

| | | | |
|---------------------|------|-------------------------------------|------------------|
| Prépa VAUBAN | | Télesiège débrayable Biollay | Sujet |
| PTSI | P1/8 | | Prépa DS5 |

Présentation du système

Mise en situation :

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 en 2013 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 3300 personnes par heure.

Le diagramme des exigences de ce nouveau télésiège est donné dans **l'annexe 1**.

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 2. Par ailleurs, comme le montre la *figure 3*, page 2, 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 1**.

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 une seconde partie, on s'intéressera à la pince débrayable des sièges, afin de vérifier le dimensionnement des ressorts et de concevoir le guidage en rotation du siège.

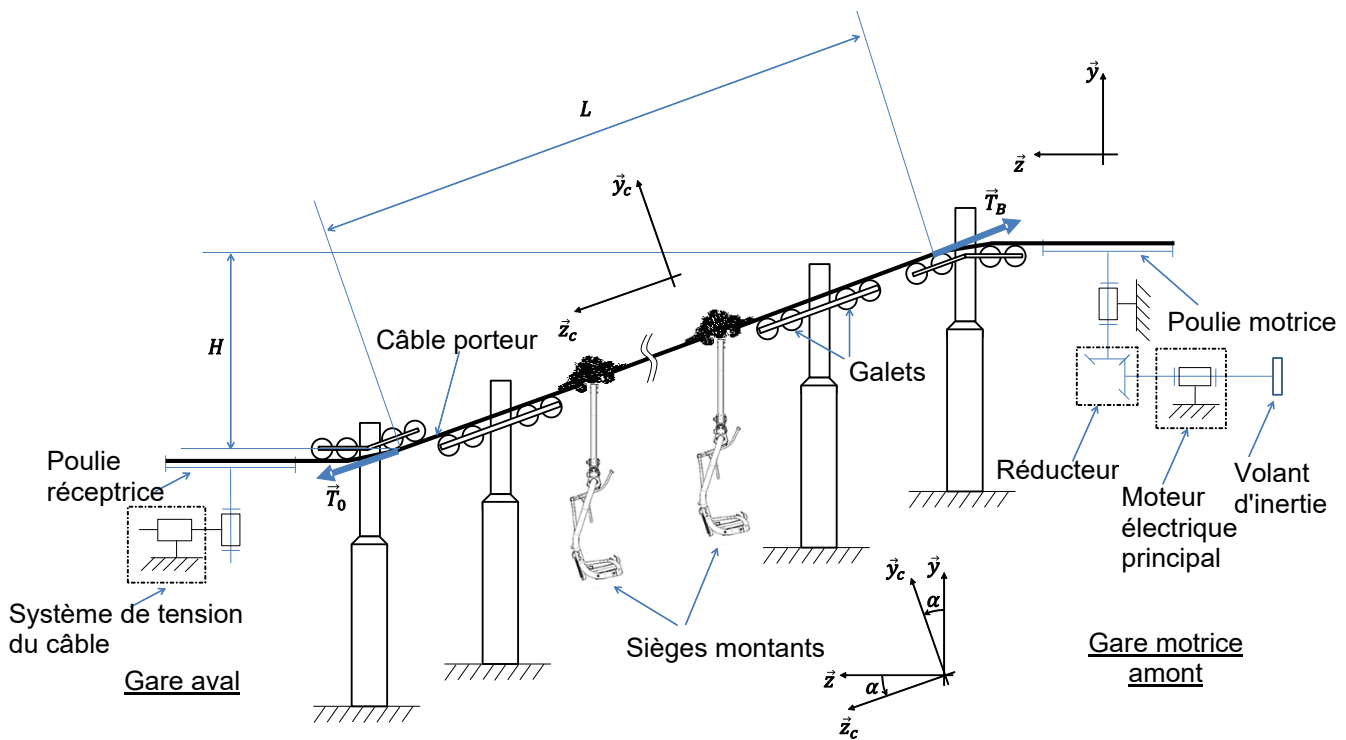


Figure 2. Situation des deux gares et des deux poulies

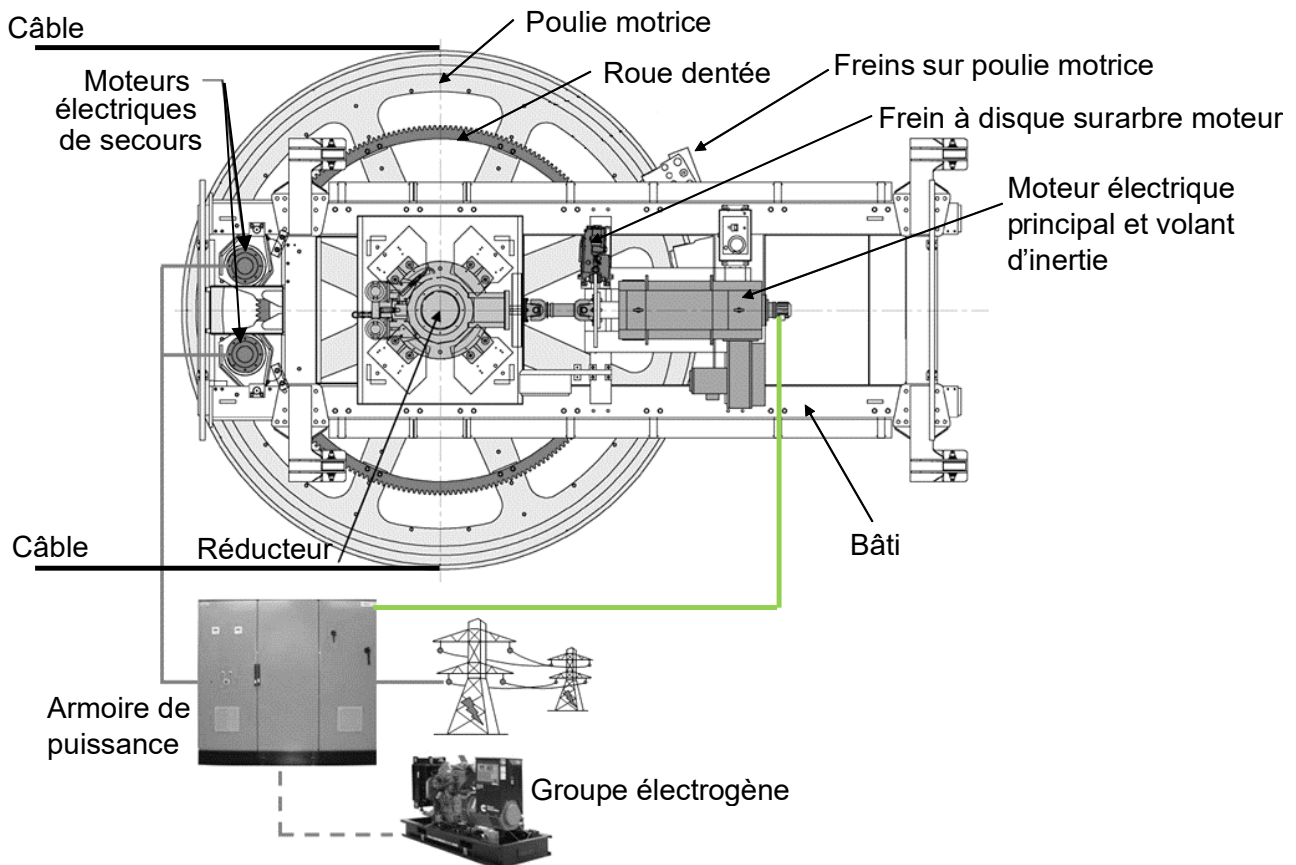


Figure 3. Vue de dessous de la gare motrice amont : motorisations principale et de secours de la poulie motrice

| | | | |
|---------------------|------|-------------------------------------|------------------|
| Prépa VAUBAN | | Télesiège débrayable Biollay | Sujet |
| PTSI | P3/8 | | Prépa DS5 |

Partie 1 : validation des performances en vitesse du câble

Les objectifs de cette partie sont de :

- vérifier le débit du télésiège de 3300 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 |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Télesiège TSD6 | Débit de skieurs souhaité : $Q_s = 3300$ p.h ⁻¹ (personnes par heure) |
| | Dénivelé : $H = 364$ m |
| | Longueur de câble à la montée : $L = 1668$ m |
| | Longueur de câble à la descente : $L = 1668$ m |
| | Nombre de pylônes : 14 |
| Moteur électrique principal LAKC 4355C | Couple moteur : C_m |
| | Inertie arbre moteur : $I_{am} = 17,3$ kg.m ² |
| | Vitesse de rotation : ω_m |
| Volant d'inertie | Inertie : $I_v = 20$ kg.m ² |
| | Vitesse de rotation : ω_m |
| Réducteur principal | Rendement : $\eta = 1$ |
| | Inertie équivalente ramenée à l'arbre moteur : $I_r = 4$ kg.m ² |
| | Rapport de réduction : $k = \omega_p / \omega_m = 1/60$ |
| Poulie motrice | Inertie : $I_{pm} = 16108$ kg.m ² |
| | Rayon : $R_p = 2,5$ m |
| | Vitesse de rotation : ω_p |
| Poulie réceptrice | Inertie : $I_{pr} = 14134$ kg.m ² |
| | Rayon : $R_p = 2,5$ m |
| | Vitesse de rotation : ω_p |
| Câble | Masse linéique : $\mu_c = 8$ 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 : $m_v = 520$ 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 | $Q_s = 3300$ p.h ⁻¹ (personnes par heure) |
| Vitesse du câble | $v = 0$ à $5,5$ m.s ⁻¹ |
| Précision de mesure sur la vitesse | $\Delta V = 5 \cdot 10^{-3}$ 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° |

1.1. Respect du critère de débit

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

Q1 : À partir des données tableau 1, 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.

1.2. 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*.

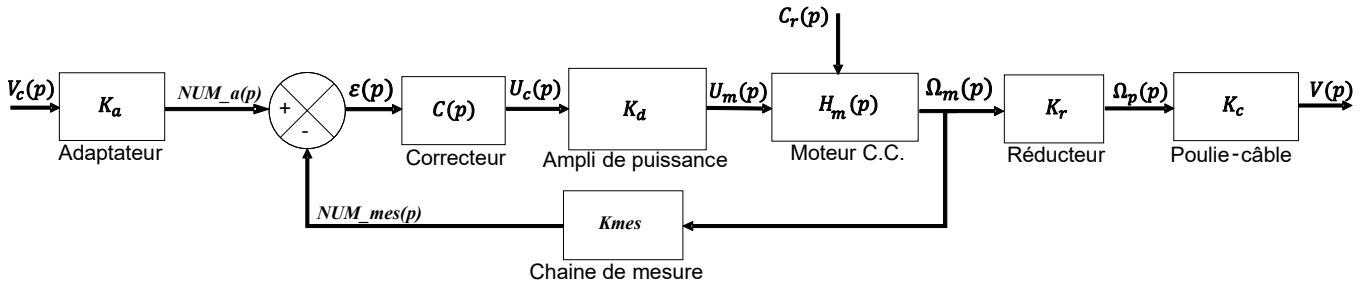


Figure 4. Modèle retenu pour l'asservissement de vitesse du câble

- où $V_c(p)$ est la transformée de Laplace de la vitesse de consigne du câble en m/s ;
 $NUM_a(p)$ est la trans. de Lap. de la valeur numérique de consigne en sortie de l'adaptateur $num_a(t)$;
 $NUM_mes(p)$ est la transformée de Laplace de la valeur num. issue de la chaîne de mesure $num_mes(t)$;
 $\mathcal{E}(p)$ est la transformée de Laplace de l'écart $\mathcal{E}(t) = num_a(t) - num_mes(t)$;
 $U_c(p)$ 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 $C_r(t)$ en Nm ;
 $\Omega_m(p)$ est la transformée de Laplace de la vitesse de rotation $\omega_m(t)$ du moteur en rad/s ;
 $\Omega_p(p)$ est la transformée de Laplace de la vitesse de rotation $\omega_p(t)$ de la poulie motrice en rad/s ;
 $V(p)$ est la transformée de Laplace de la vitesse du câble $v(t)$ en m/s.

Modélisation de la cinématique

Q2 : À l'aide du *tableau 1*, page 3, donner les expressions littérales et les valeurs numériques en U.S.I. (Unités du Système International) des gains K_r du réducteur et K_c du système poulie-câble dans l'hypothèse de non glissement entre le câble et la poulie motrice.

Validation de la chaîne de mesure

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 chaîne de mesure est décrite sur le schéma bloc de la figure 5 :

La génératrice tachymétrique choisie est la RE.0444R de Transdrive Engineering. Elle est placée **sur l'arbre moteur** et délivre une tension de **30V** lorsque le moteur tourne à la vitesse de rotation de **1000 tours par minute**.

La tension en sortie doit être conditionnée (abaissée en tension) avant d'être convertie. Le convertisseur analogique-numérique utilisé est un CAN de 16 bits et sa tension de référence V_{ref} vaut 20V

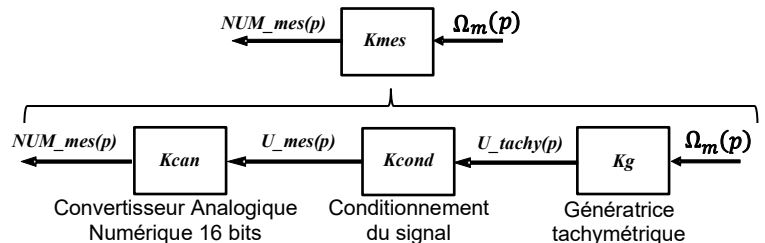


Figure 5. Chaîne de mesure

On donne :

$$K_{cond} = \frac{U_{mes}(p)}{U_{tachy}(p)} = \frac{1}{30}$$

$$K_{CAN} = \frac{NUM_{mes}(p)}{U_{mes}(p)} = \frac{1}{q}$$

Remarque : pour permettre l'étude, la relation habituelle du CAN est linéarisée (pas de partie entière)

$$K_{mes} = \frac{NUM_{mes}(p)}{\Omega_m(p)}$$

| | | | | |
|---------------------|------|-------------------------------------|------------------|--|
| Prépa VAUBAN | | Télésiège débrayable Biollay | Sujet | |
| PTSI | P5/8 | | Prépa DS5 | |

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.

Aide pour les applications numériques :

-Les valeurs ont été arrondies pour faciliter les calculs à la main, ça devrait donc être faisable sans trop de difficultés.

-Prendre 3 pour la valeur de π , $10 m.s^{-2}$ pour la valeur de g .

-Puissance de 2 :

| | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|
| 2^{17} | 2^{16} | 2^{15} | 2^{14} | 2^{13} | 2^{12} | 2^{11} | 2^{10} | 2^9 | 2^8 |
| 131072 | 65536 | 32768 | 16384 | 8192 | 4096 | 2048 | 1024 | 512 | 256 |

- Q3 :**
- Déterminer le quantum q du convertisseur analogique numérique.
 - Exprimer puis calculer la valeur numérique en U.S.I. du gain K_g de la génératrice tachymétrique.
 - Exprimer puis calculer la valeur numérique en U.S.I. du gain K_{mes} de la chaîne de mesure.
 - Déterminer la résolution de la mesure de la vitesse de rotation $\Delta\Omega_m$: c'est la valeur de la vitesse de rotation lorsque $NUM_mes(p) = 1$
 - Calculer alors la résolution de la mesure de vitesse du câble ΔV (voir figure 4).
Conclure sur le choix de la génératrice tachymétrique.

Modélisation de la génératrice tachymétrique et de l'adaptateur

Q4 : Expliquer pourquoi le gain K_a de l'adaptateur de consigne doit respecter la relation : $K_a = \frac{K_{mes}}{K_r \cdot K_c}$

1.3. Vérification des performances du système

-Le modèle retenu pour l'asservissement est celui de la page 4 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

- $C(p)$ est la fonction de transfert du correcteur, dans un premier temps on prendra : $C(p) = K_p$, avec une valeur K_p que l'on va déterminer.

-On se place en l'absence de perturbation (à vide), donc $C_r(p)=0$

-La FT du moteur est donnée sous sa forme simplifiée : $H_m(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U_m(p)} = \frac{K_m}{1 + \tau_m \cdot p}$

On pose : $V(p) = H_1(p) \cdot V_c(p) + H_2(p) \cdot C_r(p)$

Q5 : En supposant $C_r(p)=0$, déterminer l'expression **littérale** (en fonction de K_m, K_{mes}, K_d, K_p et τ_m) de la fonction de transfert $H_1(p)$ que vous mettrez bien entendu sous forme canonique.

On vous donne (généreusement) la fonction de transfert sous sa forme numérique :

$$H_1(p) = \frac{\frac{K_p}{1,5 + K_p}}{1 + \frac{15}{1,5 + K_p} \cdot p}$$

Toujours avec une perturbation nulle, on envoie un échelon de vitesse $V_c=5,5m/s$

Q6 : Exprimer l'erreur statique en fonction de K_p .

Q7 : Déterminer la valeur minimum de K_p ($K_{p\ min}$) qui permet de respecter les exigences du cahier des charges en terme de précision.

Cette valeur de $K_{p\ min}$ pose des problèmes de stabilité du système, il faut donc utiliser un correcteur proportionnel intégral : $C(p) = K_p + \frac{K_i}{p}$

| | | | |
|---------------------|------|-------------------------------------|------------------|
| Prépa VAUBAN | | Télesiège débrayable Biollay | Sujet |
| PTSI | P6/8 | | Prépa DS5 |

Pour prendre en compte les non-linéarités et notamment les saturations existantes (en courant et en tension), le modèle a été implanté sous Scilab.

Le couple résistant sera supposé constant $C_r = 2600 \text{ N.m}$.

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 DR.

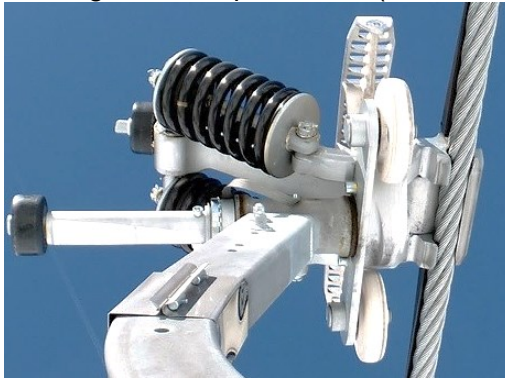
- Q8 :**
- Sur le document réponse, déterminer graphiquement l'erreur statique et le temps de réponse t_r à 5 % pour une consigne de $5,5 \text{ m.s}^{-1}$.
 - Conclure quant au respect des exigences de précision et rapidité.

Partie 2 : Etude de la pince

Présentation de la pince :

La pince utilisée sur ce télesiège est une pince LPA (Leitner Poma Automatic)

Elle est présentée et modélisée en **annexe 2**.



Fonctionnement de la pince débrayable :

Lors de l'arrivée en gare, un rail se rétrécissant progressivement appuie sur le galet d'ouverture.

La mâchoire mobile, qui constitue avec la mâchoire fixe la pince serrant le câble, est alors relevée.

La pince s'ouvre, et le siège est libéré du câble.

Les galets de roulement et d'équilibrage prennent le relais, guidés par des rails, tandis que des roues entraînent le télesiège en agissant sur le patin d'entraînement (voir *figure 6*)

Lors de cette manœuvre, la vitesse passe de $5,5 \text{ m/s}$ à environ 1 m/s , permettant l'embarquement des skieurs.

Au moment de la sortie en gare, le rail qui maintenait ouverte la pince se rélargit, libérant le galet d'ouverture. Les deux puissants ressorts assurent la fermeture de la pince sur le câble. Les galets de roulement et d'équilibrage quittent leurs rails de guidage, et le siège reprend sa vitesse de ligne.

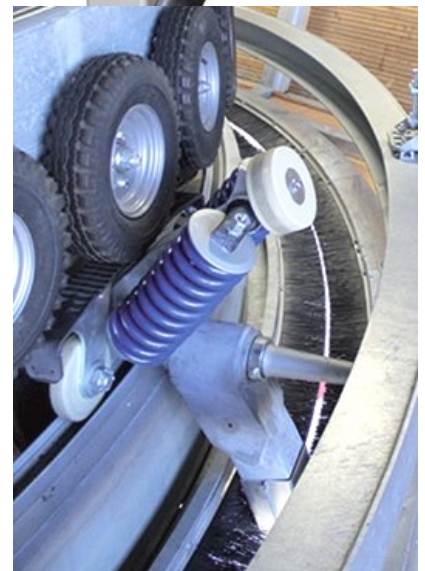


Figure 6. Pince en gare

- Q9 :** A partir du schéma cinématique de l'**annexe 2**, tracer le graphe de liaison de la pince.

2.1. Détermination de la course du ressort

Lors de son ouverture, la pince doit permettre au câble de sortir des mâchoires.

Q10 : Par une construction graphique sur le DR, déterminer la position des points F et C (que l'on notera F' et C') en position ouverte (le câble doit juste avoir la place de passer entre les 2 mâchoires)

En déduire (toujours graphiquement) la course de ressort nécessaire pour libérer le câble.

Expliquer votre démarche sous la figure.

| | | | |
|--------------|------|-------------------------------------|------------------|
| Prépa VAUBAN | | Télesiège débrayable Biollay | Sujet |
| PTSI | P7/8 | | Prépa DS5 |

2.2. Détermination de la raideur des ressorts 7

La norme PR NF EN 13796-1 impose que l'effort de serrage des pinces sur le câble soit suffisant pour qu'il n'y ait pas glissement pour une pente de 100 % (angle $\alpha=45^\circ$) au triple du poids du siège chargé au maximum (coefficient de sécurité $cs=3$ au niveau du poids).

L'étude est effectuée à vitesse constante en omettant l'action du vent, de la masse de la neige et la glace sur le siège (inclus dans le coefficient de sécurité).

On supposera que l'action du câble sur la pince (**liaison complète** entre la pince et le câble) est au point O.

On a : $\vec{OG} = -L \cdot \vec{y}$

Q11 : Isoler l'ensemble $S = \{\text{Siège} + \text{pince}\}$ puis exprimer le torseur d'action du câble sur l'ensemble S en O (on notera $\{A_{C \rightarrow S}\}$) pour respecter la norme.

Vous exprimerez ce torseur dans le repère $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ puis dans $(\vec{x}, \vec{y}_c, \vec{z}_c)$

Une étude de statique avec charges réparties sur le pincement du câble nous a donné l'effort presseur par la mâchoire mobile nécessaire pour obtenir l'action suivant \vec{z}_c déterminée à la question précédente.

Hypothèses et données :

-Problème plan, liaisons considérées comme parfaites, poids des pièces négligé

-La pince est fermée, le galet 5 n'est pas en contact avec le rail

-Effort de la mâchoire mobile sur le câble :
 -Point d'application : E
 -Direction : droite (EO) portée par \vec{y}_m
 -Norme : 25000N

-Longueur libre des ressorts 7 : $L_{07}=333\text{mm}$

$$\vec{AC} = L \cdot \vec{x}_2 \quad \vec{BC} = \lambda \cdot \vec{x}_3 \quad \vec{EA} = r \cdot \vec{x}_m \quad \vec{AB} = a \cdot \vec{x} + b \cdot \vec{y}$$

$$(\vec{x}, \vec{x}_2) = (\vec{y}, \vec{y}_2) = \alpha$$

$$(\vec{x}, \vec{x}_3) = (\vec{y}, \vec{y}_3) = \beta$$

$$(\vec{x}, \vec{x}_m) = (\vec{y}, \vec{y}_m) = \theta$$

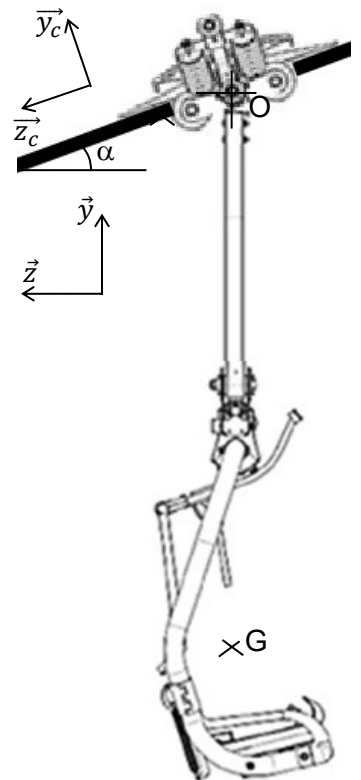


Figure 7. Modélisation d'un siège

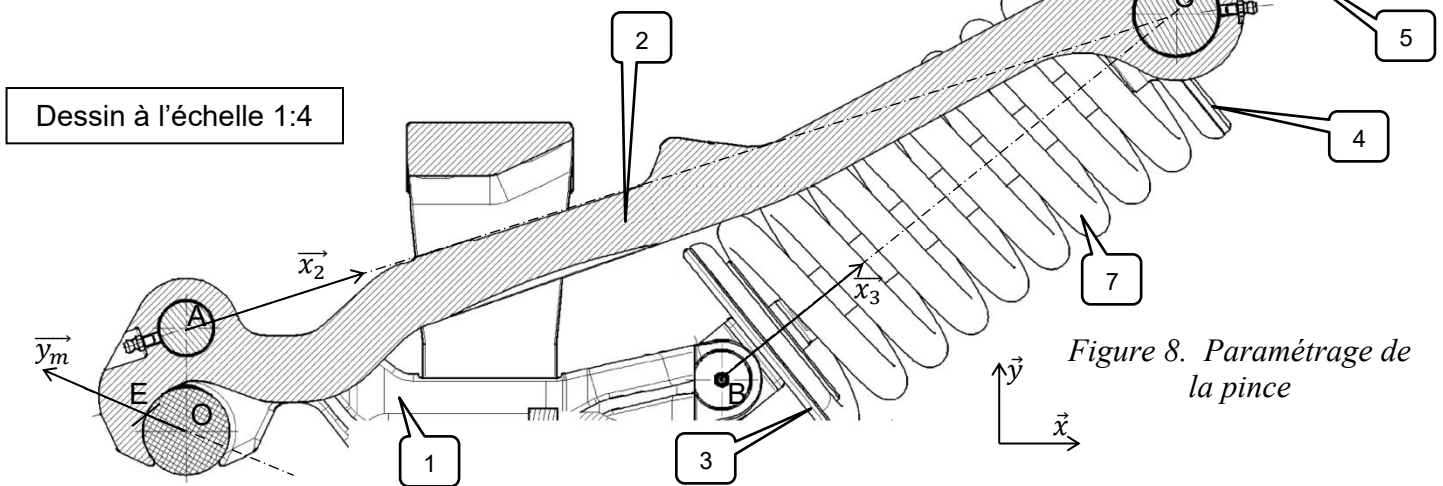


Figure 8. Paramétrage de la pince

Q12 : Par une étude de statique analytique, déterminer l'action de 4 sur 2

Après calculs, on trouve : $\|\vec{C}_{4 \rightarrow 2}\| = 6000\text{N}$

Q13 : Après avoir mesuré la longueur comprimée d'un ressort 7, déterminer la raideur des ressorts 7.

| | | | |
|---------------------|------|-------------------------------------|------------------|
| Prépa VAUBAN | | Télésiège débrayable Biollay | Sujet |
| PTSI | P8/8 | | Prépa DS5 |

2.3. Détermination de la vitesse d'accostage sur le câble

On souhaite déterminer la vitesse à laquelle la mâchoire arrive en contact avec le câble pour s'assurer qu'il n'y a pas de détérioration possible.

On va devoir dans un premier temps trouver des relations géométriques entre les paramètres.

Q14 : A l'aide d'une fermeture géométrique, déterminer 2 relations qui lient les paramètres λ, α et β .

Q15 : Ecrire les torseurs cinématiques des liaisons 3/4, 2/4, 2/1 et 3/1

Q16 : A l'aide d'une fermeture cinématique en un point judicieusement choisit, donner l'expression de $\dot{\alpha}$ en fonction de $\dot{\lambda}$ et de longueurs ou angles.

Q17 : Donner enfin l'expression de la vitesse de d'impact de 2 sur 1 au point E.

2.4. Conception du guidage en rotation du siège

L'objectif est de proposer une solution constructive pour la liaison pivot d'axe \vec{x} entre l'axe support 10 et le tube siège 11.

Cette liaison pivot permet au siège de rester vertical quelle que soit la pente que prend le câble.

La liaison pivot sera modélisée par une rotule en A et une linéaire annulaire en B, voir figure 10 ci-dessous.

L'axe support 10 est considéré en liaison encastrement avec le câble.

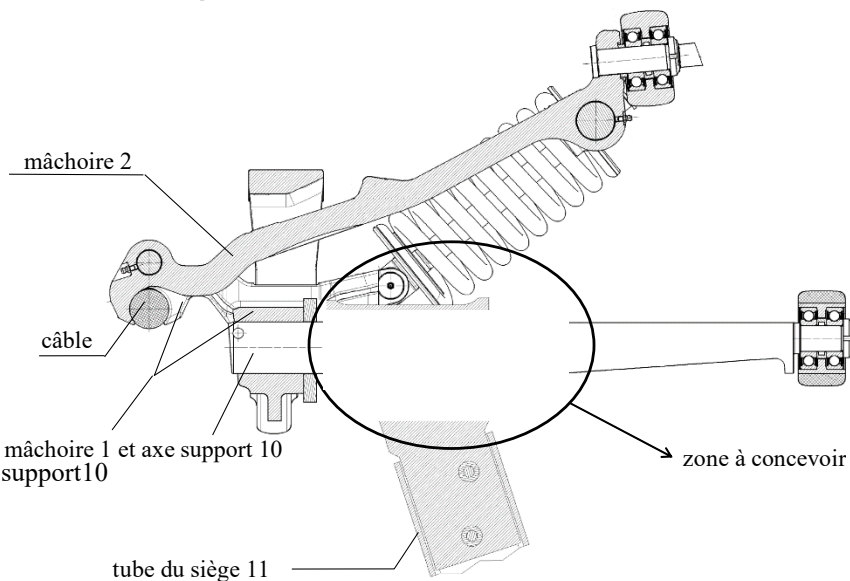


Figure 9. Pièces principales de la pince et zone à compléter

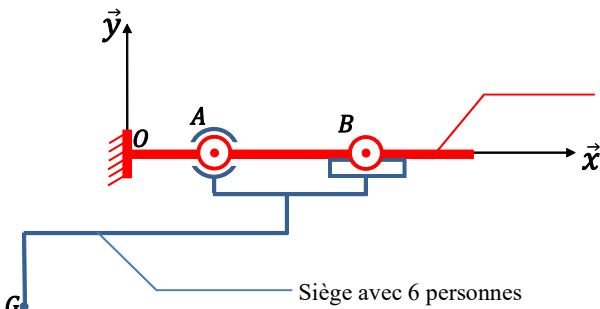


Figure 10. Liaisons entre l'axe support et le siège

Hypothèses et notations :

- G centre d'inertie du siège transportant 6 personnes (sans prendre de coef de sécurité) ;
- $\vec{OA} = a \cdot \vec{x}$ $\vec{OB} = b \cdot \vec{x}$ $\vec{OG} = -x_G \cdot \vec{x} - L \cdot \vec{y}$
- $a = 75mm$ $b = 125mm$ $x_G = 205mm$;
- les liaisons sont considérées parfaites ;

On va procéder à une étude statique en prévision de la conception.

Q18 : Déterminer les actions mécaniques dans les liaisons en A et B par une étude de statique analytique.