

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

### Présentation du sujet

Le sujet proposé cette année comprend deux grandes parties permettant d'étudier les conditions de synchronisation des rebonds d'une balle sur une surface horizontale oscillant verticalement, de manière harmonique. La seconde propose d'étudier un dispositif haptique à six degrés de liberté actifs, permettant de piloter des robots à distance et d'interagir avec un environnement virtuel.

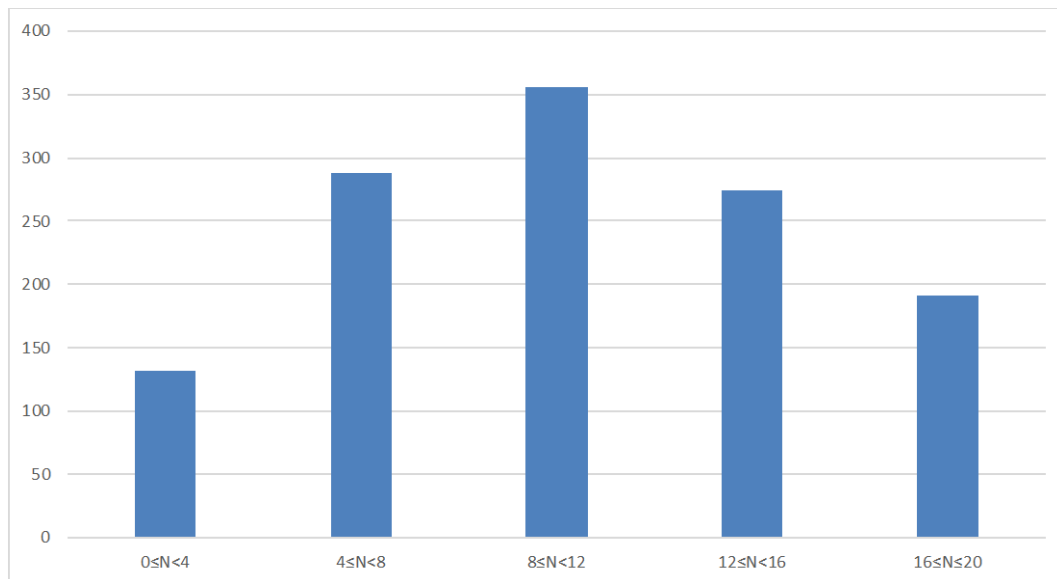
Les 2 parties sont assez homogènes, elles comportent chacune 18 et 19 questions respectivement.

Concernant la partie 1, elle est constituée de 2 sous-parties. La première est consacrée à la modélisation viscoélastique d'un solide durant un choc contre une surface rigide. Ici on se focalise sur la phase juste après le rebond en s'intéressant au coefficient de restitution en vitesse. La seconde s'intéresse aux conditions de synchronisation des rebonds d'une balle sur une surface plane en mouvement vertical harmonique. Il s'agit d'une balle de tennis de table qui rebondit sur une surface rigide qui oscille verticalement et de façon sinusoïdale. On se focalise encore dans cette 2<sup>ème</sup> sous-partie sur la phase juste après le rebond et notamment au coefficient de restitution en vitesse. Mais l'étude la plus importante concerne la condition de stabilité, il s'agit d'analyser la stabilité de la situation de synchronisation des rebonds sur la période  $T$  des oscillations harmoniques de la surface.

Concernant la partie 2, partie Sciences de l'Ingénieur, elle est constituée aussi de 2 sous-parties. On étudie ici un dispositif haptique utilisé en télé-opération où sont couplés deux robots Delta en parallèle. La première sous-partie concerne justement l'étude de ce robot représenté à l'aide d'un modèle cinématique. La deuxième sous-partie s'intéresse à l'analyse des mouvements du Delthaptic dont la structure mécanique est formée à l'aide de 2 robots Delta.

### Résultats des candidats

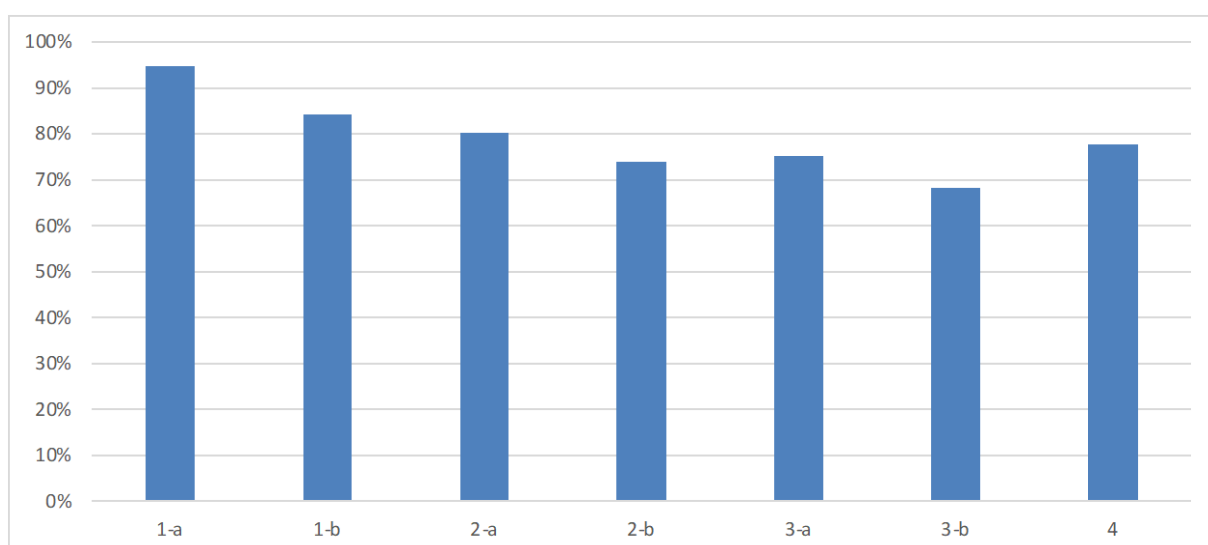
Pour les 1259 candidats français et internationaux, la moyenne de l'épreuve s'établit à 09,8/20 avec un écart-type de 5,14.



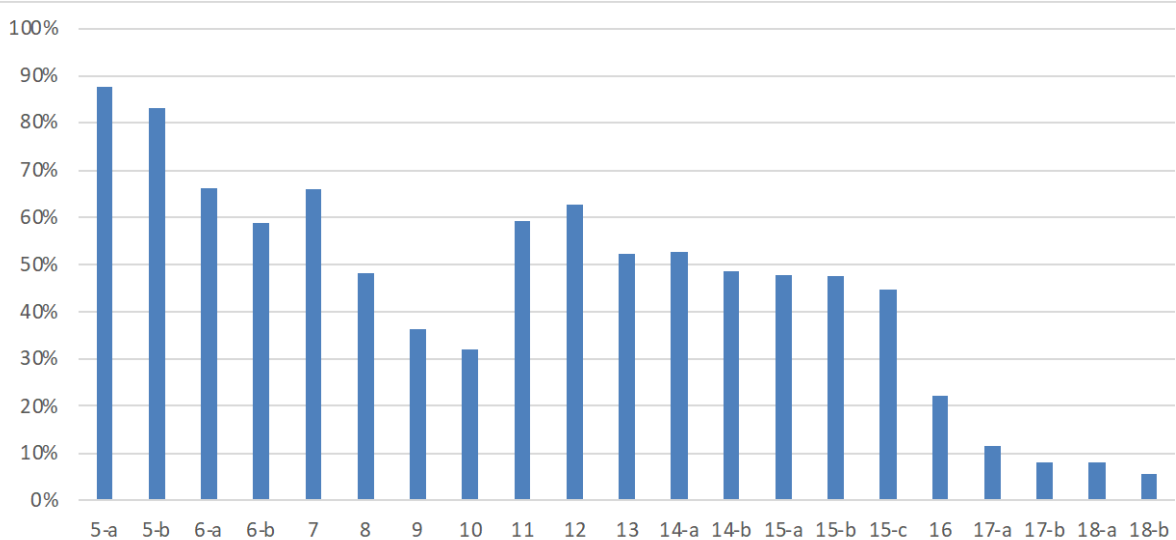
**Figure 1 : Statistique des résultats des candidats de l'épreuve par intervalle de notes**

Les figures 2a, 2b, 2c et 2d illustrent la fraction de candidats ayant abordé chaque question, respectivement pour les 2 sous-parties de la partie 1 et pour les 2 sous-parties de la partie 2. On voit assez clairement que les dernières questions de la partie 1.2 et la partie 2 ont été nettement moins abordées que la partie 1, à part les premières questions de la partie 2. Ce sont pourtant ces parties, moins abordées par les candidats, qui ont permis de départager les meilleurs d'entre eux. Pour la partie 2, la plupart des questions a été abordée par une minorité de candidats, moins de 50% d'entre eux. Cette partie pourtant avait un nombre de questions quasi aussi important que la première partie, 19 contre 18 questions pour la partie 1.

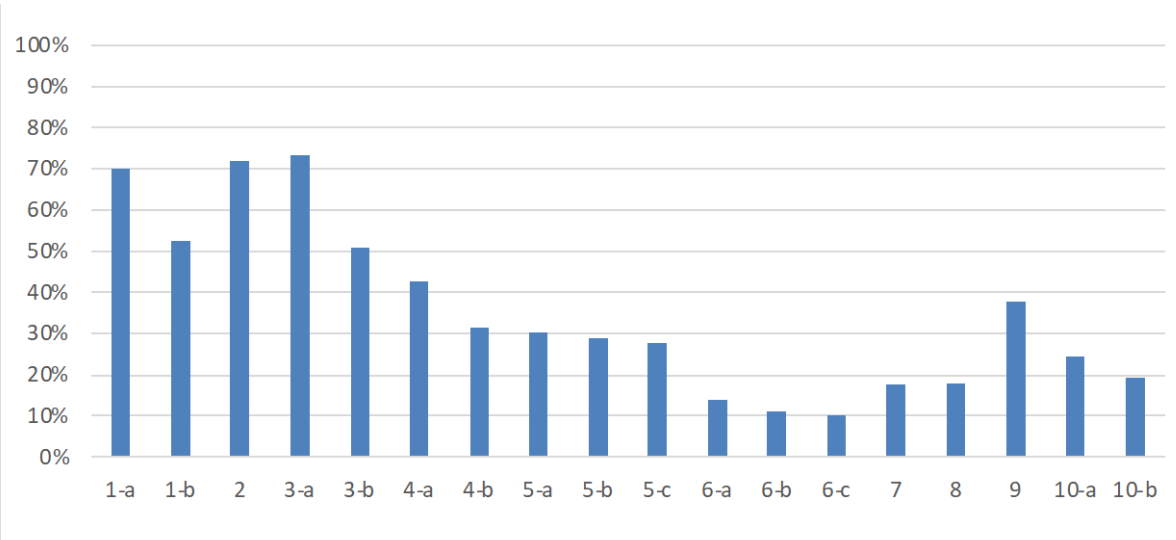
On regrettera que les questions nécessitant des qualités d'analyse aient été significativement moins abordées que celles plus strictement calculatoires. Lorsque qu'elles ont été abordées, elles ont été assez mal traitées, comme la première question de la partie 2 par exemple qui a été traitée par environ 70% des candidats mais seuls 28% des candidats ont répondu correctement.



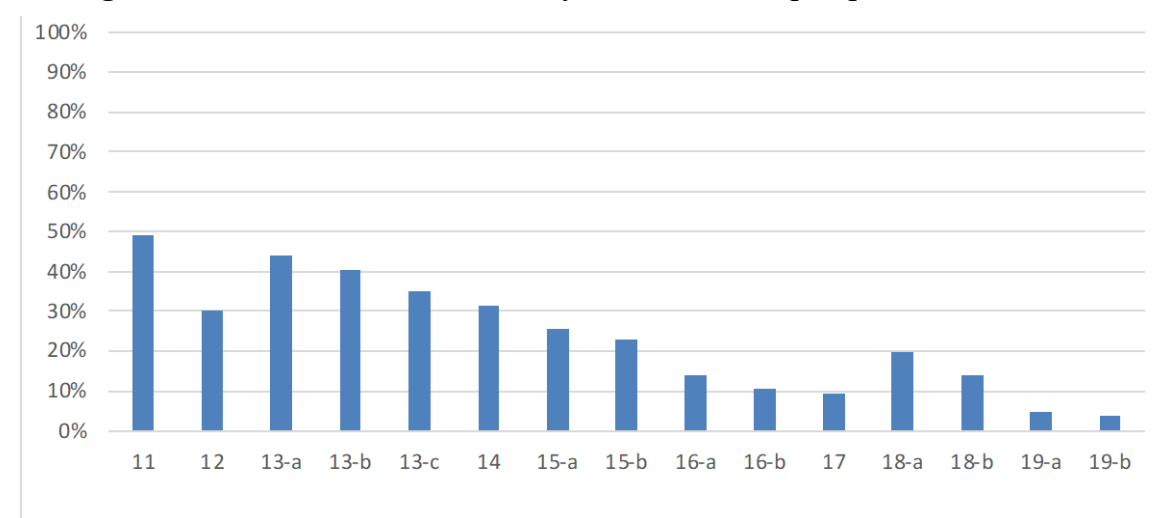
**Figure 2a : Fraction des candidats ayant abordé chaque question – Partie 1.1**



**Figure 2b : Fraction des candidats ayant abordé chaque question – Partie 1.2**

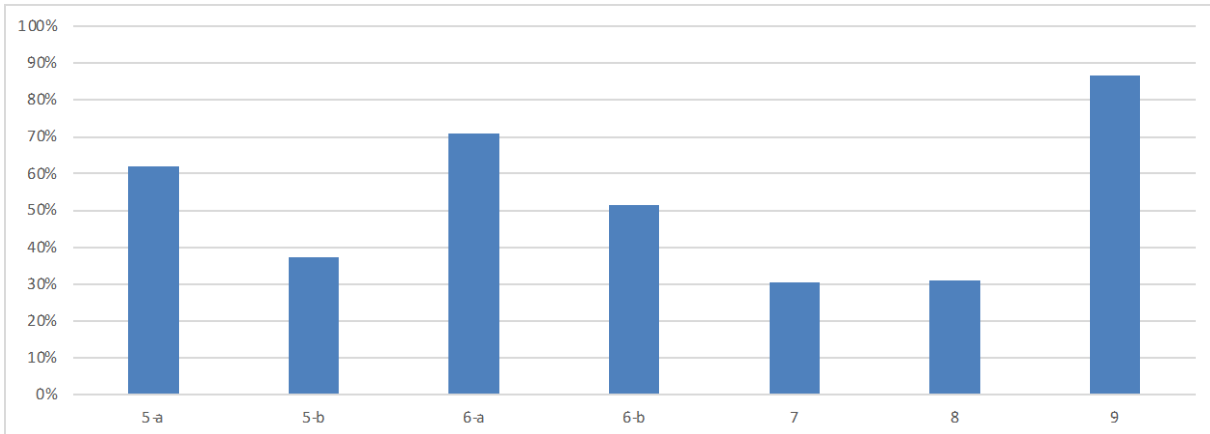


**Figure 2c : Fraction des candidats ayant abordé chaque question – Partie 2.1**

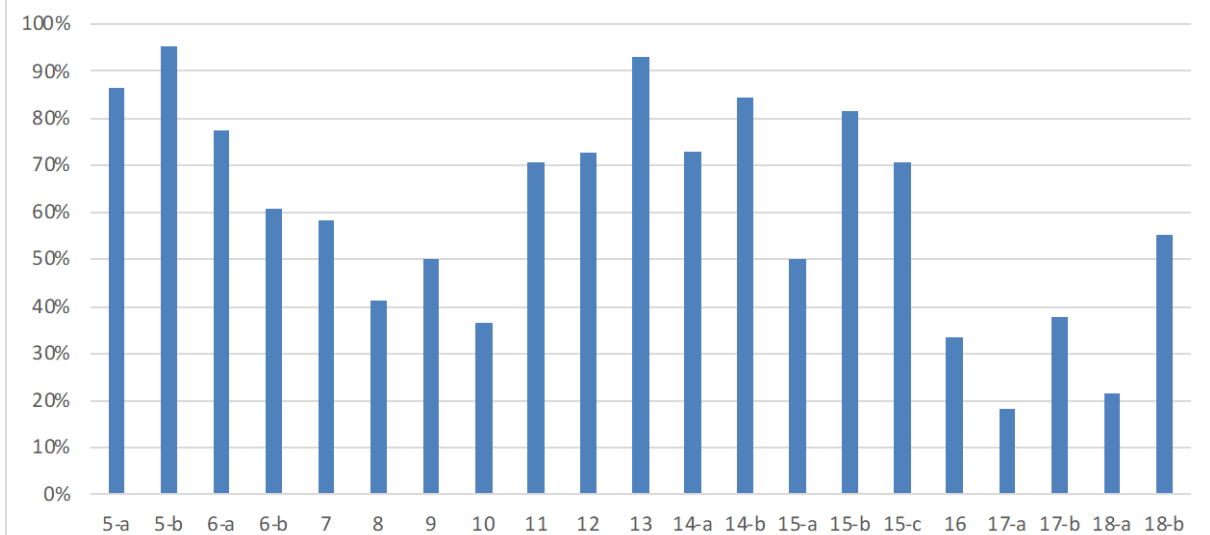


**Figure 2d : Fraction des candidats ayant abordé chaque question – Partie 2.2**

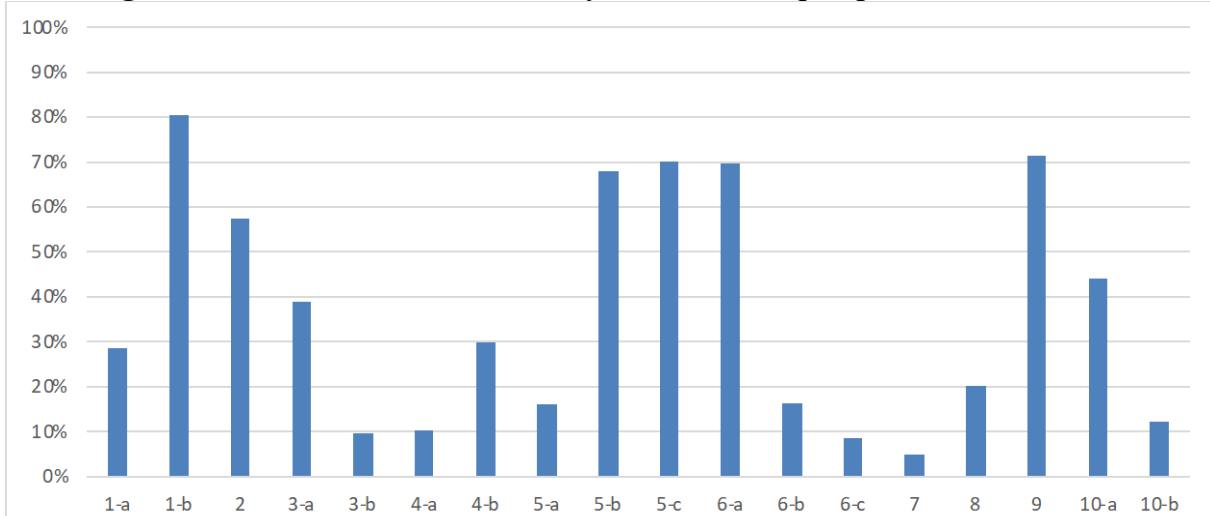
Les figures 3a, 3b, 3c et 3d indiquent le taux de réussite des candidats à chaque question, respectivement pour les quatre parties (les 2 sous-parties de la partie 1 et les 2 sous-parties de la partie 2). Une question est considérée comme réussie lorsque qu'il lui a été attribué au moins la moitié des 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.



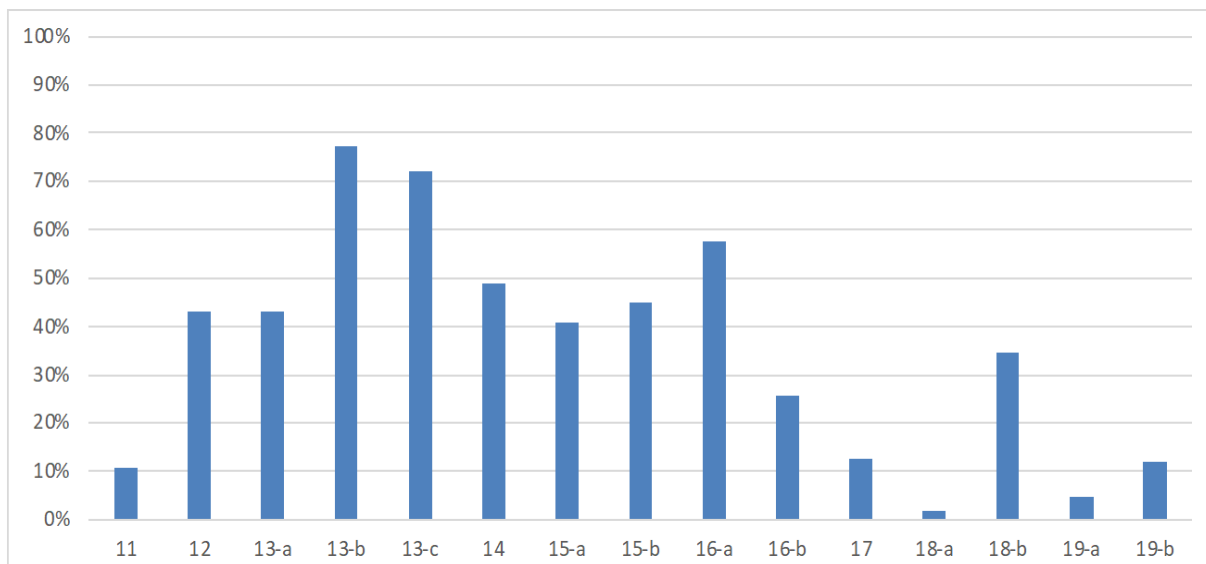
**Figure 3a : Fraction des candidats ayant réussi chaque question – Partie 1.1**



**Figure 3b : Fraction des candidats ayant réussi chaque question – Partie 1.2**



**Figure 3c : Fraction des candidats ayant réussi chaque question – Partie 2.1**



**Figure 3d : Fraction des candidats ayant réussi chaque question – Partie 2.2**

Les taux de réussite bas des questions nécessitant une explication physique des phénomènes s'illustrent par la difficulté à clarifier la 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 : Rebonds d'une balle sur une surface en mouvement périodique**

### **Partie 1.1 : Une modélisation du comportement viscoélastique d'un solide lors d'un choc contre une surface rigide**

Cette partie comprend seulement 3 questions. Ces questions ont été abordées par une majorité de candidats et une majorité d'entre eux a plutôt bien répondu lorsqu'il s'agissait d'établir des expressions analytiques. Les résultats sont largement moins bons lorsqu'il faut analyser, commenter un résultat. Par exemple, à la question 2, il fallait établir l'expression analytique du coefficient de restitution en vitesse  $r$  puis commenter le résultat obtenu. Cette question a été abordée par plus de 70% des candidats mais seulement 50% ont réussi à expliquer le résultat obtenu. On peut faire le même commentaire pour la question 3 où il était demandé de critiquer le modèle adopté, seuls 30% des candidats qui ont traité cette question ont bien répondu.

## **Partie 1.2 : Synchronisation des rebonds d'une balle sur une surface en mouvement vertical oscillant**

Cette partie comporte 15 questions et étudie les rebonds d'une balle de tennis de table sur une surface rigide qui oscille verticalement et de façon sinusoïdale. La première question consiste à retrouver l'expression de la vitesse juste après le choc de la balle avec la surface. En général, lorsque l'expression est donnée, les taux de réussite à ce genre de question sont plutôt élevés, ici pratiquement 90% des candidats ont bien répondu.

Les questions qui suivent traitent des conditions de synchronisation entre les rebonds de la balle et la surface oscillante. Jusqu'à la question 7, aucune difficulté pour une majorité de candidats, les résultats obtenus dépassent les 50% de bonnes réponses. En revanche, pour les questions 8, 9 et 10, non seulement elles ont été abordées par une minorité de candidats mais, de plus, elles ont été mal traitées puisque on note seulement 40 à 50% de bonnes réponses pour celles-ci, voir Figures 2b et 3b.

Par exemple, à la question 8, il fallait estimer la valeur du coefficient en vitesse  $r$  à partir d'une lecture graphique, ce qui a posé problème à grand nombre de candidats. C'est une question de compréhension qui peut donner un poids particulièrement important dans le classement final pour les candidats ayant bien répondu. Pour les questions 9 et 10, il fallait se référer aux réponses obtenues à la question 5, ce qui a peut-être fait hésiter certains candidats à les aborder puisque moins de 50% les ont traitées.

Les questions de 11 à 15 ont posé des difficultés car peu d'étudiants les ont traitées soit par manque de temps soit par incompréhension. En revanche, les étudiants qui ont abordé ces questions ont plutôt bien répondu, pour 70 à 80% d'entre eux au moins (voire Figures 2b et 3b). Pour ces candidats, cela peut permettre de faire la différence dans le classement final. Ces questions portaient toujours sur la stabilité concernant la synchronisation des rebonds en formant des relations de récurrence (suites complexes).

Comme d'habitude, les dernières questions des parties, ici les questions de 16 à 18, sont très peu abordées, sachant que les grandes parties sont en général indépendantes, le jury recommande aux candidats de bien parcourir tout le sujet pour chercher des questions qui pourraient leur rapporter des points et faire ainsi la différence dans le classement final. Chaque point est important.

Concernant la question 16, il fallait faire une interprétation graphique pour déterminer les conditions de stabilité des rebonds synchronisés, graphique non donné mais établi à la question d'avant ce qui a pu décourager les candidats ne sachant pas si leur graphe était correct. Les 2 dernières questions sont des questions de compréhension et d'analyse souvent délaissées par les candidats, dommage car comme dit plus haut, chaque point est bon à prendre pour faire la différence dans le classement final.

## **Partie 2 : Le Delthaptic, un dispositif haptique parallèle à six degrés de liberté actifs**

En analysant les Figures 2c et 2d, le jury remarque que seuls les 3 premières questions de l'ensemble de la partie 2 (sous partie 1 et sous partie 2) ont été traitées par une majorité de candidats, les 16 autres questions qui forment le reste de la 2<sup>ème</sup> grande partie ne sont quasiment pas abordées. Sachant que les parties sont indépendantes et qu'elles ont pratiquement le même nombre de questions, il aurait été judicieux de bien partager son temps entre la partie 1 et la partie 2.

### **Partie 2.1 : Analyse d'un robot**

Cette sous-partie comprend 10 questions et concerne l'étude d'un robot Delta qui est la base du Delthaptic, un système haptique à six degrés de liberté actifs et qui est utilisé, par exemple, en télé-opération. Comme expliqué dans le sujet, un système haptique est un dispositif qui permet d'interagir avec un objet virtuel en restituant à l'utilisateur la perception du toucher et la sensation de déplacement dans l'espace. Ici, le Delthaptic intègre deux robots Delta.

Pour bien comprendre ce qui est demandé et donc traiter correctement les questions, les candidats doivent lire attentivement la description du robot Delta afin d'assimiler correctement l'ensemble des notations. Ceci est peut-être à l'origine du faible nombre de candidats ayant abordé cette partie, cela a dû en décourager un certain nombre.

Dans cette sous-partie, il s'agissait dans un premier temps de décrire les équations du mouvement puis de montrer que l'on peut relier les couples moteurs et les vitesses angulaires aux efforts appliqués sur la plateforme. Les questions 1, 5, 6 et 9 ont été particulièrement bien réussies, mais seulement les 3 premières questions ont été traitées par une majorité d'entre eux. Pour les candidats ayant fait l'effort de répondre à un maximum de questions dans cette sous-partie, cela peut faire la différence dans le classement final.

### **Partie 2.2 : Analyse de la structure mécanique du Delthaptic**

On s'intéresse ici à la structure complète du système haptique, cette sous-partie comporte 9 questions. Ici, on s'intéresse à l'étude des mouvements par une identification des différents torseurs cinématiques. Le but est de montrer qu'il est possible de relier les efforts appliqués sur la poignée aux efforts sur les plateformes, sachant que dans cette partie on considère que 2 plateformes.

Cette partie a été très peu abordée. Seules les questions 13 et 16 ont obtenu de bon score en termes de réussite. En effet, une analyse des Figures 2d et 3d montre, par exemple, que la question 16 a été abordée par seulement 15% des candidats mais a obtenu, parmi ceux-ci, plus de 60% de bonnes réponses. Ce qui montre, encore une fois, que c'est ce genre de question qui peut faire la différence dans le classement final. Et le jury le répète encore, chaque point est important.