

## Composition de Physique et Sciences de l'Ingénieur, Filière MP (X)

### Présentation du sujet

Le sujet proposé cette année comprend deux parties indépendantes. La première concerne l'étude du phénomène de reptation thermique. La seconde est consacrée à l'étude de l'interaction entre le pantographe d'un train et le système caténaire.

La première partie propose d'abord l'analyse des conditions d'équilibre d'un solide sur un plan incliné en se focalisant sur l'équilibre de ses arêtes. L'objectif de cette partie est de tracer le domaine d'équilibre du solide et donc les zones définissant le glissement. La reptation thermique est ensuite abordée d'un point de vue qualitatif. Puis un modèle d'appui élastique et de solide dilatable permet de quantifier le phénomène de reptation thermique. Enfin, la modélisation du contact au niveau microscopique est discutée.

La seconde partie porte sur l'étude de l'interaction entre le pantographe d'un train et le système caténaire qui contient notamment le fil de contact qui doit être maintenu horizontal pour permettre la bonne alimentation électrique du train. Une première étude de la déflexion du câble porteur supportant le poids du fil de contact est réalisée. Puis, la dynamique du décollement du pantographe en réponse à la déformée du fil de contact est étudiée. Enfin, il est proposé l'étude de la réponse dynamique verticale du pantographe par une approche d'automatisme.

### Résultats des candidats

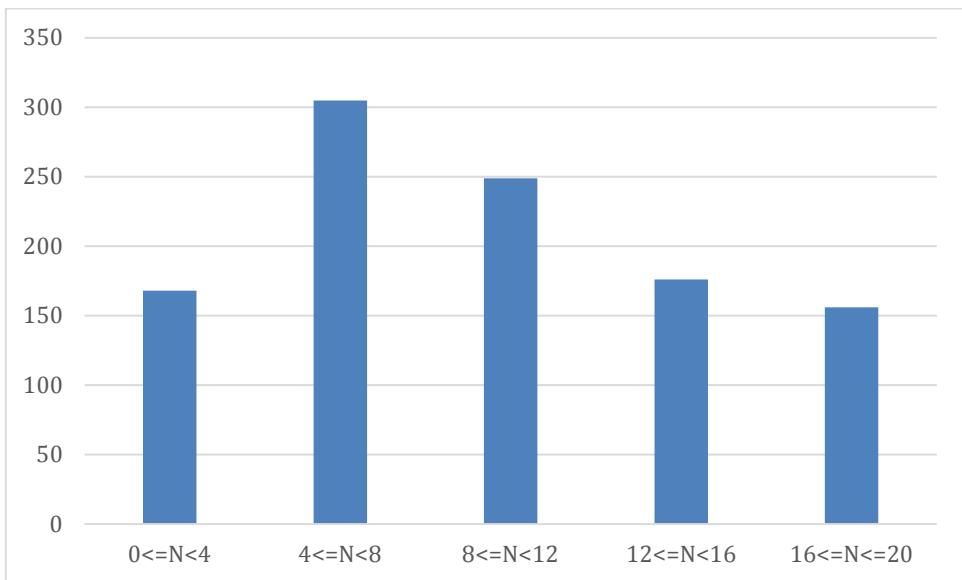
Le Tableau 1 présente la répartition des notes des candidats (1054 présents). La moyenne de l'épreuve s'établit à 8,82, avec un écart-type de 5,42.

|                  |      |      |
|------------------|------|------|
| 0 ≤ N < 4        | 168  | 16%  |
| 4 ≤ N < 8        | 305  | 29%  |
| 8 ≤ N < 12       | 249  | 24%  |
| 12 ≤ N < 16      | 176  | 17%  |
| 16 ≤ N < 20      | 156  | 15%  |
| Total            | 1054 | 100% |
| Nombre de copies | 1054 |      |
| Note moyenne     | 8,82 |      |
| Écart-type       | 5,42 |      |

Tableau 1 : Statistique relative à l'épreuve P & SI filière MP

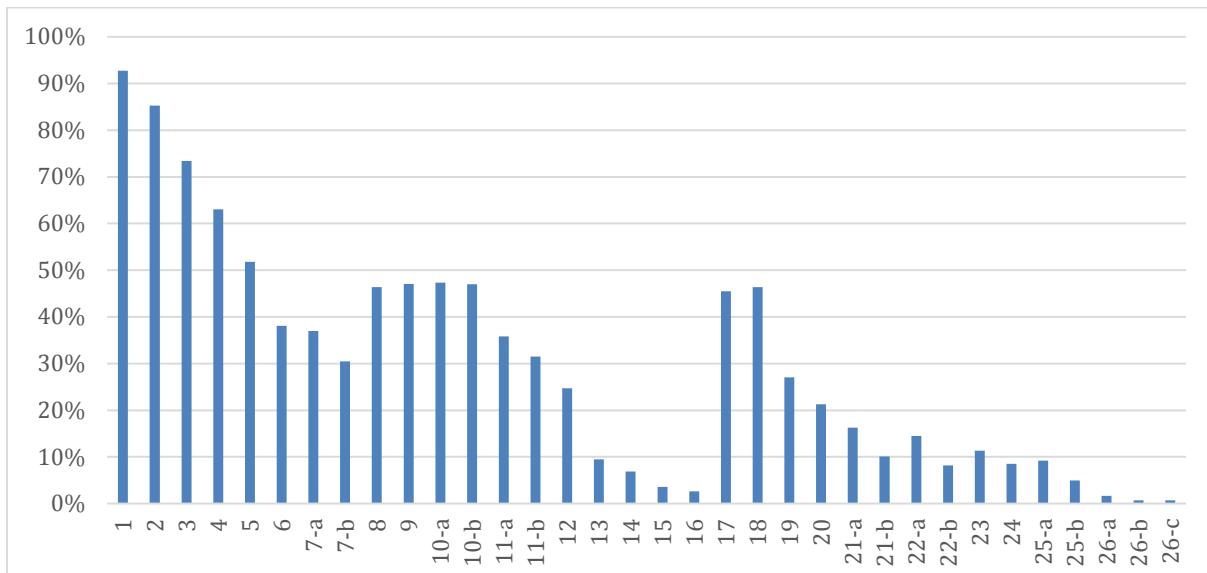
Le tableau ci-dessous présente la répartition des notes des candidats français (695 présents). La moyenne de l'épreuve s'établit à 10,25, avec un écart-type de 5,38.

|                    |       |        |
|--------------------|-------|--------|
| 0 <= N < 4         | 89    | 12,81% |
| 4 <= N < 8         | 178   | 25,61% |
| 8 <= N < 12        | 164   | 23,6%  |
| 12 <= N < 16       | 133   | 19,14% |
| 16 <= N < 20       | 131   | 18,85% |
| Total :            | 695   | 100%   |
| Nombre de copies : | 695   |        |
| Note moyenne :     | 10,25 |        |
| Ecart-type :       | 5,38  |        |

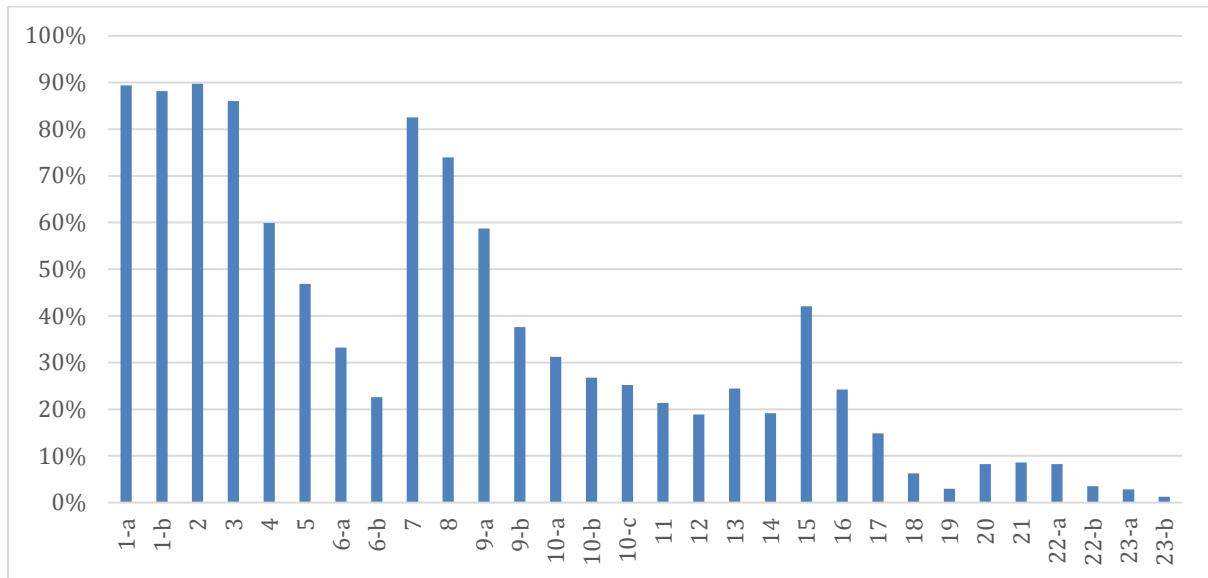


**Figure 1 : Statistique des résultats des candidats de l'épreuve par intervalle de notes**

Les figures 2a et 2b illustrent la fraction de candidats ayant abordé chaque question, respectivement pour les parties Physique et Sciences de l'Ingénieur. Ces deux parties ont été abordées de manière équilibrée. Nous regrettons toutefois que les questions nécessitant des qualités d'analyse ont été significativement moins abordées que celles plus strictement calculatoires. Lorsque qu'elles ont été abordées, elles ont été assez mal traitées. Les dernières questions des sous-parties ont permis de départager les meilleurs candidats et ont été très peu abordées. Par ailleurs, nous notons de nombreuses erreurs dans les applications numériques. Les dernières questions des deux parties n'ont presque pas été abordées.

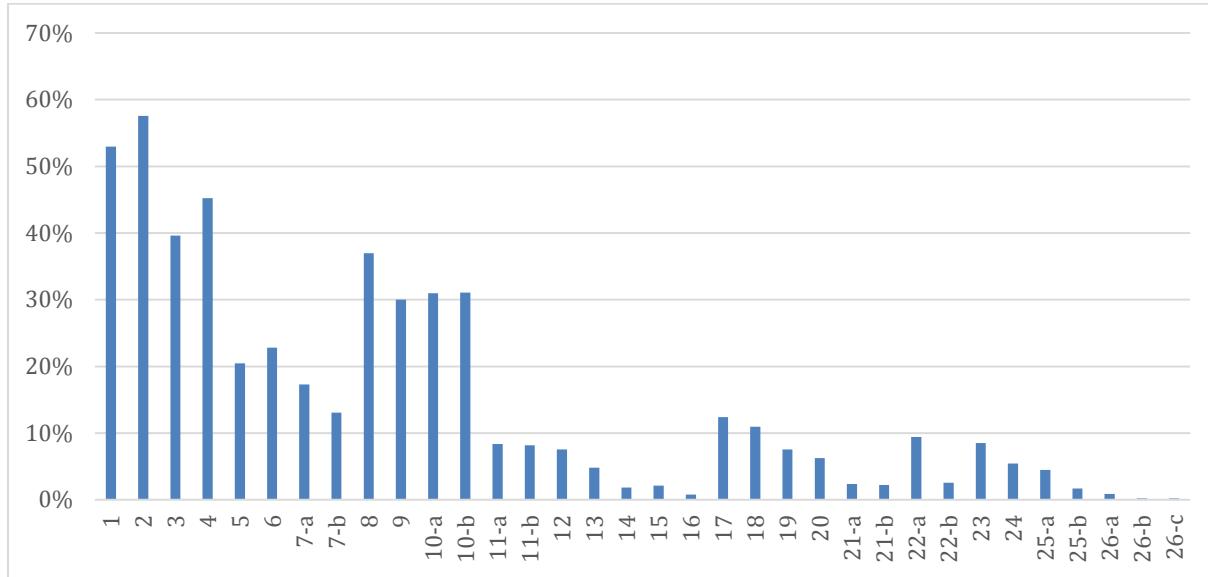


**Figure 2a : Fraction des candidats ayant abordé chaque question – Partie Physique**

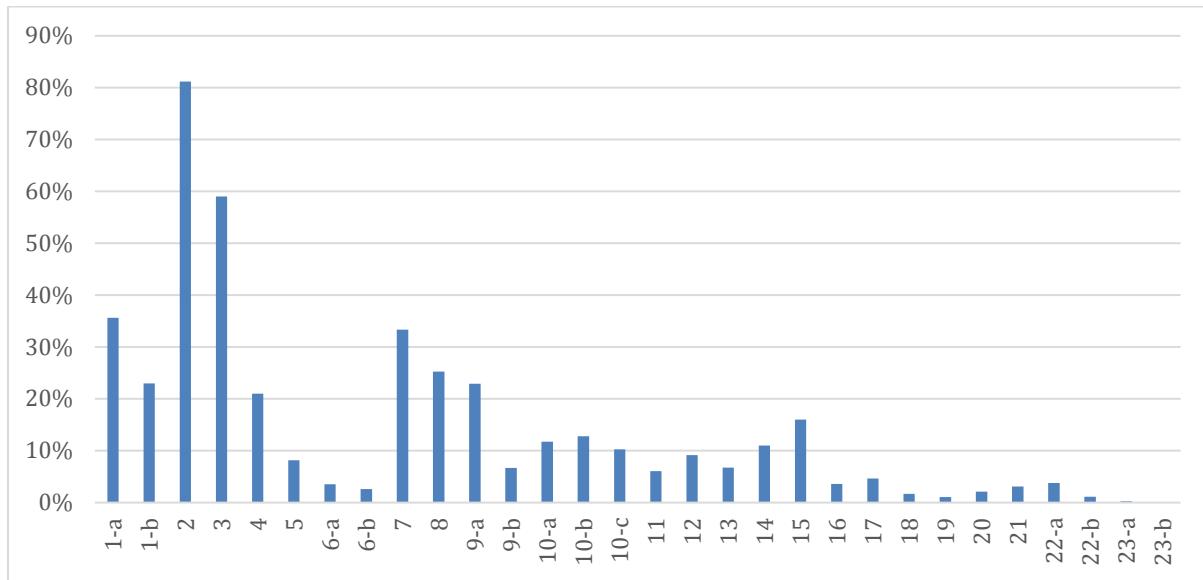


**Figure 2b : Fraction des candidats ayant abordé chaque question – Partie S.I.**

Les figures 3a et 3b indiquent le taux de réussite des candidats à chaque question, respectivement pour les parties Physique et Sciences de l'Ingénieur. Une question est considérée comme réussie lorsque qu'il lui a été attribué au moins la moitié des points. Certaines questions ont été réussies par une grande partie des candidats, mais elles n'ont pas véritablement fait la différence sur la notation finale, notamment à propos de la partie I de la partie Physique car elles ont été réussies par la majorité des candidats. Les correcteurs ont été étonnés du faible taux de bonne réponse dans la partie I de la partie S.I.



**Figure 3a : Fraction des candidats ayant réussi chaque question – Partie Physique**



**Figure 3b : Fraction des candidats ayant réussi chaque question – Partie S.I.**

Les faibles taux de réussite des questions nécessitant une explication physique des phénomènes s'illustrent par la difficulté à clarifier leur réflexion scientifique par écrit. On observe bien souvent des réponses confuses ne répondant que partiellement à l'ensemble des questions posées.

Nous insistons une nouvelle fois sur l'importance des applications numériques en Physique et en Sciences de l'ingénieur. Celles-ci étaient assez simples pour être effectuées sans calculatrice. Elles ont toutefois fait perdre des points à une bonne partie des candidats, notamment sur la première question de la partie S.I. Il est rappelé qu'une valeur numérique d'une grandeur physique doit être obligatoirement suivie d'une unité, sans quoi le résultat est naturellement considéré comme faux.

Rappelons que chaque sous-question d'une question est évaluée séparément. Bon nombre de candidats ne répondent pas à l'intégralité des items mentionnés dans une question. Enfin, nous attirons l'attention des futurs candidats sur l'importance de considérer les dernières questions de chacune des parties Physique et Science de l'Ingénieur. Elles ne nécessitent pas toujours d'avoir traité tout ce qui leur précède.

Retenant les termes des rapports des années précédentes, nous souhaitons insister à nouveau sur l'importance de la qualité de la rédaction (précision, concision et propreté) dans l'appréciation d'une copie. Un raisonnement clair, concis et bien exprimé a bénéficié d'une évaluation plus favorable que la simple écriture du résultat, même juste. La lisibilité des résultats est un point crucial dans la bonne évaluation d'une copie. Des résultats encadrés les différenciant des calculs sont appréciés des correcteurs.

Nous rappelons aux futurs candidats que, sauf indication contraire dans l'énoncé, les parties sont indépendantes. On observe une chute du taux de questions abordés dans les parties 2 et 3 aussi bien en physique qu'en S.I. Cela est dommageable étant donné qu'un certain équilibre en termes de points est recherché entre les parties.

## Partie Physique – Étude du phénomène de reptation thermique

### Partie I : Conditions d'équilibre d'un solide sur un plan incliné :

Cette partie a été abordée par la majorité des candidats. Les 3 premières questions ont été dans l'ensemble bien traitées. Le tracé relatif aux questions 4 à 8 ont été, dans l'ensemble, mal réalisés. Une mauvaise interprétation des conditions de non glissement pénalisait pour

l'ensemble des questions 5 à 7. Une attention particulière devait être portée à ces questions importantes pour bien comprendre la phénoménologie développée dans les parties suivantes.

## **Partie II : Reptation thermique :**

Les candidats ont souvent bien traité la question 8 même si la question 4 avait été mal traitée. La question 9 a été souvent partiellement traitée par les candidats : la dilatation était bien identifiée mais sa conséquence sur les glissements successifs n'a que rarement été analysée. La question 10 a été notée de manière clémene par les correcteurs : lorsque l'allure globale de la courbe était bien tracée, la moitié des points étaient attribuée, des glissements déphasés des deux appuis selon les x décroissants ont donné la totalité des points même si les phases de dilatation avec adhérence n'étaient pas tracées (elles ne l'ont jamais été).

La question 11 à caractère calculatoire, a déstabilisé les candidats avec les 2 ressorts sur chaque appui. Les résultats étaient souvent faux car les candidats ne considéraient qu'un ressort sur les deux. Peu de candidats ont su faire l'étude de variation autour de l'état d'équilibre de la question 12. La question 13 est la dernière question traitée correctement par des candidats de cette partie. Elle a souvent fait l'objet d'une explication partielle ne permettant pas d'obtenir la totalité des points. Les questions 14 à 16 visaient à quantifier l'amplitude des phénomènes identifiés jusque-là. Elles n'ont que peu été abordées et ont été exceptionnellement bien traitées. L'analyse des résultats de ces questions était récompensée par des points qui n'ont été attribué qu'exceptionnellement.

## **Partie III : Modèle microscopique du contact entre deux solides :**

Les correcteurs ont été surpris du faible taux de bonnes réponses de cette partie pourtant abordable de manière indépendante.

La question 17 a fait l'objet de nombreuses réponses semblant plus ou moins aléatoires. Les éléments essentiels retenus par les correcteurs étaient une borne supérieure et proche de 1 et une borne inférieure proche de 0,1.

Très peu de candidats ont su traduire l'équilibre géométrique demandé à la question 18. Nous avons eu beaucoup de mauvaises réponses où les efforts de réaction n'étaient pas perpendiculaires aux surfaces de contact malgré un coefficient de frottement local nul montrant l'incompréhension du phénomène physique étudié. Cette mauvaise compréhension traduite par le faible taux de bonnes réponses aux questions 19 et suivantes.

La question 21 était décomposée en deux parties : exprimer le travail et analyser ce résultat. Presque aucun candidat n'a fait ce travail d'analyse. Idem pour la question 22. La question 23 ne demandait qu'un calcul très simple pour les candidats ayant compris le rôle de la contrainte-seuil  $\sigma_s$ . Nous observons un faible taux de bonnes réponses malgré la description détaillée faite dans l'énoncé.

La question 24 a fait l'objet de nombreuses explications peu claires paraphrasant souvent le libellé de la question. Les correcteurs ont été particulièrement attentifs à la clarté de la justification pour cette question. La question 25 a été la dernière question abordée de manière significative de la partie Physique. Nous observons à peu près autant de candidats proposant une bonne analyse de l'influence de la contrainte-seuil  $\sigma_s$  que de réponses erronées.

La question 26 n'a jamais été traitée dans son intégralité et il n'y a qu'exceptionnellement un début d'analyse physique pertinente.

## **Partie Sciences de l'Ingénieur – Étude de l'interaction entre le pantographe d'un train et le système caténaire :**

## **Partie I Étude de la déformée statique du câble porteur.**

Étrangement, le calcul extrêmement simple du poids d'un cylindre a posé certaines difficultés aux candidats. Les correcteurs ont été très attentifs à l'exactitude du calcul analytique puis au bon ordre de grandeur de l'application numérique. Nous avons été déçus du fort taux d'erreur dans le calcul numérique malgré une équation analytique juste (de l'ordre de 60% de candidats). Les questions 2 et 3, évidentes, ont fait l'objet d'un fort taux de bonnes réponses. Le calcul de l'angle initial de la question 4 a souvent fait l'objet d'un mauvais décompte du nombre de tronçons avec des confusions entre  $N$  et  $N+1$ . La somme simple de la question 5 a souvent été mal calculée par les candidats. La conséquence des faibles taux de bonnes réponses consécutives des questions 4 et 5 donne un taux réduit de bonnes réponses à la question 6. Ce résultat est étonnant au vu de la simplicité de cette partie.

## **Partie II (Étude) du comportement dynamique du pantographe.**

La question 7 a permis de déceler les candidats qui avaient bien lu l'énoncé précisant que la position de référence était celle de l'équilibre sous pesanteur. Ceux-ci ont aisément répondu à cette question ainsi qu'à la question 8 qui était une application de l'équation de la question 7. La question 9 comportait deux sous-questions représentant les cas  $Q<1$  et  $Q>1$  presque aucun candidat n'a abordé ces deux situations correctement. La question 10 était décomposée en 3 sous-questions portant sur le calcul de la phase, la position et la vitesse. Beaucoup de mauvaises réponses n'étaient pas exprimées dans la bonne unité. Nous conseillons aux candidats de toujours veiller à ce contrôle simple.

Peu de candidats ont su identifier le mouvement d'oscillateur simple à 1 degré de liberté de la question 11. La question 12 a été souvent partiellement abordée, si le décollement du pantographe était souvent identifié, peu de candidats ont analysé ses conséquences sur l'alimentation électrique du train et donc son bon fonctionnement.

Peu de candidats ont traité correctement la question 13. Il s'agissait pourtant d'une grandeur sans dimension reliée au facteur de qualité. Les candidats ayant identifié que l'amortissement favorisait le décollement en illustrant leur analyse par un graphique représentant les deux paraboles ont bénéficié de la totalité des points.

## **Partie III Étude de la réponse dynamique verticale du pantographe.**

Cette partie a globalement déstabilisé les candidats qui n'ont, pour la très grande majorité d'entre eux, que très peu abordés les questions et bien souvent de manière erronée.

La question 15 a été notée généreusement par les correcteurs. La totalité des points a été attribuée lorsque les degrés des polynômes du numérateur et du dénominateur étaient corrects et ce malgré certaines erreurs de calcul. Malgré cela, peu de candidats ont bien répondu à cette question. La question 16 a été bien traitée par les candidats qui ont su identifier que la question revenait à considérer un oscillateur harmonique amorti. La question 17, très qualitative, a été bien traitée par les candidats.

Les questions 18 et 19 ont été bien traitées par les candidats ayant su conduire une réflexion globale sur le système et sur la signification des hypothèses adoptées. Cela n'a été qu'exceptionnellement bien fait.

Peu de candidats ont su caractériser l'action des trois ressorts en série dans l'interprétation physique de la question 20. Les candidats ayant abordé la question 21 ont, dans l'ensemble, su interpréter le décollement à partir de la fonction de transfert. La question 22 comportait 2 sous-questions que peu de candidats ont su traiter. La question 23 n'a quasiment pas été abordée et n'a jamais été correctement traitée.