

# Concours d'entrée à l'École Navale – filière PC

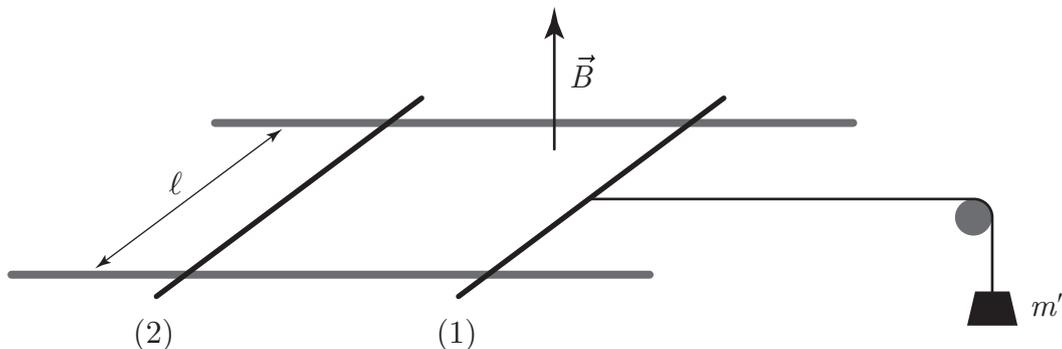
## Exemple commenté de sujet de l'épreuve Physique I

L'oral de Physique I dure trente minutes, tout compris. Il se déroule sans préparation, au tableau. Le texte d'énoncé est donc toujours relativement court, il est conseillé au candidat d'en prendre d'abord entièrement connaissance. Sur une telle épreuve, les compétences examinées sont d'abord le savoir et le savoir-faire en physique, en principe acquis au cours des années de préparation au concours. Mais ce sont aussi des compétences plus générales comme la capacité de gestion du temps (l'épreuve est de durée très limitée), l'autonomie et le sens des priorités (savoir trouver des pistes et faire des choix pour avancer), la communication (présentation au tableau), le sens critique (savoir détecter les erreurs flagrantes). D'autres compétences plus spécifiques au concours de l'École navale seront également évaluées tout au long de l'épreuve : réactivité (en fonction des demandes ou des indications de l'examinateur), pugnacité (savoir chercher la solution quand la difficulté augmente), capacité d'adaptation et résistance au stress. Le sujet présenté ici donne un exemple des compétences qui peuvent être examinées en fonction des questions posées.

Lorsque des applications numériques sont demandées, ce ne sont que des ordres de grandeur, ce qui doit se faire rapidement sans calculatrice.

### ÉNONCÉ

On considère le dispositif représenté sur le schéma. Sur des rails fixes, horizontaux, espacés d'une distance  $\ell$ , peuvent coulisser sans frottement deux barres, de même masse  $m$ . L'ensemble forme un circuit électrique de forme rectangle, de résistance globale  $R$  (considérée constante). Ce circuit est baigné par un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$ , perpendiculaire au plan des rails et des barres. La première barre (1) est entraînée, par l'intermédiaire d'une petite poulie, par une masse  $m'$ . Sous l'effet de l'induction, la deuxième barre (2) se met en mouvement.

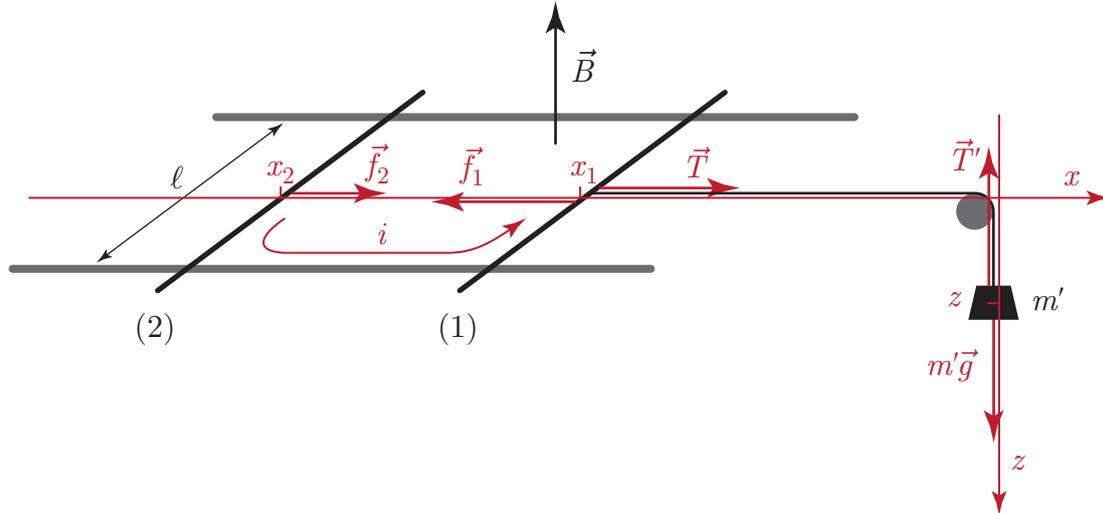


1. Quelles sont les deux forces électromotrices induites par le mouvement des deux barres ? En déduire le courant électrique circulant dans le circuit.
2. Quelles sont les forces agissant sur les deux barres ? Écrire les équations du mouvement des deux barres.
3. À l'instant initial, les deux barres sont immobiles. Montrer qu'il est possible d'obtenir une équation reliant les vitesses des deux barres et le temps.
4. Écrire la loi horaire sur la vitesse de la deuxième barre.

## CORRIGÉ COMMENTÉ

Ce sujet est très proches des classiques du genre. Les deux premières questions sont proches du cours, on attend donc des réponses assez rapides, sans hésitations ni erreurs. Ensuite l'énoncé guide le candidat et, en cas de difficulté, l'examineur peut fournir une aide.

Voir sur le schéma la définition des axes, la représentation des forces et le sens choisi du courant.



- Soient  $v_1 = \dot{x}_1$  et  $v_2 = \dot{x}_2$  les vitesses des deux barres. Avec les orientations choisies, les deux forces électromotrices associées à chaque barre sont  $e_1 = -v_1 B \ell$  et  $e_2 = v_2 B \ell$ . Le courant électrique qui circule dans le circuit est donc  $i = (e_1 + e_2)/R$ , soit

$$i = \frac{(v_2 - v_1) B \ell}{R}. \quad (1)$$

Les compétences examinées sont : s'approprier (compréhension rapide du sujet, introduction des notations) communiquer (savoir faire au tableau un schéma clair et utile), réaliser (choix du sens du courant).

- La première barre est soumise à la force de Laplace  $\vec{f}_1 = i B \ell \vec{e}_x$ , la tension de la corde  $\vec{T} = T \vec{e}_x$  et son poids qui est équilibré par la réaction des rails. En projetant le PFD,

$$m \frac{dv_1}{dt} = T + i B \ell.$$

La masse  $m'$  est soumise à son poids  $m' \vec{g} = m' g \vec{e}_z$  et à la tension de la corde  $\vec{T}' = -T \vec{e}_z$ , où  $T$  prend la même valeur que pour la barre car on néglige les effets de la poulie. Le fil étant supposé inextensible, sa vitesse s'écrit  $v_1 \vec{e}_z$ , d'où

$$m' \frac{dv_1}{dt} = m' g - T.$$

En sommant ces deux équations, il vient

$$(m + m') \frac{dv_1}{dt} = m' g + i B \ell. \quad (2)$$

La deuxième barre n'est soumise qu'à la force de Laplace  $\vec{f}_2 = -i B \ell \vec{e}_x$  :

$$m \frac{dv_2}{dt} = -i B \ell. \quad (3)$$

Les compétences examinées sont : réaliser (mise en places des forces), analyser (prise en compte du mouvement de la masse  $m'$ ), être autonome et faire preuve d'initiative (fil considéré inextensible et conséquences).

3. En sommant les deux équations (2), (3), on élimine la force de Laplace :

$$(m + m') \frac{dv_1}{dt} + m \frac{dv_2}{dt} = m'g.$$

Tout se passe comme si le poids de la masse  $m'$  était la seule force extérieure appliquée au système constitué des deux barres. Celles-ci étant immobiles à l'instant initial, l'intégration donne

$$(m + m')v_1 + mv_2 = m'gt. \quad (4)$$

Les compétences examinées sont : analyser, être autonome et faire preuve d'initiative (trouver l'équation et penser à l'intégrer).

4. Utilisant successivement (4) et (1), on déduit  $v_1$  puis le courant  $i$  en fonction de  $v_2$  et  $t$ , ce qui dans (3) mène à

$$m \frac{dv_2}{dt} = - \frac{(B\ell)^2}{R} \left( v_2 - \frac{m'gt - mv_2}{m + m'} \right)$$

qu'on peut récrire

$$\frac{dv_2}{dt} + \frac{v_2}{\tau} - \frac{bgt}{\tau} = 0. \quad (5)$$

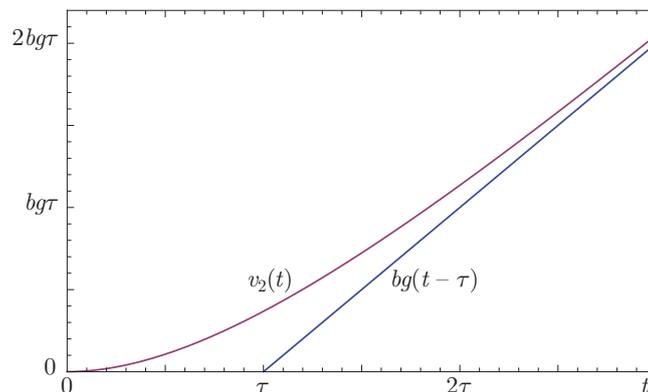
Dans cette équation,  $\tau$  est un temps de relaxation et  $b$  un paramètre sans dimension :

$$\frac{1}{\tau} = \frac{(B\ell)^2}{R} \left( \frac{1}{m} + \frac{1}{m + m'} \right) \quad \text{et} \quad b = \frac{m'}{2m + m'} < 1.$$

L'équation (5) s'intègre et fournit la loi horaire demandée :

$$v_2(t) = bg(\tau e^{-t/\tau} + t - \tau). \quad (6)$$

Pour  $t \ll \tau$ ,  $v_2(t) \simeq bgt^2/2\tau$  (démarrage parabolique); pour  $t \gg \tau$ ,  $v_2(t) \simeq bg(t - \tau)$  (asymptote linéaire). On en déduit la courbe représentée ci-dessous.



Les compétences examinées sont : gérer le stress (les équations se compliquent en fin d'épreuve), faire preuve d'initiative (définition du temps caractéristique), savoir faire (intégration), analyser (comportements limites), présentation (courbe).

## 1 Déroulement de l'épreuve

- L'épreuve de Physique 2 de la filière PC dure 30 minutes, sans préparation. L'examinateur pose à l'étudiant un exercice assez ouvert permettant d'évaluer la qualité de la démarche scientifique mise en œuvre par le candidat pour répondre à la problématique posée dans l'énoncé. Concrètement, l'énoncé consistera généralement en une brève description d'une situation physique, suivie le plus souvent d'une seule question.
- Le but essentiel de cette épreuve est d'évaluer la qualité de la démarche scientifique du candidat. Celui-ci doit, en s'appuyant sur sa maîtrise des notions du programme de physique (de PCSI et de PC), proposer une modélisation simple, dont il discutera précisément de la pertinence, afin de répondre à la question posée. Il est important de noter que le candidat n'est pas évalué sur le choix du modèle mais sur sa capacité à en cerner les limites et le cas échéant à l'améliorer.
- Les compétences « programme » susceptibles d'être évaluées dans les épreuves de physique 1 et de physique 2 sont : S'approprier, Analyser, Etre autonome, Réaliser, Valider, Communiquer. Des compétences « spécifiques » à l'Ecole Navale sont également évaluées : Pugnacité, Réactivité, Capacité d'adaptation et Résistance au stress. C'est dans l'interaction avec le candidat, tout au long de l'épreuve, que le jury évalue le degré de maîtrise de ces compétences.
- De part son format où le candidat est mis face à un problème physique complexe, l'épreuve de physique 2 permet d'évaluer plus spécifiquement la capacité d'analyse du candidat (Analyser), son esprit d'initiative (Etre autonome), son esprit critique (Valider) ainsi que l'ensemble des compétences « spécifiques ». Dans l'exemple d'épreuve à la section suivante, on détaillera cette évaluation.
- Compte-tenu de la difficulté de ce type d'épreuve, le jury ne s'attend pas à ce que le candidat résolve l'intégralité de l'exercice en totale autonomie. Cela ne doit pas inquiéter les futurs candidats qui doivent garder à l'esprit qu'une bonne maîtrise du cours, de la démarche scientifique et des compétences « spécifiques » leur permettra de construire un exposé convaincant.

## 2 Exemple d'épreuve

### Enoncé

On considère une paille coudée placée dans un verre d'eau. Au repos elle présente une portion verticale et une portion oblique, voire horizontale. On admet que si l'on fait tourner la paille suffisamment vite, autour de l'axe vertical, le niveau d'eau dans la paille monte.

Ce phénomène est-il aisément observable dans les conditions usuelles où la mise en rotation est manuelle ?

### Commentaires

- On attend du candidat qu'il commence par faire un schéma clair au tableau de la situation en identifiant les grandeurs physiques pertinentes (S'approprier, Communiquer). Précisons que la compétence Communiquer comprend également l'utilisation et la gestion du tableau par le candidat.
- Ensuite il doit analyser qualitativement le phénomène et proposer une stratégie de résolution (Analyser, Etre autonome). A ce niveau, plusieurs approches et modélisations sont possibles.  
*La rotation de la paille provoque une dépression à l'intérieur de la paille qui se manifeste par une élévation du niveau d'eau.*  
*On pourrait commencer par une analyse dimensionnelle. On pourrait ensuite, pour simplifier l'étude, modéliser l'eau et l'air par des fluides homogènes et incompressibles.*
- Le candidat doit alors mettre en œuvre sa stratégie (Réaliser) puis faire preuve d'esprit critique sur le résultat obtenu (Valider).  
*Afin de répondre à la question posée, il convient ici d'établir, en appliquant correctement des théorèmes de mécanique adéquats, une relation entre la variation de hauteur de l'eau et la vitesse de rotation. Le candidat doit alors vérifier la pertinence de l'expression établie en considérant, par exemple, des cas limites.*
- Cette dernière étape est particulièrement importante car elle permet d'évaluer la capacité du candidat à avoir un esprit critique sur le fruit de son travail et sur la pertinence du modèle choisi. Le cas échéant, et en interaction avec le jury, le candidat pourra remettre en cause une ou plusieurs hypothèse(s) de son modèle afin de mieux rendre compte de la réalité.  
*Supposer l'air comme un fluide incompressible et homogène amène ici un résultat aberrant dans la limite des « grandes » vitesses de rotation. Il convient alors de remplacer cette hypothèse par une autre un peu plus*

*réaliste, par exemple celle d'un gaz parfait.*

*On pourrait par ailleurs remarquer que ces deux modèles donnent le même résultat dans le cas des «faibles» vitesses de rotation, qui correspondent aux vitesses que l'on peut atteindre dans les conditions usuelles où la mise en rotation de la paille est manuelle.*