

**ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES B**  
**ÉTUDE D'UN SYSTEME DE LEVAGE DE PLATEAUX DE MATERIELS ELECTRIQUES**  
**POUR PALETTISATION**

Durée : 6 heures

**PRÉSENTATION DU SUJET**

Le sujet porte sur un système industriel de palettisation de matériels électriques composé d'une part de trois ascenseurs (appelés systèmes de levage des plateaux), et d'autre part d'un préhenseur de manipulation, ce dernier ne faisant pas l'objet d'étude lors de l'épreuve.

Dans un premier temps, l'exigence d'encombrement ayant imposé de disposer en porte-à-faux la motorisation du système d'entraînement par vis/écrou à billes, il en résulte des efforts potentiellement néfastes pour le fonctionnement du système. La notice propose, à partir d'un modèle de liaison fourni, de vérifier ou justifier différents choix de composants en regard des déformations possiblement induites par les efforts transitant dans le système. Ainsi, la déformation liée à la flexion de la vis à billes permet de vérifier le rotulage des paliers choisis. Puis, les tolérances de fabrication de la liaison glissière entre les colonnes fixes et les douilles de guidage du plateau permettent d'étudier le jeu angulaire disponible pour ce guidage. Dans un second temps, les questions de la notice concernent le dimensionnement du servomoteur d'entraînement selon plusieurs modèles. Après avoir analysé le rapport de transmission, la validation des servomoteurs est d'abord proposée lors d'une phase à vitesse constante sur des critères de temps de montée et de couple nécessaire. Ensuite le modèle est affiné avec l'emploi d'une loi de pilotage trapézoïdale du moteur. Une fois les choix validés, la seconde partie de l'épreuve consiste à proposer une solution constructive pour réaliser l'implantation du servomoteur sur le support et des éléments de transmission et de guidage associés.

Les poids relatifs des différentes parties du sujet sont :

- Notice justificative 50 %
- Dessin d'étude de construction mécanique 50 %

Thématiquement, sur la notice justificative, la répartition de la notation a été faite de la manière suivante :

- Étude des actions mécaniques et de la déformation de la vis à billes Q1 à Q6 26 %
- Étude des rotulages vis/bâti et plateau/colonnes de guidage Q7 à Q13 23 %
- Étude de la transmission et dimensionnement en vitesse constante Q14 à Q25 26 %
- Dimensionnement avec loi de montée trapézoïdale Q26 à Q37 25%

**COMMENTAIRE GÉNÉRAL DE L'ÉPREUVE**

Le sujet est structurellement long, les candidats peuvent ainsi s'exprimer sur l'ensemble de leurs compétences et montrer leur capacité à aborder un problème dans sa globalité. Une lecture complète du sujet est conseillée en début d'épreuve afin de s'imprégner de la logique de son organisation.

Les calculatrices sont interdites. Certaines applications numériques demandaient une aptitude à effectuer des approximations pour pouvoir atteindre le résultat. Lors de l'évaluation des copies, une tolérance de quelques pourcents a été appliquée sur la précision des résultats numériques obtenus.

Le sujet ne posait pas de difficulté particulière de compréhension.

Toutes les questions posées sont au niveau des candidats : à chaque question, plusieurs candidats obtiennent le maximum des points, et, pour 80% des questions, au moins 8% des candidats obtiennent le maximum des points.

Dans toutes les parties du sujet, des connaissances de base sont évaluées. Bon nombre de candidats ne les maîtrisent pas.

Une grande majorité des candidats a traité ou entamé chaque sous-partie de la notice, profitant éventuellement de l'indépendance des questions du sujet et des résultats intermédiaires fournis régulièrement pour « sauter » une question plus délicate à traiter.

Les candidats ont fréquemment abandonné certaines questions de la notice justificative pour se consacrer au dessin qui est le plus souvent traité dans son intégralité : ils obtiennent ainsi en moyenne 46% de leurs points sur la notice et 54% sur le dessin d'étude de construction mécanique.

## **ANALYSE PAR PARTIE**

### **Remarques sur la partie notice justificative**

#### **Remarques générales :**

Le jury remarque que les candidats semblent familiers de ce format d'épreuve avec cahier réponse. Néanmoins encore trop d'entre eux ont eu visiblement un raisonnement juste mais ne répondent pas précisément à la question posée (donnent l'expression littérale au lieu de l'application numérique, et inversement, n'expriment pas les résultats en fonction des quantités demandées ou n'effectuent pas leurs applications numériques dans l'unité demandée), ce qui les pénalise fortement.

Les candidats ont su profiter des sous-parties indépendantes et des questions indépendantes à l'intérieur de chaque sous-partie. Le cas de sous-parties entièrement non traitées reste peu fréquent, suggérant que les candidats ont su gérer efficacement leur temps pour aborder l'ensemble du sujet proposé.

#### Actions de liaison sur la vis à billes :

Cette partie introduisait la modélisation des actions mécaniques nécessaires au calcul des déformations nécessaires à la vérification des rotulages autorisés. L'utilisation du principe fondamental de la statique et les modèles de liaisons ont été correctement identifiés par près des trois quarts des candidats. Cependant la résolution des actions mécaniques de liaison dans le cas isostatique n'a abouti que pour 20% d'entre eux. Les choses se compliquent lorsqu'on s'intéresse à une modélisation de type « poutre » de la vis à billes : seulement la moitié des candidats parvient à effectuer un bilan des actions mécaniques extérieures convenable, et moins de 10% à en déduire le type d'actions de cohésion (leur résolution mathématique n'était pas demandée). Dans la continuité, les questions relevant plus du « sens physique » n'ont quant à elles été correctement traitées que dans 15% des cas.

#### Étude des rotulages vis/bâti et plateau/colonnes de guidage

Les courbes de résultat du modèle « poutre » précédent étaient directement fournies aux candidats pour compréhension et interprétation. La compréhension élémentaire (signes, formes de la vis associées) a été correcte pour plus d'un candidat sur deux. Cependant très peu de candidats ont prolongé le raisonnement jusqu'à faire le lien entre l'angle de flexion de la vis et les rotulages admissibles par les paliers, ce qui était pourtant un des objectifs du modèle proposé. Concernant les bagues de guidage, seulement un candidat sur deux est capable de *justifier* le choix en indiquant les valeurs limites données par le constructeur. Un modèle simple de rotulage, basé sur les tolérances de fabrication d'un arbre et d'un alésage, est ensuite utilisé pour vérifier les valeurs « constructeur ». 56% des candidats ont fourni l'expression théorique des rotulages minimaux et maximaux attendus. Cependant la résolution numérique n'est réussie que par 3% des candidats, soient que les résultats soient faux, soient qu'ils aient décidé de « gagner du temps » en passant à la suite. Une question de « sens physique » demandant de prévoir l'évolution dans le cas d'un système réel a été comprise par 56% des candidats, mais de manière très partielle.

### Étude de la transmission

La transmission se composait d'un système d'entraînement par poulie et courroie, puis d'un système vis-écrou à billes. En guise d'introduction, les candidats étaient interrogés sur la course possible compte tenu des encombrements des paliers et de l'écrou. Cette partie, nécessitant un lien entre l'encombrement et le mouvement possible des pièces, a été faiblement réussie (31%). Le sujet donnait donc une valeur de la course à utiliser dans la suite, ce qui a permis à 75% des candidats de donner le rapport de transmission correct. Cependant l'application numérique, relativement simple, n'est effectuée avec précision que par 10% des candidats. Il s'ensuivait des questions sur les relations cinématiques intermédiaires ou globales en vue du calcul des vitesses de servomoteurs nécessaires pour respecter le temps de montée fourni par le cahier de charge. Lors de ces questions, les expressions analytiques ont été en général correctement établies (plus de 50%), cependant les applications numériques ont été insuffisantes (moins de 25% de réussite).

### Dimensionnement dans le cas d'un pilotage à vitesse constante

À l'aide des relations établies précédemment, un modèle négligeant les temps d'accélération et de décélération était proposé pour effectuer un prédimensionnement rapide en termes de vitesse et de couple nécessaires. Le calcul des temps de montée a ainsi été effectué par 80% des candidats, mais est resté relativement imprécis pour les trois quarts d'entre eux. Concernant le calcul du couple nécessaire, la relation entrée/sortie a été établie correctement ; cependant les hypothèses nécessaires pour utiliser la relation cinématique dans un tel cas ne sont précisément justifiées par 10% des candidats. L'application numérique, là encore, n'est que très faiblement réussie (13%).

### Dimensionnement dans le cas d'une loi de vitesse trapézoïdale

Une approche énergétique était fortement suggérée afin d'établir les relations nécessaires dans le cas des phases d'accélération et de décélération. Dans l'ensemble, les candidats ont su établir l'expression des énergies cinétiques (entre 60 et 80%), avec cependant moins de succès pour celle du plateau. Les applications numériques sont cependant restées décevantes (entre 8% et 53% de succès), soit par erreur de calcul, soit par erreur dans la considération des unités à utiliser. La maîtrise du théorème de l'énergie cinétique et des hypothèses requises a été entièrement réussie par la moitié des candidats. Cependant, l'application de la formule fournie dans l'énoncé a souvent donné lieu à des erreurs de signe, voire d'homogénéité dans les résultats des candidats. Les dernières questions de cette partie ont probablement été résolues avec hâte par les candidats, afin de conserver un temps suffisant pour le dessin.

## **Remarques sur la partie « dessin d'étude de construction mécanique »**

### **Remarques générales :**

Le dessin était constitué de plusieurs zones de conception indiquées dans le sujet, dans lesquelles devaient être représentées :

- Une solution permettant la fixation du moteur « décalé » de la plaque support avec possibilité de réglage de la tension de la courroie par variation de l'entraxe entre la vis à billes et l'arbre moteur ;
- La fixation démontable de la poulie motrice sur l'arbre moteur avec possibilité de réglage axial de sa position et transmission de puissance par obstacle ; le tout en utilisant une pièce intermédiaire afin de respecter les formes de l'arbre moteur ;
- La mise en place du guidage de la vis à billes par les paliers indiqués dans l'énoncé fixés sur les plaques support, de manière à ce que l'ensemble reste démontable tout en satisfaisant un montage de type « palier fixe – palier libre », ainsi que la fixation démontable de la poulie réceptrice sur la vis à billes ;

- Une liaison entre l'écrou à billes et la fourche de levage autorisant les mobilités nécessaires pour éviter le blocage du système (hyperstatisme) tout permettant de transformer la rotation de la vis à billes en translation verticale de la fourche.

Les candidats n'ont pas montré de difficulté pour appréhender l'environnement.

Les dessins sont globalement d'une qualité satisfaisante, laissant peu d'ambiguïté sur les solutions techniques proposées par les candidats.

#### Fixation du moteur déportée par rapport à la plaque support inférieure

Quasiment tous les candidats donnent des éléments de solution pour cette partie. Un petit nombre de candidats montre une compréhension très insuffisante des formes dessinées : pièces fixes et mobiles solidarisées par des liaisons complètes, certaines mobilités non bloquées entre pièces du même ensemble cinématique, etc.

La fixation est globalement réalisée, mais seulement un quart des candidats proposent des solutions convenables pour la mise en position permettant le réglage de l'entraxe des poulies. Certains candidats n'ont pas respecté la consigne d'une conception mécano-soudée, ou n'ont pas pensé à l'espace nécessaire pour le passage de la courroie.

#### Fixation de la poulie motrice sur l'arbre moteur

Dans l'ensemble, cette partie est traitée par la grande majorité des candidats. La fixation, utilisant une pièce intermédiaire, devait assurer un double centrage par rapport à l'axe moteur, une transmission de puissance par obstacles et un réglage axial. Environ 50% des solutions proposées remplissent deux des conditions, mais seulement un cinquième des solutions respectent l'ensemble des fonctions demandées.

#### Guidage de la vis à billes et fixation de la poulie réceptrice

La plupart des candidats ont proposé une solution à cette partie.

L'utilisation des paliers fournis dans le sujet n'a pas toujours été respectée par les candidats. De même les jeux et arrêts axiaux nécessaires au montage en « palier libre » ou « palier fixe » ne sont respectés que pour un cinquième des candidats.

La fixation de la poulie réceptrice a été mieux réussie ; plus de la moitié des solutions rendues assurent correctement à la fois la mise en position, le maintien en position et le démontage possible de la poulie.

#### Liaison entre l'écrou à billes et la fourche de guidage

Cette partie a été plus faiblement traitée (seulement 65% de propositions) probablement par manque de temps. Si la plupart des solutions respectent l'utilisation d'une pièce de jonction intermédiaire, beaucoup de candidats n'ont pas pensé à effectuer une mise en position rigoureuse par rapport à l'écrou. Enfin, la liaison de cette pièce intermédiaire avec la fourche était délicate du fait d'un jeu nécessaire pour soulager l'hyperstatisme du système. Son principe était décrit par un schéma de principe dans le sujet, mais il a posé des difficultés aux candidats. Beaucoup ont opté pour une liaison complète, ce qui était contraire aux indications de l'énoncé.

### **CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS**

Sur la base des difficultés ou erreurs relevées par les correcteurs, un ensemble de conseils est proposé par les correcteurs aux futurs candidats.

Dans le cahier réponse, il est important d'écrire lisiblement et avec une encre pas trop claire. Lors de dessin de construction, les candidats sont invités à marquer suffisamment les tracés au crayon. Les cahiers réponses et les dessins sont aujourd'hui numérisés et les traits ou les écritures trop légers sont souvent difficiles à « lire ».

Un conseil classique mais essentiel est de commencer par parcourir l'ensemble du sujet afin : de repérer les parties dans lesquelles le candidat se sent le plus à l'aise, mais surtout de comprendre la cohérence du déroulé des parties.

Il est attendu de la part des candidats de répondre précisément aux questions posées, notamment en différenciant bien expression littérale et application numérique, comme indiqué dans les questions du sujet. Pour les applications numériques, il est indispensable de spécifier l'unité, et si l'unité est précisée dans l'énoncé, il faut obligatoirement l'utiliser. L'unité générique « SI » ou « USI » comme « unité du système international » est considérée par les correcteurs comme une absence de connaissance de la part du candidat. Pour les expressions littérales, il faut utiliser les variables spécifiées dans la question le cas échéant, et vérifier systématiquement l'homogénéité des expressions présentées.

Dans cette épreuve, il est essentiel de connaître et maîtriser les connaissances de base : modélisation des liaisons ; théorie des poutres ; énoncés, hypothèses et application des théorèmes fondamentaux de la mécanique ; conception des liaisons élémentaires et éléments de machines (encastrement, pivot, réalisation d'un montage de roulements, d'une transmission de puissance par obstacle ou par adhérence ...).

En dépit de l'interdiction des calculatrices, effectuer les applications numériques en effectuant des simplifications adéquates pour gagner du temps (par exemple,  $\pi = 3$ ). Prendre du recul sur les résultats numériques obtenus en se posant la question élémentaire de son ordre de grandeur (et de son unité) : le résultat est-il plausible vis-à-vis du produit étudié ?

Dans la partie « dessin d'étude de construction mécanique », réfléchir à l'ensemble d'une solution avant de la dessiner. Bien identifier les mobilités relatives entre les différents ensembles cinématiques. Pour la réalisation de liaisons complètes, de guidages, d'étanchéité, etc., ne pas appliquer systématiquement des solutions types vues sur d'autres systèmes. Prendre le temps d'analyser les spécificités du système étudié et de vérifier l'adéquation de la solution proposée aux contraintes indiquées dans le sujet.

Privilégier les solutions qui soient les plus simples possibles. En particulier, se poser systématiquement la question de la montabilité des solutions, de leur faisabilité, du démontage éventuel.

Développer une culture technologique afin de proposer des solutions réalistes, par exemple en multipliant les activités d'analyse sur des systèmes réels.