

## Physique-chimie 2

### Présentation du sujet

Cette épreuve rassemble quelques problématiques physico-chimiques autour du pétrole : de la détection d'une nappe dans le sol par analyse gravitationnelle (partie III) au transport de celui-ci par l'oléoduc BTC dont on évalue les pertes par viscosité et leur compensation énergétique par des stations de pompage et de relaying (partie I) puis les risques de détérioration mécanique et chimique (partie II).

Ce sujet fait la part belle à la mécanique enseignée en TSI dans le cours de physique puisqu'il évaluait pêle-mêle aussi bien les connaissances sur la résistance à l'écoulement d'un fluide visqueux et ses compensations de perte de charge, les actions mécaniques subies par un oscillateur dans une chaîne de ses semblables (sismique), l'obtention de l'équation différentielle du mouvement d'un pendule incliné (par les grandeurs énergétiques) ou encore le champ de force gravitationnel d'une couche de pétrole. Il convoque également des connaissances du cours de chimie relatives à la corrosion et à la protection d'une conduite d'acier. Il permet enfin d'investir pertinemment les bases du cours d'optique interférentielle à propos d'une méthode interférométrique d'accélérométrie.

### Analyse globale des résultats

Même si l'épreuve teste majoritairement des compétences du thème de la mécanique du programme officiel de ces classes, elle se décompose clairement en 6 parties indépendantes. Les candidats avaient donc le loisir de repérer et résoudre les questions qui leur semblaient les plus abordables et de faire la preuve de leur maîtrise dans des modélisations physiques variées.

L'évaluation numérique des paramètres de l'écoulement visqueux (partie I), l'interprétation qualitative de la protection électrochimique de la conduite face à la corrosion (sous-partie II-A) et l'étude qualitative puis quantitative de l'anomalie gravitationnelle locale due à la présence d'une couche souterraine de pétrole (sous-partie III-A) ont permis aux candidats d'amasser l'essentiel de leurs points.

Les étudiants qui ont pris un net avantage sont clairement ceux qui ont justifié proprement :

- l'obtention de la résistance hydraulique de la partie I ;
- l'expression des forces subies à droite et à gauche du  $n$ -ième oscillateur dans la chaîne modélisée dans la sous-partie II-B ;
- l'identification et l'estimation de la constante de raideur équivalente (**Q28** sous-partie II-B) ;
- l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur fonction des angles  $\theta$  et  $\alpha$  (partie III-B) ;
- l'expression de la périodicité du mouvement pendulaire fonction de  $\alpha$  (sous-partie III-B) ;
- les équations horaires d'une masse en chute libre (sous-partie III-C).

Le jury a donc été surpris de la faiblesse générale observée dans les démonstrations d'expressions littérales sur des systèmes mécaniques (élongations relatives à l'équilibre, projections, intégrations, logique et argumentation rédactionnelle...). Que les futurs candidats soient bien conscients qu'une réponse binaire ou une proposition d'expression littérale sans justification ne leur apportera jamais le moindre point si l'intitulé de la question n'est pas « Donner... ».

Les sciences physiques ne se résument pas à l'habileté au calcul littéral, ainsi les applications numériques de début d'épreuve permettent de tester d'emblée le sens des ordres de grandeur des candidats sur des

valeurs de vitesse, de débit, de pression et de puissance. Il semble utile de préciser que toute valeur aberrante impose la recherche de l'erreur numérique.

## Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Dans l'ordre des questions, les erreurs fréquemment observées :

### I Étude de l'écoulement du pétrole dans l'oléoduc

**Q1 à Q3.** Confusion sur les vitesses débitantes demandées (« prévue » en moyenne en régime établi en **Q2** puis « lors de la première injection » en **Q3**). Erreurs de conversion de seconde en jour ou de litre en mètre cube. Ordres de grandeur aberrants.

**Q4.** Signaler clairement la différence entre le modèle de fluide parfait et les fluides réels visqueux. Invoquer de « grands » frottements ne signifie rien. Faire remarquer que la figure 2 du profil utilise cette condition aux limites n'a rien d'une justification.

**Q5.** Expressions des forces de pression erronées ou confusion entre les surfaces concernées par les contraintes (normale, tangentielle). Des vitesses sont parfois assimilées à des forces !

**Q6.** Attention : une particule de fluide peut accélérer dans un écoulement stationnaire. L'argument n'est pas suffisant.

**Q7.** Certains ont vu étrangement une solution exponentielle à l'équation différentielle donnant  $v(r)$ .

**Q8.** Le calcul de débit par intégration a rarement été mené à terme (jusqu'à obtention de  $R_H$ ).

**Q9.** Les interprétations sont souvent erronées.

**Q10.** Un nombre important de copies pose comme point de départ la forme locale de l'équation de la statique des fluides sous le seul effet de la pesanteur alors que l'on s'intéresse à une perte de charge par viscosité dans une conduite horizontale.

**Q12.** Fréquentes erreurs de signe ou d'unité.

**Q14.** Absence de réflexion sur la pression minimale qui conduit la grande majorité à conclure à la nécessité de 6 stations au lieu de 5. Des valeurs parfois totalement aberrantes.

**Q15.** C'est un commentaire sur l'ordre de grandeur de la puissance obtenue qui est attendu, par exemple au moyen d'une comparaison.

### II.A - Protection contre la corrosion

**Q17.** Une justification du positionnement latéral relatif des domaines de prédominance (ou d'existence) de la forme acide et de la forme basique d'entités de même nombre d'oxydation pour le fer est exigée. On rappelle à ce propos que le « pH d'une espèce acide ou basique » n'a aucun sens, le pH quantifie une propriété de solution aqueuse.

**Q20.** On ne peut pas faire une généralité de la polarité d'une cathode (ou d'une anode) : cela dépend du fonctionnement de l'ensemble (pile ou électrolyse). Une cathode est le lieu d'une réduction (globale) = les électrons arrivent toujours du circuit électrique extérieur vers la cathode = le courant électrique arrive toujours du circuit électrique extérieur vers l'anode.

**Q23.** Attention : des électrons « libres » ne peuvent pas migrer dans une solution aqueuse.

### II B - Risque sismique

**Q24.** Forces de rappel à droite et à gauche majoritairement fausses ou injustifiées.

**Q25.** Termes de « pulsation spatiale » ou encore « norme du vecteur d'onde » largement inconnus.

**Q26.** Un manque de rigueur dans l'utilisation de la notation complexe.

**Q28.** La section à prendre en compte est celle d'un cylindre creux et non la section de la conduite avec son contenu. Signalons que cette question « non-guidée » était largement valorisée : autant que l'ensemble des questions 27, 29, 30 et 31 réunies.

**Q30.** Les estimations graphiques sont exigées pour les 3 paramètres, les étapes de calcul et les mesures numériques préalables à l'estimation doivent donc apparaître sur la copie.

**Q31.** Penser à la cohérence entre les valeurs et à la cohérence d'ordre de grandeur.

### III A - Estimation de l'anomalie gravitationnelle

**Q32.** Être attentif à l'énoncé : on demande l'action de  $B$  sur  $A$ . Confusions fréquentes entre vecteurs et projections scalaires.

**Q33.** Une analogie n'est pas une égalité.

**Q35.** Surface fermée de Gauss d'intégration du flux à définir très précisément ainsi que sa décomposition en plusieurs surfaces. Le résultat littéral étant donné, il convient de faire preuve de beaucoup de rigueur dans la démonstration.

**Q36.** Absence quasi systématique de justification rédactionnelle par le principe de superposition.

### III B - Mesures des variations au pendule pesant

**Q37** et **Q38.** L'expression de l'énergie potentielle est souvent donnée sans justification, cette démarche est peu valorisée. Obtention de l'équation différentielle parfois sans aucune rigueur ou parfois « hors-sujet » lorsque le candidat utilise le théorème du moment cinétique scalaire alors qu'une démonstration énergétique était exigée.

**Q39.** Confusions entre  $T$  et  $T_0$

**Q40.** Quasiment aucun candidat ne pense à dériver (ou différentier) l'expression pour estimer la sensibilité.

### III C - Méthode interférométrique

**Q42.** La condition de synchronisme (isochronisme) est connue. L'explication de la cohérence des trains d'onde un peu moins. Certains s'égarer dans les conditions de Gauss de l'approximation de l'optique géométrique.

**Q43.** La majorité des copies ayant traité cette question cherche curieusement à exprimer  $z(t)$  en fonction de  $\Delta\varphi$  ! Relation donnée dans l'énoncé !

**Q45.** La notion d'ordre d'interférence n'est manifestement pas maîtrisée par la quasi totalité des candidats : presque personne n'a pu finaliser l'estimation de  $g$ .

## Conclusion

La correction des copies de cette épreuve a mis en évidence d'importantes lacunes des étudiants de TSI dans le domaine de la mécanique du point matériel au programme de physique de cette filière.

Pourtant ce thème est l'occasion idéale de faire preuve de sens commun.

Le jury encourage donc les étudiants à se donner plus de repères en matière d'ordre de grandeur pour éviter de proposer des résultats aberrants, à travailler les projections vectorielles, à schématiser davantage pour alléger la rédaction et surtout à éviter de penser que les sciences physiques se limitent à un catalogue de formules littérales.

Les candidats doivent être particulièrement attentifs à la qualité de la rédaction, notamment sur le plan de la syntaxe et de la logique. Ce point est aussi pris en compte dans l'évaluation globale de la copie.

Dans cette épreuve, nous avons été toutefois rassurés sur la compréhension de certaines connaissances de base (comme la chimie de l'oxydo-réduction, les invariances par opérations de symétrie ou encore les conditions d'interférences). Quelques copies étaient également de très bonne qualité.