

Physique 2

Présentation du sujet

Si le sujet de l'an passé nous transportait dans le ciel, celui de cette année nous ramenait sur terre, s'intéressant au traitement des eaux usées.

Les candidats avaient à analyser divers aspects de la chaîne de traitement. La mesure des débits représentant un préalable obligatoire, ils devaient étudier le principe de deux types de débitmètres. Cette analyse s'appuyait sur les compétences en électromagnétisme et en mécanique des fluides. S'ensuivait une partie concernant le dessablage et le déshuilage : des compétences en mécanique étaient requises, ainsi que l'analyse physique de situations concrètes.

Enfin, la décantation des boues résiduelles nécessitait des compétences dans le domaine de la diffusion des particules, faisant en particulier appel à la capacité, pour les candidats, de mener à bien un bilan, sans oublier la capacité à interpréter une courbe.

Analyse globale des résultats

Ce sujet, d'une taille raisonnable, a permis aux meilleurs de s'exprimer et d'offrir des prestations de grande qualité. Cependant, les excellentes copies sont apparues comme moins nombreuses que les années passées.

Deux aspects attirent l'attention du jury.

Il s'agit d'abord d'une grande disparité concernant la présentation et la rédaction des copies. Avant de s'attacher au fond du problème, un correcteur est naturellement attentif à l'aspect de la copie qu'il a entre les mains ! Or, le jury a parfois eu l'impression de corriger un brouillon vaguement griffonné sur un coin de table. Évidemment, ce constat n'incite pas le correcteur à beaucoup de mansuétude lorsque la rigueur du raisonnement devient elle aussi incertaine. Cette évolution défavorable, après plusieurs années d'amélioration, ne peut qu'interpeler.

Le second aspect concerne le niveau de technicité des candidats. Si globalement il semble en-deçà des attentes du jury, il apparaît surtout comme étant très variable selon les copies, et donc particulièrement clivant. Il est en particulier regrettable que des candidats qui ont, de toute évidence, un bon sens physique, soient limités par des difficultés calculatoires qui leur paraissent insurmontables, surtout lorsqu'il s'agit d'additionner deux vecteurs, dériver une fonction d'une variable, tracer une courbe avec des asymptotes correctes et en faire une exploitation graphique.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Débitmètre pour eaux usées

I.A.1) Ces deux questions de cours ne sont pas toujours bien traitées. Un bon argument suffit pour établir la direction du champ : un plan de symétrie, ou deux plans d'antisymétrie, mais encore faut-il avoir le souci de bien les définir. Parler de plans (π^+) ou (π^-), sans jamais définir de quoi il s'agit, a de quoi laisser rêveur le correcteur quant à la volonté du candidat de se faire comprendre. Trop de candidats ignorent que les arguments qu'ils emploient s'appliquent sur le plan considéré. D'autres abusent d'arguments superflus, qui augurent assez mal de la suite.

I.A.2) Si le a), qui est une question de cours basique, est souvent bien traité, il ne l'est pas toujours ! Nous n'allons pas faire ressortir toutes les bêtises rencontrées, mais notons que parvenir à faire circuler un champ magnétique radial, ou axial, sur l'usuel cercle d'axe Oz , révèle de vraies difficultés. Difficultés accrues par la suite, quand il s'agit d'additionner correctement deux vecteurs (pour lesquels le facteur 2 du courant est généralement oublié). Superposer correctement deux champs de même norme, symétriques par rapport à un axe de coordonnées, relève de l'exceptionnel. Ces lacunes techniques sont inquiétantes.

I.A.3) Le calcul de débit est régulièrement faux. On peut trouver un résultat contenant encore la variable d'intégration r . Les expressions grossièrement non homogènes ne manquent pas.

Le calcul de la force électromotrice faisait logiquement appel au champ électromoteur de Lorentz, devenu hors programme. Le jury attendait dans ces conditions une simple explication de l'origine du phénomène d'induction : un conducteur mobile dans un champ magnétique. Le jury a fait en sorte, dans le barème, de ne pas pénaliser les candidats qui ont passé du temps sur ces questions, ni de sur-évaluer les 5/2 qui auraient abordé cette partie au cours de leur année de 3/2.

I.B.1) La conservation du débit volumique est trop rarement exploitée de façon correcte et le critère d'incompressibilité fréquemment oublié.

I.B.2) L'énoncé faisant référence à une approche plus proche de l'ancien programme que du nouveau, le jury a adopté la plus grande clémence vis-à-vis des candidats qui se sont efforcés d'obtenir un résultat correct de manière honnête. Notons toutefois que la relation de Bernoulli peut être utilisée directement : plusieurs candidats se sont imaginés dans l'obligation de repartir de l'équation d'Euler, ce qui les a amenés à perdre inutilement du temps.

I.B.3) Question simple, où il ne faut pas oublier le facteur 2 lié à l'aller-retour, suivi d'explications qualitatives, pas toujours heureuses. Il est tout de même essentiel, ici, de s'assurer de l'homogénéité du résultat !

I.C.1) La constance de la charge spécifique découle de la relation de Bernoulli. Encore faut-il l'énoncer clairement, et à la surface du fluide. Les vagues explications, où la pression disparaît sans raison, où h et v finissent aussi par être constantes, ne sont pas prises au sérieux. Le tracé soigné de la courbe $H(h)$, son exploitation graphique faisant apparaître clairement les deux régimes d'écoulement, leur interprétation, sont autant d'éléments récompensés. Un traitement bâclé entraîne une perte de points. Le régime critique est souvent mal calculé. Son interprétation en termes de fortes fluctuations de h au voisinage de $H = H_c$ est rare.

I.C.2) Le canal d'approche peut établir un régime laminaire avec vitesse uniforme sur une section, certainement pas contrôler le débit alors qu'il s'agit de le mesurer. La comparaison des courbes $H_B(h)$ et $H_b(h)$ apparaissait comme une sous-question simple, malheureusement elle a souvent posé de gros problèmes. Le jury a noté beaucoup d'incohérences entre les graphes et les inégalités, sans parler des hypothèses de l'énoncé, ce qui témoigne d'une incompréhension regrettable.

II. Dessablage - Déshuilage

II.A.1) La poussée d'Archimède est souvent oubliée. Pourtant, l'utilisation de la densité et la vérification du sens du mouvement demandé ensuite auraient pu conduire à réviser une analyse incomplète. Parfois, des forces de pression, des forces de viscosité, et même de portance, sont ajoutées à la force de Stokes et à la poussée d'Archimède, pour disparaître ensuite aussi mystérieusement qu'elles sont apparues. Le jury insiste sur la nécessité de faire preuve d'honnêteté quand de telles incohérences apparaissent, plutôt qu'une trop évidente tendance à faire « comme si ».

II.B – La vitesse limite peut être très distrayante : le record est détenu par un grain de sable supraluminique à $8,5 \times 10^{12} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$!

II.C – Le nombre de Reynolds n'est pas connu de tous. Le jury accepte évidemment tout aussi bien l'utilisation de la viscosité cinématique que de la viscosité dynamique, mais la longueur caractéristique de l'écoulement autour du grain ne peut être la profondeur du bac de décantation.

II.D – Un calcul exact de r_{\min} est souvent proposé. Une exploitation du tableau, pour peu que celui-ci ait été convenablement complété, est aussi acceptée. En revanche, sur une telle question comme sur la précédente, il est évident qu'un nombre excessif de chiffres significatifs est pénalisé.

II.E – Beaucoup de trajectoires sont proposées, parfois fantaisistes, alors qu'une simple composition des vitesses suffisait. Notons que des explications du style : « il y a sédimentation si la bille n'a pas le temps de faire le trajet avant de sédimenter » laissent rêveurs.

III. Décantation des boues résiduelles

III.A.1) Si le principe du bilan est majoritairement compris, la démonstration s'accommode souvent d'incohérences sur les signes.

III.A.2) La résolution de l'équation différentielle est l'occasion de solutions surprenantes. Certains candidats ont aussi oublié de se demander si le rapport v_ℓ/D qu'ils proposent est bien homogène à une longueur. L'énergie potentielle présente dans le facteur de Boltzmann doit ressembler à quelque chose comme m^*gz : le jury s'est réjoui de voir le lien établi de temps à autre, mais trop rarement à notre goût ! La valeur numérique de λ réserve encore bien des surprises. Une petite minorité constate correctement qu'il est superflu de prendre en compte la diffusion, en cohérence avec la suite de l'énoncé.

III.B.1) On trouve parfois $x = n^*/V$, mais est-ce bien homogène ? Le tracé de la courbe $v(n^*)$ fait apparaître — comme sur certaines autres courbes — une confiance aveugle vis à vis de la calculatrice : il n'est ainsi pas rare d'observer des densités volumiques négatives !

III.B.2) Cette question ne présentait pas de difficulté particulière, et pourtant peu de candidats ont su exploiter la figure à laquelle il était fait référence.

III.B.3) Cette partie, arrivant en fin de problème, a semblé beaucoup plus délicate, le jury a fait preuve d'une plus grande mansuétude. Ceci étant, les candidats qui se lancent dans un bilan, quel qu'il soit, sont invités à bien définir leur système, ce qui n'est pas toujours le cas.

III.B.4) Cette partie n'a été traitée que de façon anecdotique, ce qui ne permet pas d'en tirer des conclusions générales. Le jury s'est surtout attaché à la cohérence des résultats, qui devaient en particulier tenir compte du signe.

Conclusions

Les remarques précédentes peuvent paraître excessivement pessimistes, aussi le jury tient à féliciter les candidats qui ont su l'impressionner : qu'ils en soient remerciés !

« Ce qui se conçoit bien s'énonce clairement et les mots pour le dire arrivent aisément. » Tout le monde connaît bien ce vieil adage et devrait le faire sien ! En effet, le concours s'efforce de faire émerger les talents de demain, et comment reconnaît-on un ingénieur talentueux, si ce n'est par ce qu'il produit, par les problématiques qu'il résout ? Ainsi, il aura non seulement besoin de trouver des solutions inédites, mais aussi de se faire comprendre en utilisant les outils adéquats, qu'il saura manier avec soin. Il expliquera alors le plus clairement possible la démarche dans laquelle il s'inscrit.

C'est en ce sens que le futur candidat est engagé à travailler : après s'être approprié les problématiques essentielles du sujet (et avoir lu les questions dans leur intégralité), il doit s'attacher à analyser la situation à la lumière des différentes compétences qu'il a acquises tout au long de sa formation. Celles-ci doivent lui permettre de résoudre la problématique qui s'offre à lui. Mais son travail ne s'arrête pas là ! Tout candidat sérieux doit penser à valider son ouvrage grâce à son bon sens. Des arguments d'homogénéité s'imposent d'emblée. Ceci lui permettra d'éviter bien des errements.

Évidemment, il lui est aussi demandé de communiquer ! Il serait dommage de négliger cet aspect absolument fondamental : un ingénieur se doit d'être clair, précis, rigoureux, honnête, humble. Voilà quelques-unes des qualités qui feront d'un étudiant préparatoire un bon candidat et un bon ingénieur.

Nous invitons chacun à relire les programmes officiels qui permettent de bien saisir l'esprit dans lequel nous cherchons à travailler, en souhaitant à chaque candidat de faire fructifier au mieux ses talents !