

Composition de Physique et Sciences de l'Ingénieur, Filière MP

Présentation du sujet

Le sujet proposé cette année comprend deux grandes parties : Une partie physique constitué de deux parties indépendantes (a- Les communications avec le satellite, nécessaires pour contrôler ses systèmes et en récupérer les données ; b- L'existence et la stabilité de points spécifiques appelés points de Lagrange et leur intérêt) et une partie sciences pour l'ingénieur portant sur le déploiement et l'orientation de panneaux solaires.

Les 2 parties sont assez homogènes, elles comportent chacune 17 et 20 questions respectivement.

Concernant la partie 1, le premier objectif est d'étudier la propagation des ondes électromagnétiques dans l'ionosphère, modélisée comme un plasma. Il faut établir le comportement des particules chargées, déterminer la conductivité et la relation de dispersion du plasma, puis introduire la fréquence plasma. L'étude doit finalement permettre de comprendre les phénomènes de dispersion et de justifier le choix de la bande Ku pour les communications satellite-Terre. Le deuxième objectif vise à comprendre pourquoi certains points du système Soleil-Terre sont particulièrement intéressants pour positionner un satellite. Elle introduit le référentiel tournant, le pseudo-potentiel et la constante de Jacobi, puis conduit à déterminer la position de plusieurs points de Lagrange. Enfin, l'étude porte sur leur stabilité, notamment la stabilité dynamique de L4 et L5, et sur l'intérêt pratique de L1 pour les satellites d'observation solaire.

Concernant la partie 2, l'objectif général est d'étudier le système permettant au satellite de déployer ses panneaux solaires puis de les orienter vers le Soleil. Le mécanisme comprend un arbre d'orientation, un bras et trois panneaux articulés par différentes charnières, certaines comportant des ressorts de torsion pour assurer le déploiement.

Résultats des candidats

Les figures 1a, 1b, 1c et 1d 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 clairement que les dernières questions de la partie 1 ont été nettement moins abordées. Le taux de réponse aux questions de la partie 1.1 et à toute la partie 2 est assez important. Pour la majorité des questions, le taux de réponse est supérieur à 70%. Pour la deuxième sous-partie de la partie 1, le taux de réponse est inférieur à 40% pour la majorité des questions. C'est probablement lié à la taille de cette partie (questions 6 à 17) ou à une difficulté liée à la détermination des points de Lagrange. Il y a une succession de changement de registre (mécanique, géométrie, calcul différentiel, adimensionnement, approximation) qui peut facilement provoquer des abandons.

Les figures 2a, 2b, 2c et 2d 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 attribuée 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.

Nous notons un très faible taux de réussite à l'échelle globale : 51% pour la partie I.1, 15% pour la partie I.2, 30% pour la partie II.1 et II.2 puis 40% pour la partie II.3

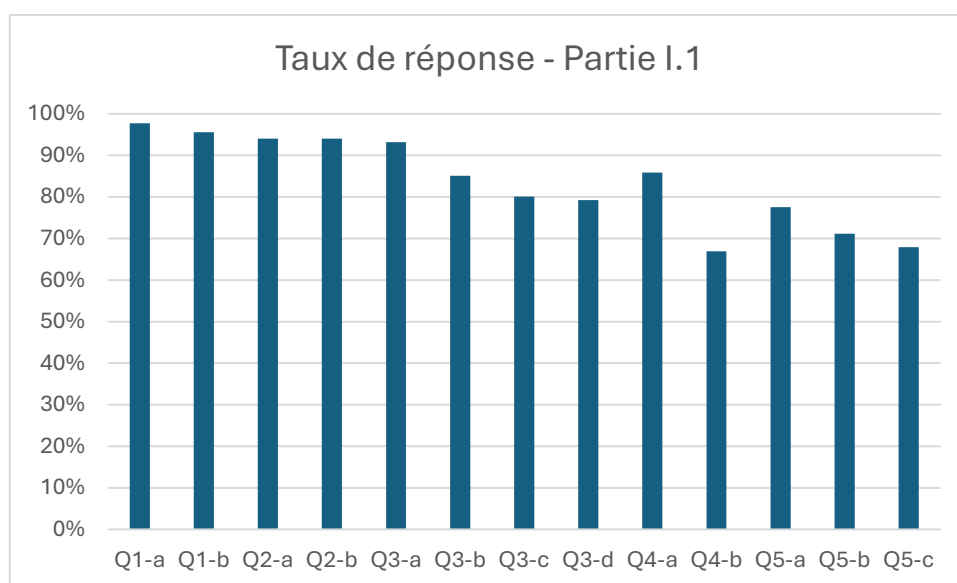


Figure 1a : Fraction des candidats ayant abordé chaque question – partie I.1

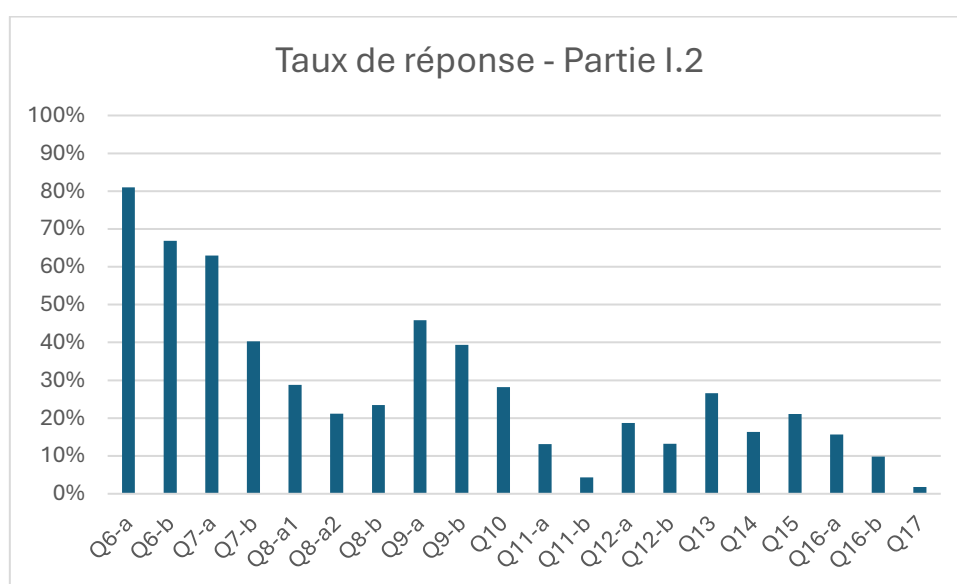


Figure 1b : Fraction des candidats ayant abordé chaque question – partie I.2

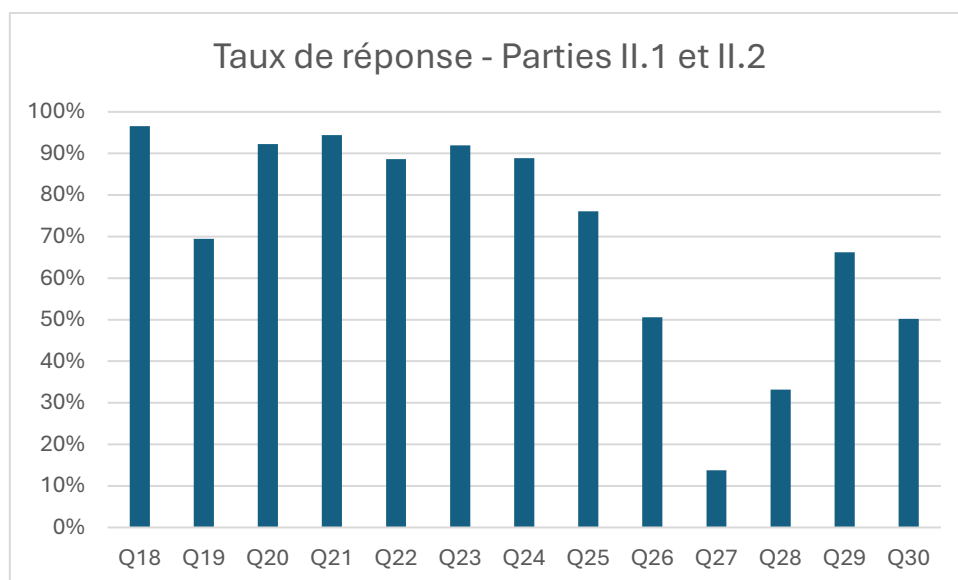


Figure 1c : Fraction des candidats ayant abordé chaque question – parties II.1 et II.2

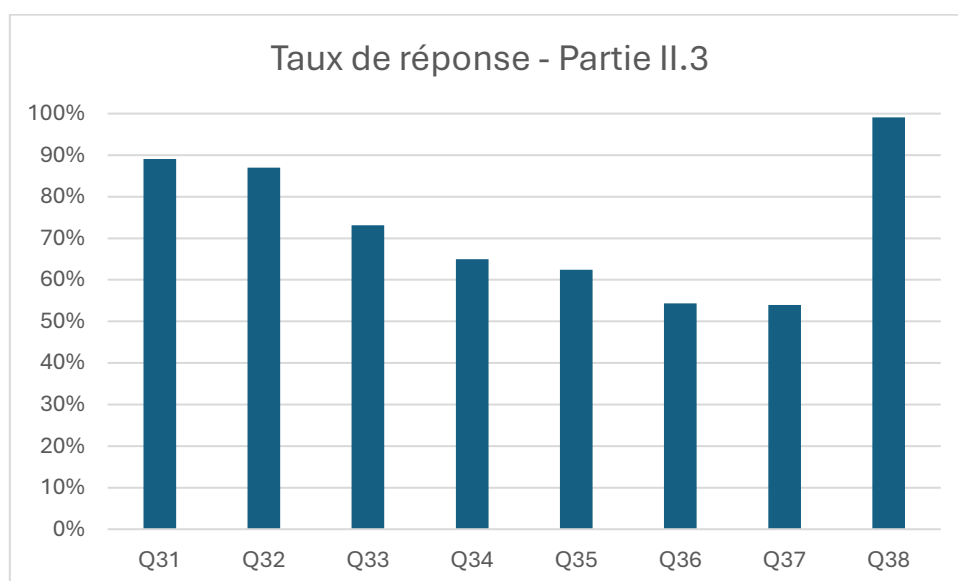


Figure 1d : Fraction des candidats ayant abordé chaque question – partie II.3

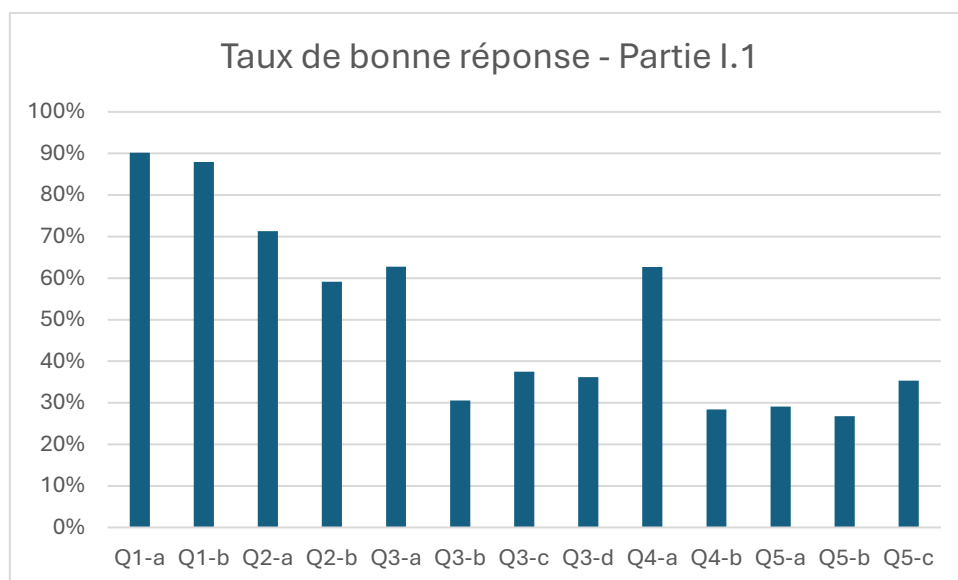


Figure 2a : Fraction des candidats ayant réussi chaque question – partie I.1

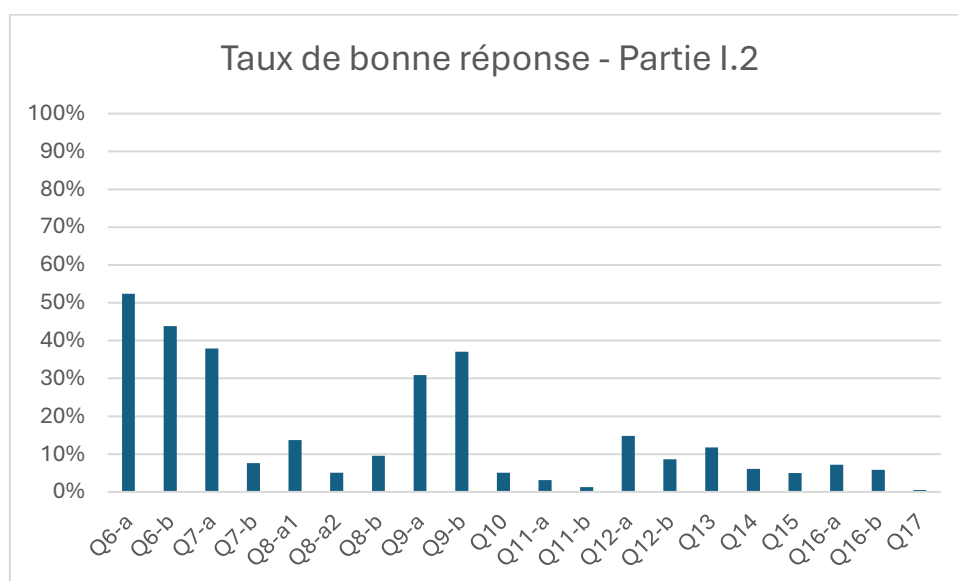


Figure 2b : Fraction des candidats ayant réussi chaque question – partie I.2

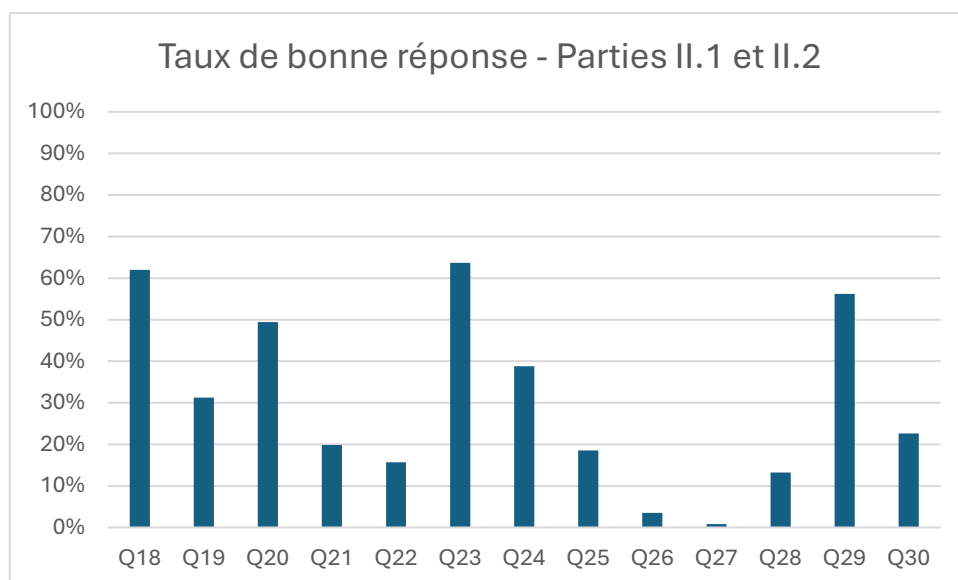


Figure 2c : Fraction des candidats ayant réussi chaque question – parties II.1 et II.2

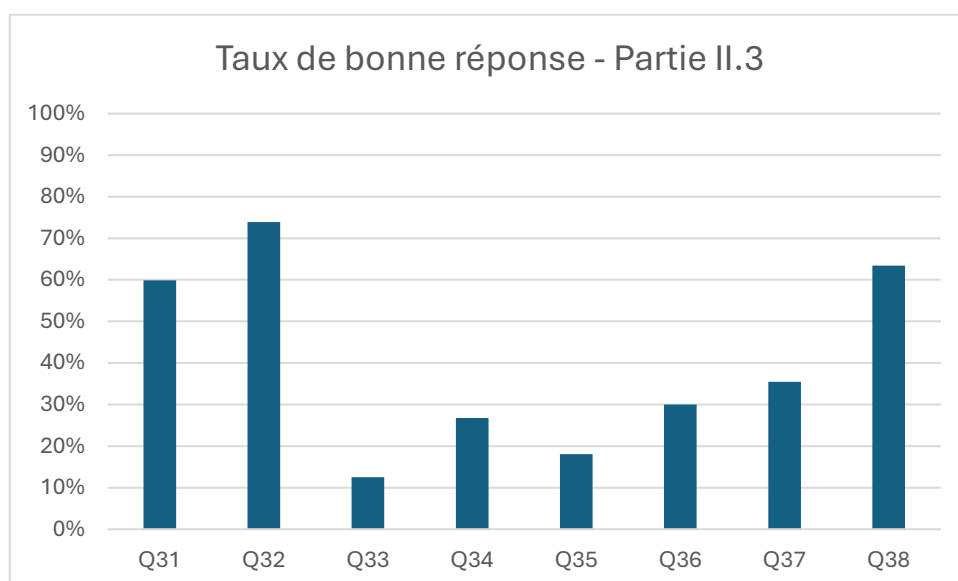


Figure 2d : Fraction des candidats ayant réussi chaque question – partie II.3

Les questions nécessitant une interprétation ou une explication physique des phénomènes présentent des taux de réussite relativement faibles. De nombreux candidats éprouvent des difficultés à structurer et à exprimer clairement leur raisonnement scientifique, conduisant souvent à des réponses imprécises, confuses ou ne traitant que partiellement les différents éléments demandés.

Une attention particulière doit également être portée aux applications numériques. Bien que celles proposées dans le sujet aient été conçues pour être réalisées simplement et sans calculatrice, elles ont

été à l'origine de nombreuses pertes de points. Il convient notamment de rappeler que tout résultat numérique correspondant à une grandeur physique doit impérativement être accompagné de son unité ; en son absence, le résultat ne peut être considéré comme correct.

Par ailleurs, chaque sous-question d'une question numérotée fait l'objet d'une évaluation distincte. Trop de candidats omettent encore de répondre à l'ensemble des items demandés. Il est également vivement recommandé de ne pas négliger les dernières questions de chaque partie : celles-ci sont souvent accessibles indépendamment des résultats précédents et peuvent permettre de gagner des points précieux.

Enfin, comme cela a déjà été souligné dans les rapports des années précédentes, la qualité de la rédaction constitue un élément important dans l'appréciation d'une copie. Une réponse précise, concise, proprement présentée et reposant sur un raisonnement clairement explicité est davantage valorisée que la seule mention d'un résultat, même lorsque celui-ci est correct.

Partie I – Physique

I.1 – Communications entre le satellite et la Terre

Cette partie a été largement abordée, avec des taux de réponse restant globalement élevés. Les premières questions, proches du cours et relativement guidées, sont également très bien réussies. Une baisse apparaît progressivement lorsque les questions nécessitent davantage de calculs ou une interprétation physique des résultats, notamment à partir de Q3b. Les principales sources d'erreur semblent être les applications numériques et ordres de grandeur, l'interprétation de la fréquence plasma et de la dispersion, ainsi que des justifications physiques parfois incomplètes. Il convient notamment de rappeler qu'une conclusion physique doit être argumentée et qu'un résultat numérique doit systématiquement être accompagné de son unité.

I.2 – Points de Lagrange et stabilité

Il s'agit clairement de la partie qui a posé le plus de difficultés. Le taux de réponse chute fortement dès les premières questions et devient très faible dans la seconde moitié. Les taux de bonnes réponses suivent la même tendance. Plusieurs difficultés se cumulent : prise en compte des forces d'inertie dans un référentiel tournant, interprétation du pseudo-potentiel et de la constante de Jacobi, changement de variables et adimensionnement, géométrie des points de Lagrange, développement limité puis analyse de stabilité à partir des valeurs propres. L'enchaînement de ces notions et la longueur des développements ont probablement conduit une partie importante des candidats à abandonner cette section. La reprise massive à Q18 montre toutefois qu'ils ont su poursuivre le sujet et que le faible taux de réponse en fin de I.2 ne peut pas être attribué uniquement à un manque de temps.

Partie II – Sciences de l'Ingénieur

II.1 – Présentation et analyse du mécanisme

Cette partie a été très largement abordée, comme le montre la remontée immédiate du taux de réponse à Q18. Les difficultés concernent principalement la lecture du mécanisme tridimensionnel et

l'identification correcte des liaisons et de leurs degrés de liberté. Le passage du système réel représenté figure 4 à un modèle cinématique constitue ici la principale source d'erreur. Q19, consacrée au schéma cinématique, est d'ailleurs sensiblement moins abordée et moins réussie que Q18.

II.2 – Dynamique et validation du déploiement

Les premières étapes cinématiques et dynamiques ont été largement abordées, mais le taux de réponse diminue fortement lorsque les développements deviennent plus longs, notamment pour l'établissement des équations du mouvement. Q27 est très peu traitée et pratiquement jamais menée correctement à son terme. Les principales sources d'erreur sont la manipulation des repères mobiles, les signes dans les moments des ressorts, le calcul des vitesses et accélérations composées et l'établissement des torseurs dynamiques. À l'inverse, les questions d'exploitation des résultats numériques, notamment Q29, sont davantage abordées et mieux réussies. Cela confirme l'intérêt de poursuivre la lecture du sujet même lorsqu'une démonstration précédente n'a pas pu être menée à terme.

II.3 – Orientation et asservissement des panneaux

Cette partie est bien abordée malgré sa position en fin de sujet : les taux de réponse restent supérieurs à 50 % pour l'ensemble des questions et Q38 est traitée par presque tous les candidats. Les questions classiques d'identification et de simplification de schémas-blocs sont globalement mieux réussies. Les difficultés apparaissent davantage lors de l'établissement analytique des fonctions de transfert et de l'étude de la précision des systèmes asservis. Les erreurs proviennent notamment de la manipulation des boucles imbriquées, de la distinction entre boucle ouverte et boucle fermée, et des notions d'ordre, de classe et d'erreur statique. La très forte participation à la dernière question confirme enfin que les candidats ont correctement identifié son caractère accessible et relativement indépendant des calculs précédents.

Bilan général

Le sujet fait apparaître une différence assez nette entre les questions guidées ou directement rattachées à des méthodes classiques, généralement largement abordées, et celles nécessitant une succession de raisonnements, une modélisation plus autonome ou des développements analytiques longs. La partie I.2 constitue à cet égard la principale difficulté du sujet. À l'inverse, la reprise des taux de réponse au début de la partie II et sur certaines questions indépendantes montre que les candidats ont globalement su adapter leur stratégie et parcourir l'ensemble du sujet.

Les principales sources de perte de points sont ainsi de trois natures : difficultés de modélisation, erreurs dans les développements calculatoires et insuffisance des justifications physiques. Une attention particulière doit également être portée aux applications numériques, aux unités et à la nécessité de répondre à l'intégralité des différents items d'une question.