

## 2.2.B - PHYSIQUE I - Filière PC

### I) REMARQUES GENERALES

Le sujet proposé, qui porte sur l'étude des ondes acoustiques dans un liquide, comporte deux parties liées, puisque la seconde constitue une application possible des résultats obtenus au début et inclut un développement spécifique étudiant la validité des modèles envisagés.

Bien qu'il puisse paraître long, les corrélations entre les parties permettent un gain de temps sur certaines questions et, en ce sens, une lecture attentive du texte dans son intégralité permet de se rendre compte de ces liens. Le barème a largement tenu compte de la longueur du problème et de la corrélation entre les questions.

Par ailleurs, outre les points de réflexion, le problème contient des questions de cours dans lesquelles sont établies les équations de base utilisées dans tout le problème.

De façon générale, il est à préciser que, même à propos des questions de cours, toute réponse fournie sur la copie doit être justifiée et que le barème tient compte des raisonnements aussi bien que des résultats. Ce principe n'a pas été compris par un certain nombre de candidats qui se contentent d'écrire quelques affirmations ou formules, plus ou moins fondées, sans la moindre argumentation.

On doit malheureusement aussi rappeler qu'une copie doit être rédigée et qu'une suite de calculs sans raisonnement (il suffit parfois d'une phrase concise) ne peut constituer une réponse. Outre la correction du texte écrit, il semble naturel d'attendre des candidats que les caractères mathématiques soient lisibles et lorsque ceux-ci se ressemblent dans une écriture manuscrite, comme c'est le cas de la pression  $p$  et de la masse volumique  $\rho$ , un effort doit être fait pour les rendre discernables. Une écriture indéchiffrable pénalise inévitablement le candidat.

Les correcteurs ont parfois eu à déplorer un manque de rigueur concernant l'écriture mathématique. Il y a des conventions de notation concernant les scalaires et les vecteurs qui doivent être respectées. Cela est d'autant plus gênant que ces notations approximatives conduisent souvent à des confusions ou à des exposés dépourvus de sens.

Remarquons enfin que les applications numériques, qui occupent une place non négligeable dans le problème, doivent absolument être suivies d'une unité pour être valables.

### II) REMARQUES PARTICULIERES

#### **Question 1**

Il s'agit d'une question de cours qui n'aurait pas dû poser de problème mais qui a engendré un foisonnement de notations approximatives voire aléatoires.

#### **Question 2**

Le résultat étant présent dans le texte, les correcteurs attendaient de la part des candidats un recensement précis et justifié des termes du premier ordre et de ceux d'ordres supérieurs et non des manipulations obscures autour de l'expression fournie.

#### **Question 3**

L'établissement des équations de d'Alembert, dans ce cas monodimensionnel, ne nécessite pas l'utilisation des opérateurs vectoriels. La combinaison des équations scalaires aux dérivées partielles couplées en  $p$  et  $u$  suffit pour conclure rapidement.

Le coefficient de compressibilité isentropique a souvent été manipulé de façon maladroite et même parfois calculé à partir du modèle du gaz parfait alors que le fluide, siège de l'onde, est l'eau de mer !

Beaucoup d'erreurs à propos de l'application numérique conduisant à la valeur de la célérité sont dues à l'unité de la masse volumique. Ici, la valeur fournie pour  $\rho$  est en  $kg.m^{-3}$ , qui correspond, au système international !

Par ailleurs, l'ordre de grandeur de la célérité des ondes sonores dans un liquide de nature voisine à celle de l'eau constitue une donnée numérique qui doit être connue et à laquelle on doit se référer pour juger de la validité de l'ordre de grandeur obtenu.

#### Question 4

La superposition de deux ondes progressives monochromatiques de vecteurs d'onde opposés n'engendre pas toujours une onde stationnaire. Cela dépend du coefficient de réflexion.

Deux étapes sont nécessaires : traduire que l'onde est harmonique, ce qui impose à la fonction  $f$  d'être sinusoïdale, puis utiliser la définition de  $r$  pour déterminer  $g$ .

Bien que située au cœur du programme de la physique des ondes, cette question n'a hélas pas eu beaucoup de succès.

#### Question 5

Le problème demandait ici un bilan de masse appliqué à un volume compris entre  $x$  et  $x + dx$  mais de section macroscopique  $A$ . Il ne s'agit donc pas d'un bilan local et le résultat est bien entendu différent de l'équation locale de conservation de la masse de la question 2.

De plus, il est à noter que l'opérateur divergence ne s'applique qu'à des champs vectoriels qui sont par essence des grandeurs intensives. Ainsi  $\operatorname{div}(\rho \vec{u} A)$  n'a pas de sens.

#### Question 8

Il est curieux que beaucoup de candidats aient reconnu, à juste titre, la compressibilité comme facteur dominant dans le cas de l'acier et ne l'aient pas pris en compte dans les applications numériques !

#### Question 9

Bien que la relation  $p(t \pm x/c) = \mp \rho_0 c u(t \pm x/c)$  soit un résultat de cours, il n'en demeure pas moins que l'expression « montrer que » dans l'énoncé signifie que ce résultat doit être démontré. En ce sens, toute réponse du type « confer cours » est inacceptable.

#### Question 10

La continuité de la pression étant admise et la discontinuité de surface étant une hypothèse d'étude, il est évident que ces deux points engendrent une discontinuité de la force égale au produit  $Ap$ . Ainsi, l'énoncé attend une justification physique de cet état de fait et non un rappel des hypothèses.

#### Question 11

Les deux conditions aux limites, continuité de la pression et continuité du débit volumique, sont fournies par l'énoncé. Il revient alors au candidat de traduire précisément ces deux conditions. En ce sens, ces conditions sont valables en  $x = 0$  et toute formulation en une abscisse  $x \neq 0$  et fausse. Par ailleurs, la relation entre  $J$  et  $p$  pour les trois ondes doit être aussi justifiée, ce qui n'a pas toujours été le cas.

#### Question 12

Le problème étudie une onde acoustique se propageant dans un fluide, dans un état voisin du repos, qui occupe donc tout l'ensemble des deux tuyaux. Le coefficient de réflexion à la jonction concerne l'onde acoustique et non un écoulement quelconque qui cesserait d'exister si  $R \approx 1$  !

#### Question 13

Cette question a donné lieu à des formulations très fantaisistes. Les candidats ayant préalablement défini clairement les conditions limites (à savoir continuité de la pression dans chaque branchement et continuité du débit volumique global) ont mieux réussi à les expliciter correctement. Les raisonnements par tâtonnements ou bricolés à partir des données de la question 15, ont très souvent conduit à des résultats faux.

#### Question 14

Un simple effort de lecture permet de réaliser d'une part que la variation relative est différente de la variation absolue, d'autre part que l'on demande l'accroissement relatif du rayon et non celui de la section. Après cela il ne s'agit que d'une application numérique !

#### Question 15

Il semble évident que la section de l'aorte est supérieure à celle liliaque. Il s'agit ici de proposer des ordres de grandeurs de bon sens, tenant compte de la géométrie et de la ressemblance des matériaux

qui forment les parois artérielles. Tout autre élément étant fourni par l'énoncé, la simple écriture  $\frac{2A_{iliaque}}{A_{aorte}} \frac{c_{aorte}}{c_{iliaque}} = 1$  constitue une répétition du texte et non une réponse.

### Question 16

Bien que les valeurs des célérités et de  $r$  aient été fréquemment obtenues, la question portant sur les courbes a souffert de la mauvaise gestion de la question 4 qui établit l'amplitude de l'onde stationnaire et celle de l'onde progressive en fonction de  $r$  dans le milieu incident.

Dans cette question, comme dans les trois suivantes, la mise en évidence de l'influence de la surpression qui résulte de l'onde stationnaire se superposant à l'onde progressive, d'autant plus importante que  $|r|$  se rapproche de 1, et notamment des dommages qu'elle engendre au niveau de la paroi artérielle située à la jonction, a très peu été abordée.

### Question 17

Peu de copies ont obtenu des valeurs numériques correctes car apparemment tous les aspects géométriques décrits par le texte n'ont pas été pris en compte.

### Question 18

Même remarques que pour les questions 16 et 17.

### Question 19

Il s'agit du début de la deuxième partie qui va utiliser par la suite des résultats établis au début du problème.

Bien que la projection de l'équation d'Euler sur  $\bar{u}_z$  ait permis de manière assez commune d'obtenir une équation différentielle satisfaite par la pression, son utilisation pour établir l'expression de la surpression et de la distensibilité s'est avérée difficile et les raisonnements proposés très peu rigoureux. Beaucoup se sont contentés de partir des résultats fournis et de les combiner, parfois même de façon totalement incohérente, pour obtenir la réponse attendue.

### Question 20 et 21

Ces résultats découlent directement de ceux de la première partie qu'il suffisait de rappeler et de mettre en forme dans le nouveau contexte.

### Question 22

Cette question a été très peu traitée ; cependant son résultat pouvait être utilisé pour la suite.

### Question 23

Cette question propose une approche quantitative afin de rendre compte de la validité du modèle. Il s'agit donc ici d'analyser les ordres de grandeurs obtenus dans les applications numériques et de définir s'ils sont compatibles ou non avec les hypothèses émises tout au long de l'étude.

Un avis du type « cela me semble correct », ne constitue pas une analyse par rapport à des critères bien précis. Ainsi, le défaut principalement relevé dans les réponses a été le manque d'argumentation objective qui doit accompagner toute affirmation.

La question 24 suggère d'ailleurs l'existence d'une limite de validité du modèle qu'il convenait d'analyser.

### Question 24, 25 et 26

Ces trois questions portent sur l'aspect dispersif de tels milieux vis à vis des ondes suivant la valeur de  $\lambda$  par rapport à celle de  $h$ .

La relation de dispersion proposée, issue d'un modèle plus complet non explicité, permet de concevoir l'étude faite comme une limite d'un cadre plus général.

Outre les réponses très classiques dans le contexte de la physique des ondes associées à l'étude des vitesses de phase et de groupe, il faut ensuite chercher à définir dans quelle mesure le modèle développé dans le problème est applicable.

Très peu d'arguments recevables ont été évoqués.

## III) CONCLUSION

Malgré les commentaires précédents, les correcteurs ont néanmoins eu plaisir à attribuer d'excellentes notes aux étudiants qui ont su montrer de réelles qualités de réflexion et une bonne maîtrise du cours.