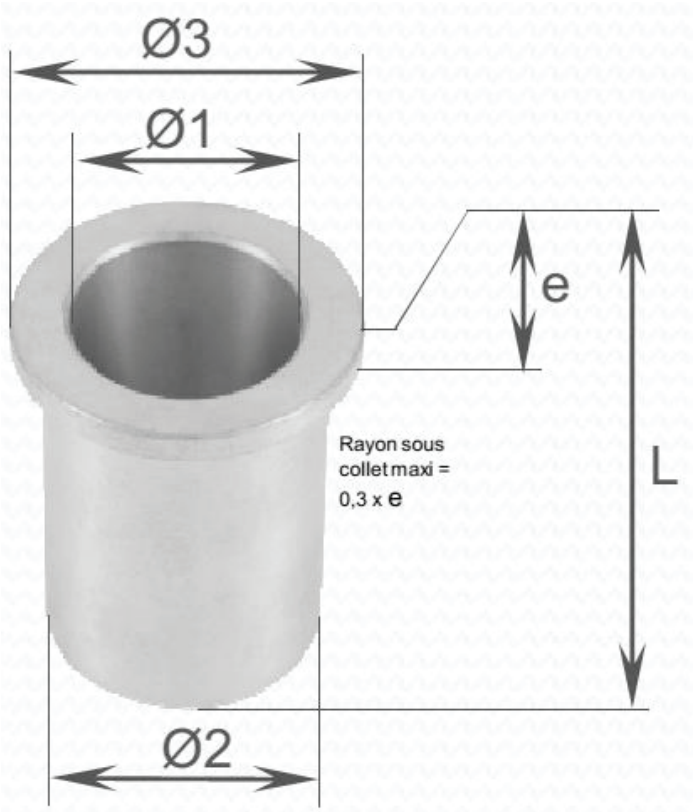


ANNEXE 5 : pince débrayable et schéma cinématique associé





ANNEXE 6 : paliers lisses à collerette nuance BP 25 en bronze



Ø Intérieur mm (Ø1)		Ø Extérieur mm (Ø2)		Collerette Ø Extérieur mm (Ø3)	Collerette Epaisseur mm (e)	Collerette Longueur Coussinet (L)
40	+64 +25	50	+82 +43	60	5	25-32-40
45	+64 +25	51	+99 +53	57	3	28-36-45
45	+64 +25	56	+99 +53	67	5,5	28-36-45
50	+64 +25	56	+99 +53	62	3	32-40-50
50	+64 +25	60	+99 +53	70	5	32-40-50
60	+76 +30	70	+105 +59	80	5	50-60

Tolérances en microns

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de TSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Cinétique : torseurs cinétique et dynamique, énergie cinétique, inertie équivalente
- Modélisation des systèmes asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité
- Transmetteurs de puissance et trains d'engrenages
- Énergétique : puissances, théorème de l'énergie cinétique, rendement
- Dynamique des systèmes de solides : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage
- Modélisation des actions mécaniques : modèles local et global, frottement, torseurs des liaisons
- Filtrage linéaire

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière :
écrire sur WhatsApp

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/ccinp/tsi