

Physique 1

Présentation du sujet

L'épreuve porte sur une étude des mécanismes physiques intervenant dans l'audition humaine, et plus particulièrement sur le comportement acoustique des oreilles externe et moyenne, ainsi que sur l'influx nerveux dans l'oreille interne. Les différentes parties étaient dans une large mesure indépendantes les unes des autres, à l'exception notable des applications numériques qu'il convenait de soigner tout particulièrement car parfois réutilisées au cours de l'épreuve.

Cette épreuve a ceci de remarquable que, suite aux changements de programmes, elle s'appuie de manière significative sur des documents afin de répondre à des questions relativement ouvertes. Les questions proches du cours et les questions plus traditionnelles sont cependant toujours bien présentes.

La première partie, très proche du cours, sauf pour la sous-partie I.D, établit les principaux résultats sur la propagation des ondes sonores dans le cadre de l'approximation acoustique (équation de propagation, aspect énergétique, notion d'impédance, ondes stationnaires dans un tuyau).

La seconde partie (oreille moyenne) étudie le rôle de la chaîne d'osselets dans la transmission de l'onde sonore à l'oreille interne. La compréhension de ce rôle s'appuie sur l'étude classique des coefficients de transmission et de réflexion, en amplitude et en énergie, d'une onde sonore à l'interface entre deux fluides.

La troisième partie (oreille interne) assez peu guidée étudie le modèle dit du résonateur de Helmholtz, dans le but de proposer une interprétation simple de la sélectivité fréquentielle de la membrane basilaire de la cochlée.

Enfin la dernière partie propose un modèle électrique de propagation de l'influx nerveux. C'est l'occasion de tester les connaissances des candidats en électrocinétique en régime continu ou stationnaire, ainsi celles relatives à la propagation des ondes.

Analyse globale des résultats

59 % des points des candidats ont été obtenus dans la partie I qui représentait 43 % des points du barème, 14 % dans les parties II et III (22 % du barème) et 17 % dans la partie IV (35 % du barème).

Le sujet est de longueur raisonnable : quelques candidats ont abordé la totalité des questions. Notons cependant que la troisième partie, nettement plus difficile que les trois autres car très peu guidée, a été quasiment systématiquement sautée. De même la sous partie I-D (questions semi-ouvertes dont la résolution s'appuyait sur des documents), qui a elle seule comptait pour plus de 10 % du barème a souvent été évitée, sans doute par peur de la nouveauté. La proportion de ce type d'évaluation étant sans doute appelée à grandir, une stratégie d'évitement sera de plus en plus pénalisante. La difficulté des parties I, II et IV est tout à fait raisonnable et les candidats armés d'une bonne connaissance du cours, d'une bonne maîtrise des méthodes habituelles, ont pu valoriser leurs qualités, sous réserve d'une rédaction satisfaisante. Les parties sont généralement abordées linéairement et dans l'ordre du sujet.

Les sous-parties A, B et C de la partie I étaient très proches du cours, mais n'ont pas été pour autant aussi bien traitées que ce que l'on pouvait attendre. Les candidats en difficulté sur ce début

d'épreuve ont bien sûr connu peu de succès dans les autres parties. Le statut particulier de la sous-partie I.D fait qu'elle mérite un commentaire particulier : le jury attend une réelle réflexion scientifique, un regard critique sur les pistes de résolutions avancées et les solutions proposées, une volonté de contrôle de la cohérence du tout à l'aide des éléments fournis, une réelle qualité de communication pour expliquer les démarches ou les raisonnements. Parmi les candidats ayant abordé cette sous-partie, beaucoup trop peu remplissent ces attentes, et se contentent de paraphraser les documents, de fournir des valeurs sans explication. Ils ne commentent pas des valeurs numériques à l'évidence aberrantes. Ce type d'évaluation se montre donc très sélectif et nécessite un entraînement adapté.

La partie II, elle aussi très proche du cours, a souvent été abordée, mais aurait dû être beaucoup mieux traitée. La partie III comme signalé n'a quasiment jamais été abordée. Enfin, la partie IV, qui se rapprochait d'un problème classique a été souvent entamée mais rarement traitée en entier, faute de temps.

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. Dans la continuité des années précédentes le jury a été particulièrement attentif aux justifications données et à la qualité de la rédaction.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Partie I Ondes acoustiques et oreille externe

I.A.1) Il s'agissait de préciser le cadre de l'approximation acoustique, i.e. une approximation linéaire des équations, en précisant les infiniment petits concernés (20 % de bonnes réponses). 50 % de bonnes réponses pour un ordre de grandeur des ondes acoustiques.

I.A.2) Question de cours sur l'établissement de l'équation de la propagation des ondes sonores dans un fluide plutôt bien traitée dans l'ensemble. Pour la célérité des ondes, une évocation à minima de l'équation de d'Alembert était attendue.

I.A.3) Seul un candidat sur trois arrive à l'expression classique de la célérité en fonction de la température dans un gaz parfait, faute d'avoir vraiment compris comment prendre en compte l'hypothèse d'évolution isentropique du fluide. Quelques applications numériques miraculeusement justes à partir d'expressions fausses sont à signaler. Relever que la valeur trouvée était manifestement fautive eu égard à la valeur connue classiquement aurait été plus honnête et plus productif.

I.A.4) Seulement 40 % de bonnes réponses pour cette question qui consistait évidemment à comparer l'influence des deux paramètres intervenant dans l'expression de la célérité : masse volumique et coefficient de compressibilité isentropique. Le jury déplore que trop de candidats proposent, sans regard critique, que l'eau étant plus dense que l'air, les molécules sont plus proches et donc les ondes se propagent « mieux ». On est loin du raisonnement scientifique.

I.A.5) Peu de candidats se sont interrogés sur le mécanisme physique permettant la localisation de la source. Il s'agit d'un problème éminemment complexe, mais une hypothèse sur la différence des temps d'arrivée d'une onde sonore aux deux oreilles était déjà un élément de réponse satisfaisant (10 % de bonnes réponses). Certains candidats bien inspirés sont allés jusqu'à proposer des applications numériques ce qui a été valorisé par le jury.

I.A.6) De nombreuses interprétations de l'équation proposée étaient possibles. Elles ont toutes été valorisées sous couvert que les explications et le vocabulaire utilisé étaient corrects. Signalons enfin

que quelques candidats ont perdu un temps précieux à établir l'expression proposée, ce qui n'était pas demandé.

I.B.1) Question un peu délicate si on veut l'établir en régime quelconque. Les candidats qui ont proposé une approche uniquement en régime sinusoïdal seul se sont vus attribué une partie des points de la question. L'expression est souvent connue (80 % de bonne réponse), ce qui a permis à un grand nombre de candidats de tenter les applications numériques. Malheureusement celles-ci ont posé de grands problèmes (30 % de bonnes réponses), en particulier dans les puissances de 10, les chiffres significatifs et surtout dans les unités (plusieurs fois l'ohm a même été proposé).

I.B.2) Résultat classique du cours, mais seulement 45 % de bonnes réponses. Pour accéder à la valeur moyenne, il fallait soit passer en notations réelles, soit utiliser correctement la notation complexe. Beaucoup en faisant ce dernier choix, mais en se trompant sur la relation utilisée obtiennent un résultat faux, ou miraculeusement juste.

I.B.3) Forte incompréhension de ce qui était attendu dans cette question : il s'agissait bien de calculer l'amplitude du déplacement d'une tranche de fluide, i.e. une longueur (5 % de bonnes réponses). Les réponses aberrantes (par exemple plusieurs mètres), sont a minima à signaler... Trop de candidats calculent des amplitudes de la surpression !

I.C.1) Parfois de l'incompréhension sur le sens de cette question : certains candidats répondent à la question « dans quel but » (et il n'est pas vraiment du domaine de la physique de répondre à cette interrogation) plutôt qu'à la question « pourquoi peut-on dire que... ».

I.C.2) Question classique sur les tuyaux ouverts-fermés. Le jury attendait cependant bien sûr quelques justifications montrant que cette configuration répondait aux attentes de l'énoncé.

I.C.3) Le jury attendait un lien entre résonance et mode propre, ainsi qu'une démonstration élémentaire de la relation donnant pour le tuyau étudié les fréquences de résonances. Cette dernière relation étant souvent fautive l'application numérique ne pouvait être valorisée. Parmi ceux donnant une bonne réponse (seulement 4 %) certains candidats ont apporté un commentaire très pertinent en relation avec le minimum du seuil de perception auditive que l'on pouvait lire sur le document 4. Ceci a bien sûr été valorisé et est fortement encouragé par le jury.

I.D.1) Il s'agissait ici de compléter à partir d'informations données dans les divers documents un tableau donnant les fréquences et les longueurs du tube du trombone pour diverses notes. Le tableau était pré-rempli, avec plus de valeurs que nécessaire, dans un double but :

- permettre de calculer certaines caractéristiques du trombone, pour pouvoir calculer d'autres grandeurs ;
- permettre au candidat de vérifier si son modèle est cohérent.

Beaucoup trop de candidats se contentent du premier point, avec des explications parfois peu claires sur leurs démarches, voir carrément absentes. Le jury n'attendait pas juste un algorithme déconnecté de toute réalité physique pour remplir le tableau. Ainsi, des modes de calculs erronés des fréquences (s'appuyant sur des additions de fréquences plutôt que sur des rapports, comme indiqué dans le texte), s'ils étaient correctement décrits, ont, conformément aux consignes de la question, été partiellement valorisés.

Concernant le deuxième point, le jury a valorisé toute tentative même légère de validation par le candidat de ses résultats par confrontation aux données des documents.

I.D.2) Cette question était une deuxième opportunité donnée au candidat de s'interroger sur les conditions aux limites à utiliser dans le modèle du trombone. En effet, il était possible de remplir le tableau de la question précédente sans s'être posé la question ! Cela n'a malheureusement concerné

que moins de 3 % des candidats ! Ce questionnaire permettait également de découvrir que le mode utilisé pour les notes de base du trombone n'était pas le fondamental, mais le premier harmonique ($n = 2$). Le jury regrette cette absence de questionnaire, de recherche de compréhension, qui semble pourtant légitime.

I.D.3) Il fallait impérativement cette fois-ci utiliser des rapports de fréquences, et traduire ces rapports (octave, quinte) donnés par l'énoncé dans le bon sens pour répondre correctement à la question.

I.D.4) Nombreux sont les candidats qui ont trouvé des éléments dans les documents pour justifier la nécessité d'une protection en donnant précisément et explicitement les références correspondantes, ce qui était attendu. Certains ont eu cependant en plus le recul suffisant pour se questionner sur la pertinence de la situation décrite par les documents et la position du tromboniste par rapport à son instrument, ce qui a été valorisé. En revanche le jury a constaté avec regret que beaucoup ont lu de manière erronée les courbes du document 2, en affirmant que les protections de type D étaient les plus efficaces... Par ailleurs peu de candidats ont compris la différence de situation en jeu seul ou en orchestre (nécessité d'une protection plus uniforme sur l'ensemble du spectre dans ce dernier cas).

Partie II Le rôle de l'oreille moyenne

II.A.1) Il s'agissait d'énoncer et de justifier les relations de continuité de la surpression totale et de la vitesse de part et d'autre de la membrane (15 % de bonnes réponses).

II.A.2) Question de cours très classique traitée correctement par 40 % des candidats. Les erreurs les plus communes sont le fait d'avoir travaillé avec les coefficients relatifs à la vitesse, une mauvaise prise en compte du sens de propagation de l'onde réfléchie pour l'utilisation de l'impédance. Notons que certains candidats heureusement assez rares, constatant une erreur de signe dans le résultat final, n'hésitent pas à écrire que la surpression ou la vitesse totale du côté incident est la différence des surpressions ou des vitesses, ce qui est du plus mauvais effet sur le correcteur.

II.A.3) Question de cours classique (50 % de bonnes réponses).

II.A.4) Les applications numériques sont souvent fausses à cause des valeurs erronées des impédances calculées dans la première partie.

II.A.5) Vu la faiblesse du coefficient de transmission, on ne pouvait à ce moment là que supposer que la chaîne d'osselets devait permettre de pallier ce défaut. Certains candidats en revanche, même avec un coefficient de transmission juste concluent que la chaîne d'osselets sert à protéger l'oreille interne !

II.B.1) Beaucoup de candidats ayant abordé la question ont une intuition « physique » suffisante pour proposer un résultat juste, mais ceci ne donnait lieu qu'à une petite part des points. Il fallait en effet appliquer des principes et des théorèmes physiques proprement à un système parfaitement défini, sous certaines hypothèses à formuler pour obtenir la totalité des points.

II.B.2) Question beaucoup plus subtile qu'il n'y paraît car il fallait comparer ce qui était comparable, i.e. la transmission entre les deux fluides, soit directement soit avec la chaîne d'osselets. Ce qui fait que moins de 1 % des candidats a traité la question correctement.

Partie III L'oreille interne

III.A – Question très difficile car demandant beaucoup d'initiative de la part des candidats, ce qui explique qu'elle fut aussi peu abordée, et dans ce cas avec aussi peu de succès.

III.B – Question d'interprétation relativement délicate. Le jury a accepté de nombreuses réponses raisonnables dès lors qu'elles étaient clairement formulées.

III.C – Question d'interprétation également, mais nettement plus facile que la précédente.

Partie IV L'influx nerveux

IV.A.1) Question sans difficulté, traitée correctement par près de 50 % des candidats. L'unité et les chiffres significatifs de l'application numérique ont cependant parfois posé problème.

IV.A.2) Question très mal traitée (5 % de réponses justes). On attendait que la valeur rapport e/d permette d'utiliser un modèle plan pour calculer c_m et g_m . Au lieu de cela le jury est tombé très fréquemment sur des aberrations telles que $c_m \ll g_m$.

IV.A.3) L'identification des grandeurs pertinentes pour mener les calculs de c_m et g_m s'est révélée beaucoup plus difficile que ce que l'on pouvait imaginer, d'où un très faible taux de réussite à cette question.

IV.B.1) Petite imprécision de l'énoncé qui aurait dû préciser régime stationnaire plutôt que permanent, ce qui n'a pas gêné les candidats pour la suite de l'étude. Il fallait avoir au moins évoqué le comportement asymptotique d'un condensateur en basse fréquence puis le remplacer par un interrupteur ouvert dans le circuit.

IV.B.2) Les écritures des lois de Kirchhoff ont donné lieu à de nombreuses fautes de signes. Erreurs d'homogénéité aussi pour les candidats qui ont traité $g_m dx$ comme une résistance. Des erreurs aussi dans l'identification d'une grandeur homogène à une longueur à partir d'une équation différentielle pourtant juste. Finalement près d'un candidat sur trois a traité cette question correctement.

IV.B.3) Résolution mathématique simple, mais il fallait cependant formuler des hypothèses supplémentaires pour disposer de toutes les conditions aux limites nécessaires.

IV.B.4) Il fallait bien sûr décrire correctement la méthode utilisée pour accéder à l et rester raisonnable dans le choix du nombre de chiffres significatifs pour une méthode graphique. Peu de candidats ont su exploiter le fait que les conductances étaient associées en série, d'où un taux de réussite assez faible.

IV.C.1) Question sans difficulté pour les candidats ayant réussi à faire l'étude en régime stationnaire (soit un candidat sur cinq).

IV.C.2) L'établissement de la condition était simple. En revanche, la détermination du domaine de fréquences correspondant a été rarement correcte car les applications numériques du début de la partie étaient fausses.

IV.C.3) Il s'agissait évidemment d'un phénomène de diffusion, et non de propagation ou de dispersion comme le jury l'a souvent rencontré (30 % de réponses justes).

IV.C.4) En général, la technique pour obtenir la relation de dispersion est connue et maîtrisée (40 % de bonnes réponses). Cependant, le passage aux vitesses de phase et groupe a souvent posé problème, en particulier parce que la relation de dispersion concernait des grandeurs complexes. Trop de candidats ont proposé des vitesses complexes ce qui n'avait aucun sens ici. Rappelons que la relation $v_f v_g = c^2$ n'a rien d'universel et ne s'appliquait pas ici.

IV.C.5) 10 % des candidats ont su identifier le rôle de la partie imaginaire du vecteur d'onde pour déterminer la longueur caractéristique demandée.

IV.D – Un point clé était de comprendre que c'était la vitesse de groupe qui intervenait dans la transmission de l'information. La dépendance de cette vitesse de groupe avec les constantes

électriques du milieu permettait de répondre partiellement à la question. On pouvait également étudier le rôle de la distance d'atténuation sur les deux types de signaux et imaginer une répartition ad hoc des nœuds de Ranvier, ce qui permettrait d'expliquer la sensation de la douleur avant celle de la chaleur.

Conclusion

Ce sujet s'appuyant sur des questions de cours, des questions classiques et de manière nouvelle sur l'utilisation de documents pour répondre à des questions assez ouvertes a permis de très bien classer les candidats.

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.

Le jury tient à souligner que même si certaines questions dites ouvertes offrent aux candidats une grande liberté de recherche et de réflexion, il n'en est pas de même pour le reste des questions plus traditionnelles. Il est très important que les candidats ne « tentent » pas des résolutions pour ce qui devrait être une question de cours ou un exercice relativement classique, dans l'espoir de se voir récompensés pour cette tentative. Ce travers a été rencontré dans de trop nombreuses copies qui, feuille après feuille, alignent les réponses fausses, visiblement fausses, sans aucun regard critique, et qui se sont vues attribuées des notes très faibles sans rapport avec le volume produit.

Les conseils donnés dans les rapports des années précédentes sont bien sûr encore valables et plutôt que de les rappeler ici nous renvoyons les futurs candidats à leurs lectures, et préférons formuler ici quelques recommandations pour les nouveaux types d'évaluation, en particulier les questions ouvertes avec documents :

- toujours bien référencer un argument trouvé dans un document ;
- l'explication de la démarche de résolution doit être complètement explicitée. En effet, pour les exercices classiques il est rare d'avoir de très nombreuses approches possibles et très souvent la méthode est imposée par l'énoncé. Dès lors, quelques raccourcis dans le raisonnement sont tolérés. En revanche, pour les questions ouvertes, par définition, le correcteur n'a aucune idée à priori de la démarche que va suivre le candidat. Le travail d'explication est donc d'autant plus important. Le correcteur, s'il ne comprend pas la démarche, se trouve dans l'incapacité d'évaluer la pertinence de la réponse ;
- le jury a conscience que le candidat prend un risque en proposant un modèle et une méthode de résolution. Le candidat devrait aussi en avoir conscience et se donner tous les moyens pour contrôler la pertinence physique de sa réponse. Des points ont été attribués aux candidats partant dans une fausse piste mais qui ont fait la preuve de cette volonté de contrôle et qui ont mis en évidence leurs erreurs (par comparaison par exemple avec des données fournies ou qu'ils connaissaient).

Signalons au passage que certaines questions qui ne sont pas directement désignées comme ouvertes par l'énoncé relèvent partiellement de cette même typologie (ce sont souvent les questions d'interprétation commençant par « pourquoi »). Il convient de les traiter dans le même esprit.

On ne peut enfin par ailleurs que conseiller aux candidats de toujours formuler des commentaires pertinents, même quand ils ne sont pas demandés explicitement. Le jury valorise systématiquement ces initiatives.

Nous espérons que ces quelques conseils seront profitables aux futurs candidats à cette épreuve qui suit naturellement dans sa forme les évolutions des programmes de CPGE et de leurs modalités d'évaluation.