

SUJET 1 Polynésie juin 2013

LE TRAMWAY AERIEN DE RIO DE JANEIRO

SUJET

Présentation..... page 2

PARTIE 1 (3 heures)..... pages 3 à 9

PARTIE 2 (1 heure)..... pages 9 à 10

Documents techniques..... pages 11 à 21

Documents réponses..... pages 22 à 25

**Le sujet comporte deux parties indépendantes qui
peuvent être traitées dans un ordre indifférent.**



Présentation

Rio de Janeiro est une mégapole Brésilienne de plus de 6 millions d'habitants admirée pour sa beauté, ses plages et connue pour son carnaval. Son implantation géographique est telle que la majeure partie de la ville est située sur une multitude de collines et de dépressions formant un paysage escarpé où la circulation urbaine est rapidement devenue un problème.

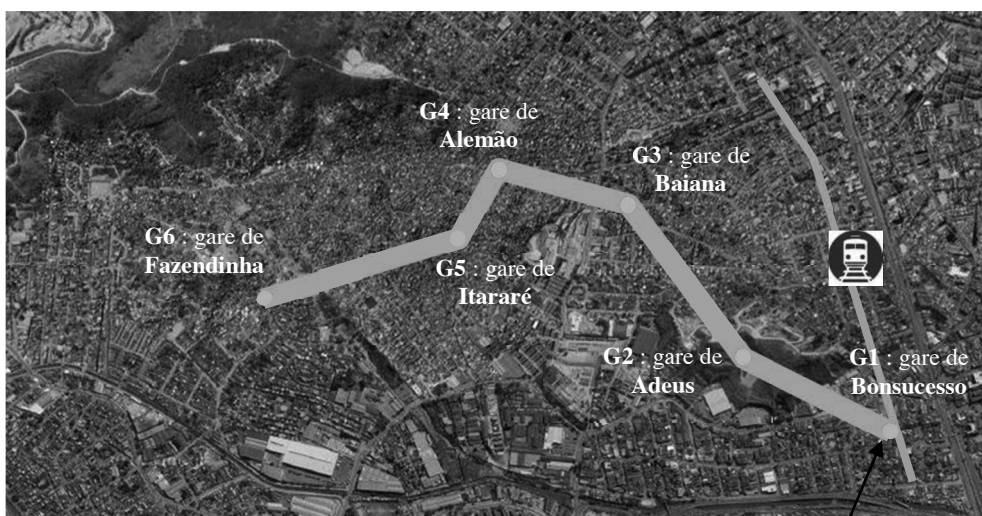
Plus de 20% de la population habite dans les favelas. Ces habitations constituées d'un amalgame de matériaux de récupération sont concentrées sur les pentes escarpées des collines.

Le déplacement dans ces quartiers ne peut se faire qu'à pied, par cyclomoteur ou par mini van et aucun vrai réseau de transport urbain n'a pu voir le jour du fait de la configuration du terrain.

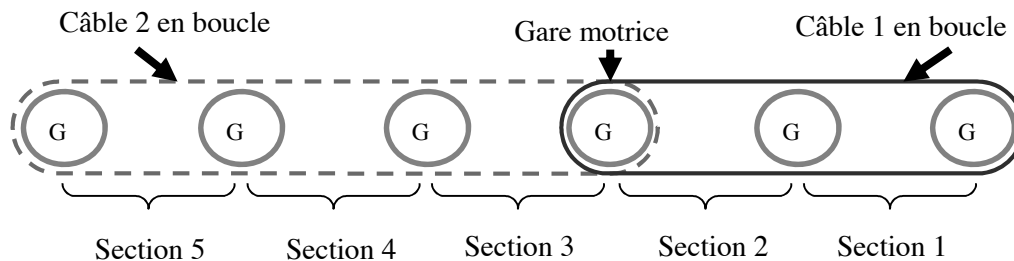
C'est dans cet environnement que l'état de Rio a confié au groupe français Poma la réalisation d'un tramway aérien dans le quartier d'Alemão au nord de la ville.

Implantation des gares

Ce tramway aérien est composé de télécabines circulant sur deux câbles reliant six gares entre elles. La gare G3 (Baiana) est la gare motrice. Elle entraîne deux boucles de câbles de part et d'autre, une boucle pour les gares G1 à G3 et une boucle pour les gares G3 à G6 (voir schéma page suivante).



Interconnexion avec le réseau ferroviaire



Description générale :

5 sections interconnectées desservant 6 gares.

Longueur : 3456 m.

Dénivelé : 121 m.

Vitesse nominale : 5 m.s^{-1}

Durée du parcours total (de G1 à G6) : environ 17 min.

Capacité par cabine : 10 passagers.

Nombre total de cabines : 1520

Nombre de cabines en mouvement : 1170

Débit maxi : 3000 passagers/heure dans chaque sens.



PARTIE 1

Problématique 1

L'évolution environnementale actuelle impose un choix raisonné pour les déplacements citadins. Le coût de l'énergie, l'impact environnemental et le service rendu sont trois critères essentiels pour le choix d'un mode de transport. On se propose de vérifier que le choix du tramway aérien réponde à ces critères.

Le transport à visage durable

L'entreprise Poma implantée à Voreppe près de Grenoble est un des leaders mondiaux du transport par câble. Son expérience de plus de 60 ans dans les remontées mécaniques en station de sports d'hiver lui a permis de se lancer depuis quelques années dans le transport urbain. Cette réalisation de tramway aérien à Rio de Janeiro fait suite à plusieurs installations déjà en fonctionnement à Medellin (Colombie), Taipei (Taiwan), Tianmenshan (Chine) et le célèbre Roosevelt Island au cœur de Manhattan à New York.

Q1. A l'aide de l'extrait du dossier de presse, **citer** et **classer** dans le tableau du document réponse DR1, les arguments qui montrent que ce tramway aérien de Rio s'inscrit dans une démarche de développement durable. Voir DT 1.

Les cabines en service à Rio sont du type « Diamond TC10 ». Le constructeur n'a pas développé un nouveau type de cabine mais a utilisé un modèle déjà en service sur de nombreux sites à travers le monde entier.

Q2. Justifier et argumenter ce choix du constructeur du point de vue de la compétitivité.

Bilan environnemental des matériaux de la cabine

Les trois principaux matériaux utilisés pour la structure de la cabine sont l'acier, l'aluminium et le polycarbonate. Lors de la conception de la cabine le constructeur a comparé l'impact sur l'environnement de différents matériaux pour réaliser les vitrages.

L'unité fonctionnelle définie est la suivante : assurer 1 m² de cloison transparente résistant en tout point à un effort normal maximum de 1200 N.

Le document DT3 donne le résultat de l'impact environnemental sur deux critères ainsi que les caractéristiques des matériaux.

Q3. Analyser les résultats et **expliquer** pourquoi le constructeur a choisi un vitrage en polycarbonate pour les cabines. Voir DT 3.

Calcul du débit maximum de passagers

L'objectif de cette partie est de vérifier le nombre maximum de passagers transportés en une heure.

La poulie motrice 3 est située dans la gare G3, elle entraîne deux boucles de câbles de part et d'autre de la gare (voir schéma page 3). En fonctionnement normal, les cabines acheminent les passagers à une vitesse linéaire de 5 m.s⁻¹.

La poulie motrice doit donc entraîner les câbles à cette même vitesse ($V_{c/sol} = 5 \text{ m.s}^{-1}$).

Le système de gestion de la gare motrice assure un débit régulier de cabines. Il impose la distance entre deux cabines : $D_c = 59 \text{ m}$.

Rappel : Nombre maximum de personnes par cabine : $K_p = 10$.

Longueur de la ligne du tramway aérien (entre G1 et G6) : $L = 3456 \text{ m}$.

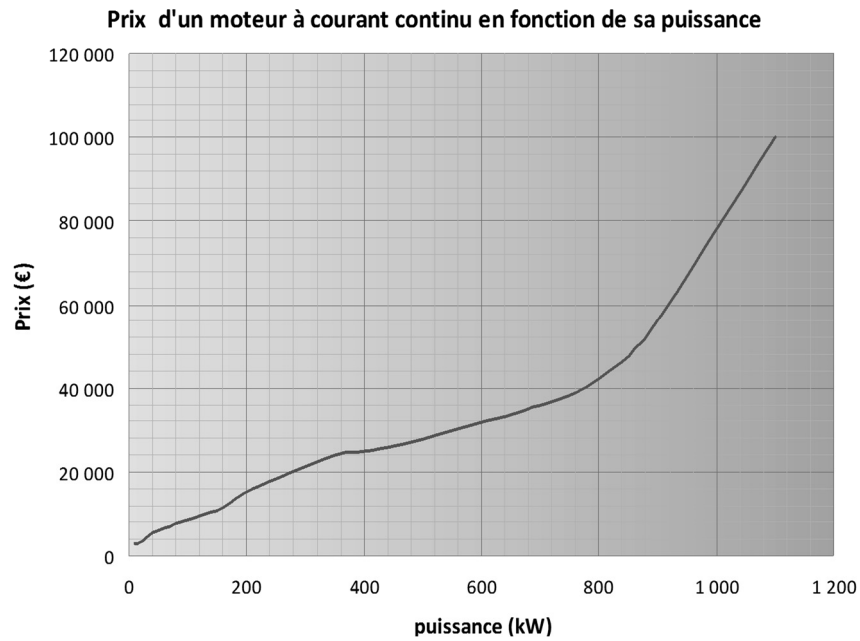
Q4. Calculer le débit de passagers Q_p (nombre de passagers arrivant dans une gare pendant une heure). **Comparer** votre résultat à la valeur annoncée par le constructeur et **conclure**.

Dimensionnement des moteurs

L'objectif de cette partie est de dimensionner les moteurs et leur chaîne d'énergie.

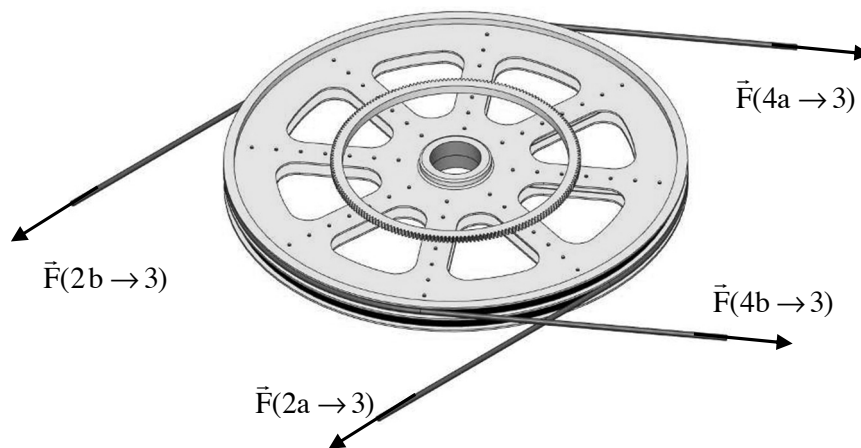
Q5. D'après le schéma de la chaîne de transmission et le diagramme de blocs internes (ibd) de la chaîne d'énergie en fonctionnement normal, **expliquer** la particularité de la motorisation choisie. Voir DT 5 et DT 6.

Q6. D'après la courbe donnée ci-après, **justifier** le choix de la motorisation si la puissance motrice est supérieure à 800 kW.



Données :

Une première étude a permis de déterminer la tension dans les câbles pendant le fonctionnement normal de l'installation. Les valeurs des efforts exercés par les câbles sur la poulie (3) sont données ci-dessous.



(Efforts parallèles au plan de la poulie)

| Efforts | Normes |
|-----------------------------|-----------|
| $\vec{F}(4a \rightarrow 3)$ | 502 000 N |
| $\vec{F}(4b \rightarrow 3)$ | 615 000 N |
| $\vec{F}(2a \rightarrow 3)$ | 428 000 N |
| $\vec{F}(2b \rightarrow 3)$ | 525 000 N |

Diamètre d'enroulement du câble sur la poulie motrice : $D_p = 4,4$ m.

Rendement du système poulie-câble : $\eta_p = 0,98$.

Rendement du réducteur de vitesse : $\eta_r = 0,965$.

Pour assurer le débit de passagers, la poulie motrice doit avoir une vitesse de rotation $\omega_{p/sol}$ de $2,27 \text{ rad.s}^{-1}$.

Q7. Etablir l'expression littérale du couple au niveau de la poulie motrice C_p en fonction des forces exercées sur les câbles pour les entraîner. **Effectuer** l'application numérique.

Q8. Etablir l'expression littérale de la puissance nécessaire au niveau de la poulie motrice P_p en fonction de la vitesse de rotation de la poulie motrice $\omega_{p/sol}$ et du couple au niveau de la poulie motrice C_p . **Effectuer** l'application numérique.

Q9. Etablir l'expression littérale de la puissance délivrée par l'ensemble des moteurs P_m en fonction de la puissance nécessaire au niveau de la poulie motrice P_p . **Effectuer** l'application numérique. En **déduire** la puissance P_{1m} que doit délivrer un seul moteur sachant que les moteurs sont identiques. Voir DT 6.

Calcul de l'énergie absorbée en une année par le téléphérique

L'objectif de cette partie est de déterminer l'énergie consommée par ce tramway aérien sur une année afin de la comparer avec l'énergie qu'utiliserait un autre mode de transport de personnes.

Q10. En fonction de l'histogramme donné, **compléter** la colonne du *temps de fonctionnement sur l'année* dans le tableau du document réponse DR1 (seulement pour les taux du débit de passagers de 100 % et 30 %, les autres ne sont pas étudiés). Voir DR 1 et DT7.

Q11. Calculer le nombre de passagers transportés pendant l'année. Pour ce calcul on considérera que le débit maximum (montée + descente) de passagers est de 6000 passagers par heure. **Compléter** la colonne du *nombre de passagers*

transportés en un an dans le tableau du document réponse DR1 (seulement pour les taux du débit de passagers de 100 % et 30 %). Voir DR1.

Q12. Calculer la puissance absorbée selon les taux de débit de passagers. Pour ce calcul on considérera que la puissance absorbée par l'ensemble de l'installation est de 1300 kW pour le débit maximum de passagers. **Compléter** la colonne de la *puissance absorbée* dans le tableau du document réponse DR1 (seulement pour le taux du débit de passagers de 30 %). Voir DR1.

Q13. Calculer l'énergie absorbée pendant l'année en prenant en compte les taux de débit de passagers. **Compléter** la colonne de *l'énergie* dans le tableau du document réponse DR1 (seulement pour les taux du débit de passagers de 30 % et 100 %). Voir DR1.

Comparatif avec des mini vans

Le moyen de transport initialement utilisé dans les quartiers desservis par le tramway aérien est le mini van. L'énergie totale consommée sur une année par ce mode de transport et pour un même nombre de passagers est de 5100 GWh.

Q14. Comparer ces deux modes de transports.

Q15. En vous servant de vos réponses précédentes, **rédigé** une conclusion argumentée (5 à 10 lignes) sur le respect ou non de la problématique 1.

Problématique 2

Le transport de personnes impose des normes de sécurité rigoureuses. On se propose de vérifier que le tramway aérien de Rio réponde aux exigences de sécurité réglementaires au niveau de la suspenste de cabine et du fonctionnement limité par grand vent.

Validation de la suspenste de cabine

L'objectif de cette partie est de vérifier que la suspenste de cabine permet d'assurer la sécurité des passagers en résistant à la charge totale suspendue.

Analyse du modèle

Données :

- Problème dans le plan XY.
- Masse de la cabine : 720 kg (DT2). L'ensemble cabine est composé de la cabine, de la suspenste et de la pince.
- Masse de référence d'un passager : 80 kg.
- Nombre maximum de passagers : 10.
- Accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

Q16. A partir des données ci-dessus et du bilan des actions mécaniques extérieures à la suspenste de cabine, **justifier** les valeurs des composantes des torseurs d'actions mécaniques $\{T_{\text{pince} \rightarrow \text{suspenste}}\}$ et $\{T_{\text{cabine} \rightarrow \text{suspenste}}\}$. Voir DT4.

Analyse des résultats obtenus par simulation

Q17. Indiquer la valeur de la contrainte maximale relevée dans la pièce en mégapascal (MPa) ainsi que la flèche maximale en mm. Voir DT 4 et DT 5.

Q18. Sur le document réponse (DR2), **entourer** les zones où la contrainte est maximale. Voir DT 4.

Q19. Citer la limite élastique du matériau utilisé et **calculer** le coefficient de sécurité. Voir DT 4.

| Coefficients de sécurité typiques | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---|
| Coefficient de sécurité s | Charges exercées sur la structure | Contraintes dans la structure | Comportement du matériau | Observations |
| $1 \leq s < 2$ | régulières et connues | connues | testé et connu | fonctionnement constant sans à-coups |
| $2 \leq s < 3$ | régulières et assez bien connues | assez bien connues | testé et connu moyennement | fonctionnement usuel avec légers chocs et surcharges modérées |
| $3 \leq s < 4$ | moyennement connues | moyennement connues | non testé | |
| | mal connues ou incertaines | mal connues ou incertaines | connu | |

Q20. En utilisant le tableau précédent et en comparant avec la valeur calculée, **justifier** la valeur du coefficient de sécurité recommandée.

Fonctionnement par grand vent

Le téléphérique ne doit pas fonctionner par grand vent. Des anémomètres sont installés en haut de chacune des gares. La technologie de l'anémomètre est décrite dans le document DR3. L'information de la vitesse du vent doit être codée pour être transmise au système de gestion de la ligne afin d'être traitée.

| Anémomètre Alizia 178 | |
|---|--|
| Vitesse du vent | Utilisation |
| Etendue de mesure : 0 – 60 m.s ⁻¹ . Seuil de démarrage : 0,5 m.s ⁻¹ . Précision : 0,5 m.s ⁻¹ . | Sortie : 4 - 20 mA pour 0 - 60 m.s ⁻¹ . Alimentation : 6 à 24 Vcc. Boucle de courant : 2 fils. Domaine d'utilisation : -20 à +70 °C. |