

Physique 1

Présentation du sujet

Dans cette épreuve on étudie, dans trois parties indépendantes, divers aspects des transmissions de communications par fibre optique sur des câbles intercontinentaux. Une courte première partie comportant plusieurs questions d'analyse de documentaire (graphique et texte) et des calculs d'ordres de grandeur permet de relever les enjeux de l'étude, en précisant notamment les nécessités d'utiliser du multiplexage et d'amplifier les signaux. Une deuxième partie est alors consacrée à l'étude poussée des sections d'amplification laser par dopage, bilan d'énergie, bilan d'ions, mises en équations et résolutions afin d'évaluer les effets du pompage sur le signal. Ces capacités sont apparues à l'occasion de la récente rénovation des programmes. Une dernière partie conséquente propose l'étude du démultiplexage par filtrage grâce à des lames biréfringentes et des polariseurs.

Analyse globale des résultats

Le sujet est de longueur raisonnable et suffisamment progressif : de nombreux candidats ont pu aborder la totalité des questions et tirer profit de l'indépendance des trois parties, abordées à de rares exceptions près dans l'ordre du sujet.

Dans la continuité des années précédentes le jury a été particulièrement attentif à la validité scientifique des justifications données et à la qualité de la rédaction. Ainsi, les candidats armés d'une bonne connaissance du cours et des acquis de travaux pratiques, d'un bon sens physique et d'une bonne maîtrise des méthodes habituelles (mener un bilan, un calcul complexe, manier les chiffres significatifs...), ont pu valoriser leurs qualités, sous réserve d'une rédaction satisfaisante.

La présentation des copies est globalement satisfaisante, même si un nombre minime de copies s'est vu sanctionné en raison d'une présentation grandement déficiente ou de trop nombreuses fautes d'orthographe.

De nombreuses et diverses compétences sont évaluées par ce sujet. Les questions de cours ont été largement abordées et de nombreux bilans étaient attendus. Les méthodes sont classiques et souvent bien réalisées par les candidats, mais un effort de rigueur s'impose dans ces démonstrations : description du système, contributions au bilan explicitées, gestion des signes motivée...

Les questions d'analyse de document ont cette année été beaucoup mieux abordées. Il est probable que ce soit dû à leur position dans le sujet, et au fait qu'elles aient été abordables. Il faut noter néanmoins qu'il n'existe aucune corrélation entre la note à ces questions et la note globale d'un candidat. Ainsi de bons candidats peuvent passer totalement à côté par manque total d'implication sérieuse dans ce type d'exercice, mais aussi de moins bons candidats tirer leur épingle du jeu grâce à cet exercice. Le jury s'est enjoué de constater que les candidats citent enfin les documents sur lesquels ils appuient leurs raisonnements, les conseils du rapport précédent ont semble-t-il porté leurs fruits.

Cette année, deux questions un peu plus ouvertes que les autres portaient sur des compétences expérimentales. Elles ont été totalement sabordées par les candidats. Cela révèle à la fois que ce type de question n'est pas abordé sérieusement et que les questions expérimentales sont totalement délaissées, les candidats préférant les questions plus « rassurantes ». Le jury le déplore fortement et souhaite rappeler ici que ce qui est fait en travaux pratiques pendant l'année est utile et fait partie du programme !

La première partie, abordable, a été très bien réussie par les candidats, la rigueur apportée aux chiffres significatifs et la bonne compréhension des grandeurs permettant de les classer. L'analyse de document proposée a été abordée et assez bien réussie par une grande majorité de candidats : la réussite à l'ensemble de cette partie (moyenne du rapport des points obtenus sur cette partie sur le nombre total de points dans le barème) s'élève à 52%, les candidats du premier quartile la réussissant à 66%. Notons que 23% des points des candidats ont été obtenus dans cette courte partie qui représentait 13% des points du barème, cette partie a donc été profitable pour tous les candidats.

Les phénomènes étudiés en deuxième partie n'ont pas toujours été assimilés et leur exploitation, plus technique et calculatoire, a posé de nombreuses difficultés. Les candidats ont obtenus 38% de leurs points dans cette partie, qui représentait 37% du barème. La sous-partie **II.A** a toutefois été très correctement abordée et réussie (44% de réussite).

Enfin, 39% des points des candidats ont été obtenus dans la troisième partie, abordée par tous les candidats, et qui représentait 49% du barème, la moitié du sujet. Cette partie finale, plus délicate, reprenait un certain nombre de questions de cours, correctement traitées pour les équations de Maxwell, mais moins réussies sur la polarisation. La conclusion sur l'étude d'un dispositif particulier n'a été abordée que par les candidats les plus brillants.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

I Étude de la transmission par fibre optique

La réflexion autour des ordres de grandeur de distances et de puissances a été bien menée, la plupart des candidats a su identifier les grandeurs clés et poser un calcul pertinent.

I.A.1) Rappelons qu'un ordre de grandeur peut difficilement être donné à trois chiffres significatifs, ce que le jury a sanctionné.

I.B.1) Le vecteur de Poynting est bien connu (86% de bonnes réponses). Pour le reste, certes les notions de moyenne sur la surface sont un peu délicates, mais cela ne peut excuser un résultat non homogène. Au final, deux candidats sur trois ne donnent pas la relation correcte entre $\mathcal{P}(z)$ et $\Pi(z)$!

I.B.2) Un argument numérique n'a de sens que comparé à une valeur de référence adéquate. S'arrêter à noter qu'une perte de l'ordre de 200 dB est « grande » est hautement insuffisant. Le manque de recul de nombreux candidats est ensuite criant lorsqu'ils tentent de calculer 10^{-200} à la calculatrice pour conclure que c'est...nul et donc encore une fois que « c'est petit » !

II Amplification du signal par une fibre dopée à l'erbium

II.A.1) C'est un conseil général : citer le nom des relations et/ou théorèmes mobilisés est toujours valorisé, même si ce n'est pas demandé explicitement par l'énoncé.

II.A.2) Il est surprenant de noter que de nombreux candidats ont bien compris que la longueur d'onde d'un photon émis par émission spontanée est liée à la différence d'énergie entre deux niveaux (79% de réussite), mais qu'une part non négligeable d'entre eux n'a pas intégré que le phénomène inverse est lui aussi quantifié (50% de réussite), les erreurs les plus courantes étant que pour eux, E_γ doit être supérieur à ΔE .

II.A.4) L'équation différentielle est fournie, il convient donc de présenter un bilan explicite en justifiant soigneusement les différentes contributions et les choix de signes. Ainsi, ces bilans ont

bien souvent été totalement truandés, en manipulant quatre termes, à peine définis, pour faire en sorte de tomber sur la bonne équation (ainsi, pour beaucoup, le terme $\Pi(z) - \Pi(z + dz)$ correspond à un terme d'accumulation). Par exemple, trop peu mentionnent le régime permanent (8% des copies). Il faut noter que de manière générale, énoncer un bilan directement sur une grandeur intensive est *dangereux*. Notamment ici, le fait que les grandeurs soient moyennées sur les surfaces ne permet pas de faire un bilan sur un volume de section dS .

II.A.7) Ne pas hésiter à expliquer en toutes lettres avec quelques mots-clés (comme « puissance volumique » par exemple) le point de départ d'un raisonnement dimensionnel.

II.A.8) Le jury a récompensé entre autres les candidats qui justifient explicitement le passage d'une loi de probabilité à une population.

II.B.3b) Voici l'exemple typique de question où les candidats affirment la réponse (« voici les processus significatifs ») sans aucune justification, ce qui ne donne évidemment droit à aucun point.

II.B.3c) Comme l'équation à trouver était donnée, le jury a souhaité récompenser uniquement les candidats ayant eu une démarche exemplaire. Il est rassurant de noter que tous les candidats semblent comprendre ces relations. Il est beaucoup moins rassurant que très peu soient capables d'avoir un raisonnement irréprochable pour les établir : très peu de démonstrations satisfaisantes (8%).

II.B.4) Montrer qu'il faut dépasser un seuil ne signifie pas uniquement qu'il faut exprimer ce seuil.

II.B.4 à II.B.6a) Ces questions montrent une vraie rupture entre les candidats sur le niveau de technicité mathématique. La mise en équation, ainsi que le calcul des densités volumiques, ont été correctement effectués par de nombreux étudiants : les calculs sont en général fiables et les vérifications spontanées d'homogénéité assez nombreuses. Une tentative de truandage explicite, tentée par beaucoup de candidats, a résulté de l'hypothèse fondamentalement fautive $n_1 \approx n_0$ qui permettait en effet de tomber facilement sur une expression qui ressemble à ce qui était attendu.

II.B.5) Renormaliser complètement une équation différentielle peut grandement faciliter son intégration.

II.B.6b) Cette question demandant un peu d'autonomie et de recul a en fait été abordée par quasiment tous les candidats pensant que, comme la courbe était donnée, l'interprétation devait être facile (alors qu'elle est en fait assez subtile). La majorité des candidats alors se lance dans une description de la courbe (beaucoup passant par une analogie avec une « parabole »), faite de paraphrases inutiles, alors que le jury attend des justifications.

III Filtre optique accordable

III.A.1) Les équations de Maxwell sont bien connues (85%). Le jury déplore les lacunes mathématiques de notations : les flèches sont bien souvent optionnelles sur les vecteurs. Notons ici formellement que le jury attend une flèche sur l'opérateur rotationnel. Les candidats utiliseront les notations qui leur sied dans la suite de leurs études (avec notations d'Einstein pourquoi pas), mais à ce niveau d'étude, nous pouvons attendre des candidats qu'ils montrent formellement qu'ils maîtrisent la dimension des objets qu'ils manipulent. Quoi qu'il en soit, nous avons valorisé les candidats qui faisaient cet effort (55% des candidats).

III.A.2) Très bien réussie dans l'ensemble, malgré des confusions entre vitesse de la lumière dans le vide et dans le milieu pour la définition de n . Il est aussi surprenant de constater qu'un nombre non négligeable de candidats qui réussissent cette question n'obtiennent pas le résultat final $n = \sqrt{\epsilon_r}$ en oubliant assez bêtement de simplifier le produit $c_{\text{vide}} \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$.

III.A.3) Beaucoup de confusions graves entre onde plane et onde transverse. Beaucoup de candidats répondent en précisant la signification générale du concept d'onde plane, sa définition, sans chercher à montrer que c'est bien le cas ici.

III.B.1) Beaucoup de confusions entre polarisation aléatoire et elliptique.

III.B.2) Beaucoup de candidats connaissent leur cours sur ce sujet. Mais les sens de rotation du champ ont le plus souvent été affirmés semble-t-il au hasard. Un nombre non négligeable de candidats fait quand même l'effort de justifier (20%).

III.B.4) La majorité des candidats n'est pas capable, dans l'esprit du sujet, de démontrer en utilisant les résultats précédents que $\delta = (n_x - n_y)e$, principalement à cause du fait que la question précédente a été très mal réussie. Soit ils l'affirment, soit ils le redémontrent par un petit raisonnement de différence de marche, qui semble toutefois assez bien maîtrisé dans l'ensemble.

III.B.5) Pour la majorité des candidats, la précision que la polarisation de départ, certes rectiligne, est à 45° ne semble pas important, ce que nous avons sanctionné, car c'est indispensable aux raisonnements qui suivent et est un résultat de cours sur l'utilisation des lames quart d'onde. De même que précédemment, les résultats de cette question sont en général connus, mais le lien avec les questions précédentes est le plus souvent absent.

III.C – Cette partie attendait explicitement des explications claires, ce que nous n'avons que trop rarement eu. Par exemple, le terme « polariser la lumière » sans plus de détails ne veut rien dire en soi. Les candidats ne font pas suffisamment d'efforts louables sur ce type de questions. La question **III.C.1)** portait notamment en partie sur un protocole du cours (construire une lumière polarisée circulairement, ce que 14% des candidats savent), les candidats sachant répéter avec une clarté suffisante ledit protocole sont rares : 6%. Le principe du filtrage demandé dans la deuxième question a ensuite été compris par uniquement 2% des candidats et seulement les deux tiers d'entre eux accompagnent cela d'une bonne rédaction.

III.D.2) La formulation ouverte de la question (« Que dire[...] ? ») ne signifie pas qu'il faut répondre en une phrase. C'est une formulation ouverte devant amener le candidat à lister successivement les arguments aussi bien quantitatifs que qualitatifs.

III.D.3) Très peu ont été les candidats qui, malgré des calculs corrects, ont repéré que les valeurs recherchées étaient dans le tableau de la figure 7, leur permettant d'obtenir une meilleure précision dans le résultat donné.

III.E et F – Très peu abordées, ou alors de manière beaucoup trop superficielle.

Conseils

Ce sujet, tout à fait abordable pour qui connaissait bien son cours, s'appuie sur des questions classiques, des questions expérimentales et des analyses de documents ; possédant une bonne progressivité il a permis de très bien classer les candidats.

Les conseils donnés dans les rapports des années précédentes sont bien sûr encore valables. Nous préférons cette année insister sur quelques comportements attendus des candidats.

Tout d'abord, dans le but de guider les candidats, un certain nombre d'équations intermédiaires sont souvent fournies dans l'énoncé, et il est demandé de les démontrer. Malgré les mises en garde répétées chaque année, nous rappelons aux candidats que toute tentative malhonnête ou incomplète pour arriver au résultat attendu est fortement pénalisée. Aucun résultat, même juste, donné au doigt mouillé, ne peut rapporter de points. Ce sont les justifications sérieuses, valides, étayées par des principes physiques qui le permettent. Ce sont bien les qualités de la rédaction

et de l'argumentation qui sont évaluées et non le résultat. Il est parfois navrant d'observer les (nombreux) candidats qui perdent des pages de pseudo-calculs, sans récupérer un seul point, pour tenter d'arriver approximativement à ces équations sans jamais s'appuyer clairement sur des lois de la physique.

Une rédaction synthétique des réponses aux questions, en particulier pour les questions qualitatives, est attendue. Séquencer en points successifs basés sur la logique des arguments développés s'avère beaucoup plus efficace pour progresser scientifiquement en profondeur dans une question, pour proposer des ouvertures, des limites mais aussi pour anticiper un point délicat qui sera abordé quelques questions après dans le sujet. C'est ce qui permet en outre de progresser dans les questions ouvertes.

Le jury valorise toujours autant les commentaires pertinents, même non demandés par l'énoncé, ainsi que les rédactions de qualité, des démonstrations et justifications complètes. Par exemple, pour une analyse dimensionnelle, le jury préfère valoriser les candidats qui font l'effort de rappeler avec des mots les noms des quantités qu'ils manipulent, plutôt que les candidats qui enchaînent trois lignes de calculs abscons sans explications.

Le barème valorise systématiquement le soin accordé au nombre de chiffres significatifs des résultats obtenus par lecture graphique, dans un tableau de données, ou encore à l'issue d'un calcul. La perte de temps et de points est colossale pour les candidats qui n'ont toujours pas compris ce principe.

Lorsque l'énoncé invite le candidat à interpréter un résultat, le jury attend du candidat des références aux lois de la physique. Se limiter à une description, ce qui est accessible à tout le monde, se limiter à des paraphrases, est hautement insuffisant d'un point de vue scientifique. En bref : interpréter n'est pas décrire.

Enfin, il faut noter que les candidats qui font l'effort d'entrer dans la logique du sujet, quitte à passer du temps sur les questions besogneuses, sont forcément récompensés. Ceux qui survolent les questions plafonnent sans exception.

Conclusion

Le jury a été enthousiasmé à la lecture de quelques copies exceptionnelles qui sont l'œuvre de candidats très bien préparés, connaissant très bien leurs cours, sachant raisonner en physiciens, capables d'une véritable analyse scientifique, livrant des commentaires d'une pertinence remarquable, s'exprimant avec concision, clarté et efficacité. Il est donc d'autant plus désolé de compter autant de copies ne présentant quasiment aucune de ces qualités, pas même la plus fondamentale pour aborder une épreuve de concours : la maîtrise du cours.

Nous espérons que ces quelques conseils seront profitables aux futurs candidats.