

Épreuve orale d'Analyse de Documents Scientifiques

Filière PC, Physique

La moyenne des notes des candidats français est de 11,84 avec un écart-type de 2,83. Les notes s'échelonnent de 5 à 18/20, avec la répartition suivante :

$0 \leq N < 4$	0	0
$4 \leq N < 8$	14	5,43%
$8 \leq N < 12$	104	40,31%
$12 \leq N < 16$	113	43,80%
$16 \leq N \leq 20$	27	10,47%
Total :	258	100%
Nombre de candidats :	258	
Note moyenne :	11,84	
Ecart-type :	2,83	

Déroulement de l'épreuve : Nous rappelons tout d'abord les dispositions pratiques spécifiques à cette épreuve. Elle se déroule en deux temps et dans deux lieux distincts, ce qui pose des contraintes d'organisation auxquelles nous souhaitons sensibiliser les candidats :

- 1) Les candidats se présentent d'abord en salle de préparation (**distincte** de la salle d'oral). C'est **dans cette salle de préparation** que leur est remise la tablette électronique contenant le dossier qu'ils devront analyser. Ils ont alors 2 h pour lire le dossier et préparer l'exposé oral.
- 2) Puis les candidats vont dans l'une des 3 salles réservées à l'examen oral (1 salle par commission). L'oral, qui dure 40 minutes, se déroule lui-même en deux temps : un exposé d'une quinzaine de minutes au cours duquel l'examinateur n'intervient pas, suivi d'une discussion menée par ce dernier. Ils peuvent utiliser la tablette lors de leur oral, et la rendront à l'examinateur à la fin de l'épreuve.

Il est crucial que les candidats respectent cette procédure, en particulier les **lieux** et **heures** de passage.

Concernant l'usage de la calculette, des excès préjudiciables au bon déroulement de l'épreuve ont conduit le jury à adopter la ligne de conduite suivante : **l'usage de la calculette n'est pas autorisé**, que ce soit pendant la phase de préparation ou lors de la présentation orale (exposé et discussion). Les candidats doivent donc être prêts à calculer au tableau les ordres de grandeur qui leur seront demandés.

Pour leur présentation, les candidats disposent d'un « visualiseur » raccordé au vidéoprojecteur de la salle, qui remplace les anciens systèmes de rétroprojection. Ce dispositif permet d'afficher une

présentation préparée sur de simples feuilles blanches, mais accepte aussi les transparents « à l'ancienne ». Il est toutefois à noter que dans le cas d'une présentation sur feuille blanche, l'écriture doit être plus grande que l'écriture manuscrite habituelle pour être visualisée correctement, c'est à dire finalement assez proche de ce que le candidat ferait sur un transparent. Avec ce dispositif, **le format « paysage » s'avère plus approprié** que le format « portrait » pour visualiser l'ensemble de la feuille, il n'est utilisé que par assez peu d'étudiants. Si le candidat souhaite les montrer pendant son exposé, **les courbes et illustrations du texte proposé peuvent être projetées directement à partir de la tablette**, sans qu'il soit besoin de les reproduire sur feuille, avec la possibilité de zoomer sur une figure.

Certains candidats ont fait le choix de ne pas produire de supports visuels lors de leur présentation, et de se borner à un long monologue, en lisant éventuellement des notes. Ce n'est assurément pas une stratégie à suivre, car elle conduit à un résultat désastreux. Le support visuel permet de présenter des schémas, des équations, des applications numériques, et fournit à l'examineur le temps de juger de vos capacités d'analyse ; ce support fournit en général matière à la discussion succédant à la présentation. Un simple discours sans support ne permettra pas au candidat de faire correctement valoir son analyse scientifique du texte.

Attentes des examinateurs : Nous tenons tout d'abord à souligner la qualité croissante de la préparation des candidats à cette épreuve atypique. La plupart font une prestation honorable, montrant leur maîtrise des techniques de présentation, et certains candidats nous ont même enchantés par la qualité de leur exposé et la richesse de la discussion qui a suivi. Cependant, un trop grand nombre de candidats se contente encore de paraphraser les documents, soit parce qu'ils ne les ont pas compris, soit par peur de dire des bêtises en s'éloignant du texte.

Parmi ces candidats précautionneux, certains répondent de façon satisfaisante, voire très satisfaisante, aux questions que nous leur posons ensuite, montrant qu'ils dominaient les concepts reliés au texte. Ces candidats auraient dû se « jeter à l'eau » lors de leur présentation, en osant s'extraire du texte pour présenter une vision personnelle de certains concepts abordés dans le texte, ou reliés à celui-ci.

Ce qui est valorisé dans cette épreuve, c'est la **valeur ajoutée** par le candidat, qui doit fournir **sa propre lecture** des documents, s'appuyant sur ses connaissances et sur les concepts et éléments pertinents du programme, et non une simple paraphrase du texte enrobée de lieux communs en début et fin de l'exposé.

Une **introduction** ou **conclusion** trop « standard », du type « Importance de la technologie dans la société actuelle..., développement des énergies vertes..., etc. » donnent l'impression d'avoir été apprises par cœur, et constituent souvent une perte de temps (certains candidats y passent 5 minutes, sur les 15 imparties). A contrario, une fin brutale de l'exposé, sans conclusion, laisse un vide. Il est préférable de conclure sa présentation en rappelant l'idée forte du texte, plutôt que d'énoncer un lieu commun.

Quelques dossiers peuvent être composés de plusieurs textes, il s'agit dans ce cas de proposer une **synthèse**. Le jury attend en particulier des candidats qu'ils soient capables de faire des **comparaisons croisées** entre les notions exposées dans les différents textes. Pour cela il est avantageux de commencer par faire une analyse des concepts, des protocoles expérimentaux et des

résultats (formules, tableaux, graphiques...) présentés dans les différents documents, afin de les organiser de façon personnelle en un tout cohérent.

Nous insistons sur le fait qu'il ne s'agit pas d'un oral classique : c'est ici au candidat de trouver les questions et d'y apporter des éléments de réponse pertinents. En particulier, il s'interrogera avec profit sur les intentions de l'auteur du document : pourquoi le texte est-il écrit de cette façon ? Quel était le contexte scientifique dans lequel il a été écrit (il peut être utile de s'intéresser à la date de publication des articles proposés dans le dossier) ?

Le dossier proposé est avant tout un support à la discussion qui suivra. Il s'agit donc pour le candidat de dégager une problématique physique (exemples tirés du dossier) et de chercher à y répondre avec les éléments du dossier ou d'autres connaissances qui lui sont propres (culture générale, maîtrise des concepts et idées de ses cours de classe préparatoire mais aussi du lycée). **La discussion** qui s'engage à la fin de l'exposé devrait être un dialogue, plus qu'une interrogation. La qualité de ce dialogue (pertinence et précision des arguments, maîtrise du vocabulaire scientifique et technique, recul, ouverture sur d'autres aspects) constitue une part importante de l'évaluation du candidat.

Par ailleurs le jury n'attend pas des calculs ou des démonstrations détaillés mais plutôt les éléments clés de certaines démonstrations ou argumentations jugées importantes. Ce n'est pas la précision des calculs numériques qui est en jeu, mais l'estimation correcte des ordres de grandeur. Ainsi un candidat qui aura choisi d'insister sur un aspect superficiel en redémontrant longuement un point qu'il a vu en cours, et du coup n'aura pas eu le temps de couvrir des pans entiers de la problématique proposée, risque de donner l'impression de chercher à gagner du temps, et finalement d'avoir peu, ou mal compris le problème.

Nous n'attendons pas du candidat qu'il nous dissimule les points qu'il n'a pas compris, mais au contraire qu'il nous signale ce qui lui paraît obscur. Il s'agit d'être honnête, sans être naïf (« Je n'ai rien compris à ce dossier ! » n'est pas un commentaire très constructif).

Les dossiers proposés présentent des difficultés variées. Certains textes sont bien structurés et le plan en est si évident qu'il semble paradoxalement difficile d'échapper à la paraphrase : il s'agit alors d'aller au-delà du texte lui-même, en y recherchant des points à discuter. D'autres dossiers au contraire présentent un ensemble de textes compliqués, qu'il est malaisé d'organiser : le candidat ne doit pas se décourager face aux difficultés mais essayer de revenir à des bases accessibles en s'appuyant en particulier sur les connaissances acquises dans son cours de physique (**tout en évitant les rappels de portions du cours pas vraiment pertinents pour la problématique du dossier**). Dans tous les cas il est fondamental de chercher à dégager une argumentation personnelle et de construire pour cela un plan original.

Tous les dossiers proposés peuvent être abordés sans qu'il soit nécessaire de faire appel à des notions hors programme. Il n'est pas souhaitable que les candidats cherchent à tout prix à mettre en avant de telles notions, en espérant briller auprès de l'examineur, et cela d'autant moins que c'est souvent une façon d'esquiver les difficultés. Inversement, les commentaires du type « Je ne parle pas de cette notion, bien que je la connaisse, car elle est hors programme » nous paraissent étroits d'esprit. Si le candidat maîtrise correctement une telle notion et qu'elle éclaire l'explication du texte, il ne doit pas se priver d'en parler.

Nous conseillons enfin aux candidats de ne pas trop s'écarter de la durée recommandée pour l'exposé oral, à savoir 15 minutes. Les exposés trop longs se perdent en général dans les détails, au détriment du travail de synthèse attendu, ou ils cherchent à résumer le dossier de façon exhaustive. Surtout, un exposé trop long laissera moins de temps à la discussion, et donc à l'examineur pour juger de la qualité du candidat. Même si certains aspects du document doivent être traités de façon détaillée, il est inutile – et même dommageable – de vouloir tout aborder avec le même niveau de détail ; des aspects simplement évoqués dans l'exposé pourront être développés à l'occasion de la discussion. Quant aux exposés trop courts (moins fréquents), ils se terminent souvent par d'interminables conclusions filandreuses, qui sont souvent l'occasion d'énoncer, au mieux des banalités, au pire des énormités ; ils donnent l'impression que le candidat n'a pas été capable d'extraire la substance du document.

Observations particulières :

Nous mentionnons ici les insuffisances les plus répandues. Elles concernent soit des méthodes générales, soit des domaines particuliers de la physique – au rang desquelles la mécanique reste souvent la plus mal traitée.

1. Méthodes générales :

- les ordres de grandeur ne sont généralement pas calculés pendant la préparation, alors qu'ils sont souvent la clé de la discussion physique. Il est fréquemment demandé pendant l'entretien d'évaluer certains ordres de grandeur pertinents, ce qui est souvent laborieux, voire impossible à certains candidats qui éprouvent de fortes difficultés à additionner ou soustraire les puissances de 10 (nous avons parfois relevé des difficultés avec les tables de multiplication !). Enfin, il serait bon que les candidats aient en tête un certain nombre de grandeurs caractéristiques, telles que (liste non exhaustive) : constante de Boltzmann, constante de Planck, vitesse moyenne d'une molécule à température ambiante, viscosité de l'eau, de l'air, rayon d'un atome, rayon du noyau atomique, rayon de la Terre, distance Terre-Lune, Terre-Soleil, longueurs d'onde des différentes gammes du spectre électromagnétique ;
- il est crucial que les candidats se préparent à analyser ou à décrire un protocole expérimental, en cherchant à répondre aux questions suivantes : comment s'y prendre pour réaliser une mesure ? avec quels instruments ? dans quelles conditions ? quelles sont les sources d'erreur ? comment évaluer ces erreurs ?
- certains candidats oublient encore de vérifier les dimensions des expressions qu'ils nous donnent, ou mélangent des unités (m et cm par exemple), donnant lieu à de grosses confusions quant aux ordres de grandeurs nécessaires à la discussion.
- un certain nombre de candidats ont encore des difficultés à relier les incertitudes de différentes grandeurs reliées par des formules algébriques (par exemple la fréquence et la longueur d'onde).
- il s'avère souvent utile de faire des analogies entre différents domaines de la physique, ces analogies ne sont malheureusement que très peu exploitées.

2. Domaines particuliers de la physique :

- rappelons que les notions élémentaires de physique apprises dans le cours de chimie (atomistique, calorimétrie...) sont des notions physiques à part entière, qui peuvent intervenir dans certains dossiers.
- les questions d'électro- et de magnétostatique se sont avérées problématiques pour de nombreux candidats : représenter des lignes de champ électrique ou magnétique, pour une configuration simple de charges ou de dipôles, constitue souvent un obstacle. Un candidat nous a affirmé qu'un aimant émet un champ électrique plutôt que magnétique.
- en optique, les notions d'interférence, ou le rôle de la diffraction, sont souvent très floues, surtout lorsqu'on quitte les modèles unidimensionnels. Globalement la physique des ondes est peu maîtrisée par de nombreux candidats. Au contraire, les premiers rudiments de mécanique quantique nous ont semblé être bien assimilés.
- les dossiers de mécanique céleste donnent parfois lieu à de mauvaises surprises. Il nous semble aberrant d'entendre, à ce niveau d'études, que les saisons sont dues au changement de distance entre la Terre et le Soleil.

Exemples de dossiers proposés aux candidats et commentaires des examinateurs :

Nous recommandons aux candidats de se référer également aux rapports antérieurs, afin d'apprécier au mieux le type de dossiers et les questions qui peuvent être posées. Nous avons sélectionné quelques dossiers proposés cette année, et y avons joint quelques commentaires.

Dossier n°1 : « Reconnexion magnétique entre le vent solaire et la magnétosphère terrestre : la mission MMS », publié dans les Reflets de la Physique en 2018.

Cet article décrit la dynamique du « vent solaire », le flux de particules chargées expulsées par le soleil à travers le système solaire, fortement guidée par le champ magnétique au voisinage de la Terre. Les concepts élémentaires permettant d'aborder ce dossier sont le mouvement de particules chargées en présence de champs magnétique et électrique. Dans ce cadre, il était important de comprendre la notion de lignes de champ magnétique, notion que ne maîtrisent visiblement pas tous les candidats. Une ouverture possible était par exemple la discussion du mouvement cyclotron, un « classique » du programme en électrodynamique. On pouvait aussi évoquer le mécanisme d'ionisation des atomes. Sur le plan expérimental, on pouvait discuter des moyens mis en œuvre (4 satellites) pour les mesures précises de champ magnétique.

Dossier n°2 : « Une planète façonnée par l'eau », publié dans les Dossiers pour la Science en 2014.

Ce texte présente des observations faites par plusieurs sondes récentes survolant la planète Mars, de modifications saisonnières de la surface martienne (apparition de « ravines »), et propose plusieurs explications mettant en jeu la formation de glace carbonique, ou éventuellement la présence d'eau liquide salée. Le texte ne présente pas de calculs détaillés, mais des descriptions des différents mécanismes possibles. Il a néanmoins permis aux candidats des développements de thermodynamique (diagramme de phase de l'eau, diagramme d'eutectique du mélange sel-eau).

La mécanique céleste avait aussi une importance : orbites keplériennes, mécanisme des saisons martiennes (souvent un point faible !), et ses conséquences (flux solaire reçu, effet de serre).

Dossier n°3 : « Les trous noirs dévoilés », publié dans les Dossiers pour la Science en 2012

Cet article s'intéresse à certaines méthodes de détection des trous noirs. Ecrit en 2012, il précède de plusieurs années les récentes annonces (2019) d'« observation directe » de ces objets. L'accent est mis sur la façon de distinguer les trous noirs des étoiles à neutrons, qui peuvent être les précurseurs de ces premiers. Bien que la description des trous noirs relève de la relativité générale, clairement hors programme, le texte permettait plusieurs développements utilisant de la physique plus élémentaire, par exemple les trajectoires de deux corps en attraction newtonienne. Le candidat pouvait également tenter de décrire l'équilibre thermostatique au sein d'une étoile gazeuse, entre pression, gravitation et rayonnement. On mentionnait également dans le texte la cinétique des gaz, ainsi que la production de rayonnement électromagnétique (en particulier X), qui pouvaient aussi susciter la discussion. Enfin, le texte se prêtait à des calculs d'ordres de grandeur.

Dossier n°4 : « Rupture et délamination de films minces », publié dans les Reflets de la Physique en 2016.

Cet article discute de films minces (quelques microns) à la surface d'un substrat, en particulier de la façon dont ces films se craquellent, formant spontanément des formes géométriques assez régulières (filaments, spirales). Une explication de ce phénomène est ébauchée dans le texte, sous la forme de bilans d'énergie (énergies de rupture, d'élasticité, d'adhésion au substrat, etc.). Les candidats disposaient d'outils théoriques suffisants pour « enrichir l'explication », ou au moins expliciter les différents termes de ces bilans par des arguments géométriques simples. Certains candidats ont parlé de tension superficielle, ou des forces en jeu en élasticité volumique (loi de Hooke, cisaillement).

Dossier n°5 : « Générer des impulsions laser ultra-brèves de très haute intensité : la technique du CPA », publié dans les Reflets de la Physique en 2019

Ce dossier était constitué de plusieurs articles courts, consacrés à la technique du CPA (« chirped pulse amplification », ou « amplification par dérive de fréquence »), inventée dans les années 1980, et qui a permis de produire des faisceaux laser d'ultra-haute intensité. Après un article introductif présentant le principe du CPA, les articles suivants détaillent deux applications développées plus récemment : d'une part les impulsions laser ultra-brèves, permettant de sonder la matière sur les échelles de temps des réactions chimiques élémentaires (femtoseconde) ; d'autre part les lasers d'ultra-haute intensité, permettant par exemple d'accélérer des particules à des vitesses ultra-relativistes. Face à ce dossier riche, de nombreux développements étaient possibles : sur le mécanisme laser lui-même, sur les mécanismes de diffraction et d'interférences (par des réseaux de Bragg) mis en œuvre dans le CPA, le principe d'incertitude temps-fréquence. Il était bienvenu de rappeler les échelles des différents rayonnements électromagnétiques (de l'infrarouge à l'X). Dans les applications à l'accélération de particules, le candidat pouvait rappeler les limites de la mécanique newtonienne, sans pour autant refaire les calculs précis dans le cadre relativiste.

**Dossier n°6 : « Conversion énergie cinétique – énergie mécanique dans un moteur éolien »,
publié dans le J3eA en 2011**

Cet article présentait une étude théorique et expérimentale d'une éolienne, en particulier de la conversion de l'énergie du vent incident en énergie de rotation de l'éolienne, en fonction de différentes caractéristiques : orientation et formes des pales, vitesse du vent, vitesse de rotation. L'étude théorique proposait des équations assez élémentaires pour les puissances en jeu, que le candidat pouvait chercher à retrouver ou expliquer en utilisant des équations d'aérodynamique connues (par ex. la relation de Bernoulli), des arguments géométriques simples (force exercée sur une pale inclinée), ou éventuellement développer l'origine microscopique des forces de pression. On pouvait également comparer la situation à celle d'une aile d'avion, soumise aux forces de portance et de traînée.