

## 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 d'un transducteur électroacoustique et ses applications. La seconde est consacrée à l'étude de la tenue au vent d'une tour de grande hauteur et du contrôle-commande des ascenseurs qui la desservent.

La première partie propose d'abord l'analyse électromécanique d'un condensateur comportant une armature déformable assimilée à un système masse-ressort. On s'intéresse notamment à comprendre le rôle joué par la polarisation dans la linéarisation des équations. On y étudie ensuite les fonctionnements en modes récepteur et émetteur du dispositif. Enfin, des applications en vélocimétrie ultrasonore, localisation d'une cible et mesure d'éloignement sont abordées.

La seconde partie porte sur l'étude d'une tour de grande hauteur. Une approche simplifiée consistant à modéliser la tour à l'aide de systèmes « inertie-ressort en rotation » mis en série est d'abord considérée avec une linéarisation progressive des effets des chargements appliqués. Ensuite, une étude sismique modélisant le comportement latéral de la tour est conduite à partir d'un système à deux « masses-ressorts-amortisseurs ». Enfin, le contrôle-commande d'un ascenseur est abordé en suivant une complexification progressive.

### Résultats des candidats

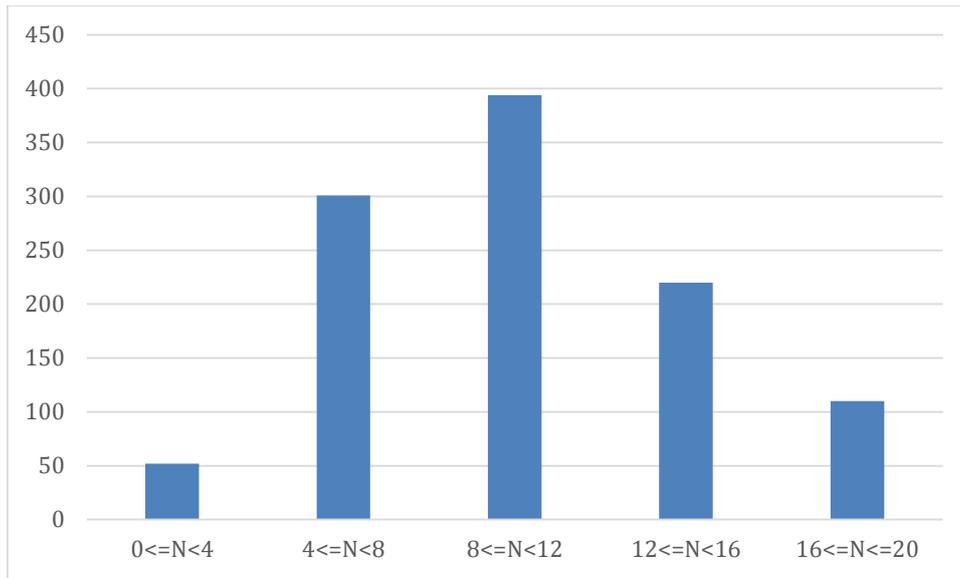
Le tableau présente la répartition des notes des candidats français uniquement (725 présents). La moyenne de l'épreuve 10,21 avec un écart-type de 4,19.

$0 \leq N < 4$	37	5,1%
$4 \leq N < 8$	194	26,76%
$8 \leq N < 12$	257	35,45%
$12 \leq N < 16$	160	22,07%
$16 \leq N \leq 20$	77	10,62%
Total :	725	100%
Nombre de copies :	725	
Note moyenne :	10,21	
Ecart-type :	4,19	

Le Tableau 1 présente la répartition des notes de l'ensemble des candidats (1077 présents). La moyenne de l'épreuve s'établit à 9,60, avec un écart-type de 4,17.

$0 \leq N < 4$	52	5%
$4 \leq N < 8$	301	28%
$8 \leq N < 12$	394	37%
$12 \leq N < 16$	220	20%
$16 \leq N < 20$	110	10%
Total	1077	100%
Nombre de copies	1077	
Note moyenne	9,60	
Écart-type	4,17	

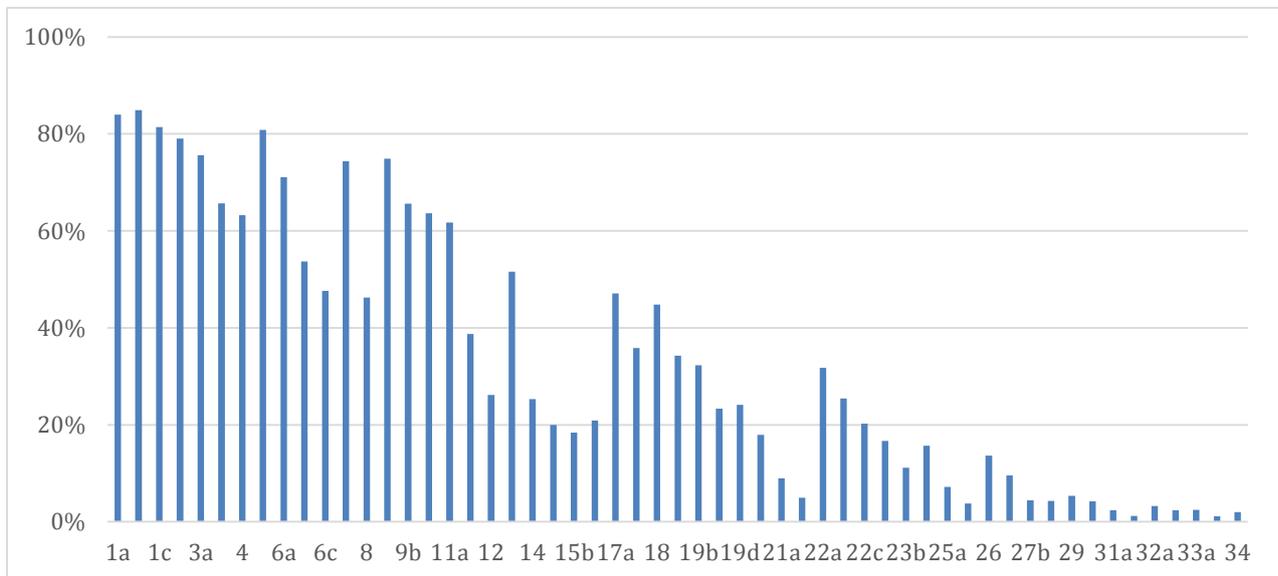
**Tableau 1 : Statistique relative à l'épreuve P & SI filière MP**



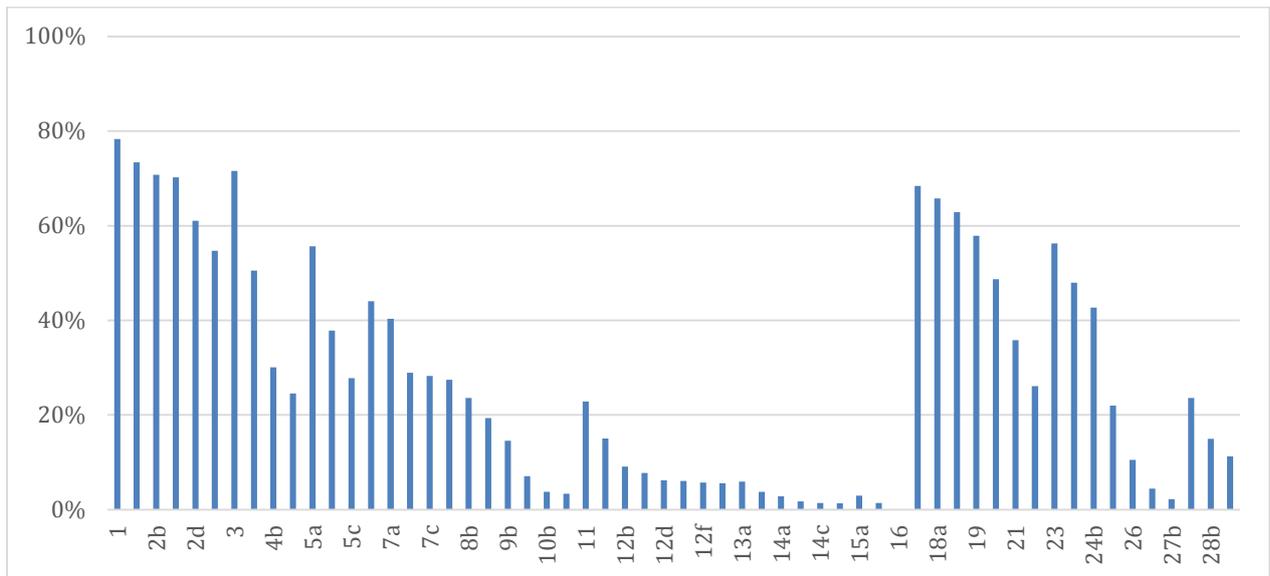
**Figure 1 : Statistique des résultats des candidats de l'épreuve par intervalle de notes**

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.

La partie II de la partie S.I. n'a quasiment pas été abordée, elle était pourtant aisément accessible à des élèves issus de la filière MP.

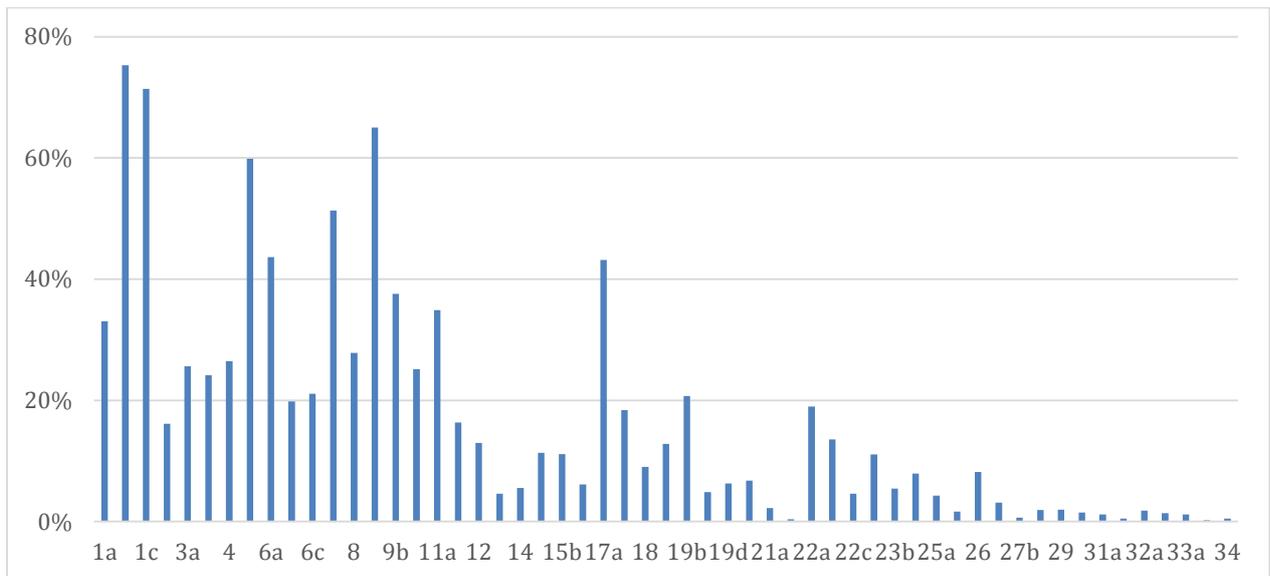


**Figure 2a : Fraction des candidats ayant abordé chaque question – Partie Physique**

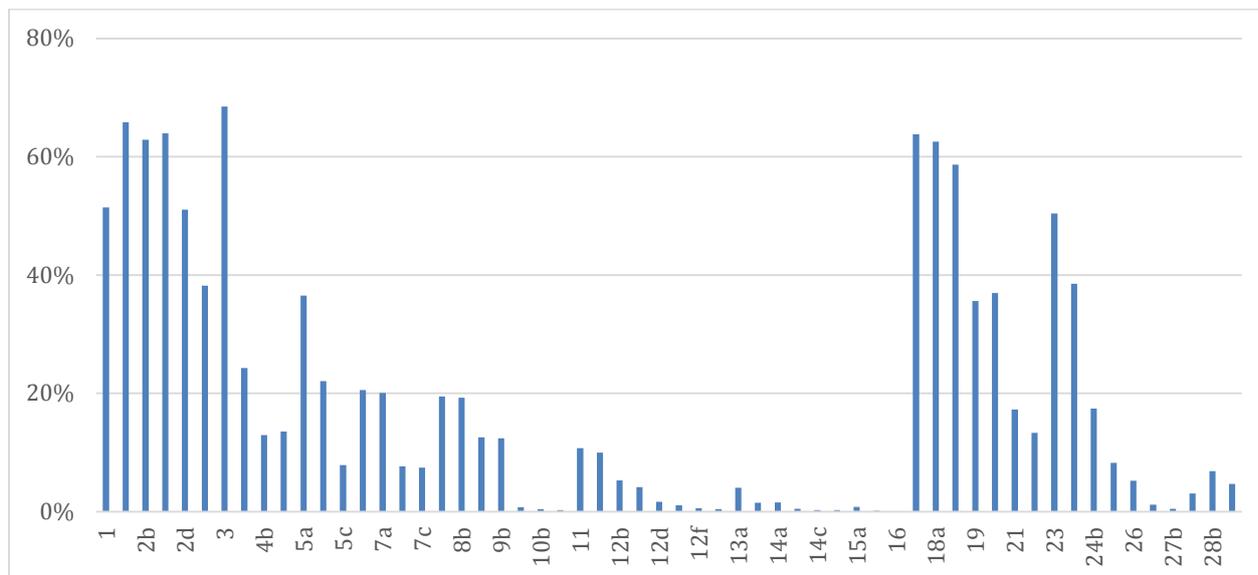


**Figure 2b : Fraction des candidats ayant abordé chaque question – Partie S.I.**

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 III 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 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 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. 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 (c'est notamment le cas de la question 12 de la partie Sciences de l'Ingénieur qui comporte sept sous-questions). Bon nombre de candidats ne répondent pas à l'intégralité des items mentionnés dans une question.

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.

Nous rappelons aux futurs candidats que, sauf indication contraire dans l'énoncé, les parties sont indépendantes. Les parties II des parties Physique et Sciences de l'Ingénieur ont, dans l'ensemble, été peu abordées. Cela est dommageable étant donné qu'un certain équilibre en termes de points est recherché entre les parties.

## **Partie Physique – Modélisation et applications d'un transducteur électroacoustique**

### **Partie I : Étude du transducteur électroacoustique :**

Cette partie a été abordée par la majorité des candidats. Les trois premières questions ont été, dans l'ensemble, mal traitées. La plupart d'entre eux n'a pas pris en compte le travail électrique pendant le déplacement de la membrane, ils ont ainsi dû modifier l'expression de l'énergie électromagnétique pour retrouver l'équation différentielle annoncée dans la question 3.

À la question 4, il est surprenant de constater que des candidats n'ont pas identifié l'adimensionnalité de  $A_0$ , ni l'interpréter comme le rapport entre deux énergies (ou, plus simplement, entre deux effets

concurrents). La question 5 a été généralement bien traitée. Les candidats n'ont pu répondre que partiellement à l'analyse graphique de la question 6. La plupart a uniquement indiqué les points

d'intersection entre les deux courbes ne répondant pas à la question posée qui portait exclusivement sur  $A_0$  et sur la stabilité des points d'équilibre.

La question 7, à caractère calculatoire, a été bien traitée par la majorité des candidats. On a cependant noté que certains candidats essayent de « camoufler » des étapes manquantes dans le calcul par des justifications fantasmagoriques ou des transitions pompeuses. Ces erreurs, voire pour certains, ces manques d'honnêteté, sont rédhibitoires. Pour la question 8, si la plupart des candidats a identifié la nécessité d'avoir une tension de polarisation pour vérifier la condition mathématique. Seule une infime portion a fait preuve d'une bonne compréhension physique.

La caractérisation de l'émission acoustique de la question 9 a souvent été faite trop rapidement sans réelle justification. Les questions 10 et 11 ont fait l'objet de nombreuses erreurs avec des tracés de fonction bien souvent approximatifs et faux. Le constat est similaire pour le tracé de circuit de la question 12. Les candidats n'ont pas pu voir l'équivalence entre le déplacement de la membrane et la variable  $\phi$ , n'arrivant pas à démontrer l'équation différentielle solution de la question 13.

La question 15 a été, le plus souvent, traitée partiellement, avec des explications physiques guère crédibles. Seuls quelques candidats ont donné une explication claire des deux modes de fonctionnement, émetteur et récepteur. Les candidats ont proposé des solutions au hasard pour le circuit électrique de la question 16 sans réel raisonnement physique. Les notations apportées sur le schéma électrique, notamment sur les tensions, ont été souvent incohérentes.

Les questions 17 et 18, bien que simples, font l'objet des remarques citées en introduction. L'application numérique a été pour la majorité des candidats non réalisée ou fautive.

## Partie II : Quelques applications du transducteur :

Cette partie faisait principalement appel au sens physique des candidats. Elle a été peu et souvent mal traitée, les candidats ayant du mal à se détacher des équations. Il est à noter que les candidats ayant traité les questions de cette partie ont, pour la plupart, obtenu de très bonnes notes. La partie IIA a été traitée par environ la moitié des candidats. La partie IIB par moins d'un quart et la partie IIC n'a presque pas été abordée.

Pour la question 19, les candidats ont bien souvent eu du mal à retrouver l'angle d'ouverture à partir des notations de l'énoncé reliant l'angle au rayon. L'application numérique n'a été qu'exceptionnellement réussie pour retrouver l'angle de  $40^\circ$ . La question 20 repose sur le sens physique du candidat est permettant de corriger une éventuelle erreur dans l'application numérique de la question précédente. La question 21 n'a pas été abordée.

Les questions 22 à 24 sont des questions classiques de franges d'interférence de deux trous d'Young. Ceci faisant partie des programmes, il est désolant de voir le faible nombre d'élèves ayant abordé ces questions et le nombre « infinitésimal » de bonnes réponses. La question 25 faisait appel à la bonne compréhension du fonctionnement de ce système. On dénombre une poignée de bonnes réponses.

Les questions 26 à 31 nécessitaient d'avoir une bonne analyse de cette antenne. Une compréhension physique de la somme  $S_i(t)$ , du glissement  $g$  et de la valeur maximale  $S_M$  permettaient d'obtenir l'ensemble des points sans aucun calcul. Les titres des parties orientaient l'interprétation souhaitée. Ainsi il s'agissait, par ces questions, de comprendre en quoi le glissement associé à la réponse maximale du signal réponse permettait d'identifier la localisation angulaire de la cible.

La question 32 consistait simplement à représenter le signal réponse comme un fac-similé du signal d'émission avec un délai  $T_0$ . La fonction  $F$  étant une convolution des deux fonctions (émission et réception) elle atteint une valeur maximale pour une valeur de  $\tau = T_0$ . La vitesse de propagation du son permettait ensuite de trouver la réponse de la question 33 sur l'éloignement de la cible. Enfin, si un signal parasite le signal reçu, il suffit d'émettre un signal à une fréquence différence et d'effectuer un filtrage de la réception.

## **Partie Sciences de l'Ingénieur - Étude d'une tour de très grande hauteur :**

### **Partie I : Étude des déplacements de la tour sous chargements extérieurs :**

L'analyse du modèle linéarisé à 1 degré de liberté n'a dans l'ensemble pas posé de problème autre que des erreurs de calcul ou de signe. Étant donné la facilité des questions, l'exactitude des réponses était attendue pour la question 2. Une nouvelle fois, de nombreux candidats n'ont pas répondu à l'ensemble de la question, oubliant de donner la signification des paramètres calculés.

La question 4 a étonnamment posé des problèmes de calcul. Il ne s'agissait pourtant que d'un simple oscillateur libre amorti. Certaines résolutions graphiques ont été acceptées à condition de comporter l'identification de l'ensemble des paramètres : amortissement, amplitude du premier dépassement, amplitude à  $3\tau$ , ...

Le modèle non linéaire statique à 1 degré de liberté développé dans les questions 5 et 6 n'a pas posé de problème aux candidats ayant établi l'équation A de la question 2. Il suffisait ensuite de faire une conversion de la forme :  $\alpha \cos\theta + \beta \sin\theta = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \sin(\theta + \theta')$  et de trouver les points d'intersection entre ce sinus déphasé et une fonction proportionnelle à  $\theta$ . Le nombre de points d'intersection dépend du coefficient de proportionnalité.

La linéarisation proposée dans la question 6 a été bien traitée par les candidats connaissant les développements limités des fonctions sinus et cosinus.

La généralisation statique à N degrés de liberté n'a été que très rarement bien faite pour la question 7. Les erreurs de signe ont été fréquentes et les moments n'ont que rarement été calculés au même point. Très peu de candidats ont su identifier que les moments appliqués aux deux extrémités de la barre dépendaient des différences angulaires :  $(\theta_i - \theta_{i+1})$  et  $(\theta_i - \theta_{i-1})$ . La détermination des moments dus aux forces extérieures a été mieux traitée.

Les questions 8, 9 et 10 découlaient directement des résultats de la question 7. Une tolérance a été apportée pour les erreurs de calcul de la question 7 ne remettant pas fondamentalement en cause les résultats des questions 8 et 9. Les correcteurs ont été fortement surpris qu'aucun candidat ne donne de résultats numériques justes à la question 10.

### **Partie II : Étude sismique du comportement discrétisé de la tour :**

La transition entre les raideurs en rotation de la partie I et en translation de la partie II a semblé difficile pour les candidats. Bien que cette partie soit plus proche des résultats de cours, peu de candidats se sont penchés sur ces questions et presque aucun n'est allé au-delà de la question 14.

La mise en équation du système de la question 12 a été peu, et souvent mal, traitée. Les termes couplant les déplacements  $u_1(t)$  et  $u_2(t)$  ont été régulièrement oubliés des équations d'équilibre et donc dans les termes non diagonaux des matrices  $\underline{\underline{K}}$  et  $\underline{\underline{M}}$ .

Aucun candidat n'a su faire les applications numériques de la question 16 bien que correspondant à une application particulière d'un oscillateur forcé amorti.

### **Partie III : Étude du contrôle-commande d'un ascenseur :**

La partie III était une application quasi-directe du cours de S.I.

Elle visait à étudier, dans un premier temps, un système de contrôle-commande PI. La seule nouveauté consistait à considérer la position d'arrivée comme atteinte à condition d'être dans un certain intervalle de valeur autour de la position cible. Dans l'ensemble les questions concernant ce modèle PI ont été bien traitées.

Dans un deuxième temps, il s'agissait de considérer un contrôle-commande PID. Si les questions 23 et 24 ont donné lieu à une grande majorité de bonnes réponses. La réponse temporelle du système a souvent fait l'objet de réponses confuses entraînant des erreurs dans l'expression des pics  $z_i$  de la question 26. Quasiment aucun candidat n'a su trouver l'inégalité gouvernant l'identification de  $i$  (le numéro du pic à partir duquel l'ensemble du signal est dans l'intervalle souhaité).

Enfin, la question 28 faisait appel à la compréhension de l'influence des paramètres d'un contrôle-commande PID sur le temps de réponse. Si la majorité des candidats ayant abordé cette question a su identifier un paramètre influant, seule une poignée d'entre eux a su identifier l'ensemble des paramètres conditionnant le délai de la réponse.