

## Filière Universitaire Française (FUF)

### Épreuve orale de Physique L3

**Résultats de la session 2021** – Lors de la session 2021, l'épreuve orale de physique d'une heure (majeure physique) a été passée par 36 candidates et candidats (41 admissibles et 5 renonçant(e)s).

**Remarques générales** – Ce rapport présente les grandes lignes du déroulement d'une planche de physique et donne quelques conseils aux futurs candidat(e)s afin d'éviter certaines erreurs systématiques, probablement liées à une méconnaissance de l'épreuve. Le jury note que la prise en compte de ses remarques est de plus en plus forte, ce dont il se réjouit et ce qui donne des interrogations globalement de meilleure qualité, essentiellement sur la forme. Malgré cette amélioration notable, le jury tient à préciser qu'il s'agit avant tout de tester des connaissances de fond et pas uniquement de répondre à un exercice de style. A ce titre, le jury peut interroger sur l'ensemble des programmes des candidat(e)s. Il est surprenant de constater que certain(e)s candidat(e)s semblent surpris(es) lorsqu'il s'agit d'utiliser par exemple le théorème de Gauss de l'électrostatique, au prétexte que cela relève du programme de L2. Le jury en a parfaitement conscience, et s'attend par là même à une réponse irréprochable sur une notion qui est supposée parfaitement maîtrisée. L'appel à des notions des années antérieures à la L3 est souvent un préalable à la résolution de l'exercice posé. Cet exemple tiré de l'électromagnétisme s'étend à tous les domaines de la physique : optique, mécanique, thermodynamique, mécanique quantique. De même le jury suppose que les candidat(e)s maîtrisent les opérations mathématiques de base, pourtant vues bien avant.

Le jury attire également l'attention des candidat(e)s sur le fait qu'il base ses interrogations sur les programmes qu'il reçoit de la part des candidat(e)s et que ces programmes diffèrent d'un établissement à un autre, ou d'un parcours à un autre au sein d'un même établissement. Il n'est donc pas concevable de « négocier » telle ou telle partie du programme annoncé, démarche qui ne peut qu'être défavorable aux candidat(e)s. Il est donc important de faire ce travail sur les programmes en amont des interrogations.

**Déroulement de l'épreuve** – L'épreuve orale de physique se déroule en présence de deux examinateurs, par la résolution, sans préparation, de deux exercices portant sur deux domaines distincts du programme de L3 de l'université d'origine des candidat(e)s. Chacun de ces deux exercices représente environ la moitié de l'épreuve, mais cette durée peut être modulée par les examinateurs, sans relation avec l'appréciation que portent ceux-ci sur le travail du/de la candidat(e). Cependant le jury tient à pouvoir interroger les candidat(e)s sur deux domaines différents, ce qui implique de pouvoir se remobiliser sur un second énoncé, indépendamment du ressenti suivant la conclusion du premier exercice. Les conditions de déroulement de l'épreuve sont rappelées aux candidat(e)s au début de l'épreuve.

Le premier exercice est énoncé par l'un des examinateurs, le(la) candidat(e) est libre de prendre ou non les notes qu'il (elle) juge nécessaires au tableau afin de poser le cadre de l'étude proposée. Il (elle) peut tout à fait reformuler au besoin l'énoncé de l'exercice pour s'assurer de sa bonne compréhension. La résolution de l'exercice s'organise alors comme un dialogue entre la/le candidat(e) et les examinateurs, ce qui peut amener ces derniers à ouvrir le sujet initial vers d'autres thèmes, ou d'autres questions plus ou moins proches du cours, afin de tester les connaissances des candidat(e)s au-delà du cadre strict de l'exercice. Après un temps correspondant environ à la moitié de l'épreuve, un second exercice est proposé, portant sur une partie différente du programme. La résolution de ce deuxième exercice se déroule de façon analogue. Il peut arriver que les examinateurs proposent un exercice supplémentaire, s'ils jugent que les discussions autour des deux premiers exercices ne sont pas suffisantes pour leur permettre une évaluation équitable et objective. Cependant, le nombre et la durée des exercices attribués au / à la candidat(e) n'est en aucun cas une indication sur le bon ou le mauvais déroulement de l'interrogation.

La session 2021 étant consécutive à la période de confinement liée au covid-19, certaines parties des programmes envoyés par les candidat(e)s n'ont pas pu être traitées en présentiel. Néanmoins aucune lacune rédhibitoire sur le traitement du programme n'a été constatée, même s'il est apparu que les candidat(e)s avaient été moins sollicité(e)s sous la forme d'interrogations directes et manquaient parfois des réflexes usuels pour la résolution des problèmes. Malgré ce phénomène compréhensible, et dont le jury a tenu compte, les conclusions de ce rapport gardent un caractère de généralité pour les éditions futures.

**Objectifs de l'interrogation** – La résolution de problème vise essentiellement à apprécier le degré de compréhension des grands concepts de la physique théorique et/ou appliquée suivant les cas, et la capacité des candidat(e)s à les réinvestir et à les mettre en application.

Il n'est pas nécessaire (ni suffisant d'ailleurs) de résoudre intégralement un exercice posé pour obtenir une bonne note. En particulier les examinateurs sont particulièrement attentifs à la prise d'initiatives des candidat(e)s pour proposer des pistes de résolution, contextualiser la situation physique qui leur est soumise, rechercher – sans qu'on le leur demande – des équivalents, des situations analogues ou des limites (comportement asymptotique du système dans des régimes extrêmes). Le jury insiste sur le fait que les candidat(e)s sont évalué(e)s sur leurs initiatives et que rester figé(e) au tableau dans la recherche muette d'une solution toute ficelée au problème posé ne laisse en général pas une bonne impression.

Pour les candidat(e)s ayant eu un enseignement de physique théorique, les thèmes essentiels sur lesquels porte l'interrogation sont bien sûr les grands thèmes de l'année de L3 : la mécanique quantique (les postulats de base, l'équation de Schrödinger et ses applications aux puits et barrières constants par morceaux, les relations d'incertitude d'Heisenberg), la thermodynamique statistique (les ensembles micro-canonique et canonique, le facteur de Boltzmann classique, les fonctions de partition et leurs applications), l'électromagnétisme dans les milieux (diélectriques, conducteurs, milieux magnétiques, milieux dispersifs etc.), la mécanique analytique (formulation lagrangienne de la mécanique, introduction à la théorie des champs), la mécanique des fluides (formulation eulérienne de la théorie, équations d'Euler et de Navier-Stokes, viscosité), la physique des ondes (mécaniques, acoustiques, électromagnétiques, milieux dispersifs etc.), l'optique interférentielle (les grands dispositifs à division du front d'onde ou

d'amplitude, dualité onde-corpuscule), la relativité restreinte (postulats, dynamique relativiste, énoncés des théorèmes généraux etc.). Tout au long de la planche, les examinateurs sont amenés à poser des questions de cours, voire à proposer la résolution de petits exercices complémentaires pour affiner leur évaluation et également mettre les candidat(e)s sur une piste pour la solution générale de l'exercice.

Les candidat(e)s issu(e)s de filières appliquées sont évaluées sur des situations physiques correspondant aux enseignements qu'ils ont reçus, physique ondulatoire, électronique/électrotechnique (applications du théorème de Millman notamment, moteurs et transformateurs), traitement/transmission du signal (conversion analogique-numérique, acquisition et encodage de données), mécanique des systèmes (rotation des systèmes articulés, contact entre solides), thermodynamique des systèmes et des machines thermiques (notion de rendement, utilisation des diagrammes de Clapeyron, de Watt, etc.). La liste n'est pas exhaustive. Les mêmes principes sont strictement observés pour la conduite de l'interrogation, ce qui garantit une égalité de traitement entre des candidat(e)s ayant des profils parfois très différents.

Dans tous les cas, l'initiative, la rigueur, l'originalité, la cohérence entre les acquis théoriques et leurs applications sont appréciées. Il est demandé à tou(te)s les candidat(e)s de veiller à l'homogénéité de leurs résultats (qui doit faire l'objet d'une vérification systématique, sans attendre que l'examineur ne fasse la remarque), à la cohérence de leurs applications numériques, à la critique et la discussion systématiques des résultats obtenus. La description et l'analyse d'une expérience fondamentale peuvent être demandées pour juger non seulement les connaissances générales des candidat(e)s mais également leur appréciation des grandes avancées de la physique moderne. Le jury a eu l'occasion de constater à plusieurs reprises que les grands « classiques » de la physique moderne, par exemple les expériences ayant abouti à jeter les bases de la relativité restreinte ou de la mécanique quantique (l'effet photoélectrique, le rayonnement du corps noir, l'expérience de Stern et Gerlach, etc.) sont souvent mal connus ou peu compris.

Les candidat(e)s sont invité(e)s à expliquer clairement leur démarche et ne doivent pas hésiter à demander aux examinateurs de clarifier tout point de l'énoncé qui paraîtrait confus. Il n'est pas attendu que les candidat(e)s proposent une résolution « taupinale » de l'exercice, en écrivant sans explication et le plus rapidement possible le résultat de méthodes connues. Les exercices proposés privilégient l'analyse qualitative et le raisonnement plutôt que les développements calculatoires. Dans ce contexte, l'exposé oral de la construction d'un raisonnement, et la discussion des hypothèses et principes physiques mis en jeu, sont cruciaux. Lorsque des développements calculatoires importants sont incontournables, la résolution peut être directement fournie par les examinateurs une fois que la/le candidat(e) a posé les équations correctement, afin d'enchaîner plus rapidement sur l'interprétation physique du résultat. Il est toutefois attendu que la/le candidat(e) maîtrise raisonnablement les outils d'analyse de base, tels que la résolution d'équations différentielles à coefficients constants, la résolution d'un système d'équations par la méthode du pivot de Gauss ou autre, les relations simples de l'analyse vectorielle, le calcul de flux de vecteurs à travers une surface, etc. La calculatrice peut être utilisée pour des tracés de courbes ou résolution graphiques complexes, mais il est rarissime que les exercices proposés en justifient l'usage. Il peut en revanche être demandé au (à la) candidat(e) de tracer des représentations graphiques de fonction très simples « à la main » afin de mieux appréhender les processus physiques contenus dans les équations mathématiques.

**Parmi les erreurs qui reviennent (trop) souvent** – Le jury a pu constater que certains principes et théorèmes de base, relevant du programme de L2 (au mieux) sont mal appliqués. Parmi ceux-ci, les théorèmes fondamentaux de la mécanique (lois de Newton, théorème du moment cinétique, intégrale première de l'énergie), les lois de l'optique géométrique ou encore les principes de la thermodynamique, sont souvent énoncés de manière approchée.

Le dénombrement des inconnues et équations nécessaires à la résolution du problème n'est pratiquement jamais proposé, ce qui devrait constituer un préalable à tout développement calculatoire. L'application des lois de l'électromagnétisme macroscopiques (théorèmes de Gauss et d'Ampère, loi de Faraday) n'est jamais rigoureuse, notamment dans la recherche préalable des symétries et des invariances. Le jury a constaté avec surprise que beaucoup de candidat(e)s ne savaient pas modéliser correctement une onde progressive plane et monochromatique.

Parmi les points du programme de L3 qui sont régulièrement mal négociés par les candidat(e)s, citons de nombreux concepts de base de la mécanique quantique et de la physique statistique mal assimilés par beaucoup de candidat(e)s. En mécanique quantique, l'utilisation de l'équation de Schrödinger complète ou stationnaire, est très laborieuse. La plupart des candidat(e)s doit repasser par la démonstration détaillée du passage au cas stationnaire avant de se lancer dans la résolution d'un problème de puits ou barrière de potentiel constant par morceaux. Les résultats standard de l'effet Ramsauer ou de l'effet tunnel doivent être maîtrisés comme des questions de cours. Les notations de Dirac et le formalisme des opérateurs sont parfois utilisés par des candidat(e)s qui ne savent pas clairement justifier le choix de cette approche et qui sont souvent perdus lorsqu'il s'agit de projeter l'ensemble dans l'espace de configuration. Le jury a pu constater que l'application des postulats de la MQ dans ce formalisme particulier est parfois compliquée, notamment pour la détermination des probabilités d'obtenir le système dans tel ou tel état propre d'un opérateur et les caractéristiques de cet état. Les manipulations simples sur des matrices de rang 3 ont conduit à des conclusions farfelues. Enfin le lien entre confinement et quantification n'est pas systématiquement compris, ce qui est étonnant. Certain(e)s candidat(e)s ont tendance à imaginer que « quantique » implique « quantifié ».

En physique statistique, les candidat(e)s ont du mal à identifier les situations micro-canonique ou canonique si l'examineur ne le mentionne pas explicitement. Dans le cas des atomes porteurs de moment dipolaire électrique ou magnétique et maintenus à température constante, l'utilisation de la fonction de partition intervient très tard. L'explication qualitative de la « compétition » entre les phénomènes qui ordonnent ou désordonnent un système n'est jamais donnée de manière satisfaisante. Beaucoup de candidat(e)s préfèrent utiliser des formules brutes, qu'ils ont en mémoire, donnant accès à telle ou telle observable par dérivation de la fonction de partition plutôt que d'essayer de retrouver ce résultat en revenant à la signification de cette dernière et au langage probabiliste. Il serait bon d'avoir en tête un ou deux exemples d'application de la théorie de chaque ensemble pour savoir situer l'exercice demandé.

Les équations de Maxwell de l'électromagnétisme sont en général connues, bien que notées avec une représentation très aléatoire des vecteurs. Les applications à la propagation des ondes électromagnétiques dans les milieux, aux conditions de passage aux interfaces et aux problèmes de rayonnement laissent cependant entrevoir des lacunes dans la compréhension des liens que posent les équations de Maxwell entre le champ et ses sources. La démonstration de l'équation de d'Alembert pour le champ électromagnétique dans le vide ne devrait plus poser de problème à ce niveau-là. Les problèmes de propagation guidée ont laissé paraître qu'il subsistait des

confusions entre propagation et polarisation. Des connaissances au moins rudimentaires sont attendues sur les propriétés des milieux usuels, diélectriques, conducteurs, plasmas.

La mécanique des fluides a été abordée avec plus ou moins de bonheur. Des problèmes d'écoulement classique (Couette, Poiseuille) ont été proposés, ainsi que des situations nécessitant de discuter les régimes d'écoulement à priori, à l'aide des nombres adimensionnés usuels (Reynolds, Froude, Mach etc.). Cette méthodologie est rarement bien maîtrisée. Le jury attend sur ce type de situation que le/la candidat(e) fasse appel à son sens physique de manière à simplifier les équations du problème généralement non-intégrables.

Enfin, de manière générale, et dans de nombreux domaines, les considérations énergétiques ne sont pas pertinentes. La définition du niveau d'énergie d'un système stationnaire, les différences entre un système quantique et classique dont l'énergie est déterminée conduisent parfois à des considérations confuses. Dans les problèmes à une dimension ou à un degré de liberté, l'utilisation de l'intégrale première de l'énergie est toujours délaissée au profit d'un théorème général plus lourd à mettre en œuvre.

Les candidat(e)s ne doivent pas perdre de vue que l'interrogation reste un dialogue dont elles/ils sont partie prenante. Ce sont leurs initiatives qui nourrissent cet échange et contribuent à le rendre fructueux et enrichissant.