

**Composition de Physique B, Filière PC  
(XELC)**

**Rapport de Mme Anne TANGUY, MM. Thibaut DIVOUX et Timothée TOURY, correcteurs.**

Cette épreuve divisée en trois parties de longueurs inégales avait trait au phénomène de caléfaction, c'est-à-dire la durée de vie étonnamment longue d'une goutte d'eau posée sur une plaque chaude.

Il s'agit d'un sujet de difficulté moyenne, permettant d'aborder différentes parties du programme : phénomènes de transfert, thermodynamique des changements de phase, hydrodynamique, conservation de l'énergie mécanique, diffraction optique et champ dipolaire magnétique.

L'indépendance des 3 parties les unes par rapport aux autres, et les nombreux résultats intermédiaires donnés dans l'énoncé permettaient aux candidats de ne pas rester bloqués sur une partie, et de pouvoir traiter le sujet dans son ensemble. Les candidats n'ayant pas su enchaîner les questions ou s'étant contentés d'une partie inachevée on en général obtenu une note assez basse, alors que une réponse à plusieurs questions de bon sens leur aurait permis sans beaucoup plus d'effort d'obtenir une meilleure note. De façon générale, ce sujet a permis d'éviter les copies blanches et les trop mauvaises notes, les candidats ayant tous répondu à quelques questions. Il fallait en revanche une large culture et ne montrer aucune lacune dans la connaissance du programme pour obtenir une très bonne note, ce qui a été obtenu par quelques candidats que nous félicitons.

La répartition des notes est assez centrée avec des notes s'étalant de 2 à 18, et une moyenne de 9,62.

La répartition des notes des candidats est la suivante :

$0 \leq N < 4$	59	4,35 %
$4 \leq N < 8$	364	26,86 %
$8 \leq N < 12$	583	43,03 %
$12 \leq N < 16$	323	23,84 %
$16 \leq N \leq 20$	26	1,92 %
Total	1355	100 %
Nombre de copies : 1355		
Note moyenne : 9,62		
Ecart-type : 3,22		

En ce qui concerne la forme, la qualité de la présentation des copies nous a semblé meilleure et plus homogène que l'an dernier. Rappelons qu'il est attendu que le résultat

final à une question soit encadré ou souligné. Un résultat difficilement lisible, laissant un doute trop important au correcteur, peut s'avérer pénalisant. De manière générale, il faut toujours expliquer son raisonnement pour éviter les confusions d'interprétation, certains résultats faux étant excusés par un raisonnement juste, alors qu'un résultat juste non justifié peut paraître suspect. Un strict respect des notations et de la numérotation des questions est impératif. Rappelons enfin qu'une orthographe correcte est préférable.

La vérification de l'homogénéité des résultats a permis à certains candidats d'identifier leurs erreurs ou de vérifier la réponse finale qu'ils proposaient. Nous encourageons les candidats à rendre cette démarche systématique. De nombreuses questions portaient sur une analyse dimensionnelle. Rappelons que l'analyse dimensionnelle ne permet pas de déterminer les préfacteurs (contrairement à ce qui apparaissait dans plusieurs copies). Notons aussi qu'il est important d'écrire les quantités de façon précise avant de faire une analyse dimensionnelle (en particulier les dérivées pour les fonctions à plusieurs variables) : ceci peut s'avérer nécessaire pour identifier les longueurs pertinentes, tout particulièrement lorsque plusieurs longueurs sont en compétition. Faire une analyse dimensionnelle trop rapide et négligente peut sinon s'avérer fausse comme nous allons le rappeler dans le corrigé détaillé.

### **Résumé du sujet :**

La première partie du sujet, abordée par la quasi-totalité des candidats, permettait d'obtenir deux estimations de l'épaisseur du film de vapeur séparant la goutte du substrat chaud par le biais d'une minimisation d'énergie et d'un calcul d'optique ondulatoire proche du cours. La deuxième partie, plus longue, permettait d'obtenir une troisième estimation de l'épaisseur du film de vapeur par une approche hydrodynamique, ainsi qu'un ordre de grandeur du temps de vie de la goutte. Ensuite, un bilan de masse et d'énergie permettait de remonter à l'évolution du rayon de cette dernière. Enfin, la troisième partie se concentrait sur les différentes trajectoires possibles de gouttes d'oxygène liquide placées dans un champ magnétique, et permettait de revisiter dans un cadre original les mouvements à force centrale. Si quelques unes des premières questions ont été résolues par un nombre significatif de candidats, seules les meilleures copies ont abordé cette troisième partie dans son ensemble.

Ce sujet permettait de mettre en pratique des notions acquises en première comme en deuxième année de classe préparatoire et balayait plusieurs chapitres : mécanique du point, mécanique des fluides, thermodynamique, magnétisme, optique ondulatoire, etc. En proposant différentes approches d'un même problème, ce sujet offrait la possibilité aux candidats de vérifier et de mettre en avant la cohérence de leurs résultats et de leurs applications numériques. Enfin, de par sa longueur, ce sujet a permis de classer les candidats de façon très satisfaisante et nous félicitons très chaleureusement les quelques candidats ayant réussi à traiter l'ensemble du sujet dans le temps imparti. Néanmoins, comme tous les ans, il y a un certain nombre d'erreurs et d'attitudes qu'il serait souhaitable voir disparaître définitivement de toutes les copies. C'est ce que nous rappelons par les remarques de bon sens ci-dessous.

- Attention aux applications numériques et à leurs unités. Rappelons que les applications numériques ne sont pas facultatives. Les correcteurs apprécient grandement les parties du sujet traitées de façon cohérentes, dans lesquelles ces dernières sont systématiquement effectuées et discutées de manière critique. Certains candidats ont même eu le bon goût de comparer les applications numériques des différentes parties. Par ailleurs, l'absence d'unité a été systématiquement sanctionnée. Utiliser de préférence des sous unités adaptées à décrire l'échelle d'un phénomène : ainsi 0.1 mm ou 100  $\mu\text{m}$  est plus parlant que  $10^{-4}$  m.
- La définition du nombre de Reynolds reste inconnue d'un trop grand nombre de candidats. Qui plus est, on trouve de façon très surprenante des définitions incomplètes voire fantaisistes de ce nombre qui, rappelons le, est sans dimension. Nous avons pu lire par exemple les définitions suivantes : "le nombre de Reynolds permet de caractériser la viscosité d'un écoulement" ou encore "le nombre de Reynolds caractérise la facilité qu'a un élément à se déformer". C'est un point de cours qui devrait être parfaitement maîtrisé en section PC. Certains candidats ont aussi fait appel à une définition vague et générique du nombre de Reynolds qui ne provient pas d'une comparaison des termes de convection et de viscosité dans l'équation de Navier-Stokes, ce qui a conduit de façon systématique à des confusions sur le choix des longueurs caractéristiques.
- En ce qui concerne les questions pour lesquelles le résultat est explicitement donné dans l'énoncé, il est impératif de justifier l'expression proposée. Recopier l'expression du résultat et l'enrober d'une justification vague ne donne pas de point. Dans la même veine, il est essentiel de redémontrer soigneusement les formules de cours lorsque l'énoncé le demande. C'était le cas de la question 1.e pour laquelle il était hors de propos de fournir une expression de l'intensité diffractée sans faire de calcul. Enfin, les expressions du type "on trouve intuitivement que" sont à proscrire, et ne remplacent en rien une explication succincte de l'expression avancée, surtout quand elles servent à introduire une expression manifestement empruntée.
- Il est essentiel de discuter et de justifier la valeur des conditions aux limites utilisées pour l'intégration d'une fonction ou la résolution d'une équation différentielle. On trouve bien trop souvent des expressions du type " $v(0) = 0$ " sans autre justification. Dans une moindre mesure, laisser des coefficients muets introduits *ad hoc*, type A, B, C etc. dans la forme finale d'une expression demandée dans l'énoncé a été pénalisé, même si de façon moindre que lorsque la condition aux limites utilisée pour les calculer était fautive.
- Il est essentiel d'être clair en ce qui concerne les propriétés de symétrie des systèmes considérés. Quelle invariance considère-t-on ? par quelle transformation (rotation, translation, etc) ? par rapport à quoi ? Quel est le rôle non seulement des symétries des équations, mais aussi des conditions aux limites ? De manière générale un sérieux effort doit être fait quant aux questions ayant trait aux symétries qui sont traitées à la va-vite.
- Enfin, soulignons un nombre croissant de fautes d'orthographe. Lorsqu'elles sont trop nombreuses, celles-ci gênent franchement la lecture de la copie. Outre les fautes d'accord et de grammaire, que penser des fautes sur les noms propres abordés au cours des deux années de classe préparatoire, comme par exemple Reynolds ortho-

graphié "Renold" ?

### Commentaires détaillés question par question

**Q1a** : pas de difficulté dans cette question hormis la prise en compte des deux interfaces dans l'expression de l'énergie de surface. Les explications étaient trop souvent hasardeuses, avec des facteurs  $1/2$  apparaissant « magiquement » dans les analyses dimensionnelles.

**Q1b** : beaucoup d'expressions fournies sans justification qui n'ont pu rapporter la totalité des points. La présence du facteur  $1/2$  est bien souvent artificielle. Il fallait mentionner non seulement le choix du centre de masse, mais aussi justifier sa position par l'hypothèse d'homogénéité de la masse volumique.

**Q1c** : question très facile. Malheureusement, les facteurs  $1/2$  absents des termes d'énergie de surface et/ou d'énergie potentielle réapparaissent souvent sans explication. Si l'expression obtenue ne correspond pas à celle figurant dans l'énoncé, une démarche honnête et un commentaire de la part du candidat s'imposent. Par ailleurs, il est souhaitable d'obtenir des applications numériques parlantes - les puissances de 10 non entières ne sont pas satisfaisantes. Plusieurs candidats ont trouvé un signe "-" devant le terme d'énergie de surface, mais heureusement - perle rare - seul un candidat a poussé le raisonnement jusqu'à proposer une épaisseur d'équilibre imagine pure !

**Q1d** : cette question a été particulièrement mal réussie par les candidats : nous attendions plus qu'une courte phrase du type "c'est de la diffraction". Il faut ajouter au minimum une justification basée sur une comparaison entre la longueur d'onde et l'épaisseur du film de vapeur. Et si possible discuter des conditions de bord. Beaucoup de candidats ont raisonné (de façon fausse) sur la goutte, au lieu de raisonner sur le film.

**Q1e** : très peu de candidats justifient que cette question peut être traitée dans le cadre de la diffraction de Fraunhofer. De plus, le calcul correspondant doit être présenté proprement. Nous mettons aussi en garde les candidats contre les variables muettes non définies, par exemple il est indispensable de préciser ce que signifie "u" dans l'expression "sinc(u)". Les erreurs de calcul étant nombreuses dans cette question pourtant purement de cours, ceci a conduit à étaler les notes.

**Q1f** : un grand nombre de candidats annoncent d'une part une épaisseur de film  $e_0$  de l'ordre de la longueur d'onde à la question 1d et obtiennent d'autre part une valeur de  $e_0$  très faible (allant jusqu'à  $10^{-10}$  m dans certaines copies!!) devant la longueur d'onde sans que cela n'appelle aucun commentaire de leur part. Le jury attend des candidats qu'ils soient cohérents tout au long de leur composition et qu'ils adoptent une attitude critique vis-à-vis de leurs résultats.

**Q1g** : cette question a été abordée et réussie par peu de candidats. Il est assez surprenant que malgré les questions précédentes portant sur la diffraction optique due à la faible épaisseur du film, nombre de candidats proposent de faire une image « au microscope op-

tique », sans plus de commentaire. On pouvait proposer les méthodes interférométriques, ou les mesures capacitives, entre autres.

**Q2a** : pour avoir l'ensemble des points à cette question, il était nécessaire de justifier soigneusement les arguments d'invariance avancés : en particulier les conditions aux limites selon  $x$ ,  $y$  et  $z$ , incluant la justification de l'absence de la prise en compte d'effets de bord.

**Q2b** : un bilan unidimensionnel était explicitement demandé. Les candidats qui ont plaqué un bilan général en trois dimensions et ceux qui ont proposé sans justification une équation sur la température ont été sanctionnés. Beaucoup d'erreurs de signe impardonnables.

**Q2c & d** : questions bien réussies dans l'ensemble. Noter tout de même que sur plusieurs copies on trouve des températures de plaque inférieures à celle de la goutte d'eau.

**Q2e** : trop souvent le taux d'évaporation est donné en gramme ou même sans unité.

**Q2f** : la confusion entre la diffusion de quantité de mouvement (ici en jeu) et la diffusion de particules revient très régulièrement. Encore beaucoup trop de confusion entre accélération lagrangienne et eulérienne.

**Q2g** : la confusion entre la diffusion de quantité de mouvement (ici en jeu) et la diffusion de particules revient très régulièrement. Encore beaucoup trop de confusion entre accélération lagrangienne et eulérienne.

**Q2h** : question bien réussie dans l'ensemble.

**Q2i** : question peu abordée et souvent mal réussie. Une analyse dimensionnelle (fausse) ne suffisait pas. Le plus simple était de raisonner sur le débit massique. Notons que certains étudiants ont fait preuve à l'occasion de cette question de beaucoup d'intelligence de raisonnement, ce qui les a mis en valeur.

**Q2j** : le terme inertiel n'est pas  $\rho^*g$ . L'erreur revient fréquemment !

**Q2k** : question en général bien réussie.

**Q2l** : on lit trop souvent et à tort que "le nombre de Reynolds caractérise la viscosité de l'écoulement". Beaucoup d'erreurs dans le choix des longueurs dans le nombre de Reynolds, alors qu'il suffisait de se référer aux questions précédentes. Souvent, la définition du nombre de Reynolds est plaquée, sans la compréhension de son rôle dans la résolution des équations.

**Q2m** : beaucoup de confusion avec la question 2g. Il est attendu des candidats qu'ils sachent faire la différence entre une composante nulle d'un champ et l'indépendance de ce champ vis-à-vis d'une des variables.

**Q2n** : question très facile. Il fallait cependant justifier proprement le fait de négliger certains termes par rapport à d'autres. En particulier, le poids n'est pas « négligeable », mais c'est l'équilibre du fluide selon  $z$  qui permet de s'affranchir des composantes selon  $z$ .

**Q2o** : question très facile. Il fallait cependant justifier proprement le fait de négliger certains termes par rapport à d'autres. En particulier, le poids n'est pas « négligeable », mais c'est l'équilibre du fluide selon  $z$  qui permet de s'affranchir des composantes selon  $z$ .

**Q2p** : on trouve malheureusement encore des candidats pour lesquels l'expression de la vitesse radiale obtenue à la question précédente est fautive et qui par une ou plusieurs entortilleries obtiennent la relation (8) de l'énoncé. Pour ne pas perdre tous les points de cette question, il vaut mieux rester honnête et souligner les désaccords entre son résultat et celui de l'énoncé.

**Q2q** : bilan en général bien conduit.

**Q2r** : ici aussi, il est important de justifier les conditions aux limites.

**Q2s** : question mal réussie dans l'ensemble alors "qu'il suffisait" d'utiliser la loi de l'hydrostatique.

**Q2t** : application numérique qu'il aurait été pertinent de comparer à celles faites dans la première partie de l'épreuve. Certains candidats l'ont très bien fait.

**Q2u & v** : pas de difficulté pour ces questions bien réussies dans l'ensemble. Certains candidats ont cependant été perturbés par le fait de s'intéresser dans ces questions à la variation de masse de la « goutte » et non plus à celle de la « vapeur ». D'où de nombreuses erreurs de signe non physiques.

**Q2w** : de nombreux candidats se sont contentés de vérifier que l'expression proposée était solution de l'équation (12) alors que sa résolution ne présentait aucune difficulté.

**Q2x** : question qui lorsqu'elle a été abordée a été plutôt bien réussie.

**Q3a** : pas de difficulté pour cette question abordée par de très nombreux candidats.

**Q3b** : beaucoup d'affirmations gratuites (et fausses) pour cette question. Malheureusement peu de raisonnements faisant intervenir l'énergie magnétique.

**Q3c** : l'expression (15) découle de l'expression du champ magnétique créé par un dipôle magnétique. Les candidats qui ont dépassé cette question ont en général abordé la partie 3 en profondeur et obtenu de bonnes notes.

**Q3d** : pas de difficulté pour cette question. Quelques candidats se sont lancés dans des démonstrations génériques inutiles.

**Q3e** : pas de difficulté pour cette question.

**Q3f** : pas de difficulté pour cette question. Il y a eu des confusions entre cette question et la question 1c.

**Q3g** : question à laquelle les candidats ont répondu de façon évasive dans l'ensemble. Il ne suffit pas d'affirmer que "les frottements sont négligeables", encore faut-il donner un argument physique simple justifiant pourquoi.

**Q3h** : de façon surprenante, on a pu lire à plusieurs reprises que "l'énergie mécanique se conserve donc le moment cinétique aussi".

**Q3i** : beaucoup d'erreurs dans l'écriture de la décomposition du terme  $v^2$  en coordonnées cylindrique : le terme cinétique en  $1/2 m (dr/dt)^2$  est souvent oublié ce qui montre que la notion de potentiel effectif est mal comprise.

**Q3j** : nous attendions une discussion graphique assortie d'une discussion physique du problème, pas un tracé exact des graphes de la figure 6.

**Q3k** : peu de candidats savent utiliser de façon satisfaisante les graphes de la figure 6 pour répondre à cette question. Une fois de plus, la condition initiale a souvent été oubliée de la discussion, alors qu'elle est cruciale ici (sur la position).

**Q3l & m** : lorsqu'elles ont été abordées, ces questions ont été bien résolues.