

**BACCALAURÉAT GÉNÉRAL**  
**SÉRIE SCIENTIFIQUE**  
**ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR**  
**Session 2015**

Corrigé

## Système de Surveillance Automatique Active du Panoramique des Dômes

### 2) Analyse du besoin relatif au transport des personnes

**Q1. Calculer** le nombre maximal de passagers que peut transporter le Panoramique des Dômes en une heure.

Capacité du train :  $C_{train} = 400$  personnes

Période des trajets (durée d'un trajet + temps d'arrêt en gare) :  $T = 15 + 5 = 20$  min

Le nombre maximal de passagers transportés en une heure :  $\frac{C_{train}}{T/60} = 1200$  personnes

**Q2. Calculer** le nombre maximal de personnes, transportées par le train, qui peuvent être présentes simultanément au sommet. **Valider** le cahier des charges relatif à la capacité du site. **Identifier** les limites de cette estimation.

En supposant que :

- les trains fonctionnent à leur débit maximal, en montée comme en descente ;
- tous les visiteurs restent au sommet pendant la durée moyenne attendue de présence sur le site : 2 h 40 min (2,667 h).

Nombre maximal de personnes sur le site :  $1200 \text{ personnes} \cdot \text{h}^{-1} \times 2,667 \text{ h} = 3\,200$  personnes.

Le cahier des charges est validé puisque le nombre maximal de personnes sur le site doit être inférieur à 4 000.

Limites de l'estimation :

- nombre de piétons non pris en compte ;
- hypothèse sur la durée de présence forte et très influente ;
- hypothèse du débit maximal peu réaliste (cela signifierait que tous les trains sont pleins).

**Q3. Expliquer** comment la circulation simultanée de deux trains permet de limiter la consommation d'électricité ?

On constate que lorsque deux trains sont en circulation la consommation électrique est moins importante. Cela signifie que le train qui descend renvoie de l'énergie au train qui monte. L'énergie récupérée vaut :  $E_{récupérée} = 118 - 60 = 58 \text{ kW} \cdot \text{h}$

**Q4. Justifier** le choix d'une voie unique avec circulation de deux trains.

Le choix de l'utilisation d'une voie unique est justifié car cela limite les frais d'infrastructure. La circulation simultanée de deux trains permet de réduire la consommation d'énergie.

### 3) Analyse des mesures de sécurité antérieures à la mise en place du système SAA

**Q5. Compléter** la première ligne du tableau document réponse DR1 en y indiquant par une croix les parcours incompatibles.

Parcours	G→F	F→B	F→C	B→A	C→A	D→H	E→H	A→E
A→D		X		X	X			X
A→E			X	X	X			
E→H	X	X	X			X		
D→H	X	X	X					
C→A				X				
B→A								
F→C		X						
F→B								

X = parcours incompatibles  
ex : D→H incompatible avec F→C

**Q6. Préciser** quel doit être l'état des différentes variables logiques pour empêcher le parcours A→D de passer de l'état « commandé » à l'état « formé » en maintenant le feu au rouge.

Il suffit qu'une des variables logiques :  $F_{A \rightarrow E}$  ;  $F_{C \rightarrow A}$  ;  $F_{B \rightarrow A}$  ;  $F_{F \rightarrow B}$  soit active pour empêcher au parcours A→D de passer de l'état « commandé » à l'état « formé ».

**Q7. Expliquer** pourquoi ce dispositif est insuffisant et ne permet pas d'éviter un déraillement comme cité précédemment.

Ce dispositif semble très efficace pour signaler la présence de 2 rames sur la même portion du circuit mais ne permet pas d'éviter qu'un conducteur engage son train sur un parcours non permis.

Il faudrait que les trains soient automatiquement empêchés de franchir les feux de signalisation quand ils sont rouges.

### 4) Mise en place du système S.A.A.

**Q8. Montrer** que le système S.A.A. n'intervient que si le conducteur ne respecte pas les consignes de conduite.

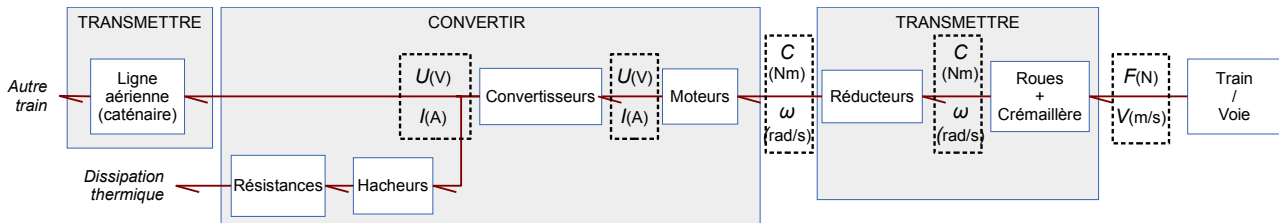
D'après l'algorithme, le S.A.A. intervient que si la vitesse dépasse la vitesse autorisée, de 2 façons différentes :

- si la vitesse est « légèrement » supérieure à la vitesse autorisée, le S.A.A. déclenche le ralentissement de la rame jusqu'à la vitesse autorisée ;

- si la vitesse est supérieure à la vitesse maximale autorisée ou si la rame ne s'est pas arrêtée au panneau, le SAA déclenche l'arrêt d'urgence.

## 5) Vérification des aptitudes du système SAA

**Q9.** Dans les cadres en pointillés du synoptique de la chaîne d'énergie présenté sur le document réponse DR2, **indiquer** les grandeurs correspondant à la puissance transportée par chacun des liens de puissance.



**Q10.** Déterminer la valeur moyenne de la puissance électrique dissipée par cette résistance en début puis en fin de freinage.

Valeur moyenne de la puissance en début de freinage :

$$P_{df} = \frac{432+300}{2} \times 0,575 = 210,45 \text{ kW}$$

Valeur moyenne de la puissance en fin de freinage :

$$P_{ff} = \frac{432+300}{2} \times 0,25 = 91,5 \text{ kW}$$

**Q11.** Valider le dimensionnement de la résistance de freinage.

La température est de l'ordre de 410 °C après 10 s de freinage.

C'est inférieur à la température limite de 600 °C. La résistance convient.

**Q12.** Préciser si la tige du piston doit sortir ou rentrer pour actionner le freinage.

Calculer l'intensité de  $\|\vec{F}_{\text{vérin}}\|$ , effort exercé par la tige (5) du vérin sur le renvoi (6).

La tige (5) du vérin doit rentrer pour pouvoir actionner le frein.

Effort exercé par le vérin pneumatique :

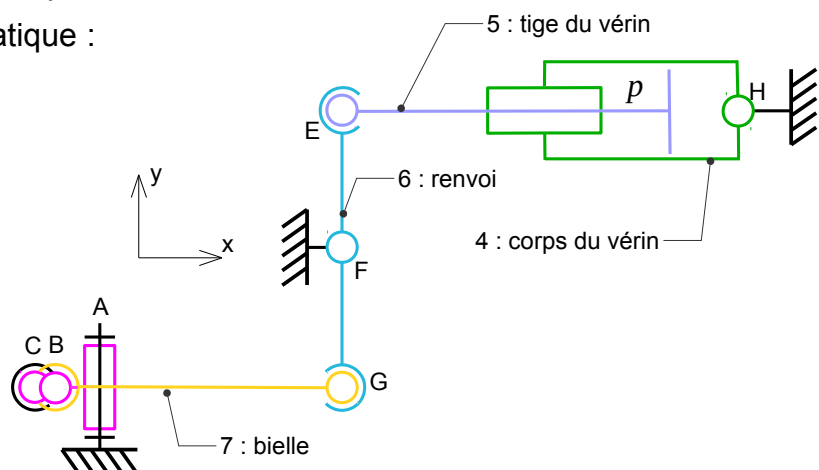
$$F_{\text{vérin}} = p \times S \text{ avec } S = \pi \frac{(D^2 - d^2)}{4}$$

Application numérique :

$$S = \pi \frac{(0,16^2 - 0,025^2)}{4} = 0,0196 \text{ m}^2$$

$$p = 6 \text{ bar} = 6 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$F_{\text{vérin}} = 11,76 \text{ kN}$$



**Q13.** En indiquant précisément les théorèmes de la mécanique utilisés et les ensembles matériels isolés, **justifier** la relation  $\|\vec{F}_{7 \rightarrow 1}\| = \|\vec{F}_{\text{vérin}}\|$ .

Le renvoi (6) est soumis à l'action de trois efforts représentés par des glisseurs respectivement en  $E$ ,  $F$  et  $G$ .

L'application du théorème du moment dynamique au point  $F$  en projection sur  $\vec{y}$  donne :

- $\|\vec{F}_{\text{vérin}}\| \times EF - \|\vec{F}_{7 \rightarrow 6}\| \times FG = 0$

Comme  $EF = FG$  :

- $\|\vec{F}_{7 \rightarrow 6}\| = \|\vec{F}_{\text{vérin}}\|$

La bielle 7 est soumise à l'action de deux efforts modélisés par deux glisseurs passant par  $B$  et  $G$ .

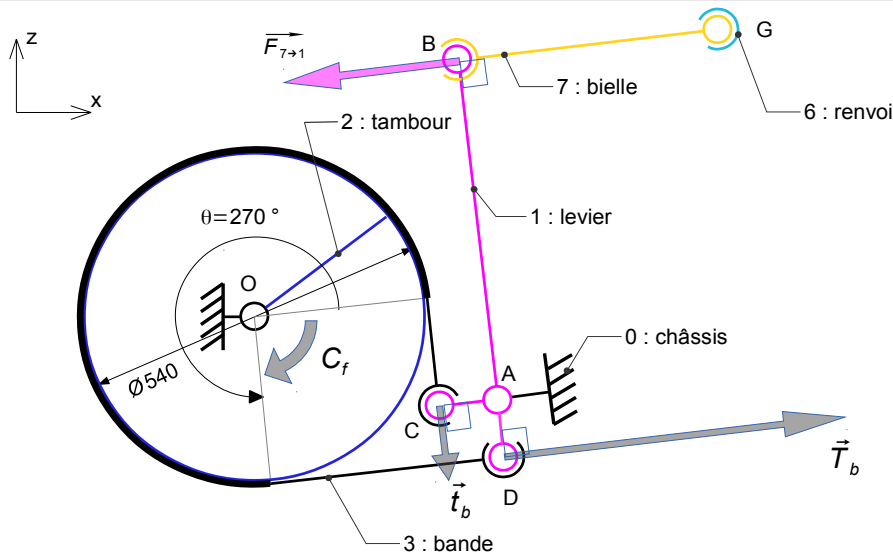
L'application du théorème du résultante dynamique donne :

$$\|\vec{F}_{1 \rightarrow 7}\| - \|\vec{F}_{6 \rightarrow 7}\| = 0$$

soit :

$$\|\vec{F}_{7 \rightarrow 1}\| = \|\vec{F}_{6 \rightarrow 7}\| = \|\vec{F}_{\text{vérin}}\|$$

**Q14.** En indiquant précisément les théorèmes de la mécanique utilisés et les systèmes matériels isolés, **justifier** la relation  $\|\vec{t}_b\| = \frac{AB \cdot \|\vec{F}_{\text{vérin}}\|}{AC \cdot (e^{f\theta} + 1)}$ .



Le levier est soumis à l'action de quatre effort représentés par des glisseurs passant respectivement par  $A$ ,  $B$ ,  $C$  et  $D$ .

L'application du théorème du moment dynamique au point  $A$  en projection sur  $\vec{y}$  donne :

$$AB \times \|\vec{F}_{\text{vérin}}\| = AD \times \|\vec{T}_b\| + AC \times \|\vec{t}_b\|$$

or

$$\frac{\|\vec{T}_b\|}{\|\vec{t}_b\|} = e^{f\theta}$$

$$AB \times \|\vec{F}_{vérin}\| = (AD \times e^{f\theta} + AC) \times \|\vec{t}_b\|$$

$$\|\vec{t}_b\| = \frac{AB \times \|\vec{F}_{vérin}\|}{AC \times (e^{f\theta} + 1)} \text{ car } AD = AC$$

**Q15. Calculer** l'effort de freinage  $\|\vec{F}_{f1}\|$  exercé par un seul dispositif de freinage système 1.

$$\|\vec{F}_{f1}\| = \frac{2}{d_{roue}} \frac{D_{tambour}}{2} (e^{f\theta} - 1) \|\vec{t}_b\|$$

Application numérique :

$$\|\vec{F}_{f1}\| = \frac{2}{0,668} \frac{0,54}{2} \times (5,72 - 1) \times \frac{11,76 \times 570}{85 \times (5,72 + 1)}$$

$$\|\vec{F}_{f1}\| = 44,78 \text{ kN}$$

**Q16. Calculer** l'effort total de freinage  $\|\vec{F}_f\|$  exercé par l'ensemble des dispositifs de freinage système 1 qui équipent la rame.

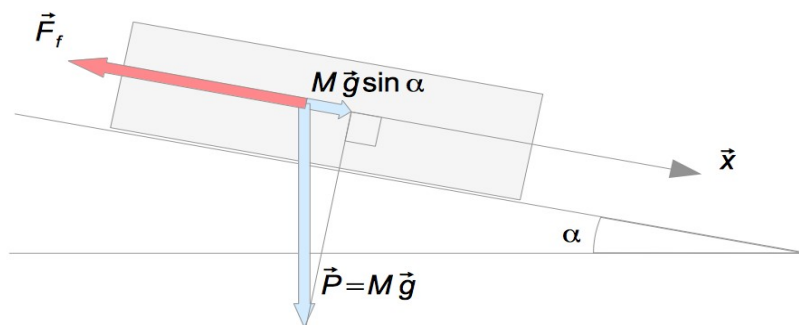
$$\|\vec{F}_f\| = 4 \|\vec{F}_{f1}\|$$

Application numérique :  $\|\vec{F}_f\| = 4 \times 44,78 = 179,11 \text{ kN}$

**Q17.** En appliquant le théorème de la résultante dynamique à la rame selon l'axe de la voie ( $\vec{x}$ ), **démontrer** que l'expression de la distance de freinage est

$$d = \frac{V^2}{2 \left( \frac{-F_f}{M} + g \sin \alpha \right)}$$

**Calculer** la distance nécessaire pour stopper la rame si la vitesse initiale est égale à 28,4 km/h.

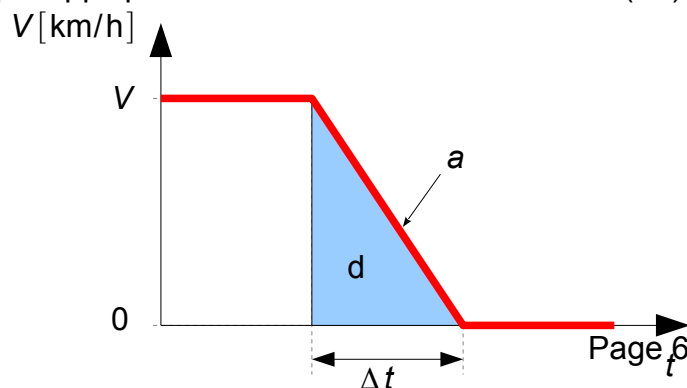


Théorème de la résultante dynamique appliqué à la rame selon l'axe de la voie ( $\vec{x}$ ) :

$$-F_f + Mg \sin \alpha = Ma$$

$$a = \frac{-F_f}{M} + g \cdot \sin \alpha$$

$$d = \Delta \frac{t \cdot V}{2} = \frac{V \cdot V}{2a}$$



Application numérique :  $a = \frac{-179}{65} + 9,81 \times \frac{15}{100} = -1,27 \text{ m/s}^2$

$$V = 28,4 \text{ km/h} = 7,89 \text{ m/s} \quad d = \frac{\frac{7,89}{1,27} \times 7,89}{2} = 24,5 \text{ m}$$

**Q18. Justifier** l'écart entre la valeur mesurée et la valeur calculée de la distance de freinage.

L'écart observé peut s'expliquer par :

- la durée de mise en pression de la chambre du vérin ;
- par le temps de mise en tension de la bande ;
- un coefficient de frottement de la bande sur le tambour non optimal du fait de la présence d'humidité, d'un échauffement, etc.

**Q19. Valider** le dimensionnement du dispositif de freinage système 1.

La BAM se trouve à 45 m de l'aiguillage, la distance de freinage  $d$  est suffisante pour permettre au train de s'arrêter à temps. Le système est donc bien dimensionné.

## 6) Acquisition et communication de la vitesse par le système SAA

**Q20. Déterminer**, en pourcentage, l'erreur d'acquisition de la vitesse. **Valider** le choix du codeur.

La vitesse du train s'exprime de la façon suivante :

$$v[\text{m/s}] = r \omega = \frac{D}{2} \times 2\pi \times f \quad \text{avec } f = \frac{f_c}{a}$$

$$v[\text{km/h}] = v[\text{m/s}] \times 3,6$$

$$v[\text{km/h}] = \frac{D}{2} \times 2\pi \times \frac{f_c}{a} \times 3,6$$

On mesure sur le relevé :  $T_c = 1 \text{ ms} \rightarrow f_c = 1000 \text{ Hz}$

$$v[\text{km/h}] = 0,796 \times \pi \times \frac{1000}{360} \times 3,6 = 25 \text{ km/h}$$

Écart par rapport à la valeur réelle:  $\frac{25 - 24}{24} = 4,2\%$

4,2 % < 5 % : le CdC est respecté. Le codeur est bien choisi.

**Q21. Justifier** le choix d'un afficheur à retour d'information.

Le retour d'information permet de s'assurer que la vitesse affichée pour le conducteur correspond bien à la vitesse réelle. Une alarme visuelle est déclenchée dans le cas

contraire. C'est un niveau de sécurité supplémentaire.

## 7) Conclusion

**Q22. Énumérer** les solutions étudiées dans le sujet qui permettent d'assurer la sécurité des passagers du Panoramique des Dômes. **Commenter** ces solutions.

Détection des parcours incompatibles : évite d'autoriser la circulation d'un train alors qu'une voie est déjà occupée.

Détection des survitesses par le S.A.A. et action sur les systèmes de frein électrique pour ralentir le train ou mécaniques (système 1 et 2) pour l'arrêter en urgence.

Contrôle de la vitesse affichée pour s'assurer que le système d'affichage n'est pas défaillant.

Les systèmes de sécurité, de mesure, etc. sont tous redondant afin d'assurer une sécurité maximale des passagers.

**Q23. En déduire** si oui ou non les systèmes étudiés sont suffisants pour éviter la collision de deux trains ? **Justifier** la réponse et **proposer** une solution si nécessaire.

Non, le conducteur peut décider de redémarrer sans respecter la signalisation.

Relier la S.A.A. à la signalisation (feux stop) afin d'éviter un redémarrage non autorisé.