

Épreuve orale d'Analyse de Documents Scientifiques

Filière MP, Physique

L'épreuve d'Analyse de Documents Scientifiques (ADS) se déroule en deux parties. La première, pour laquelle le candidat dispose de deux heures de préparation, consiste à faire l'analyse scientifique d'un dossier. Ce dossier contient généralement entre 1 et 3 documents extraits d'articles, de livres ou de brochures, le tout accompagné d'un texte de quelques lignes précisant le travail demandé. La seconde partie est l'épreuve orale proprement dite. Elle dure 40 minutes, divisée en 15 minutes d'exposé, suivies de 25 minutes de discussion avec l'examinateur. L'exposé trop long de certains candidats a dû être interrompu par l'examinateur, les invitant à synthétiser et conclure.

Les notes des candidats français s'échelonnent selon la répartition suivante :

$0 \leq N < 4$	0	0
$4 \leq N < 8$	11	5,37%
$8 \leq N < 12$	79	38,54%
$12 \leq N < 16$	96	46,83%
$16 \leq N \leq 20$	19	9,27%
Total :	205	100%
Nombre de candidats :	205	
Note moyenne :	11,9	
Ecart-type :	2,51	

L'analyse d'un document scientifique consiste avant tout à en extraire le contenu physique, souvent mélangé à des considérations d'ordre historique ou sociologique, certes importantes mais secondaires pour le physicien (les considérations techniques se situant à la frontière). Un document scientifique, même de vulgarisation, ne peut généralement se restreindre au seul programme des CPGE et l'ADS vise à mettre les candidats dans des situations similaires à celles qu'ils rencontreront dans leur vie professionnelle. Si des compléments de connaissances hors du programme sont nécessaires pour la compréhension des documents à analyser, ils sont fournis dans ces documents sous forme de parties séparées (« encadrés ») ou par le texte accompagnant les documents. Il n'est pas attendu que les candidats développent ces points. En d'autres termes, c'est la maîtrise du programme, l'argumentation qu'elle permet et la réflexion qui en découle, qui conduisent à l'obtention d'une bonne note.

Certaines parties du document peuvent être peu exploitables soit parce qu'elles sont imprécises, soit parce qu'elles supposent des connaissances allant au-delà du programme. Les candidats doivent donc commencer par faire le tri des informations à exploiter. Ensuite, il s'agit d'*analyser les différents aspects scientifiques* du contenu retenu en s'appuyant sur des connaissances précises. Tout doit être fait pour éviter le principal défaut observé qui est de se livrer à la paraphrase et de passer à côté de l'analyse.

Tous les dossiers proposés peuvent être reliés à un ou plusieurs chapitres du cours de physique de CPGE, mais aussi à toutes les connaissances acquises en particulier au lycée et au collège en physique, chimie, sciences de la Terre et de la vie, etc. Les connaissances pratiques acquises en TP sont aussi importantes. Au-delà des références aux principes ou théorèmes du cours, nous observons souvent des difficultés de certains candidats à mobiliser des connaissances relatives à une partie du

programme non visée explicitement par le texte. Comprendre un texte, c'est le *relier* à ce que l'on connaît. Dans ce cadre, le candidat doit s'efforcer de retrouver les valeurs numériques les plus importantes et à commenter dès que possible les modélisations et approximations, les techniques expérimentales et leurs contraintes, les équations, explicites ou pas, les figures et les courbes.

Le document proposé est un point de départ. Si le document est destiné au grand public, l'exposé doit, lui, être formulé dans un langage de physicien, argumenté par des équations et éventuellement des résultats chiffrés. S'il s'agit d'un article de spécialité, les candidats doivent extraire les idées essentielles ou les points importants et les analyser avec leurs propres termes, afin de montrer que l'essentiel a été compris. Analyser un texte c'est donc l'interroger, le faire parler, se poser des questions, et en définitive le rendre vivant.

Nous résumons quelques règles simples qu'il faut garder à l'esprit :

- Éviter la paraphrase. Ainsi l'exposé ne doit pas nécessairement reprendre le déroulement du texte.
- Faire preuve d'esprit critique et de synthèse. Nous rappelons que tout texte peut contenir des erreurs ou des imprécisions. Ces points critiquables sont à discuter (erreurs, parties confuses etc.). S'il n'est pas attendu que les candidats corrigent systématiquement ces points, ils peuvent être amenés à le faire lorsque l'erreur est manifeste (une force exprimée comme le produit d'une puissance par une vitesse) ou à des analyses dont il est question plus haut.
- Dégager les principes physiques utilisés dans le texte. Il est important d'être capable d'explicitier ces principes, théorèmes etc. dans le cadre du programme ; la présentation de parties du programme (ou hors programme !) sans rapport direct avec le texte est à éviter rigoureusement.
- Essayer d'explicitier certains raisonnements du texte, discuter les applications numériques et surtout discuter les ordres de grandeurs (nous rappelons qu'une quantité est grande ou petite devant une autre quantité mais pas dans l'absolu).
- Ne pas hésiter à tenter une modélisation avec les outils de physique à sa disposition. Les examinateurs jugent l'effort de modélisation et non le fait que cette modélisation aboutisse nécessairement à un modèle exact du phénomène présenté dans le texte.

Comme l'année précédente, tous les dossiers proposés en 2017 comportaient les précisions suivantes :

Certains éléments de ce dossier ont été rédigés en vue d'une lecture par un public large ; sa compréhension requiert cependant une culture scientifique certaine et il se peut que les documents s'appuient sur des concepts nouveaux n'entrant pas dans le champ du programme, après avoir introduit ceux-ci de façon pédagogique mais souvent très concise: les examinateurs en sont conscients et apprécient le travail en conséquence. Les candidats s'attacheront à expliciter les phénomènes physiques élémentaires mis en jeu, et pourront s'appuyer sur les « encadrés » de l'article pour mieux assimiler ces éléments. S'ils rencontrent des difficultés de compréhension portant sur ces concepts nouveaux, ou des difficultés à s'appropriier ces derniers, ils construiront leur analyse en conséquence et l'indiqueront simplement à l'examineur à l'issue de leur exposé introductif: ils n'hésiteront pas, dans ce cas, à laisser de côté la fraction concernée du dossier.

Certains des textes choisis ont subi des coupes partielles lors de la constitution du sujet. Avant l'établissement stable de l'image sur la tablette, le texte coupé peut apparaître brièvement: ce phénomène parasite est à ignorer.

Si, malgré les efforts effectués pour éviter une telle situation, certains candidats estiment que la reproduction d'une figure, la taille réduite d'un schéma ou le graphisme d'une fraction du texte ne donnent pas aux documents proposés une lisibilité suffisante, il leur est demandé de ne pas prendre en compte, pour leur épreuve, la figure, le schéma ou la fraction de texte incriminés et de l'indiquer clairement à l'examineur au début de leur exposé.

Dossier n°1 : Remorqueur d'astéroïdes

Sujet – Ce dossier comporte un article intitulé « *Remorqueur d'astéroïdes* » paru dans la revue *Pour la Science* **319** (mai 2004). L'analyse de l'article est demandée aux candidats. Ceux-ci s'attacheront à décrire les mécanismes permettant de modifier la trajectoire des astéroïdes, en les comparant et en discutant leurs avantages et inconvénients en terme de leur réalisation.

Commentaire des examinateurs – Le document présente en ordre chronologique les risques des impacts météoritiques en fonction de la masse du bolide, la difficulté de détecter puis de dévier la trajectoire d'un astéroïde. L'article décrit plus particulièrement la stratégie visant à atterrir sur l'astéroïde afin de pouvoir en dévier lentement la trajectoire.

Le texte permettait de nombreuses discussions concernant la stratégie de remorquage (paramètres importants de la poussée et façon optimale d'appliquer cette force), de la trajectoire de l'astéroïde (modification de son orbite, évolution de son axe de rotation). Les données permettaient aussi de discuter le lien entre la masse de l'astéroïde et l'énergie libérée pendant l'impact. Le texte faisait ainsi appel à de nombreux pans du programme : gravitation, mécanique.

Les exposés des candidats ont suivi la trame de l'article. La description des orbites képlériennes circulaires est maîtrisée mais celle qualitative des orbites elliptiques a posé plus de problèmes. La difficulté de la stratégie, en particulier à cause de l'absence de forces de frottement (et de leur rôle dans la vie courante), devait être discutée en détail. Les candidats ont souvent eu du mal à estimer la difficulté de prédire la trajectoire de l'astéroïde et le risque d'impact plus de 10 ans à l'avance (quels paramètres de son orbite doivent être mesurés, avec quelle précision). La modélisation de la poussée à partir de la conservation de la quantité de mouvement pour obtenir « l'équation des fusées » était connue des candidats. Elle leur a permis en général de bien discuter le rôle du débit, de la vitesse d'éjection, de la poussée.

Dossier n°2 : Les couleurs des exoplanètes

Sujet – Ce dossier comporte un article intitulé « *Les couleurs des exoplanètes* », paru dans la revue *Pour la Science* **438** (avril 2014). L'analyse de cet article est demandée aux candidats. Ceux-ci s'attacheront à décrire les processus physiques à l'origine des couleurs et la façon dont les observations de ces couleurs permettent de comprendre la nature et les propriétés de ces exoplanètes.

Commentaire des examinateurs – Le dossier étudie les différents phénomènes à l'origine de la couleur des exoplanètes (absorption, diffusion). Il faisait ainsi appel à presque toutes les connaissances des étudiants sur les propriétés de la lumière, de ses modes de production et de son interaction avec la matière.

Les candidats ont généralement bien relié la diffusion Rayleigh à leur cours. Aucune compréhension de la diffusion de Mie, décrite qualitativement par l'article, n'était attendue. La discussion de l'absorption par l'atmosphère permettait plusieurs modélisations et de faire le lien avec les connaissances en mécanique quantique (raies d'absorption et lien à la composition chimique, origine de la largeur de ces raies). La description des méthodes observationnelle a en général ouvert un débat sur ce qui était mesuré, comment cela était mesuré et la précision attendue de telles mesures.

Le texte mentionnait la rotation synchrone de certaines exoplanètes. Certains étudiants l'ont mentionné avec une explication rapide, ce qui suffisait car c'était un point mineur dans le contexte de cet article. Quelques rares étudiants ont cependant passé une partie non négligeable de leur exposé à décrire le phénomène de marée au détriment de la discussion sur la couleur. Ceci illustre l'importance de choisir avec perspicacité les développements à exposer en restant en lien avec l'axe principal du dossier.

Dossier n°3 : Les caprices des marées

Sujet – Ce dossier comporte de larges extraits d’un article intitulé « Les caprices des marées », paru dans la revue *Pour la Science*. L’analyse de cet article est demandée aux candidats. Ceux-ci s’attacheront à discuter les causes du phénomène général de la marée d’une part, et d’autre part, comment la marée s’établit en différents points. **N.B.** : la page 25 et les pages au-delà de la page 31 ont été supprimées [ainsi que d’autres passages].

Commentaire des examinateurs – Le texte présentait (a) une modélisation des forces génératrices de la marée, (b) l’analyse de leur périodicité en fonction de la configuration géométrique du point d’observation et des positions relatives des astres impliqués, (c) diverses observations des effets de ces forces, *i.e.* de marée (hauteur d’eau) en fonction du temps et du lieu, à différentes échelles, (d) le point de vue ondulatoire présidant à l’établissement de la marée, (e) une méthode de résolution de ce problème par simulation des équations issues des seuls principes de conservation de la masse et du principe fondamental de la dynamique mettant en œuvre les forces décrites plus haut ou connues des candidats (Coriolis, frottement, de manière générique).

Plusieurs oppositions aidaient à simplifier la présentation de ce problème complexe : forces et hauteurs d’eau (dichotomie bien vue par certains candidats), échelles astronomique et locale (*idem*), réponse d’un milieu homogène (océan global profond) ou perturbé (continents, incidence de la profondeur sur la propagation). Les candidats analysent trop superficiellement certaines figures qui offrent un point de vue synthétique précieux : une des premières figures présentait l’analyse des forces dans sur une configuration simplifiée, indiquait le centre (sous-entendu « de rotation ») à considérer comme *le centre de masse des deux astres* et que le bourrelet représentait la *répartition des forces*. Cependant, beaucoup de candidats ont considéré qu’il s’agissait d’un bourrelet d’eau (sans analyser les conditions pour qu’il en soit ainsi) et ont utilisé divers repères dont ils spécifiaient généralement le centre (centrer sur le Soleil permettait de se tirer d’affaire pour exprimer une force d’inertie d’entraînement dans le cas des marées provoquées par le Soleil ; centrer sur la lune pouvait susciter quelques difficultés...) mais pas toujours les axes. La difficulté à distinguer les effets des causes s’est illustrée par le fait que peu de candidats ont remarqué que les marées de type diurne étaient observées (selon la première figure) loin des seules régions polaires où la force génératrice résultante présente cette périodicité. Le long passage sur le point de vue ondulatoire et les figures sur les lignes cotidales n’ont pas été exploités spontanément par les candidats alors que le caractère le plus simple de l’onde de marée (longueur d’onde) permettait de rendre compte qualitativement de phénomènes comme celui mentionné plus haut (diffraction lorsque l’échelle de l’obstacle correspond à la longueur d’onde), ou l’absence de marée dans les petits bassins (Méditerranée : taille caractéristique inférieure à la longueur d’onde) ou la configuration en Manche (profondeur réduite).

Dossier n°4 : Vers la montre sans échappement

Sujet – Ce dossier comporte la majeure partie d’un article intitulé « IsoSpring : vers la montre sans échappement », publié par la Société suisse de chronométrie. L’analyse de cet article est demandée aux candidats. Ceux-ci s’attacheront à discuter les solutions proposées aux exigences de l’horlogerie. **N.B.** : certains passages et les notes correspondantes ont été supprimés ainsi que d’autres notes ou figures auxquelles le texte fait éventuellement référence. Les figures 2 et 3 n’ont pas à être analysées. **Glossaire** – Tribologique : relatif au frottement.

Commentaire des examinateurs – Le document rappelait brièvement l’histoire des systèmes mécaniques de mesure du temps, exposait les principes d’un oscillateur à force centrale et deux degrés de liberté et discutait plusieurs propositions de mise en œuvre. Avec des aspects théoriques (mouvement à force centrale, influence d’une petite perturbation sur la solution élémentaire, caractéristiques des oscillateurs) et techniques (améliorations des mécanismes horlogers, mise en œuvre), le texte faisait référence à plusieurs parties du programme (mécanique, oscillateurs). Il n’était pas composé de la manière la plus habituelle (poser un problème puis le résoudre, traiter des cas simples puis des cas complexes, etc.). Certains candidats n’ont pas lu assez attentivement le libellé du sujet et passé trop de temps sur les techniques classiques ou les oscillateurs dont ils ont l’habitude. De même, lire avec plus d’attention la courte légende d’une des figures (Fig. 19) aurait sans doute suffi

pour comprendre le fonctionnement du dispositif qu'elle décrit. Les problèmes liés à l'isochronisme des petites oscillations ont été bien analysés. Les candidats auraient pu facilement montrer dans le cas idéal qu'une ellipse est bien solution du mouvement (ce qui n'était qu'affirmé) dès lors que l'équation énergétique était établie par le texte dans un cas qu'il suffisait de simplifier. Il est surprenant de ne pas s'entendre répondre immédiatement que g représente une *accélération* plutôt que des énoncés vagues (« la pesanteur » ou « un champ de gravité »), voire même F/m ! Les réponses aux questions ont été généralement meilleures que les exposés initiaux.

Dossier n°5 : Les autoroutes de l'espace

Sujet – Ce dossier comporte des extraits d'un article intitulé « Les autoroutes de l'espace » paru dans la revue *Pour la Science*, n° 355, mai 2007. L'analyse du dossier est demandée aux candidats. Ceux-ci s'attacheront à commenter le mouvement dans le champ gravitationnel créé par plusieurs corps célestes et la technologie permettant le voyage spatial avec très peu de carburant.

Commentaire des examinateurs – Le document présente d'abord le mouvement d'une sonde dans un champ gravitationnel créé par un astre. Ensuite, le problème à trois corps est abordé à travers l'identification des points de Lagrange, le mouvement orbital autour d'eux et l'intérêt pour le voyage spatial. Ce texte permet de mobiliser les connaissances du programme de mécanique pour discuter les mouvements en champ gravitationnel.

Les lois de Kepler et la discussion des trajectoires en champ central à partir d'un potentiel effectif ont été présentées dans les exposés pour rappeler le problème à deux corps. L'extension de ces idées au problème à trois corps n'a pas été réussie dans les exposés. L'analogie avec le mouvement circulaire d'une bille dans un entonnoir, évoquée dans l'énoncé, a été exploitée partiellement. Nous avons remarqué, par exemple, le cas d'un corps en équilibre sur un plan incliné en rotation ou du mouvement unidimensionnel dans un potentiel effectif issu de la somme des contributions des interactions gravitationnelles avec la Terre et le Soleil. Souvent le rôle de la force centrifuge a été oublié, par exemple lors du bilan des forces sur les représentations graphiques, dans l'expression du potentiel effectif à trois corps ou lors de la détermination de la position des points de Lagrange. Les candidats connaissent les conditions sur le potentiel effectif pour les positions d'équilibre stable ou instable, mais nous avons remarqué des réponses superficielles lorsqu'on questionne sur l'équilibre d'un corps placé aux points de Lagrange. La figure 3 a fait l'objet de peu de commentaires lors de la discussion de la stabilité de l'équilibre. Enfin, trop peu de candidats ont évoqué le portrait de phase pour aborder le mouvement orbital périodique.

Dossier n°6 : Technologie spatiale : l'essor des moteurs à plasma

Sujet – Le dossier comporte des extraits d'un article intitulé « Technologie spatiale : l'essor des moteurs à plasma » paru dans la revue *Pour la Science*, n° 379, mai 2009. L'analyse du dossier est demandée aux candidats. Ceux-ci s'attacheront à décrire et comparer les principes de fonctionnement et les enjeux technologiques des moteurs en plasma utilisés en propulsion spatiale.

Commentaire des examinateurs – Ce document présente brièvement les principes de la propulsion dans l'espace, l'intérêt de la propulsion électrique et décrit le fonctionnement de trois types de moteurs à plasma. Le texte fait appel à plusieurs parties du programme en mécanique, mouvement en champ central gravitationnel, électrodynamique et permet de nombreuses discussions.

La loi de la quantité de mouvement a été utilisée par la plupart des candidats pour déterminer la loi des fusées. Nous avons remarqué dans certains exposés que les référentiels au repos et celui lié à la fusée ne sont pas clairement précisés lors de l'établissement du bilan de la quantité de mouvement, ce qui a conduit à l'utilisation d'une valeur erronée de la vitesse d'éjection. L'intégration de l'équation différentielle n'a pas été toujours réussie et les candidats ont présenté souvent une dépendance linéaire de la vitesse de la fusée avec la masse. En outre, certains candidats ont expliqué la « fronde gravitationnelle » comme un effet de l'accélération gravitationnelle. Enfin, de nombreux candidats ont analysé de manière superficielle le fonctionnement des moteurs ioniques. À titre d'exemple, les candidats ont eu des difficultés pour identifier les grandeurs physiques pertinentes et les lois de

l'électrodynamique utiles pour répondre aux questions sur l'accumulation d'ions positifs entre les grilles électrostatiques du moteur ionique. Plusieurs exposés ont évoqué l'effet Hall dans un matériau en utilisant un repère cartésien. Toutefois, l'extension de l'effet Hall pour le cas du plasma avec une symétrie cylindrique et le calcul du champ électrique induit n'ont pas été toujours réussis.