

# Concours EPITA - IPSA

## Epreuve de Sciences Industrielles pour l'Ingénieur

### Le Pantographe de TGV Duplex

---

**Durée : 2 heures**

**L'usage de calculatrices est autorisé.**

**L'usage de tout autre document est interdit.**

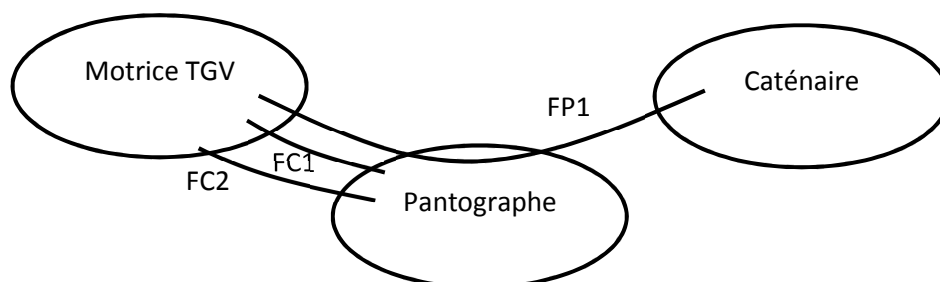
Ce sujet comporte 9 pages.



### Présentation

L'objet de l'étude est un pantographe équipant certains TGV.

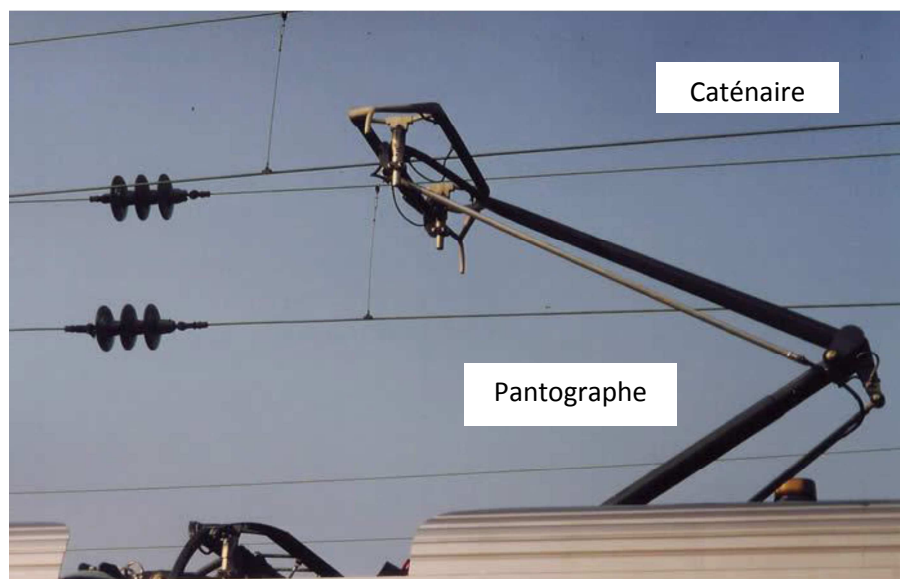
Le pantographe est un système liant la caténaire (câble électrique) assurant l'alimentation en électricité de la rame (motrice TGV) au circuit électrique interne du train.



Fonction	Enoncé	Critères	Niveaux
FP1	Permettre l'alimentation de la motrice en électricité	Puissance électrique à transmettre	(n'est pas de l'objet de cette étude)
		Interruption	Aucune
		Action verticale de l'archet sur la caténaire	100 N±5%
		Vitesse relative du pantographe par rapport à la caténaire	$V_{\max} = 350 \text{ km/h}$
FC1	Etre lié en liaison encastrement à la motrice		
FC2	Pouvoir se replier sur la motrice	Hauteur entre le haut de la motrice et la caténaire	1,08 m
		Débattement angulaire du bras inférieur	20°

**Figure 1 : Diagramme des interacteurs partiel.**

Le pantographe est essentiellement constitué d'un archet frottant sur la caténaire articulé autour de deux bras inférieur et supérieur et de deux bielles (voir Figure 2 et Figure 3). La mise en mouvement du pantographe et le maintien de l'archet sur la caténaire est assurée par un coussin pneumatique et d'une came (non représentée sur la Figure 3).



**Figure 2 : Vue d'un pantographe**

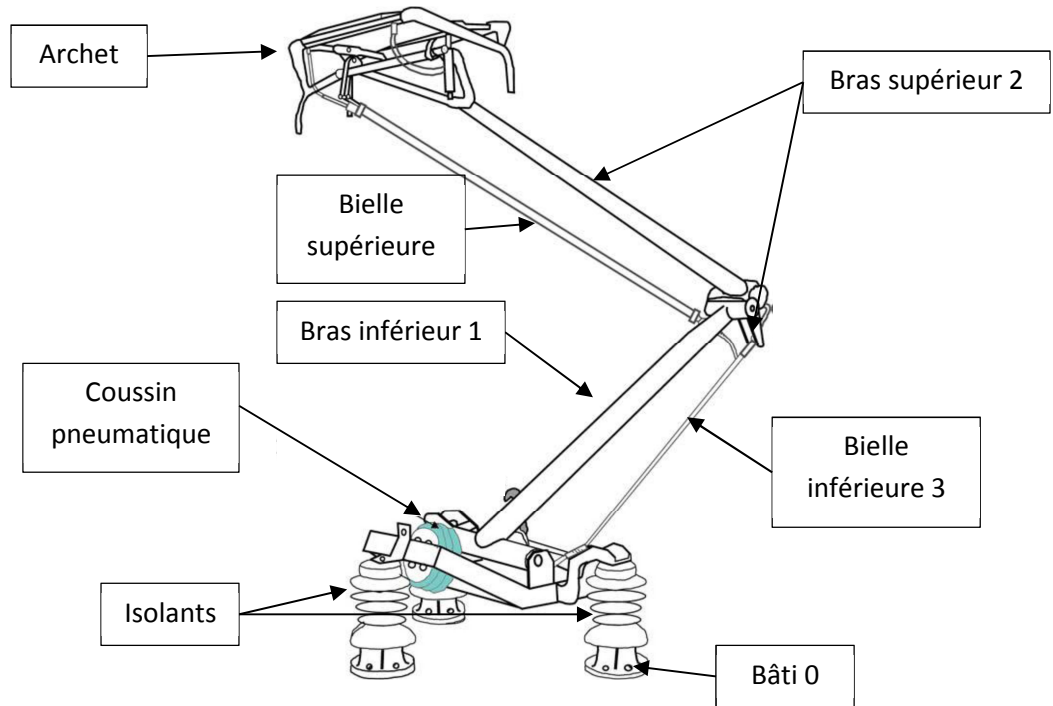


Figure 3 : Descriptif d'un pantographe

## Partie 1 : Déploiement du pantographe

Objectif : L'objectif de cette partie est de vérifier le critère associé à la fonction FC2.

On modélise le pantographe sous la forme du schéma cinématique ci-dessous.

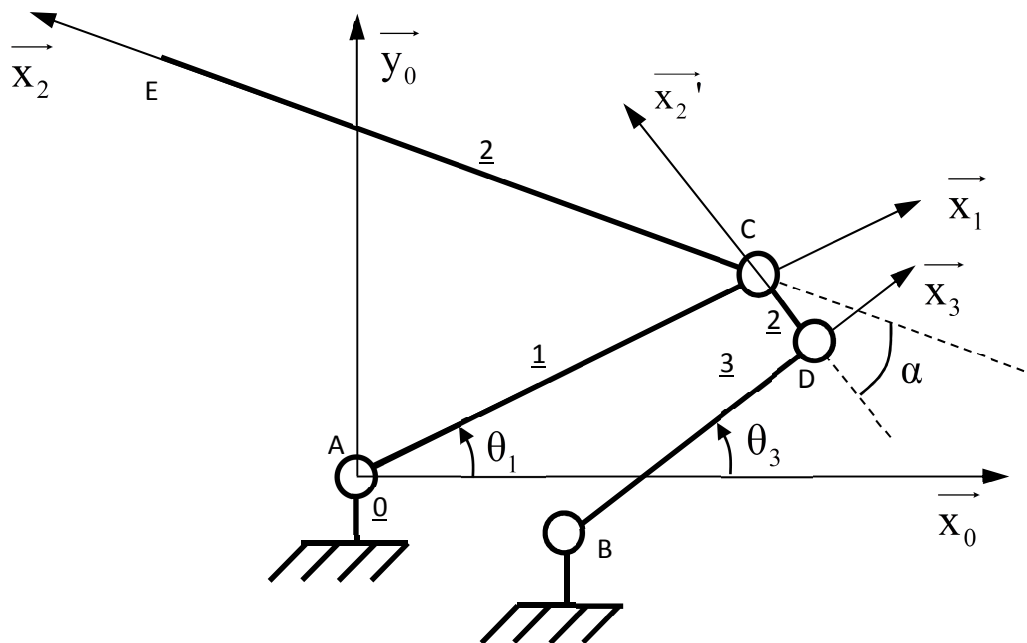


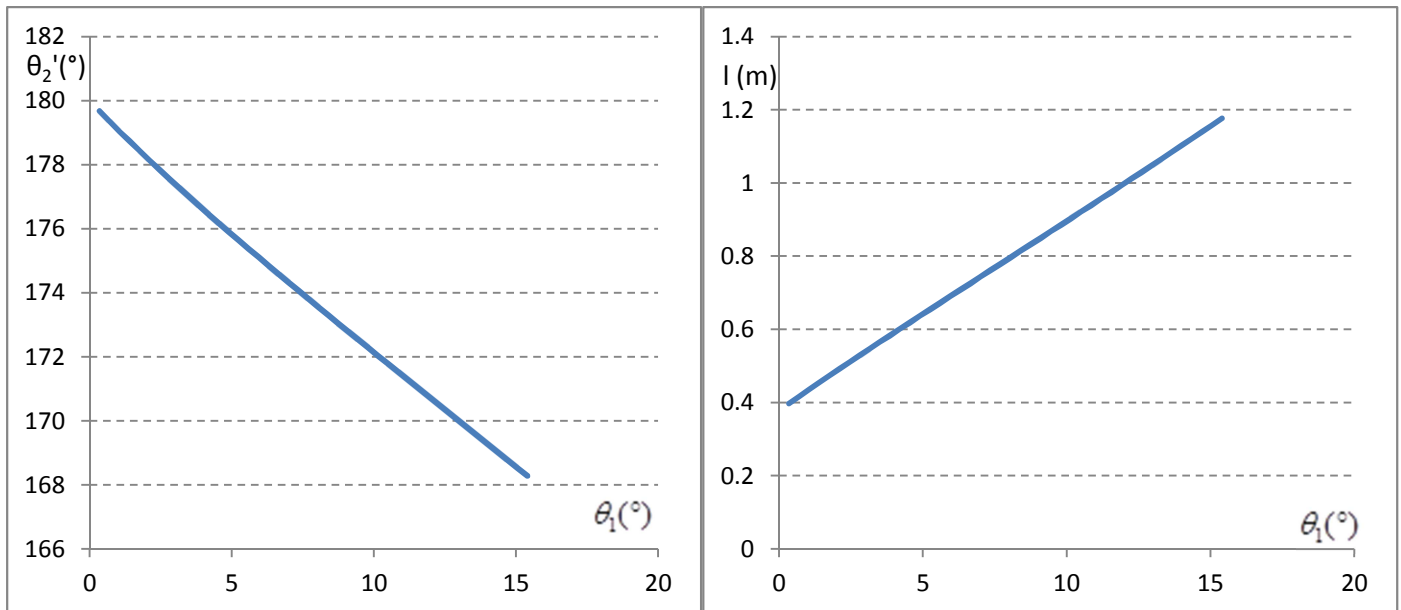
Figure 4 : Modèle du pantographe.

Notations et paramétrage

- On pose  $\overrightarrow{AC} = a.\overrightarrow{x_1}$ ,  $\overrightarrow{BD} = b.\overrightarrow{x_3}$ ,  $\overrightarrow{CE} = c.\overrightarrow{x_2}$ ,  $\overrightarrow{DC} = d.\overrightarrow{x_2'}$ ,  $\overrightarrow{AB} = e.\overrightarrow{x_0} - h.\overrightarrow{y_0}$ ,  $\overrightarrow{AE}.\overrightarrow{y_0} = l$ .
- On pose aussi  $(\overrightarrow{x_0}; \overrightarrow{x_1}) = \theta_1$ ,  $(\overrightarrow{x_0}; \overrightarrow{x_2}) = \theta_2$ ,  $(\overrightarrow{x_0}; \overrightarrow{x_2'}) = \theta_2'$ ,  $(\overrightarrow{x_0}; \overrightarrow{x_3}) = \theta_3$ ,  $(\overrightarrow{x_2}; \overrightarrow{x_2'}) = \alpha$ .

- Les liaisons entre les solides 0 et 1, 0 et 3, 2 et 3, 1 et 2 sont des liaisons pivots d'axes respectifs  $(A, \vec{z_0})$ ,  $(B, \vec{z_0})$ ,  $(D, \vec{z_0})$  et  $(C, \vec{z_0})$
  - A constitue le point le plus haut de la motrice.
- Le modèle ci-dessus peut-il être considéré comme un modèle plan ? Justifier votre réponse.
  - Donner le rôle de la bielle supérieure.
  - Donner le rôle de la bielle inférieure (voir Figure 3).
  - Tracer les figures de changement de base faisant intervenir les vecteurs  $\vec{x_0}$ ,  $\vec{y_0}$ ,  $\vec{x_1}$ ,  $\vec{x_2}$ ,  $\vec{x_2'}$ ,  $\vec{x_3}$  et les paramètres angulaires correspondants.
  - Déterminer la relation entre  $l$ ,  $\theta_1$  et  $\theta_2$ , et les constantes du problème.
  - Déterminer la relation entre  $\theta_2$  et  $\theta_2'$ , et les constantes du problème.
  - Déterminer la relation entre  $\theta_1$  et  $\theta_2'$ .

La relation trouvée dans la question précédente est difficile à inverser analytiquement. On a tracé sur les figures suivantes les évolutions de  $\theta_2'$  et de  $l$  en fonction de  $\theta_1$  :



- Déterminer si le critère du cahier des charges relatif à la fonction FC2 est vérifié.

## Partie 2 : Action du coussin pneumatique sur le bras inférieur

**Objectif :** L'objectif de cette partie est de déterminer l'action du coussin pneumatique sur le bras inférieur.

Dans le but de dimensionner le coussin pneumatique, nous avons besoin de déterminer l'effort qu'exerce le coussin pneumatique sur le bras inférieur.

9. Déterminer le degré d'hyperstatisme du mécanisme de la Figure 4. Justifier qu'une étude statique plane est possible en dépit du résultat trouvé.

Dans la suite de cette partie, on raisonnera sur le document réponse. On néglige la présence de l'archet et la bielle supérieure. On fait l'hypothèse que l'action de la caténaire sur le bras supérieur s'applique en E et est constituée par une action normale à la caténaire et par une action tangentielle due à un frottement de coefficient noté  $f=0,2$ . On donne  $\arctan f = 11^\circ$ .

10. Mettre en place sur le document réponse la force de la caténaire sur le bras supérieur du pantographe  $\overrightarrow{F_{C \rightarrow 2}}$ . On tiendra compte du frottement de la caténaire sur l'archet et du sens du mouvement de la caténaire par rapport au pantographe.
11. Déterminer l'action du bras inférieur 1 sur le bras supérieur 2 (direction, sens et norme). On attend un raisonnement graphique.
12. En déduire la norme du couple que doit appliquer l'actionneur (soufflet pneumatique et came) sur le bras inférieur.

## Partie 3 : Asservissement de l'effort de contact entre l'archet et la caténaire

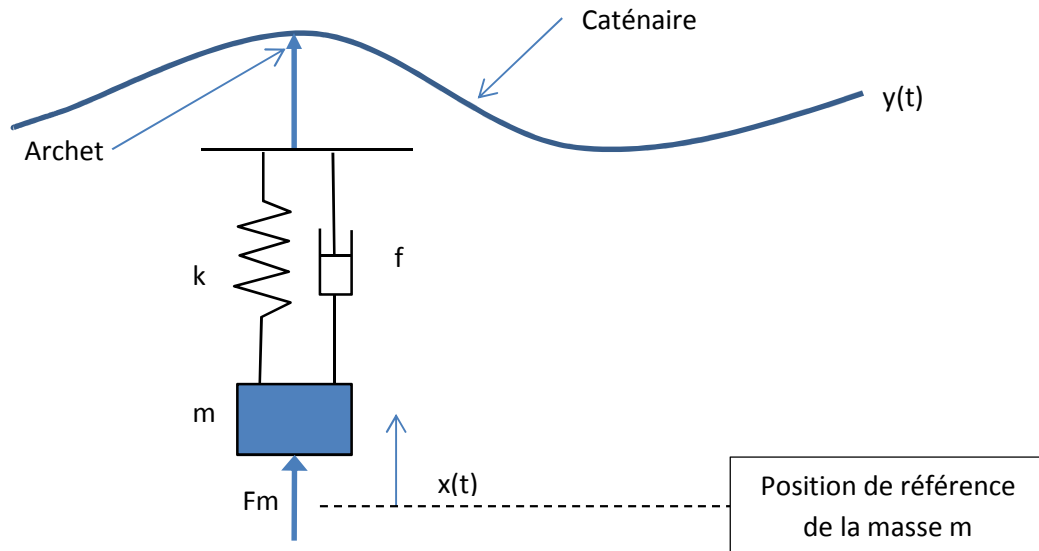
**Objectif :** L'objectif de cette partie est de vérifier si le critère du cahier des charges relatif à la norme de l'effort de contact entre l'archet et la caténaire est respecté.

On souhaite maintenant vérifier le critère du cahier des charges de la fonction FP1 : on souhaite que l'action de l'archet sur la caténaire soit la plus constante possible ( $100N \pm 5\%$ ), en dépit des mouvements de la caténaire par rapport à la motrice. En effet, la rectitude de la caténaire et les effets d'inertie de l'archet et du pantographe provoquent des variations d'effort de contact.

Pour considérer la raideur de l'ensemble constitué par le pantographe, on modélise le pantographe comme un système masse( $m$ )-amortisseur (de coefficient de frottement visqueux  $f$  en  $N.m/s$ ) – ressort (de raideur  $k$  en  $N/m$ ). Le déplacement vertical de la caténaire par rapport à la motrice est noté  $y(t)$  et le déplacement de l'extrémité basse du ressort par rapport à la motrice est noté  $x(t)$ .

Ainsi, pour assurer un effort de contact entre l'archet et la caténaire le plus constant possible, on a choisi d'asservir en position l'extrémité basse du ressort  $x(t)$ . On met en place un actionneur (non étudié ici) qui exerce un effort  $F_m$  sur la masse  $m$ .

On notera  $F$  l'action de la caténaire sur le pantographe.



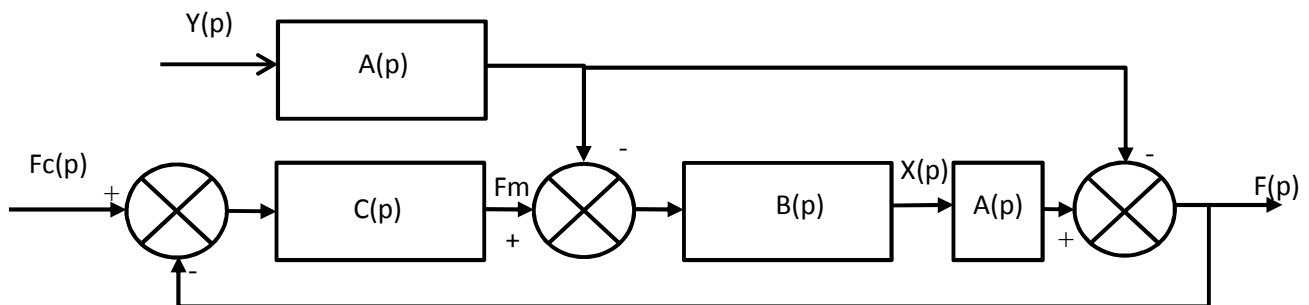
On négligera le poids de la masse du pantographe dans cette étude. La longueur à vide du ressort sera prise pour  $x = y = 0$ . On notera  $F$  la force qu'exerce l'archet sur la caténaire et sera comptée positive vers le haut.

On notera  $F_c$  l'effort de contact de consigne. L'archet est instrumenté et dispose d'un capteur d'effort mesurant l'effort de contact  $F$ .

L'action de l'actionneur  $F_m$  sur la masse est telle que  $F_m(p) = C(p) \cdot [F_c(p) - F(p)]$ .

13. Expliquer pourquoi la variation de hauteur de la caténaire fait varier l'effort de contact  $F$ .
14. Isoler la masse, faire le bilan des actions mécaniques extérieures et appliquer le Principe Fondamental de la Dynamique puis déterminer la relation entre  $x(t)$ ,  $y(t)$  et leur dérivées et les constantes du problème. Mettre cette équation dans le domaine de Laplace.
15. Déterminer  $F$  en fonction de  $x$ ,  $y$  et les constantes du problème.

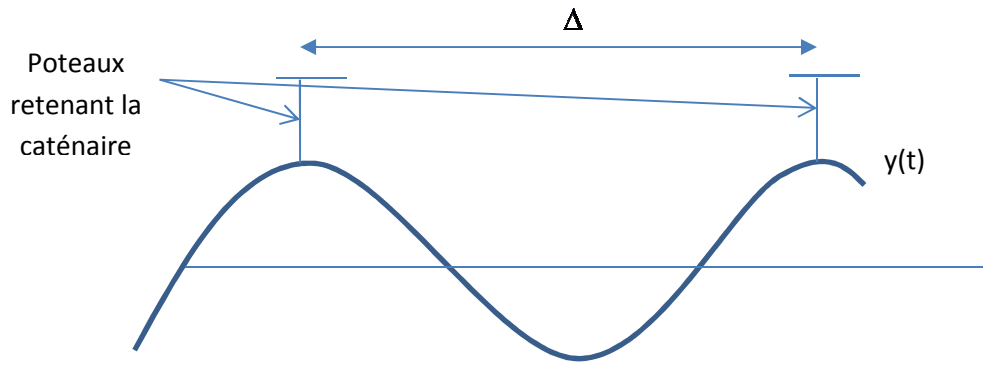
On modélise le système suivant le schéma-bloc suivant :



16. Déterminer les fonctions de transfert  $A(p)$  et  $B(p)$ .
17. Déterminer la relation  $F(p) = H_1(p)F_c(p) + H_2(p)Y(p)$  en explicitant les fonctions de transfert  $H_1(p)$  et  $H_2(p)$  en fonction de  $p$ , de  $C(p)$  et des constantes du problème.

L'espace compris entre les poteaux retenant la caténaire est de  $\Delta = 50$  m.

On modélise la fonction  $y(t)$  par une sinusoïde d'amplitude  $Y_{\max} = 10\text{cm}$  et de pulsation  $\omega$ . Chaque maximum de  $y(t)$  correspond à l'emplacement d'un poteau (voir Figure 5).



**Figure 5 : Evolution de la hauteur de la caténaire.**

La vitesse du train par rapport à la caténaire est au maximum de  $V_{\max} = 320\text{ km/h}$ .

18. Déterminer les valeurs que peut prendre la pulsation  $\omega$ .

19. Donner la forme de l'expression temporelle de  $F(t)$  en ne considérant que l'influence de la perturbation  $y(t)$ .

On choisit un correcteur de la forme  $C(p) = K_I \cdot \left(1 + \frac{1}{T_I \cdot p}\right)$ . On donne sur la Figure 6 le diagramme de Bode de la fonction de transfert  $H_2(p)$ .

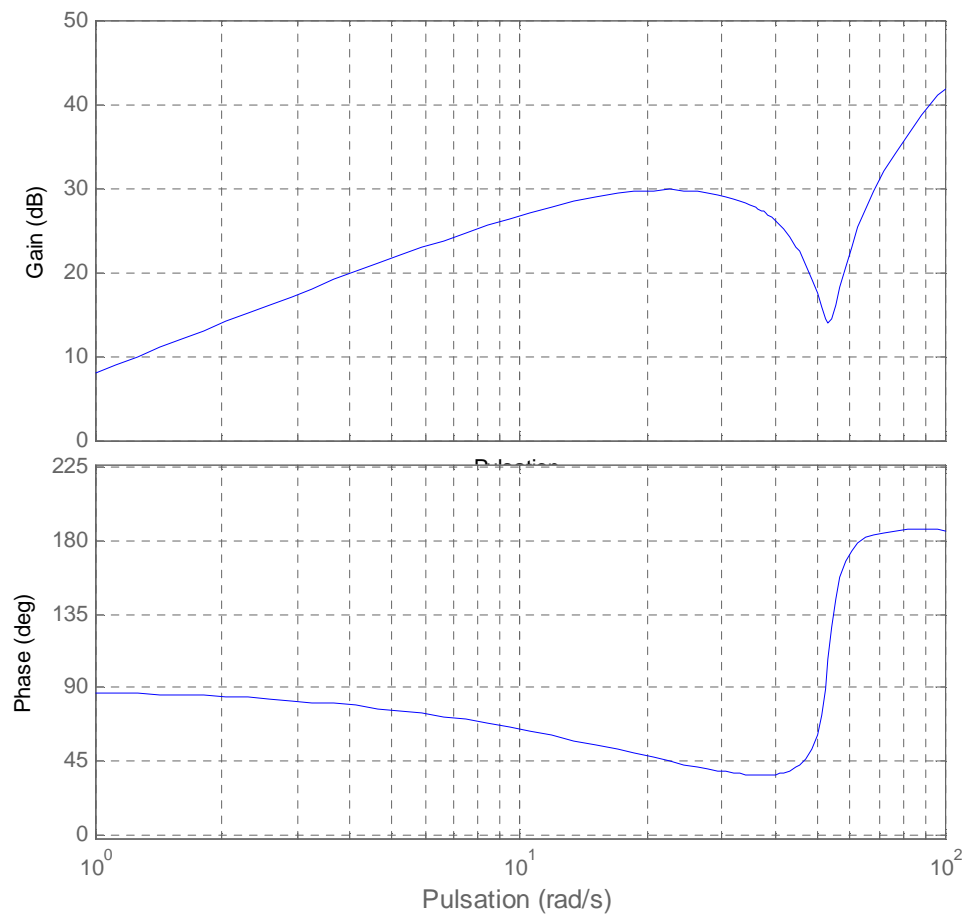


Figure 6 : Diagramme de Bode de  $H_2$ .

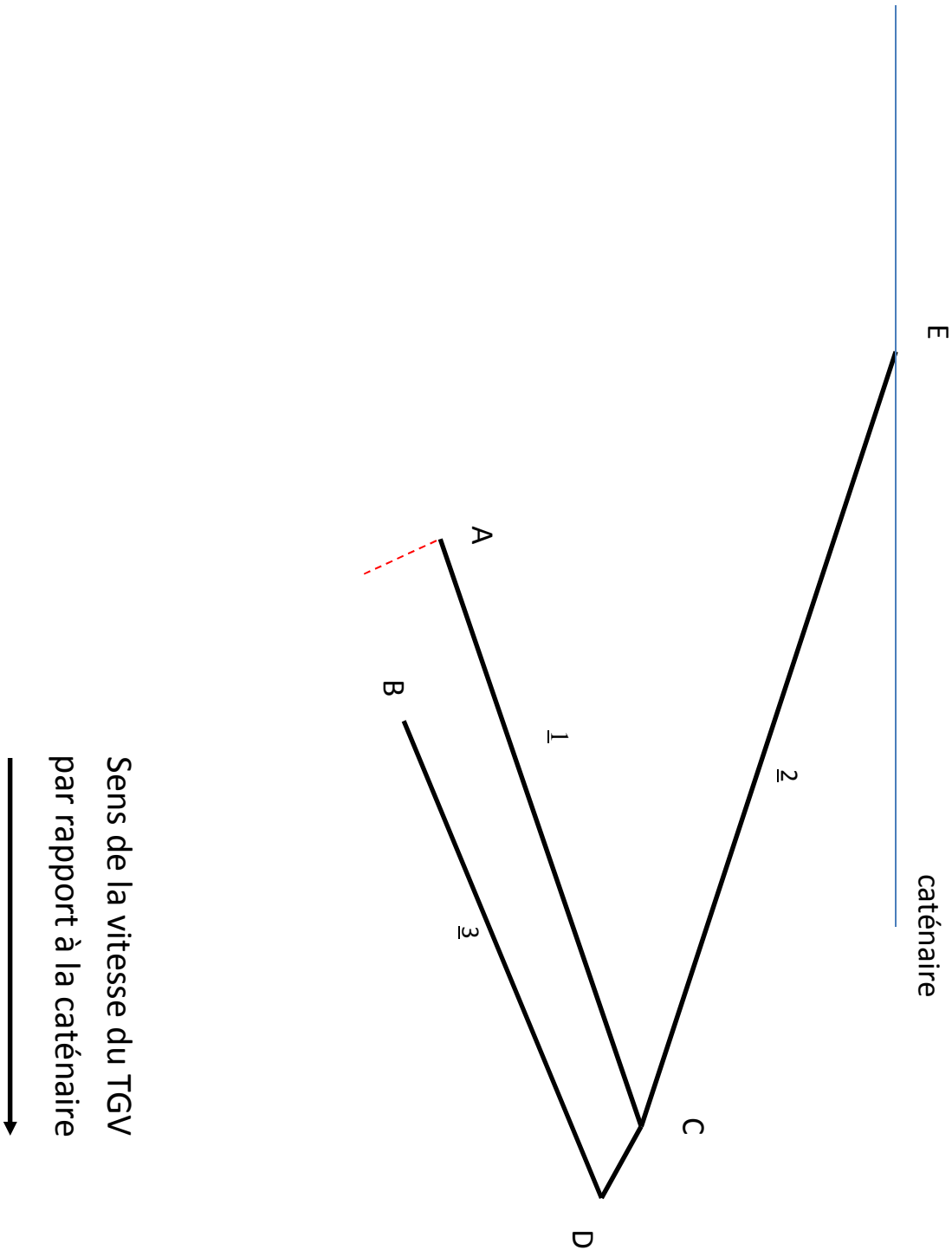
20. Déterminer l'amplitude d'oscillation  $F_{max}$  de  $F$ .

21. Conclure sur la validité du cahier des charges.



Numéro candidat :  
Document réponse :

Echelle des forces : 5 N ⇔ 1 mm  
Echelle des longueurs : 1 cm ⇔ 0,15 m



Sens de la vitesse du TGV  
par rapport à la caténaire