

Épreuve orale d'Analyse de Documents Scientifiques en Physique, Filière PC

La moyenne des notes des 230 candidats français est de 11,96 avec un écart-type de 3,04

La moyenne des notes des 10 candidats internationaux est de 11,22 avec un écart-type de 1,49.

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 2h 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'a cependant été utilisé que par 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 être reproduites sur feuille, avec la possibilité de zoomer sur une figure.

Certains candidats font parfois le choix de ne pas produire de supports visuels lors de la 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 les capacités d'analyse du candidat ; 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 contentent 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 » eux-mêmes, en osant s'extraire du texte pour présenter une vision personnelle de certains concepts présentés 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 n'est pas inutile 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 proposé) 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 bien 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 rigueur des calculs 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 alors 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 qui ne sont 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 très laborieux, voire impossible à certains candidats qui éprouvent de fortes difficultés à additionner ou soustraire les puissances de 10 et plus étonnement encore et c'est un phénomène nouveau certains candidats ont des problèmes avec les tables de multiplications. 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 révélées 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.
- En optique, les notions d'interférences, 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 des 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, dont celui ci-est très largement inspiré, 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 : « L'effet dynamo, un casse-tête non-linéaire », publié dans L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL en 2007.

Cet article décrit les principaux résultats d'une recherche originale sur l'origine du champ magnétique terrestre menée par une équipe de l'ENS de Lyon à partir de simulations numériques et expérimentales. Elle reprend l'hypothèse d'un effet dynamo à l'échelle planétaire (un champ magnétique d'une telle intensité sur un tel volume étant hors de portée d'un aimant permanent). Et développe la nécessité d'un « auto-entretien » d'une telle dynamo au sein du noyau liquide terrestre. Ces effets étant largement non-linéaires, une description des éventuelles bifurcations entre différents régimes est donnée dans des configurations expérimentales précises, telles que la dynamo de Bullard ou encore celle de Lowes et Wilkinson. A plus grande échelle les expériences menées à l'aide de fluides conducteurs telles que DTS et VKS en France permettent de reproduire en laboratoire des conditions proches de ce qu'on pourrait rencontrer dans le cadre de la dynamo terrestre. Avec l'espoir d'améliorer la compréhension des systèmes dynamiques turbulents à l'œuvre dans ce contexte.

Dossier n°2 : « Les gouttes marcheuses », publié dans les Reflets de la Physique en 2007.

Cet article présente des résultats sur l'étude d'un système de goutte rebondissant sur la surface d'un liquide et de son couplage possible à l'onde de surface qu'elle émet. La thèse soutenue dans l'article

est que la goutte, grâce à ce couplage, peut devenir propagative. On obtient ainsi un système de « marcheur » par l'association d'une particule (fluide) et d'une onde (de surface), à l'échelle macroscopique, ce qui constitue un objet d'étude tout à fait original de la dualité onde-corpuscule, théorie élaborée à l'avènement de la mécanique quantique et à laquelle on associe les noms de Planck, Einstein et de Broglie. Les systèmes de marcheurs sont ainsi utilisés pour l'étude de leurs éventuelles interactions réciproques, de leurs propriétés de réflexion, de diffraction et d'interférences à l'instar des photons ou autres systèmes quantiques, mais à une échelle macroscopique et dans des conditions de manipulation et de simulation infiniment plus aisées.

Dossier n°3 : « André-Marie Ampère et la naissance de l'électrodynamique » publié dans Reflets de la Physique n° 72

Il s'agit ici d'un article portant sur l'Histoire des Sciences et plus particulièrement sur les travaux expérimentaux qui ont conduit Ampère à développer sa théorie de l'électrodynamique. L'article montre clairement la démarche scientifique menée par Ampère : dans un premier temps, il émet des hypothèses ; dans un second temps, il les vérifie à partir de dispositifs expérimentaux ; enfin, il formule mathématiquement les lois permettant d'expliquer les phénomènes observés. L'article présente le contexte dans lequel Ampère a présenté ses idées, extrêmement bouleversantes pour une communauté scientifique fortement influencée par la vision Newtonienne, et illustre les difficultés qu'Ampère a rencontrées pour convaincre ses pairs. Le texte ouvre la porte à une riche discussion entre le candidat et l'examineur non seulement basée sur l'Histoire des Sciences, mais aussi sur la démarche scientifique, sur la conception d'expériences en physique et sur les notions d'électrodynamique que le candidat doit maîtriser, en allant de la définition de l'unité de courant jusqu'au théorème d'Ampère, formalisé par Maxwell en 1856. Ce texte se prête aussi à une extension de la discussion vers les retombées de la théorie d'Ampère, notamment en ce qui concerne les applications industrielles (moteur électrique, par exemple).

Dossier n°4 : « Étude des températures des carcasses de porc lors du transport » publié dans la *Revue Générale du Froid et du Conditionnement d'Air*, 2021.

Cet article présente une étude expérimentale sur l'évolution de la température de surface et à cœur de carcasses de porc lors du transport sur le quai de chargement et lors du transport en camion frigorifique. Cette étude a permis de développer un modèle réduit pour estimer rapidement le temps de refroidissement d'une carcasse. Un tel modèle est important pour prédire l'évolution de la charge microbienne sur les carcasses de porc. Plusieurs directions s'ouvrent au candidat pour enrichir la discussion avec l'examineur. En dehors de l'impact industriel, hygiénique et économique de ce type d'études que le candidat devrait souligner, il est important de montrer que l'on a bien compris la démarche employée par les auteurs de l'article. Par exemple, le candidat pourrait décrire les deux expériences réalisées (matériels, méthodes et résultats). Il est essentiel de faire preuve d'esprit critique lorsque l'on expose la démarche employée, les résultats expérimentaux et la comparaison entre les expériences et les prédictions théoriques. L'article offre aussi la possibilité d'une discussion autour de notions que le candidat doit maîtriser, comme la théorie de la diffusion thermique, la loi de Fourier et la loi de Newton pour la convection en tant que condition au bord pour l'équation de diffusion. Enfin, il est essentiel de connaître les différentes grandeurs physiques en jeu (conductivité thermique, diffusivité thermique, coefficient de transfert...) ainsi que leurs unités et quelques ordres de grandeur.

Dossier n°5 : « Rayonnement noir et quanta de lumière », publié dans *J. Phys. Radium*, 1922, 3 (11), pp.422-428.

Cet article écrit par Louis de Broglie est un article historique qui établit des résultats connus de la théorie du rayonnement en ne s'appuyant que sur la thermodynamique, la théorie cinétique et celle des quanta, de fait sans utiliser l'électromagnétisme. L'article se base sur l'utilisation d'« atomes de lumière », des principes liés à la relativité qui permettent de définir la quantité de mouvement de ces atomes, de calculer l'énergie interne de ce gaz parfait relativiste et d'illustrer des différences par rapport à un gaz parfait classique. Le calcul de l'entropie puis de l'énergie libre permet d'aboutir à ce qui ressemble à un facteur 1/2 près à la loi de Wien, le facteur s'expliquerait par l'oubli de la notion de polarisation de la lumière que l'auteur mentionne comme étant une suggestion de Léon Brillouin.

Cet article permettait de revisiter des notions de thermodynamique et de discuter de leurs liens avec les aspects microscopiques (cinétiques) ; le tout en permettant une mise en perspective sur la notion de photon et une discussion sur le rayonnement thermique du corps noir.

Dossier n°6 : « Le football et ses trajectoires », publié dans *Reflets de la Physique* n° 28.

Cet article discute des trajectoires possibles d'un ballon de football en se plaçant dans les limites d'un terrain de football et d'une trajectoire dont l'origine est un coup de pied (le ballon ne peut atteindre des vitesses trop grandes). Il s'agit donc d'étudier le mouvement d'une sphère éventuellement déformable mais le texte ne le considère pas avec un mouvement propre dans de l'air avec la gravité. Cela permet de revisiter les notions de forces de traînée, de les évaluer, de les comparer à la gravité et d'en déduire les différentes trajectoires possibles, des effets non-linéaires liés au décollement de tourbillons derrière le ballon sont présentés.

Ce texte permet d'entamer une discussion avec le candidat sur différents aspects du programme liés à la mécanique des fluides, la mécanique des solides, et de discuter des différentes hypothèses faites dans le papier présenté. Certaines notions peuvent apparaître comme très proches du cours, et se retrouvent discriminantes pour les candidats ne les ayant clairement pas bien assimilées et comprises.