

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 les candidats disposent 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'examineur. L'exposé trop long de certains candidats a dû être interrompu par l'examineur, les invitant à synthétiser et conclure.

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

$0 \leq N < 4$	0	0
$4 \leq N < 8$	13	6,57%
$8 \leq N < 12$	82	41,41%
$12 \leq N < 16$	84	42,42%
$16 \leq N \leq 20$	19	9,6%
Total :	198	100%
Nombre de candidats :	198	
Note moyenne :	11,81	
Ecart-type :	2,89	

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, ce sont 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.

Pour résumer la description du travail attendu : les documents proposés fournissent des *informations* et le jury attend des *explications*.

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, les candidats doivent 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 :

- Proscrire absolument 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 (par exemple : 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 grandeur (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.

Les dossiers proposés en 2018 comportaient les précisions suivantes :

Ce dossier a été rédigé 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'examinateur à l'issue de leur exposé introductif : ils n'hésiteront pas, dans ce cas, à laisser de côté la fraction concernée du dossier.

Les candidates et les candidats sont invités à éviter d'écrire leur présentation en tout petits caractères, peu lisibles lors de leur présentation devant l'examinateur.

Certains textes 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. De même, l'élimination complète de certaines pages peut introduire une discontinuité dans la numérotation des pages du document final.

Dossier n°1 : La force de Coriolis

Documents – Ce dossier comportait trois documents relatifs à la force de Coriolis : un extrait d'un livre intitulé « *La physique à portée de tous* » (éditions MIR, 1971), une adaptation d'un article de A. Michelson and A. Gale intitulé « *Effet de la Terre sur certaines figures d'interférences* » paru dans *Astrophysical Journal* en 1925, un extrait du rapport de Léon Foucault à l'Académie des Sciences en 1851 dans lequel il décrit l'expérience du Panthéon.

Sujet – L'exposé, d'environ 15 minutes, s'attachera à décrire l'influence de la rotation de la Terre sur divers phénomènes physiques. Vous accorderez une attention particulière aux ordres de grandeur cités dans ces documents et vous efforcerez de les justifier. Vous essaieriez aussi de préciser la relation entre l'expérience de Michelson-Gale et celle de Foucault.

Commentaire des examinateurs – Le premier document décrit les effets de la force de Coriolis sur les mouvements horizontaux et verticaux : déviation vers l'Ouest, effet sur l'usure des rails, sur celle des berges des fleuves, influence sur les vents et expérience de Foucault. Ce texte devait permettre à l'étudiant de présenter clairement la force de Coriolis et ses dépendances. De nombreux ordres de grandeur pouvaient être estimés et retrouvés. Le texte de Foucault permettait de compléter cette analyse en comparant la théorie et l'expérience, avec toutes ses difficultés pour se rapprocher des conditions théoriques, et discuter ses limitations. Le texte de Michelson-Gale proposait un dispositif interférométrique afin d'étudier l'effet de la rotation de la Terre sur les franges d'interférence. Il donnait, sans démonstration, une formule sur le déplacement du nombre de franges. Ce texte devait d'abord susciter l'étonnement des étudiants sur l'effet de la rotation de la Terre sur la lumière et ainsi ouvrir à des comparaisons avec la mécanique, et des hypothèses. La formule pouvait être facilement comparée au pendule de Foucault.

Une grande clarté et précision concernant la nature galiléenne ou non des référentiels, la différence entre force d'inertie d'entraînement et de Coriolis, et les bases de la mécanique newtonienne étaient attendues. Nous avons noté trop d'approximations dans ces connaissances, ce qui ensuite limitait la clarté et la précision de la discussion. Les étudiants devaient arriver à synthétiser les différents phénomènes. Diverses classifications (e.g. vertical vs. horizontal, etc.) ont été proposées.

Il était facile de retrouver les ordres de grandeur sur l'usure des rails, le niveau relatif des deux berges d'une rivière, et le pendule de Foucault. Il fallait pour cela mobiliser ses connaissances de cours (mécanique, équilibre hydrostatique) et surtout être précis dans ses hypothèses et calculs. Le texte de Foucault demandait de s'attarder un peu sur la difficulté de mettre en évidence la force de Coriolis. Peu d'étudiant ont été capable de comprendre les limitations du monde réel (frottement, rotation de la boule, ...).

Le texte de Michelson-Gale a été plus difficile pour les candidats. Il contrebalançait les autres documents, qui ne présentaient que des choses bien connues pour les étudiants. La plupart ont réussi à décrire l'expérience. Peu se sont étonnés de ce résultat. Un seul candidat a réussi à entrevoir le lien avec le pendule de Foucault. Aucune démonstration de la formule du texte n'était attendue. Les examinateurs ont jugé l'attitude face à un résultat étonnant et reposant pourtant sur de la physique complètement connue par les étudiants.

Dossier n°2 : *Le mouvement des bactéries dans un champ magnétique*

Documents – Ce dossier comporte des extraits d'un article intitulé « *Le mouvement des bactéries dans un champ magnétique* » paru dans la revue *Pour la Science* en février 1982. Il était complété d'une note de vocabulaire.

Sujet – L'exposé, d'environ 15 minutes, s'attachera à décrire comment les bactéries magnétotactiques se repèrent et se meuvent en se référant au champ magnétique terrestre. Vous accorderez une attention particulière aux ordres de grandeur que vous tenterez de justifier.

Commentaire des examinateurs – Le document présente en ordre chronologique la découverte de ces bactéries, la démarche expérimentale visant à démontrer leur sensibilité au champ magnétique, et la compréhension de ce phénomène. L'exposé devait bien détailler les aspects expérimentaux et de modélisation en se focalisant sur la physique du phénomène (l'interaction dipôle magnétique-champ magnétique) et ses limitations.

Le texte permettait de nombreuses discussions et liens avec le programme. Tout d'abord, une comparaison claire et précise entre le champ magnétique terrestre et celui d'une bobine de Helmholtz était attendue, en particulier en détaillant l'importance de l'inclinaison. Le tracé des lignes de champs magnétique doit pouvoir être fait sans de longues réflexions et des erreurs (en particulier les croisements ou non de lignes de champ). Beaucoup d'étudiants étaient capables de tracer le champ magnétique terrestre, mais la surface de la Terre les gênait beaucoup.

Le texte invitait ensuite à expliquer l'interaction d'un moment magnétique avec un champ magnétique extérieur et avec un moment magnétique voisin (descriptions mécanique

en terme de couple et énergétique puisque les deux étaient utilisées par les auteurs ; liens entre ces deux descriptions). Cela permettait de comprendre les effets que les auteurs décident de négliger dans leur modélisation. Les auteurs insistent ensuite sur la compétition entre couple magnétique et les effets thermiques. Cela invitait à une modélisation de l'orientation moyenne des dipôles en fonction de la température. La mention du facteur de Boltzmann était attendue. De façon générale, la compréhension de la température au niveau microscopique reste très superficielle. Certains étudiants ont tenté une modélisation d'un système à deux niveaux, qui permettait en effet de comprendre la plupart des affirmations du texte sur le comportement en champs fort et faible. Bien qu'arrivant au résultat avec un peu d'aide, les candidats étaient souvent arrêtés dans leur discussion par une grande difficulté à tracer une tangente hyperbolique.

Le texte mentionne aussi des effets d'adaptation darwinienne. Ces derniers sont bien sûr à mentionner dans une conclusion ou en ouverture, mais trop de candidats y ont accordé une trop grande importance, au détriment de la description des mécanismes physiques.

Dossier n°3 : *Le télescope de Féry et la mesure de la température du Soleil*

Documents – Ce dossier comportait un article (avec quelques coupes) sur le télescope de Charles Féry paru dans la revue *Pour la science* en 2018, complété par un glossaire (Actinométrie et pyrométrie, constante solaire, loi de Beer Lambert, loi de Stefan Boltzman) et un document très bref sur le pyrhéliomètre d'Angström.

Sujet – Dans votre exposé d'environ 15 minutes, vous vous attacherez à discuter les principes physiques et les réalisations expérimentales qui ont permis la mesure de la température à la surface du Soleil.

Commentaire des examinateurs – Les documents présentés faisaient appel à des connaissances en optique, en thermodynamique, sur le rayonnement électromagnétique. Les meilleurs candidats ont su approfondir en termes physiques les principes de fonctionnement des instruments de mesure ou des capteurs présentés de manière élémentaire dans le texte, proposer des bilans de puissance ou d'énergie pour rendre compte des mesures présentées, analyser les questions liées à l'étalonnage des appareils, faire une critique des mesures les plus anciennes. Quelques candidats ont su montrer les raisons pour lesquelles le dispositif principal décrit permettait d'effectuer une mesure locale à la surface, plus fine donc que les mesures globales effectuées jusqu'alors. Les discussions proposées aux candidats portaient en particulier sur l'intérêt d'un télescope par rapport aux dispositifs antérieurs, sur la relation entre la grandeur mesurée au moyen d'un thermocouple et la température de la surface du Soleil, sur l'effet et le calcul de l'absorption par l'atmosphère terrestre, les effets thermiques indésirables en jeu dans le télescope (lorsqu'ils n'avaient pas été discutés durant l'exposé) ou d'autres questions plus pointues, aux meilleurs candidats. Ici comme à l'occasion d'autres sujets d'ADS, la seule connaissance relative à la diffraction exigible par le programme s'avère insuffisamment maîtrisée par une proportion surprenante de candidats. Des considérations très élémentaires d'optique géométrique plongent certains candidats dans une grande perplexité, même s'il n'était pas exigé ici d'avoir une connaissance précise du fonctionnement d'un télescope. L'aspect le plus difficile, pour les candidats, semble avoir été la nécessité de relier plusieurs branches de la physique pour discuter une démarche expérimentale.

Dossier n°4 : *Le refroidissement des atomes par laser*

Document – Ce dossier comportait de très larges extraits de la transcription d’une conférence donnée par C. Cohen-Tannoudji sur le refroidissement des atomes par laser.

Sujet – Dans votre exposé d’environ 15 minutes, vous mettrez en relation les principes physiques décrits par l’auteur à la réalisation du processus de refroidissement des atomes et vous ferez le lien avec l’application décrite à la fin du texte.

Commentaire des examinateurs – Le document présenté commençait par la description de l’interaction entre un photon et un atome initialement immobile, suivie de l’analyse du cas où l’atome, participant d’un jet atomique à une température donnée, était ralenti par un photon incident. Plusieurs résultats numériques étaient donnés dans ces deux situations, résultats que beaucoup de candidats ont établis lors de leur présentation (ce qui était attendu) ou trouvés en réponse aux questions. La notion de résonance entre le laser producteur de photons et l’atome était introduite et faisait appel, plus ou moins explicitement, à la notion de largeur du spectre d’absorption. Relier agitation thermique, effet Doppler et élargissement du spectre d’émission s’est révélé difficile pour une proportion significative de candidats.

Le texte était explicite sur les notions d’agitation thermique (désordonnée) et de vitesse d’ensemble des atomes et se poursuivait par l’exposé du mécanisme de refroidissement laser par effet Doppler dans une direction donnée. Certains candidats ont bien su expliquer comment le mécanisme exposé pouvait être assimilé à une force visqueuse exercée sur les atomes et qu’il convenait donc de compléter le dispositif présenté dans les deux autres directions de l’espace pour construire un piège à même de refroidir des atomes.

Était ensuite exposé le mécanisme de refroidissement Sisyphé, clairement plus complexe que les mécanismes présentés au départ. Toutefois, on a pu noter que les notions mises en jeu ont été relativement bien comprises et restituées par plusieurs candidats.

Le texte se concluait par la description des horloges atomiques, où le refroidissement des atomes est mis en œuvre. On remarque à cette occasion que le lien entre précision fréquentielle et durée ou observation d’un phénomène oscillatoire n’est pas toujours aussi clairement assimilé qu’il devrait l’être (le texte en fournissait une autre illustration, liée à la décroissance temporelle d’une population d’atomes).

Dossier n°5 : *Modération des neutrons dans un réacteur nucléaire*

Documents – Ce dossier est un condensé de plusieurs ouvrages pédagogiques portant sur la neutronique.

Sujet – On s’efforcera de présenter l’importance des études liées au ralentissement des neutrons et de justifier les approximations retenues dans les calculs. On comparera la modélisation du ralentissement de neutrons rapides à celles de la thermalisation des neutrons lents. On justifiera l’utilisation de l’eau comme modérateur.

Commentaire des examinateurs – Le texte proposé est clairement structuré en plusieurs parties successives.

Une introduction propose une description rapide du principe de fonctionnement des centrales nucléaires françaises et des interactions entre le neutron et les noyaux atomiques. Un certain nombre d'ordres de grandeur sur cette problématique sont alors donnés et présentés de façon très qualitative. Le jury a pu apprécier l'effort de certains candidats d'essayer de retrouver par le calcul ces différents résultats.

Le cœur du texte est constitué par une succession de modèles décrivant les échanges de vitesse lors des différents types de diffusion des neutrons sur différentes cibles. Deux types de référentiels sont envisagés : celui du laboratoire et celui du centre de masse.

Les calculs sont présentés avec de nombreux détails et permettent de conclure que l'atome d'hydrogène est un bon candidat pour assurer la modération (ralentissement) des neutrons nécessaire au bon fonctionnement des centrales à fission.

Le principal écueil qu'il fallait éviter consistait en la réalisation d'une présentation suivant le texte linéairement et qui se perdait inévitablement dans les méandres de ses calculs. Une présentation synthétique des hypothèses suivie d'une justification précise des principaux résultats était préférable. Elle devait conduire à privilégier le référentiel du centre de masse.

Les notions de section efficace et de libre parcours moyen présentées dans le texte pouvaient être rapprochées des connaissances étudiées dans le cours de physique statistique des candidats. Le jury a apprécié certaines tentatives dans ce sens.

Il était nécessaire de prendre un peu de hauteur face à ce texte assez technique en faisant montre de maîtrise, d'esprit de synthèse tout en prouvant que l'on avait bien compris les points importants du texte en les faisant ressortir.

Dossier n°6 : *Variation autour du problème des deux corps*

Documents – Ce dossier est tiré d'un ouvrage de cours de mécanique céleste présentant une synthèse d'une partie des travaux de Joseph-Louis Lagrange en mécanique.

Sujet – Après avoir présenté le problème des deux corps dans le contexte de l'astronomie, il était proposé, à partir des informations fournies dans le texte, de :

Faire une synthèse des résultats présentés sur le problème des 2 corps ;

Expliquer les difficultés dues à l'introduction d'une perturbation ;

Présenter en détail la méthode de variation de la constante ;

Discuter de son application au problème des 2 corps perturbés ;

Tenter d'expliquer les échecs du traitement du problème de l'orbite de la Lune par ces méthodes ;

Proposer des pistes pour l'utilisation de l'esprit de la méthode à un problème quelconque de mécanique.

Commentaire des examinateurs – Il s’agissait d’un texte de physique mathématique dans lequel de nombreuses méthodes aboutissaient à la description de l’orbite de la Lune autour de la Terre perturbée par le Soleil.

Le texte commence par une présentation du problème de l’orbite d’un corps massif et ponctuel dans le champ de gravitation d’un autre corps massif et ponctuel. L’équation du mouvement était présentée dans le référentiel non galiléen attaché à la source. Le jury attendait des explications à ce sujet, il les a souvent obtenues.

Point n’était besoin de résoudre explicitement ce problème, activité dorénavant hors programme, pour comprendre les caractéristiques de sa solution qui étaient discutées dans le texte : nature de la trajectoire en fonction du signe de l’énergie et mise en contexte astronomique de l’orbite elliptique. Le jury a apprécié le recul et la finesse qu’ont pu manifester un certain nombre de candidats sur ce problème par rapport à la présentation froide de certains calculs non maîtrisés dans lesquels d’autres s’engouffraient sans réfléchir.

Le texte abordait alors une partie du cours de mathématiques des étudiants de classe préparatoire sur la résolution des équations différentielles linéaires par la méthode de la variation des constantes pour la mettre en relation avec des problèmes de mécanique céleste. De nombreux candidats ont été surpris de constater le parallélisme très étroit entre cette partie de leur cours de mathématique et ce problème de physique. Manifester ses sentiments de bonheur ou de désapprobation sont souvent appréciés dans ce contexte à partir du moment où ils sont étayés par des remarques intelligentes.

Le texte présentait ensuite les résultats de l’application de cette méthode à l’orbite lunaire dans le champ de gravitation de la Terre perturbée par le Soleil. Le jury attendait ici une analyse critique de ces résultats tant sur le plan des valeurs numériques obtenues que sur l’adéquation de la méthode utilisée. Il a souvent été déçu non pas par l’absence de cette analyse mais par sa qualité : une erreur de quelques jours sur 18 ans constitue en effet un tour de force, surtout si l’on considère les incertitudes mises en jeu. Par contre la critique constructive de l’utilisation d’une méthode mathématique hors contexte, bien que suggérée dans le texte, n’apparaît que chez peu de candidats. Le jury assiste souvent à un cloisonnement consciencieux entre les approches mathématique et physique d’un même problème, il s’agit là sans doute d’une dérive tragique des programmes que le jury déplore mais qu’il n’impute en aucun cas au candidat ni à ses professeurs.

La dernière partie du texte suggérait une part de créativité. De nombreux candidats ont essayé de transposer la méthode présentée dans le texte à d’autres problèmes rencontrés dans leur cours de physique. En demeurant prudents certains ont su tirer leur épingle du jeu !

Chercher à impressionner le jury est souvent un mauvais calcul, comme le disait Monsieur de la Fontaine « *Ne forçons point notre talent, nous ne ferions rien avec grâce !* »