

## Epreuve de Sciences Industrielles C

Durée 6 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

---

**L'usage de calculatrices est interdit**

**Aucun document n'est autorisé**

### **Composition du sujet :**

- 1 cahier de 13 pages de texte numérotées de 1 à 13.
- 1 cahier de 7 pages intitulé « DOCUMENTS RESSOURCES »
- 1 calque format A3, intitulé « CALQUE REPONSE » à rendre à la fin de l'épreuve.
- 1 cahier de 16 pages, intitulé « CAHIER REPONSES » à rendre à la fin de l'épreuve.

### **Gestion du temps :**

*En admettant une durée de 15 minutes pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est vivement conseillé de consacrer environ 15 % du temps à la partie I, environ 15 % du temps à la partie II, environ 15 % du temps à la partie III, environ 30 % du temps à la partie IV, environ 25 % du temps à la partie V.*

Il est demandé au candidat de formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires pour répondre aux questions posées.

La présentation, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs.

Il est demandé aux candidats des dessins qui doivent traduire sans ambiguïté leurs intentions de conception. Pour cela, les candidats sont invités à faire preuve de rigueur dans leur tracé (en particulier, l'utilisation d'une règle ne pourra être que conseillée) et à donner toutes les précisions qu'ils jugeront utiles afin de permettre au jury d'évaluer la pertinence de leurs solutions. Les tablettes à dessiner permettant de travailler sur des documents de dimension A3 sont autorisées.

## Automated Guided Vehicles

Leader français des solutions intra logistiques par chariots automatiques (AGV - Automated Guided Vehicles), BA SYSTEMES élabore des solutions globales de manutention et de stockage automatiques adaptées au marché international.

BA SYSTEMES mise depuis plus de 30 ans sur ses savoir-faire en matière de systèmes logistiques industriels, de solutions performantes qui allient haute technologie et sécurité.

Présente dans tous les secteurs d'activités industriels (agro-alimentaire, papier, cosmétique, emballage, embouteillage, pharmacie, industries...), BA SYSTEMES a une gamme importante d'AGV (figure 1) et s'est constitué un portefeuille de clients prestigieux qui reconnaissent son savoir-faire et son expertise sur des extensions de site ou de nouveaux projets.



Figure 1 : exemples d'AGV

BA SYSTEMES offre aussi des prestations sur-mesure à des clients dont le cahier des charges est exigeant, voire évolutif en fonction des progrès et des contraintes de leur process, et requiert une grande adaptabilité.

C'est dans ce cadre d'appel d'offre « sur-mesure » que se place le sujet (figure 2). BA SYSTEMES a développé un AGV spécifique pour déplacer et positionner, dans un site de stockage et d'expédition, des bobines de papier (type presse quotidienne).



Figure 2 : AGV développés sur-mesure

La problématique générale porte sur la conception de l'AGV et sa gestion énergétique en cycle d'utilisation (déplacement de l'AGV, pose – dépose des bobines, rechargement des batteries de l'AGV).

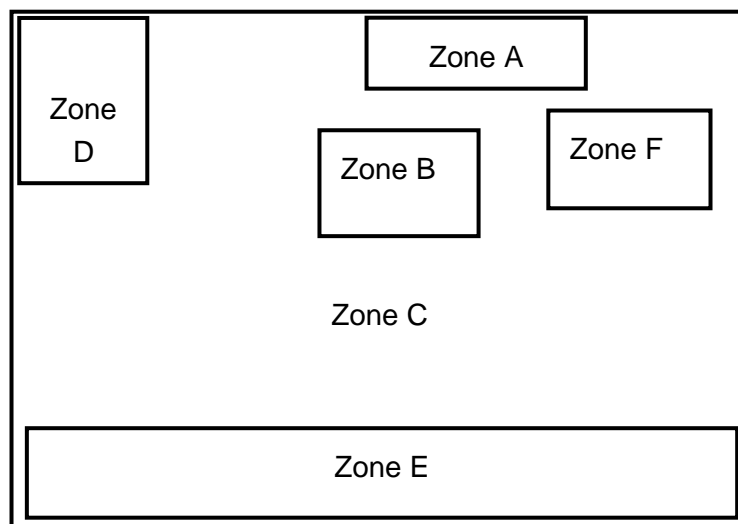
Les études portent sur l'adaptation de structures existantes aux spécificités de l'installation par rapport à l'expérience de l'industriel : bobines volumineuses, de diamètre, hauteur et composition variables, positionnables à une hauteur importante (6 m).

Ces adaptations viennent, en particulier, impacter les exigences suivantes :

- autonomie et charges lourdes : minimum 8h sur batterie standard,
- sécurité et inertie des chariots : pas de collision avec le personnel ou le matériel, pas de basculement de l'AGV,
- structure et efforts importants : résistance aux charges sur l'ensemble de la durée de vie du matériel.

Le site de stockage est un hall de 150 m x 100 m et comporte 6 zones (figure 3) :

- zone A de stockage tampon entre l'atelier de fabrication et le stock,
- zone B de maintenance / rechargement de la flotte d'AGV,
- zone C de stock,
- zone D de chargement routier (quais pour camions),
- zone E de chargement ferroviaire (quais pour wagons),
- zone F destinée à la supervision et au contrôle de l'ensemble.



**Figure 3 : schéma d'implantation du hall de stockage et de manutention**

L'AGV utilisé est d'un nouveau type, il est équipé d'un mât télescopique à 3 paires de pinces. Les performances et caractéristiques dimensionnelles associées à l'AGV sont décrites dans le document ressource 1.

Sur ce même document ressource 1, une présentation SYSML de l'AGV décrit les exigences attendues. La partie 1 du sujet s'intéresse au critère d'autonomie, la partie 2 à l'exigence de sécurité. Les parties 3, 4 développent l'exigence de déplacement. La partie 5 étudie les conséquences de l'exigence de chargement.

## **Partie I : Choix d'une stratégie énergétique**

Le cahier des charges définit un cycle standard de fonctionnement (de la production vers l'espace de stockage) qui correspond à des obligations de performances moyennes. Ce cycle est défini par des profils de vitesse et de hauteur de la charge (voir document ressource 2).

**Objectif :** définir la consommation électrique au cours du cycle standard et proposer une stratégie de gestion de l'énergie afin de valider le critère d'autonomie.

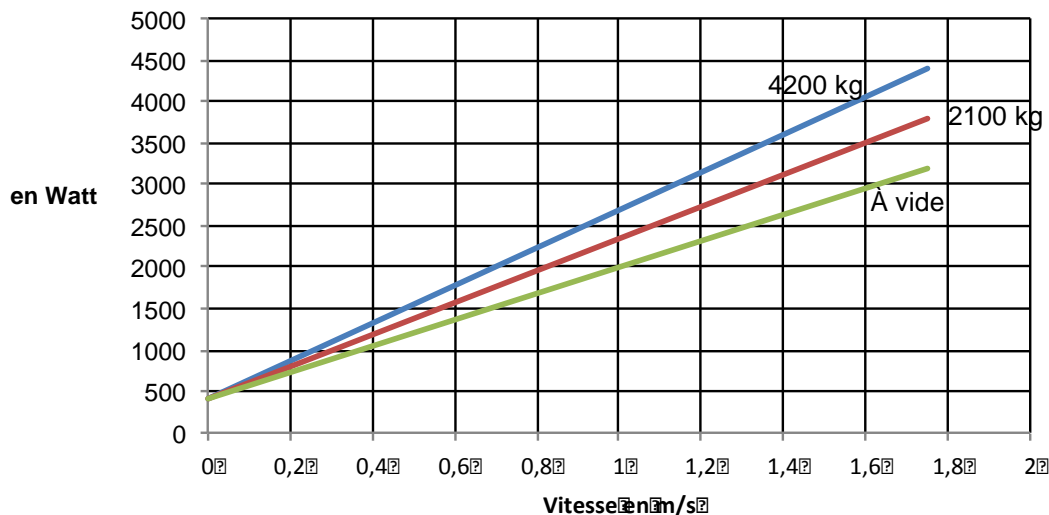
On suppose le chargement transporté par l'AGV maximal, soit 4 200 kg. L'ensemble mobile verticalement, outil et charge, a une masse de **6 000 kg**. L'AGV complet a alors une masse totale de **15 000 kg**.

**Question 1.** Après avoir écrit la forme littérale, estimer numériquement l'énergie cinétique maximale du chariot chargé et non chargé ( $1,6^2 \gg 2,5$ ).

**Question 2.** Après avoir écrit la forme littérale, estimer la variation maximale de l'énergie potentielle de gravité du chariot.

On s'intéresse maintenant au cycle standard défini dans le document ressource 2.

Lorsque l'AGV se déplace à vitesse constante, l'estimation de sa consommation énergétique en fonction du chargement et de sa vitesse est donnée sur le graphique figure 4. On suppose que cette consommation est identique en marche avant et en marche arrière.



**Figure 4 : évolution de la consommation de traction, à vitesse constante, pour différents chargements.**

Pour les quatre questions suivantes, on s'attachera à n'obtenir que des ordres de grandeur. A cette fin, les durées caractéristiques du cycle standard pourront être arrondies.

**Question 3.** Pour les déplacements à vitesse constante, estimer, en kJ, la consommation de traction sur un cycle.

**Question 4.** A partir des résultats précédents, estimer la consommation énergétique totale du cycle standard sans dispositif de récupération d'énergie. En déduire la puissance moyenne consommée.

**Question 5.** Quelles sont les énergies susceptibles d'être récupérées ?

L'autonomie de l'AGV doit être de 8 heures sur cycle standard avec un taux d'utilisation de 80%.

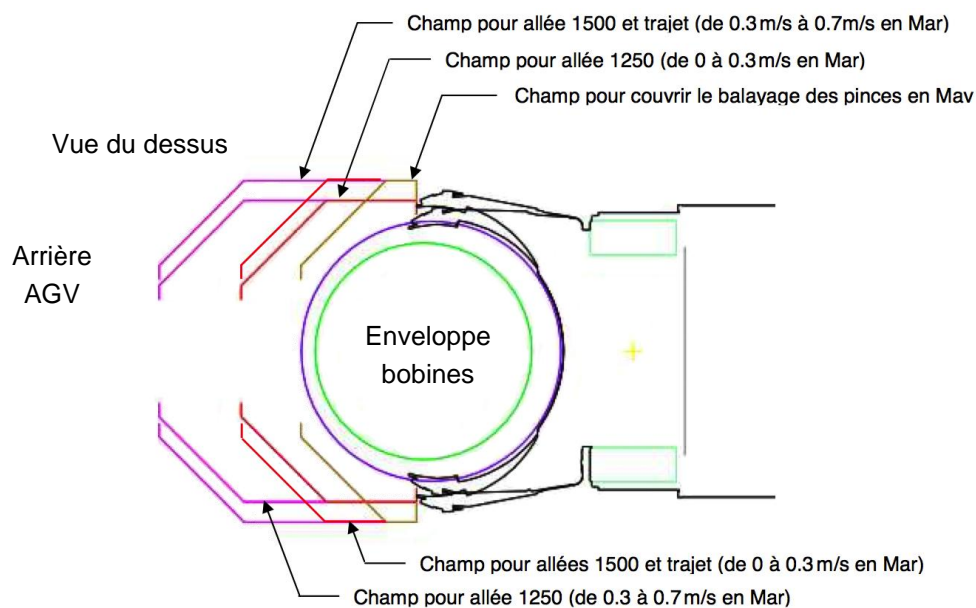
Afin de conserver une infrastructure automatisée de rechargement des batteries, la batterie utilisée est de type 72 Volt, 620 Ampère-heure. Pour assurer une durée de vie optimale, elle ne doit pas être déchargée à plus de 80% (voir diagramme SYSML).

- Question 6.** Après avoir calculer la puissance moyenne délivrable par la batterie sur 8 heures, proposer une stratégie énergétique : récupération ou non de l'énergie, sur la fonction traction et/ou levage ?
- Question 7.** Le constructeur a décidé de récupérer l'énergie de freinage. Commenter cette décision.

## Partie II : Réglage des éléments de sécurité

**Objectif :** vérifier l'adéquation entre la vitesse de l'AGV et le réglage des scrutateurs afin d'assurer les exigences de sécurité : (i) la sécurité du personnel, (ii) éviter tout contact entre l'AGV et des obstacles, (iii) tout basculement.

Les scrutateurs sont des capteurs lasers détectant une intrusion dans une zone définie dépendant de la vitesse de déplacement du chariot. Cette présence déclenche un arrêt d'urgence qui doit éviter le contact avec l'intrus (personne ou objet). Les dimensions de la zone dépendent donc des possibilités de freinage d'urgence du chariot et donc, en marche arrière (Mar), de la hauteur de la charge.



**Figure 5 : exemple de définition de 3 zones de sécurité en fonction de la vitesse de l'AGV**

L'AGV se déplace grâce à 3 roues : deux roues à l'arrière et une roue motrice et directrice à l'avant (voir les documents ressources 1 et 3).

Le modèle d'étude est précisé sur le document ressource 3 avec les hypothèses suivantes :

- roulement sans glissement des roues sur le sol,
- problème supposé plan.

Les paramètres de position sont :

- $x(t)$  (position par rapport au sol du point  $I_3$ ) paramètre de position du chariot par rapport au sol,
- $y(t)$  hauteur du plan inférieur de la charge.

On notera  $V(t)$  pour  $\dot{x}(t)$  et  $g(t)$  pour  $\ddot{x}(t)$ .

Les actions de contact du sol sur les roues (3) et (4), respectivement en  $I_3$  et  $I_4$ , sont notées :

$$\{T_{0 \rightarrow 3}\}_{I_3} = \begin{Bmatrix} Y_3 \vec{y} \\ \vec{0} \end{Bmatrix} \quad \text{et} \quad \{T_{0 \rightarrow 4}\}_{I_4} = \begin{Bmatrix} X_4 \vec{x} + Y_4 \vec{y} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$

L'adhérence en  $I_4$  est modélisée suivant le modèle de Coulomb avec un coefficient d'adhérence noté  $f$ .

### Détermination de l'accélération maximale en marche arrière.

Lors d'une phase de freinage en marche arrière et avec le paramétrage défini :  $g(t) > 0$ .

L'ensemble (E)=(1+2+3+4) est isolé.

- Question 8.** Déterminer les coordonnées  $x_G$  et  $y_G$  du centre de gravité  $G$  de (E) dans  $(I_3, \vec{x}, \vec{y})$  en fonction de  $M, m_1, m_2, x_1, x_2, y_1, y_2$  et  $y(t)$ .
- Question 9.** En déduire l'expression du vecteur accélération de  $G$  par rapport à  $(0)$ ,  $\vec{\gamma}_{G/0}$ , dans la base  $(\vec{x}, \vec{y})$ .
- Question 10.** En appliquant le modèle de Coulomb et le principe fondamental de la dynamique sur (E) en résultante sur  $\vec{x}$ , déterminer une relation entre  $M, \gamma, f$  et  $Y_4$ .

Le système est étudié en supposant que  $\ddot{y}(t) = 0$ .

- Question 11.** Écrire l'équation du principe fondamental de la dynamique sur (E), en moment et en  $I_3$ .
- Question 12.** En déduire l'expression de l'accélération maximale lors de cette phase de freinage en marche arrière.

### Réglage des scrutateurs arrières.

Les résultats précédents permettent de tracer le graphique du cahier réponse dans un cas défavorable. Celui-ci représente les liens entre les actions du sol sur les roues, à l'équilibre dynamique.

Ainsi, si le freinage génère une action tangentielle  $X_4$  de 5 kN, l'équilibre dynamique, s'il n'y a pas glissement, impose des composantes normales  $Y_4$  de 15 kN et  $Y_3$  de 135 kN.

Le coefficient d'adhérence entre la roue motrice et le sol est normalement supérieur à 0,6. Cependant, les mesures de sécurité doivent être valables pour un coefficient compris entre 0,2 et 0,6.

- Question 13.** Repérer sur le document réponse le point de fonctionnement correspondant à la limite de glissement pour (i) un coefficient d'adhérence de 0,2 ; (ii) un coefficient d'adhérence de 0,6.
- Question 14.** En déduire la décélération minimale, notée  $g_m$ , assurée indépendamment de la qualité de l'adhérence.

- Question 15.** En déduire l'expression de la distance maximale de freinage  $d_m$  en fonction de la vitesse de translation initiale  $V$  et de la décélération  $g_m$ . Vous préciserez les hypothèses faites.
- Question 16.** Préciser comment  $d_m$  permet de régler les scrutateurs et ainsi d'assurer l'exigence de sécurité.