

## EPREUVE DE PHYSIQUE

Durée : 3 heures

### PRESENTATION DU SUJET

Le problème illustrait le fonctionnement d'un lambdamètre, double interféromètre de Michelson permettant de mesurer avec une excellente précision la longueur d'onde d'une source laser stabilisée. Ce dispositif est en fonctionnement à l'Université des Sciences de Dijon.

Le sujet, exclusivement d'optique ondulatoire, se décomposait en trois parties corrélées entre elles :

- étude des interférences (modèle scalaire de la lumière, conditions d'interférences entre deux sources ponctuelles, figures d'interférences obtenues),
- interféromètre de Michelson dans le cas d'anneaux d'égale inclinaison avec analyse de divers interférogrammes (source monochromatique idéale, source délivrant deux ondes de pulsations voisines, source à profil rectangulaire),
- mise en œuvre du lambdamètre.

### COMMENTAIRE GENERAL DE L'EPREUVE

La particularité de l'épreuve était qu'elle devait être abordée sans l'usage de la calculatrice. Elle reprenait de façon progressive l'intégralité du cours d'optique ondulatoire relatif aux interférences pour aboutir au principe simplifié de fonctionnement d'un instrument de laboratoire : le lambdamètre.

L'épreuve, de difficulté graduée, évaluait la bonne assimilation du cours et la compréhension physique des phénomènes étudiés. Elle ne nécessitait pas une haute technicité calculatoire et privilégiait une approche expérimentale des interférences. Le principe du lambdamètre en fin d'épreuve permettait d'évaluer l'ingéniosité du candidat, son niveau d'acuité de raisonnement face à une problématique originale mais simple, son sens pratique voire critique quant à la technique utilisée et à la précision des résultats obtenus.

Les réponses à un nombre significatif de questions étaient implicitement contenues dans les paragraphes introductifs ou les textes explicatifs. Une lecture attentive et analytique du sujet était nécessaire et attendue.

Le niveau de difficulté très variable des questions et le caractère indépendant de certains paragraphes a ouvert pour bon nombre de candidats une "chasse aux points" alors qu'ils n'ont ni appréhendé, ni compris la progression du sujet et les arguments apportés question après question pour comprendre le mode de fonctionnement du lambdamètre et le choix de son principe. Tous les correcteurs sont unanimes à dire qu'il serait plus profitable pour les candidats, en termes de points accumulés, de rédiger certaines parties dans leur globalité plutôt que de papillonner d'une question à une autre. En ce sens, des points supplémentaires ont été accordés comme autant de bonus pour les candidats qui ont fait l'effort d'accomplir une telle démarche.

L'épreuve était sans conteste longue (du point de vue de la lecture comme de la rédaction des réponses) mais elle présentait l'avantage d'être sélective et classante. Elle permettait au candidat de s'exprimer tant au niveau de sa connaissance du cours que de sa maîtrise expérimentale développée dans le cadre des travaux pratiques. L'analyse critique, le sens pratique et la créativité du futur ingénieur pouvaient être aussi mis en valeur en dernière partie d'épreuve. Dans la mesure de ses aptitudes, le candidat était ainsi susceptible de s'exprimer largement dans le temps qui lui était imparti.

Dans l'élaboration du barème, le jury s'est attaché à valoriser :

- les raisonnements effectués avec rigueur et cohérence ;
- les réponses claires, soigneusement justifiées et rédigées ;
- la compréhension qualitative des phénomènes physiques mis en jeu ;
- l'analyse critique des résultats quantitatifs.

Il a en revanche sanctionné :

- l'utilisation indistincte de formules non justifiées ;
- les questions de cours non assimilées ;
- les résultats inhomogènes ou faux ;
- les réponses données sans justification ni commentaires ;
- les applications numériques délivrées sans unité ou avec un nombre abusif de chiffres significatifs ;
- l'écriture illisible et l'absence de rédaction.

## **ANALYSE PAR PARTIE**

### **1<sup>ère</sup> Partie : Interférences**

Cette première partie placée en début d'épreuve et calquée sur le cours été la plus traitée par les candidats et la mieux réussie. Elle reprenait de façon méthodique la progression du programme d'optique ondulatoire.

Dans le modèle scalaire de la lumière, le lien direct entre le chemin optique et la durée du parcourt de la lumière dans le milieu a été mal perçu. La notion de surface d'onde reste floue alors que l'orthogonalité du rayon lumineux aux surfaces d'onde est bien souvent écrite comme la définition de celles-ci. Le théorème de Malus est du reste mal connu. Le déphasage lié à la propagation est presque toujours fourni sans démonstration. Les ordres de grandeur demandés pour la fréquence d'une onde dans le visible furent très variés.

L'éclairement résultant de la superposition de deux ondes issues de deux sources ponctuelles a été diversement établi. La notation complexe est parfois mal maîtrisée, des étapes de raisonnement escamotées et la moyenne temporelle du terme d'interférences abandonnée en cours de raisonnement. Ces approximations réduisent à néant la suite de l'analyse et le développement simple de la notion de cohérence. Si l'évolution de l'éclairement en fonction du déphasage a été convenablement abordée, il faut insister encore une fois sur le soin et la précision qu'il faut apporter lors de l'établissement de son tracé. Les termes d'éclairement uniforme et de battements sont peu couramment employés.

Les figures d'interférences obtenues ont été maladroitement décrites et justifiées. Peu s'attachent, par exemple, à décrire l'orientation des franges. Il y a beaucoup d'erreur de calcul et les connaissances en trigonométrie restent insuffisantes et vont jusqu'à la confusion entre un sinus et un cosinus. La plupart des formules trigonométriques étaient fournies dans l'énoncé mais il manquait dans les données le développement limité du cosinus. Ce fut fatal à bon nombre de candidats qui ne purent justifier et analyser les anneaux d'interférences obtenus. La physique ne peut pas s'affranchir d'une technicité calculatoire minimale, il faut absolument progresser sur ce plan.

## 2<sup>ème</sup> Partie : Interféromètre de Michelson

Cette partie débutait sur de simples considérations géométriques de collège et, néanmoins, la première question a été très rarement correctement traitée. La corrélation de cette partie avec le paragraphe précédent n'a que peu été prise en compte par les candidats. Les confusions trigonométriques et le mauvais usage d'approximations classiques sont encore à regretter. Les erreurs de calculs peuvent pourtant être évitées par des vérifications élémentaires d'homogénéité et les résultats théoriques obtenus avec l'interféromètre de Michelson doivent être en accord avec les observations effectuées dans le cadre des travaux pratiques. Ces observations furent souvent bien décrites mais rarement justifiées. La localisation des interférences en a dépassé beaucoup.

Peu de candidats ont réussi à calculer l'indice de réfraction du verre. Des valeurs inférieures à 1 voire supérieures à 20 ne semble pas leur poser de problème. Il est important, à l'issue d'un calcul, de vérifier le réalisme du résultat obtenu, d'en analyser la pertinence.

La relation de proportionnalité entre la vitesse du miroir et la fréquence des scintillements a été rarement évaluée.

L'analyse des interférogrammes était riche en calculs. Ces derniers ne doivent pas masquer la description du phénomène étudié. Ces calculs furent presque toujours développés de façon sèche, sans explication ni articulation et finalement rarement menés à leurs termes. Les valeurs absolues des contrastes ont été souvent omises et seuls quelques tracés corrects des éclairements ont été aboutis.

La suite était une mise en évidence des notions élémentaires relatives à la cohérence temporelle. L'énoncé introductif se voulait suffisamment détaillé et explicatif pour aider le candidat à répondre façon correcte et succincte à cette question délicate. Finalement beaucoup y parvinrent même si leurs explications étaient souvent confuses.

## 3<sup>ème</sup> Partie : Double interféromètre de Michelson – lambdamètre

Cette partie, sans doute la plus facile, a souffert de sa position en fin d'épreuve. Seules les premières questions, jusqu'à l'égalité des différences de marche, ont été traitées et elles le furent convenablement.

## ANALYSE DES RESULTATS

Le barème a été bien adapté à la diversité et au grand nombre des questions en favorisant les parties proches du cours. Celui-ci fut évalué de façon objective, les calculatrices étant interdites lors de cette épreuve. Le bilan final est décevant, il montre une nouvelle fois la méconnaissance la plus élémentaire du cours pour bon nombre de candidats.

Le niveau général des connaissances a été jugé insuffisant par les correcteurs. Les réponses fournies sont souvent très approximatives, non justifiées, voire hasardeuses, dénotant des connaissances très superficielles. Les ordres de grandeurs sont trop méconnus des candidats et les pires énorfités peuvent être ainsi écrites en matière de physique.

La rédaction est devenue quasi absente et cette situation s'aggrave au fil des ans. Une nouvelle stratégie s'est installée, elle consiste à ne plus rédiger mais plutôt à compiler les résultats littéraux et éventuellement numériques sans analyses ni commentaires succincts. La réponse par « oui » ou par « non » à la question posée est maintenant courante mais elle reste inacceptable, un résultat donné sans justification ne pouvant pas être pris en compte.

Les candidats maîtrisent pour certains assez mal le vocabulaire scientifique, il y a trop de confusion entre les termes de la physique en général (isotrope, uniforme, homogène, synchrones, ...) et de l'optique en particulier (diffraction, dispersion, réfraction ...).

Traiter un problème de physique, c'est exposer la solution de façon claire et concise. Il reste trop difficile pour beaucoup de candidats de rédiger leurs réponses de façon simple et compréhensible. La rédaction se réduit trop souvent à une succession d'équations sans explication ni articulation. Une définition s'énonce avec une phrase et non avec un mot ou une formule.

Après le traitement informatique d'usage, la moyenne s'élève à 8,41 sur 20, avec un écart-type de 4,10. Les correcteurs, dans leur globalité, constatent que de nombreux candidats voient leur note finale constituée d'un grappillage de points sans vraiment avoir compris l'enchaînement des questions. Rappelons que des points de bonus sont accordés par les correcteurs aux candidats qui ont été critiques quant à leurs résultats et qui ont conclu une partie entière de l'épreuve sans faute au fil d'une réelle composition.

L'épreuve était accessible bien que longue et toutes les questions, prises séparément, ont été correctement résolues par un certain nombre de candidats. Les meilleurs d'entre eux sont parvenus à résoudre 60 % du problème, ils furent plus nombreux que les années précédentes.

## **CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS**

La préparation du concours est fondée sur un apprentissage régulier et approfondi du cours, cet apprentissage s'effectue par une approche équilibrée entre la théorie et l'expérience : la démarche expérimentale effectuée dans le cadre des travaux pratiques est incontournable et riche d'informations pour la compréhension des phénomènes physiques. Il apparaît inadmissible que les questions proches du cours sur lesquelles s'appuie le raisonnement ne soient pas ou mal traitées par les candidats.

La préparation à la formation d'ingénieurs privilégie une démarche scientifique empreinte de rigueur, elle s'accorde mal de l'apprentissage réducteur d'une collection de formules plus ou moins bien corrélées. L'usage de la calculatrice sera à l'avenir prohibé pour cette épreuve.

Rappelons que tout résultat non justifié ne permet pas l'attribution des points.

La résolution du problème nécessite un minimum de technicité calculatoire que le candidat se doit de maîtriser même si son utilisation reste réduite dans le cadre du concours. Pour autant, le candidat ne doit pas se contenter de répondre mathématiquement aux questions posées, il doit argumenter, rédiger sa réponse de manière précise, dégager le sens physique de ses

résultats et effectuer l'analyse critique du phénomène étudié. Le caractère pertinent des solutions se doit d'être souligné. Le choix des sujets abordés évalue la curiosité, le sens de l'observation, le réalisme du candidat et son adaptabilité face au monde naturel et technique en perpétuelle évolution.

L'ultime recommandation et sans doute la première au jour de l'épreuve est une lecture préalable attentive, sans précipitation, de l'énoncé : les réponses à bon nombre de questions ou les orientations relatives à la bonne marche à suivre pour la résolution du problème sont souvent glissées par le concepteur dans des phrases introductives ou de liaison entre les paragraphes successifs. Le candidat trouvera dans la formulation des questions et bien souvent dans les données numériques les clés de son raisonnement.