

Épreuve Orale d'Analyse de Documents Scientifiques de Physique

Filière PC, Physique

La moyenne des notes des 287 candidats français et internationaux est de 11,94/20 avec un écart-type de 3,18.

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'examineur 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'examineur 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 ; 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 alors 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.

Quelques remarques : 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.

- 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.
- Plus étonnamment encore, et c'est un phénomène récent, certains candidats ont des problèmes avec les tables de multiplications ou des simplifications de fractions élémentaires, ou une conversion m/s en km/h.
- Il est fortement recommandé aux candidats d'avoir 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.
- Il s'avère souvent utile de faire des analogies entre différents domaines de la physique, ces analogies ne sont malheureusement que très peu exploitées.
- Le jury rappelle 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. De même pour les concepts de première année, qui restent d'actualité au moment des concours...
- 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.
- 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.

Exemples de dossiers proposés aux candidats et commentaires des examinateurs :

Nous recommandons aux candidats de se référer 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 : « La découverte des transitions à deux photons sans élargissement Doppler » publié dans le Bulletin de la SFP N° 110

Cet article présente l'histoire du développement des techniques pour la mesure de transitions atomiques à deux photons sans élargissement Doppler au cours des années 70. L'auteur décrit son expérience et sa contribution à cette avancée majeure dans la spectroscopie à haute résolution et présente les enjeux physiques et techniques. Le mouvement aléatoire des molécules d'un gaz implique un élargissement des raies d'absorption et émission par effet Doppler. Grâce à l'exploitation des transitions nécessitant l'absorption simultanée de deux photons, cet effet Doppler peut être compensé si les deux photons proviennent dans les directions opposées. Cependant, l'application de cette idée simple présente des grandes difficultés à cause de la faible probabilité de ces interactions et de la précision nécessaire dans le dispositif expérimental.

L'article permet de discuter plusieurs phénomènes au programme et de leur application conjointe à un problème pratique de physique : l'effet Doppler, les transitions atomiques, l'agitation thermique dans un gaz, ou encore le fonctionnement d'un laser et d'un interféromètre.

Dossier n° 2 : « Les aimants supraconducteurs au service du LHC » publié dans Clefs CEA N° 56

Les électroaimants capables de générer des champs magnétiques de plusieurs Tesla sont au cœur du fonctionnement de l'accélérateur de particules LHC au CERN et des détecteurs pour la mesure des particules produites lors des collisions. En raison des champs magnétiques particulièrement intenses, le phénomène de la supraconductivité est utilisé pour pouvoir circuler des courants de plus de 10 kA dans les bobines de ces aimants. Cet article présente les applications des aimants supraconducteurs pour piloter et focaliser les faisceaux de particules et leur utilisation pour la mesure de l'impulsions des particules dans les détecteurs, ainsi que les enjeux techniques dans leur conception, réalisation et utilisation. Des notions fondamentales sur les trajectoires des particules chargées dans un champs magnétique uniforme et sur le mécanisme de supraconductivité sont rappelées dans le texte.

Cet article permet de discuter des phénomènes à la base du fonctionnement des électroaimants, des limites principales dans la génération des champs intenses en présence et absence de matériaux ferromagnétiques et du besoin de l'utilisation des supraconducteurs. Plusieurs développements sont possibles dans la discussion du texte, tel que les différentes configurations du champ magnétique pour une application de pilotage et focalisation du faisceau de particules et mesure d'impulsion, l'impact des imperfections du champ magnétique dans l'accélération et mesure des particules chargées, ou encore la modélisation du courant électrique et les limites de ces modèles dans le cas de la supraconductivité.

Dossier n° 3 : « Petite histoire de la force de Coriolis » publié dans Reflets de Physique N° 17

L'article retrace l'histoire des études scientifiques sur l'influence de la rotation de la Terre sur les mouvements des corps, bien avant Coriolis, en commençant par les expériences de chute libre (preuve expérimentale de la rotation de la Terre par la déviation vers l'Est de la chute libre), jusqu'à la plate-forme tournante Coriolis utilisée par la recherche moderne, en passant par la description des courants et des alizés.

A part les questions liées à la mécanique Newtonienne et les questions liées au repère tournant, cet article a permis de discuter de la précision des mesures expérimentales, de l'écart type, des facteurs introduisant les perturbations dans des mesures, ainsi que des façons d'augmenter leur fiabilité. Les quatre termes de Laplace permettaient la discussion sur les effets dominants que l'on prend en compte dans un modèle, en négligeant d'autres (tels que l'épaisseur de l'océan comparée au rayon de la Terre). Les expériences modernes menées sur la plateforme de Coriolis permettront l'ouverture vers des discussions sur l'écoulement tourbillonnaire.

Dossier n° 4 « Les étoiles ensemencent l'Univers » publié dans CLEFS CEA - N° 58

L'article traité discute de physique stellaire et de plasmas denses en prenant le Soleil comme un exemple d'une étoile « banale ». Les réactions nucléaires et la répulsion coulombienne sont discutées, ainsi que les champs magnétiques et les ondes acoustiques à l'intérieur du soleil. Plus précisément, l'article est focalisé sur l'astérosismologie (héliosismologie dans le cas du Soleil), laquelle étudie la propagation d'ondes acoustiques ou de gravité à l'intérieur des étoiles, pour en déduire une information sur leur structure et leur dynamique internes. En particulier, une des figures d'article montre le déplacement du spectre solaire dû à l'effet Doppler lié aux ondes acoustiques.

L'article permet de discuter et de développer des nombreux sujets, tels que température du soleil et réactions nucléaires, vitesse moyenne des particules, distribution maxwellienne et la probabilité de surmonter la barrière coulombienne, champ magnétique torroïdal, propagation des ondes acoustiques, effet Doppler. De façon regrettable, certains candidats ont confondu le déplacement Doppler du spectre d'absorption du soleil causé par des ondes acoustiques (objet de l'article) et élargissement des raies d'absorption par effet Doppler dans les atomes (objet d'un autre sujet donné quelques jours auparavant, voir Dossier n° 1), ce qui a nui à leur compréhension de l'article et à leurs présentations. Certains ont également essayé d'évoquer l'importance de l'effet tunnel dans le contexte des réactions nucléaires à l'intérieur du Soleil, position difficilement défendable.

Dossier n° 5 « Les ondes gravitationnelles, cent ans après Einstein » publié dans Reflets de la Physique N° 52

L'article traite de la découverte majeure des ondes gravitationnelles en 2015, qui ouvre la voie à ce qu'on qualifie maintenant d'astronomie gravitationnelle. Celle-ci devrait révolutionner notre connaissance de la structure de l'Univers aux grandes échelles, avec notamment les mécanismes de formation des trous noirs et leur rôle dans l'évolution de l'Univers.

Elle ouvre également la voie à une véritable astronomie « multi-messagère » conjointe avec l'ensemble des observations utilisant toute forme de rayonnement électromagnétique. On espère aussi une meilleure appréhension de la place de la théorie « classique » de la relativité générale par rapport aux autres interactions fondamentales (décrites par la théorie quantique des champs).

Cet article est l'occasion de discuter de l'opportunité que représente en physique la découverte d'un phénomène majeur et de la validation d'une théorie essentielle, en l'occurrence la relativité générale. Il permet de mettre en perspective la notion de temps long dans l'établissement d'une connaissance en physique et peut être l'occasion pour un.e candidat.e curieu.x.se d'exposer sa culture dans le domaine des grandes structures de l'Univers. L'article revient sur la structure temporelle particulière du signal des ondes gravitationnelles d'un système binaire, ce qui peut être l'occasion d'une mise en équation, en mécanique classique, pour relier les caractéristiques de la rotation aux différents paramètres du système. Les ondes gravitationnelles se propageant dans le vide, des analogies avec les ondes électromagnétiques peuvent également être conduites. Toutes ces notions sont au programme et aucune connaissance sur la relativité générale n'est exigée pour mener à bien l'exercice.