

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

### Présentation du sujet

Le sujet proposé cette année comprend trois parties indépendantes. Elles décrivent le fonctionnement d'un système de microscopie à force atomique. La première concerne l'étude de la caractérisation mécanique d'une lame en flexion. La seconde porte sur l'interaction entre une surface et la pointe de la lame. La troisième partie étudie le lien entre la flèche, sa détection, sa mesure et son contrôle.

La première partie propose d'abord l'étude de la flexion d'une lame mince avec l'objectif de proposer un modèle énergétique simple à un degré de liberté. Cela passe par l'expression de la flexion à l'aide d'une coordonnée généralisée qui est le déplacement de l'extrémité de la lame. Des estimations numériques viennent conclure cette partie.

La seconde partie porte sur l'étude des forces d'interaction inter-atomique entre la pointe de la lame et la surface mesurée. La relation entre l'énergie potentielle de flexion de la lame et celle d'interaction atomique est représentée graphiquement. On linéarise ensuite les équations autour d'une équation d'équilibre afin d'étudier la stabilité de la position de la lame. Enfin, la précision de la mesure est discutée ainsi que les solutions permettant de l'améliorer.

La troisième partie porte sur la mesure du déplacement de la pointe de la lame par système laser, de sa précision et de son contrôle. On commence par relier les paramètres du faisceau réfléchi par la lame avec la flexion de la lame. Puis, le contraste du signal mesuré est étudié. Ce laser réfléchi est ensuite détecté par une photodiode insérée dans un circuit électronique permettant d'affiner le signal reçu. Enfin, le contrôle du système de détection est étudié incluant les capteurs de mesure ainsi que les systèmes de positionnement vertical de la surface mesurée.

### Résultats des candidats

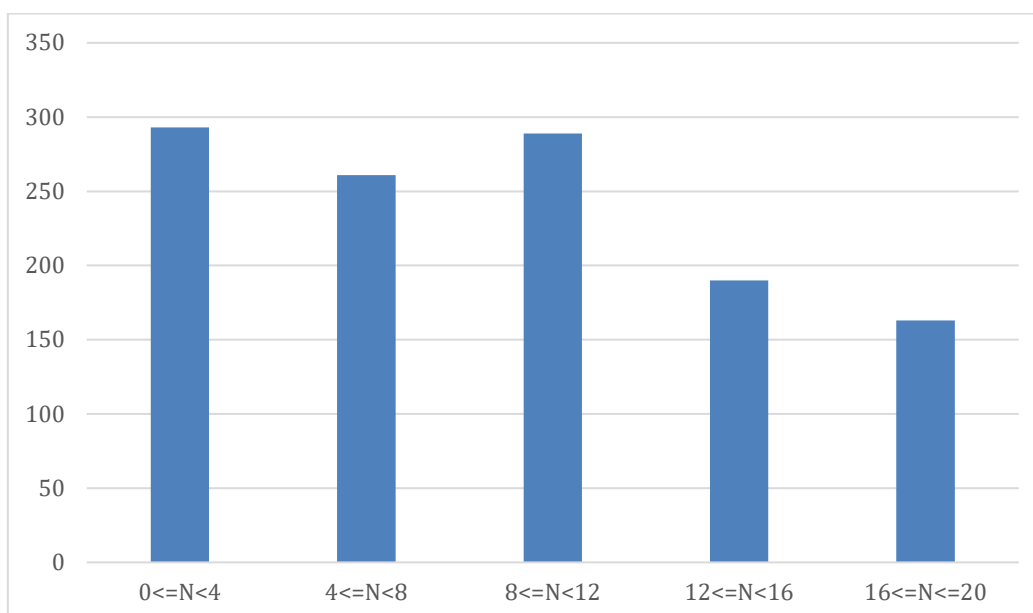
Le Tableau 1 présente la répartition des notes des candidats (1196 présents). La moyenne de l'épreuve s'établit à 8,10, avec un écart-type de 5,99.

$0 \leq N < 4$	293	24%
$4 \leq N < 8$	261	22%
$8 \leq N < 12$	289	24%
$12 \leq N < 16$	190	16%
$16 \leq N < 20$	163	14%
Total	1196	100%
Nombre de copies	1196	
Note moyenne	8,10	
Écart-type	5,99	

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

Le Tableau 2 présente la répartition des notes des candidats français (749 présents). La moyenne de l'épreuve s'établit à 9,96, avec un écart-type de 5,41.

$0 \leq N < 4$	120	16,02%
$4 \leq N < 8$	172	22,96%
$8 \leq N < 12$	197	26,30%
$12 \leq N < 16$	143	19,09%
$16 \leq N < 20$	117	15,62%
Total	749	100%
Nombre de copies	749	
Note moyenne	9,96	
Écart-type	5,41	



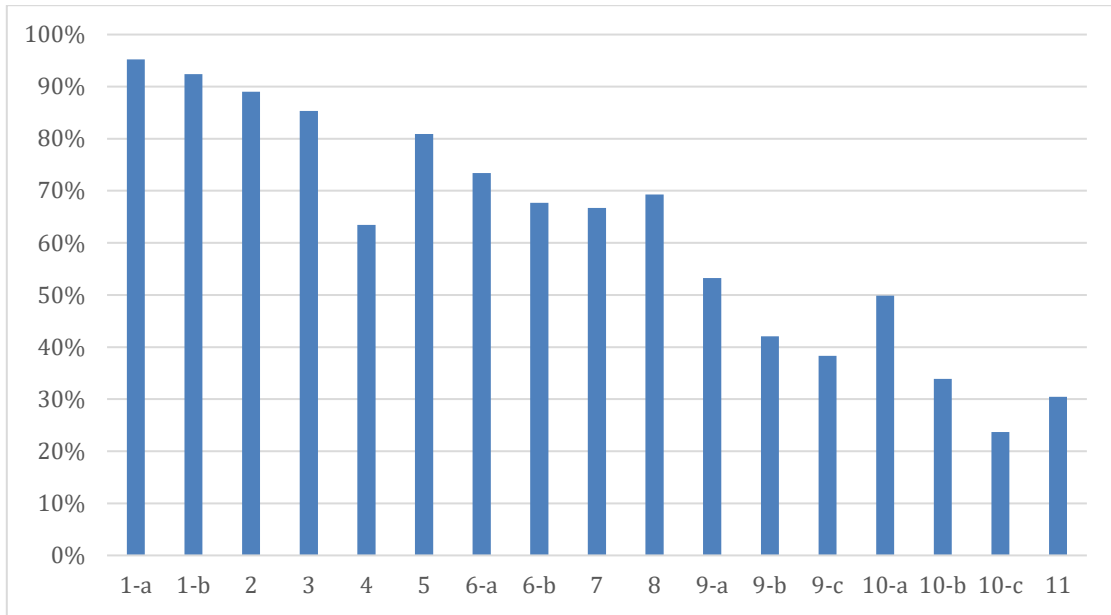
**Figure 1 : Statistique des résultats des candidats de l'épreuve par intervalle de notes**

Les figures 2a, 2b et 2c illustrent la fraction de candidats ayant abordé chaque question, respectivement pour les trois parties.

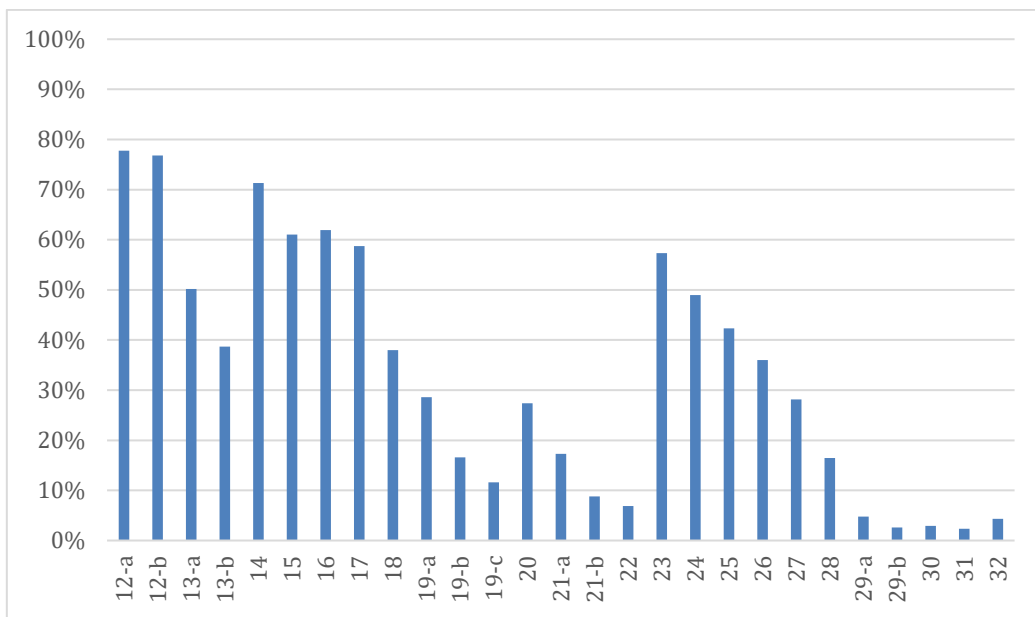
On voit assez clairement que la troisième partie a été nettement moins abordée que les deux premières parties. La première partie a été abordée dans son intégralité par la majorité des candidats, à l'exception des questions d'applications numériques.

Les dernières questions de la 2<sup>ème</sup> partie n'ont été que très peu traitées. On regrettera 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. La troisième partie a été initiée par moins de la moitié des candidats.

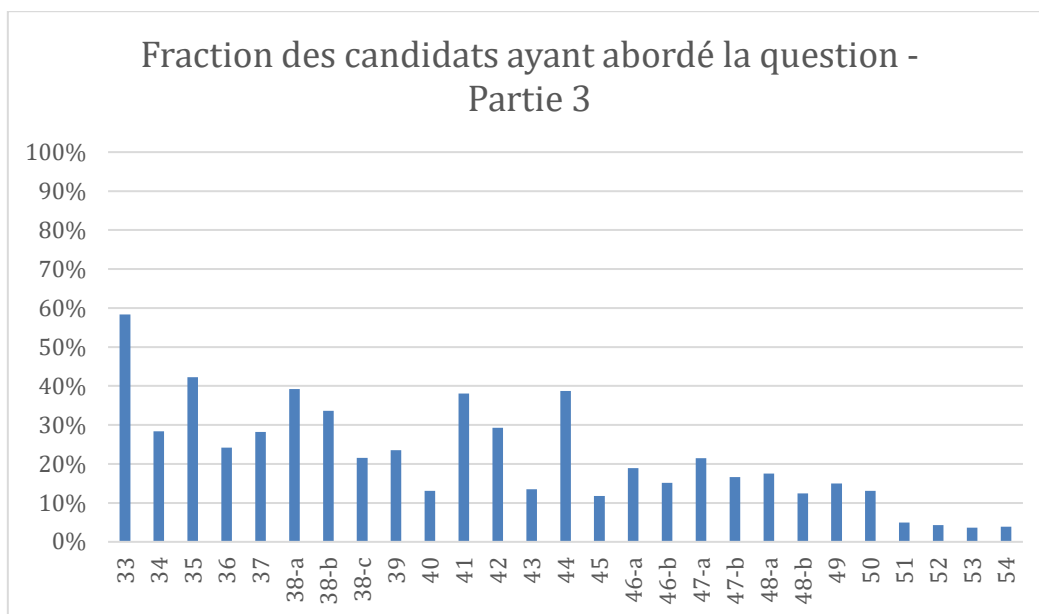
Les dernières questions des sous-parties ont permis de départager les meilleurs candidats et ont été très peu abordées.



**Figure 2a : Fraction des candidats ayant abordé chaque question – Partie 1**

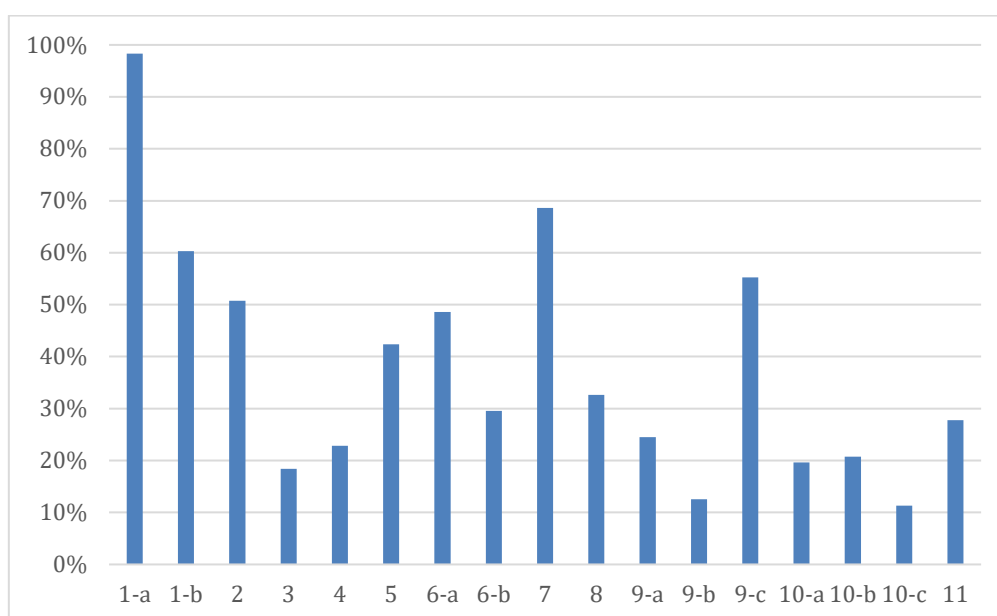


**Figure 2b : Fraction des candidats ayant abordé chaque question – Partie 2**

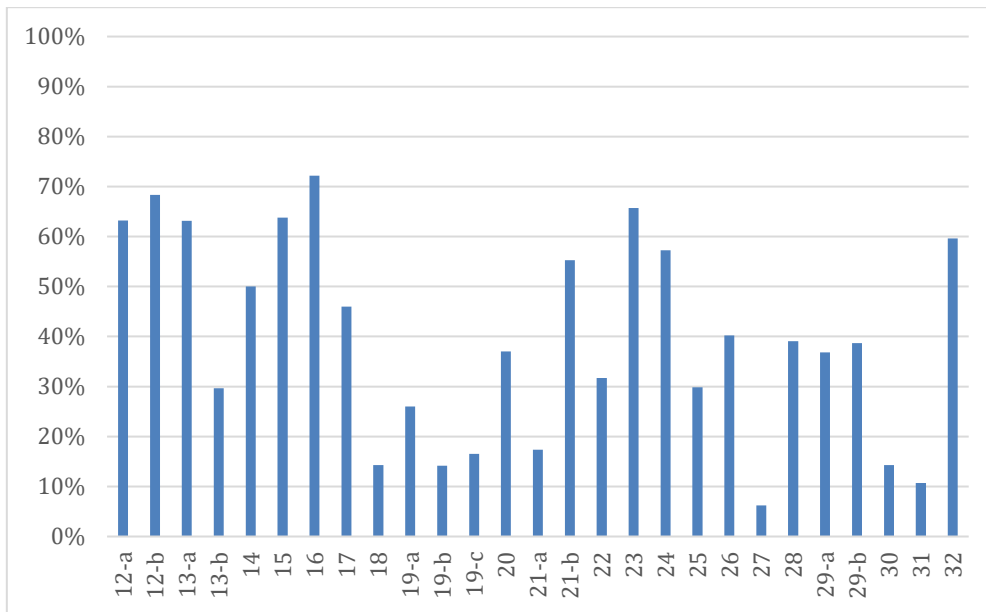


**Figure 2c : Fraction des candidats ayant abordé chaque question – Partie 3**

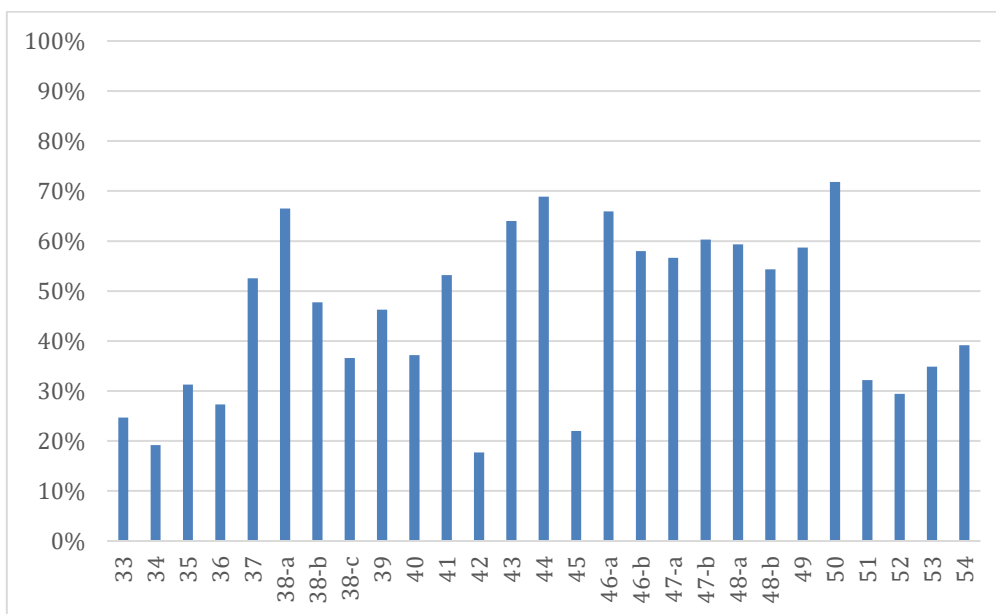
Les figures 3a, 3b et 3c indiquent le taux de réussite des candidats à chaque question, respectivement pour les trois parties. Une question est considérée comme réussie lorsque qu'il lui a été attribué au moins la moitié des points. Certaines questions ont été réussies par une grande partie des candidats, mais elles n'ont pas véritablement fait la différence sur la notation finale, notamment à propos de la partie 1.



**Figure 3a : Fraction des candidats ayant réussi chaque question – Partie 1**



**Figure 3b : Fraction des candidats ayant réussi chaque question – Partie 2**



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

Les taux de réussite bas 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 attirons l'attention des futurs candidats sur l'importance des applications numériques. Celles-ci étaient assez simples pour être effectuées sans calculatrice. Elles ont toutefois fait perdre des points à une bonne partie des candidats. Il est rappelé qu'une valeur numérique d'une grandeur physique doit être obligatoirement suivie d'une unité, sans quoi le résultat est considéré comme faux.

Rappelons que chaque sous-question d'une question numérotée 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 d'essayer de traiter les dernières questions de chaque partie qui sont souvent indépendantes des résultats précédents et qui font bien souvent la différence parmi les candidats.

Reprenant 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.

## **Partie 1 : Caractérisation mécanique de la lame :**

### **Partie 1.1 : Comportement élastique :**

Cette partie a été abordée par la majorité des candidats. La question 1a a été bien traitée par la quasi-totalité des candidats. Etant donné la simplicité des questions 1 et 2, les correcteurs ont été très regardant sur la justesse des signes des résultats, y compris les résultats intermédiaires. Si ceux-ci étaient faux, l'ensemble des deux questions étaient considérées fausses.

La question 3 a été, dans l'ensemble, mal traitée. Le découpage de la lame en deux parties de taille  $h/2$  a créé de la confusion chez les candidats qui trouvaient bien souvent une relation moment-courbure 4 fois plus faible que le résultat exact.

La question 4 découlant de la question 3, les candidats ayant bien répondu à la question 3 ont bien répondu à la question 4.

En s'appuyant sur les notations de l'énoncé, il était possible de répondre à la question 5 même avec des erreurs sur les précédentes questions. De nombreux candidats ont profité de cela. Les correcteurs ont été particulièrement vigilants aux signes et aux coefficients utilisés.

La question 6 était séparée en 2 sous-questions. Si le calcul de la flèche maximale n'a pas dérouté les candidats ayant la bonne équation, l'angle maximal  $\alpha$ , par contre, été dans l'ensemble mal traité. L'analogie sur l'énergie de déformation de la lame avec un ressort de la question 7 a été dans l'ensemble bien traité.

### **Partie 1.2 : Comportement inertiel :**

Les correcteurs ont été étonnés de voir les difficultés rencontrées par les candidats sur la question 8. Celle-ci consistait uniquement en une adimensionnalisation de l'équation de la déformé trouvée en question 5. Ainsi les candidats ayant bien répondu à la question 5 auraient dû avoir la totalité des points de cette question.

Les trois sous-questions de la question 9 portant sur une analogie énergétique ont souvent perdus les candidats. Si l'écriture de l'énergie cinétique sous forme d'intégrale a été bien écrite, ce sont souvent des calculs approximatifs qui donnaient des résultats faux. Les justifications de l'inégalité de la masse effective se basait bien souvent sur des résultats de calcul au lieu de revenir aux significations physiques des phénomènes.

### **Partie 1.3 : Estimations numériques :**

Cette partie a été traitée par moins de la moitié des candidats avec de très faibles taux de bonnes réponses. Cela donne un poids particulièrement important pour ces questions dans le classement final des candidats.

La question 11 nécessitait de réaliser une analyse graphique. Celle-ci aurait pu être conduite sans avoir réalisé les questions précédentes. Les correcteurs ont validé les résultats donnés avec le bon ordre de grandeur. Malgré cette appréciation, très peu de candidats ont bien répondu à cette question.

### **Partie 2 : Interaction entre la surface et la pointe :**

La question 12 faisait partie des questions de cours. Elle a dans l'ensemble été bien traitée. La question 13 était découpée en deux sous questions. L'ordre de grandeur du paramètre « a » a souvent été trouvé. Cependant, l'ordre de grandeur de  $U^*$  a souvent été mal identifié.

#### **Partie 2.1 : Imagerie par mode contact :**

La question 14 se déduisait aisément de l'équation donnée au début de la partie 2. Cette question a donc été bien traitée par la majorité des candidats.

La question 15 a étonnamment bloqué certains candidats ayant bien répondu à la question 14 alors que l'une se déduisait de la précédente par une simple manipulation des termes de l'équation.

La question 16 était une question fondamentale pour les questions suivantes. En effet, la représentation graphique demandée permettait de bien identifier l'influence de chaque paramètre et ainsi de pouvoir parcourir les équilibres successifs lorsque que ceux-ci varient. Les correcteurs ont été attentifs à ce que les axes soient bien référencés et que les paramètres soient clairement identifiés.

La question 17 consistait à trouver graphiquement la pente maximale et à donner son ordre de grandeur. Cette question a souvent été mal traitée en raison d'arrondi trop important faisant changer d'ordre de grandeur ou suite à une mauvaise identification du point d'inflexion.

La question 18 était séparée en deux sous-questions. Les candidats ont très majoritairement oublié de traiter la deuxième sous-question et la première à elle-même été majoritairement mal traitée.

La question 19 consistait à donner des ordres de grandeur de la force et de la flèche associée. Une mauvaise estimation de la raideur de la lame entraînait donc une erreur sur le calcul de la flèche. Cette question a donc mis en difficulté les candidats. Il est à noter que les ordres de grandeur demandés dans la partie 2.1 sont similaires à ceux trouvés en partie 1.3.

Les questions 20, 21 et 22 ont été traitées par une minorité des candidats et ont très rarement rapporté l'intégralité des points. Les explications écrites données étaient bien souvent fausses et ce sont les candidats ayant répondu par des schémas et des courbes qui ont bien souvent eu des bonnes réponses.

## **Partie 2.2 : Imagerie par mode non-contact :**

La question 23 était indépendante des questions précédentes et de nombreux candidats ont su l'identifier avec un taux important de bonnes réponses.

Les correcteurs ont regretté de constater autant d'erreurs dans le développement limité du deuxième ordre de la question 24.

De même, la question 25 a mis en difficulté certains candidats qui n'arrivaient pas identifier les termes nuls dans l'équation d'équilibre demandée. Il était attendu que ces trois questions successives ne soient pas bloquantes.

La question 26 visait à identifier les termes d'une équation différentielle du deuxième ordre afin de voir comment se comporte le système. Très peu de candidats ont su prendre en compte l'ensemble des configurations possibles de cette équation différentielle du second ordre tout en gardant en tête l'objectif d'avoir une solution bornée. Pour avoir la totalité des points de la question, il fallait décrire les conditions amenant aux 3 modes de réponse possibles et ensuite de discuter du domaine de validité de la solution oscillante bornée et de la décrire plus longuement.

Si peu de candidats ont traité la question 27, la majorité d'entre eux a trouvé la bonne fonction de transfert. Ce constat est similaire pour la question 28 qui nécessitait une analyse graphique du facteur de qualité.

Les questions 29, 30 et 31 n'ont été traitées que par une poignée de candidats et moins de 1% des candidats ont proposé une ébauche de bonne réponse. Les correcteurs ont bien souvent récompensé positivement cette implication.

La question 32 ne nécessitant pas d'avoir une compréhension des graphiques précédents a été bien abordé par les candidats qui ont su l'identifier comme une question indépendante.

## **Partie 3 : De la flèche à sa détection, sa mesure et son contrôle :**

### **Partie 3.1 : Détection de la flèche :**

La question 33 a dérouté de nombreux candidats qui n'ont pas su voir  $\Delta = 2d\theta$ . La plupart des candidats n'a pas identifié le coefficient 2 apparaissant dans la réflexion sur la lame du faisceau laser.

La question 34 était une question de cours avec une application numérique. Celle-ci n'a été traitée correctement que par une faible proportion de candidats.

### **Partie 3.2 : Localisation par photodétection de la position du point P1 :**

La question 35 nécessitait une justesse dans le calcul. De nombreuses erreurs de signe ont été la cause du faible taux de réussite à cette question.

La question 36 supposait d'avoir bien répondu à la question 33 d'où son faible taux de bonne réponse.

La question 37 était relativement simple à justifier avec les équations obtenues. Néanmoins, il était attendu une justification physique complétant les résultats des équations pour avoir la totalité des points.



### **Partie 3.3 : Etude de la photodétection :**

La question 38 était découpée en deux sous-questions. La première visait à établir l'équation de la sensibilité théorique, puis à en déduire une estimation numérique. Cette question a été dans l'ensemble bien traitée par les candidats l'ayant abordée.

La question 39 nécessitait une analyse graphique simple. Il est rappelé aux candidats que, même s'il n'est pas demandé une grande précision sur les courbes explicatives, il est nécessaire d'avoir des axes avec les bons noms et les bonnes unités, ainsi qu'une explication rapide des courbes tracées pour avoir la totalité des points. Les correcteurs se sont principalement focalisés sur la justesse des valeurs numériques données par les candidats mais dans le cas de valeurs approchées, la précision du graphique explicatif était aussi évaluée.

La question 40 n'a été abordée que par une minorité de candidats avec un très faible taux de bonne réponse.

La question 41 consistait à résoudre un schéma électrique simple et cela a pourtant déstabilisé de nombreux candidats. Nous rappelons qu'il est nécessaire de vérifier l'homogénéité des résultats obtenus. En effet, de nombreuses réponses ne donnaient pas la bonne unité pour  $I_{ph}$ .

Les question 42 et 43 visaient à déterminer les pulsations propres du système et à en donner une estimation numérique. Ces questions relativement simples ont donné lieu à de nombreuses réponses erronées suite à des erreurs grossières de calcul ou des arrondis trop important dans l'estimation numérique. Nous rappelons qu'il est nécessaire de ne procéder à une simplification des termes qu'à la fin d'un calcul.

### **Partie 3.4 : Cartographie iso-force d'une surface en mode contact :**

La question 44 consistant à identifier le rôle de chaque paramètre a été dans l'ensemble bien traitée. S'agissant d'une question simple, les correcteurs ont souhaité récompenser les candidats répondant correctement à l'identification de l'ensemble des trois paramètres.

La question 45 n'a donné lieu qu'à un très faible taux de bonnes réponses et n'a été abordée que par un nombre très limité de candidats.

Les question 46, 47, 48, 49 et 50 se succédaient les unes aux autres. Une bonne réponse à la première entraînant bien souvent une succession de bonnes réponses pour cet ensemble de questions. Les questions portant sur les valeurs limites et leur analyse pouvaient aussi être obtenues sans avoir la bonne expression de l'équation d'équilibre.

La question 51 nécessitait d'identifier deux bornes encadrant la pulsation du système. Bien souvent, une seule borne a été donnée et la réponse était considérée comme fausse.

Les question 52, 53 et 54 n'ont été traitées que par une poignée de candidats et moins de 1% des candidats ont proposé une ébauche de bonne réponse. Les correcteurs ont bien souvent récompensé positivement cette implication.