

EPREUVE ECRITE DE PHYSIQUE 1

par Fabrice THALMANN, Maître de Conférences
à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg

Introduction

Le problème de physique 1 consistait en deux problèmes indépendants, dans un rapport de longueur d'environ deux tiers - un tiers.

Le premier problème, intitulé **L'ascenseur spatial** comptait 35 questions et valait 109 points. Les principaux thèmes abordés y étaient la mécanique du point et le mouvement circulaire uniforme, la résistance des matériaux, la mécanique des fluides, les ondes à une dimension, l'induction électromagnétique. Ce problème consistait à étudier les aspects techniques d'un dispositif mécanique capable de lever des charges jusqu'à l'orbite géostationnaire. Le problème se voulait une vraie problématique d'ingénieur, à savoir mener dans son intégralité une analyse des difficultés, des phénomènes physiques et des ordres de grandeurs relatifs à une réalisation technique.

Le second problème, intitulé **Optique physique et photographie** comportait 15 questions et valait 47 points. Le problème traitait de la réalisation d'un "réseau holographique", c'est-à-dire un montage interférentiel couplé à une réaction photochimique, permettant "d'imprimer" un réseau de plusieurs centaines de traits par millimètre sur un substrat. Les questions portaient sur l'électromagnétisme (ondes planes monochromatiques dans le vide), la cinétique chimique, les interférences et le théorème de Huyghens-Fresnel.

Je rapporte dans ce qui suit une synthèse des observations et des commentaires transmis par l'ensemble des examinateurs ayant participé à la correction des copies, soumetts deux ou trois questions à une analyse plus poussée et propose en guise de conclusion quelques recommandations à l'intention des futurs candidats aux concours communs polytechniques PC. Je remercie l'ensemble des correcteurs pour leurs contributions au présent rapport, pour toutes leurs remarques judicieuses ainsi que leurs critiques constructives.

Difficulté, longueur et clarté du sujet

La difficulté du sujet est perçue comme raisonnable par l'ensemble des correcteurs. Sa longueur est qualifiée de raisonnable par la plupart, mais trop longue pour d'autres. Force est de constater que si les meilleurs candidats ont été en mesure de traiter dans leur intégralité le premier ou le second problème, quasiment personne n'a pu terminer l'épreuve, montrant que celle-ci aurait pu être réduite du quart.

L'énoncé s'avère comporter trois erreurs de nature à troubler les candidats. 1/ l'unité de $g = 9.8m.s^{-1}$ dans le préambule du premier problème est incorrecte, 2/ le Σ_{max} de la question I.3.5 aurait du être un Σ_c , 3/ la confusion entre M_0 et M obscurcit le sens de la question II.3.3. Ces coquilles, cependant, n'étaient pas de nature à bloquer les candidats au-delà des questions concernées.

Les questions I.3.4, I.4.4, I.4.5, I.5.6, I.5.7, II.2.3, II.4.1, par leur nature qualitative où l'initiative demandée au candidat, n'ont pas fait l'unanimité, et ont plutôt donné lieu à des réponses décevantes.

A noter encore la définition non conventionnelle du moment magnétique (pas de facteur $\mu_0/4\pi$ en I.5.2, cependant le mot moment magnétique n'est pas mentionné), l'absence de flèche sur le $\vec{0}$ en I.4.1.

Respect du programme

Ont été dénoncées comme hors-programme, ou “limite” les points suivants.

I.5.3 Seule la f.e.m d'induction est au programme, mais pas le champ électromoteur local

En effet, une fraction non négligeable des candidats ont donné la f.e.m intégrée sur la longueur du câble, ce qui n'empêchait pas toutefois de trouver la valeur correcte de l'intensité, à condition de bien évaluer la résistance électrique du câble.

I.3.4 Le module de Young n'est pas défini dans l'énoncé

II.1.5 La notion de photon est hors programme

Vu l'importance du photon dans les problèmes de spectroscopie (IR par exemple), cette question nous a parue justifiée. Cela explique aussi pourquoi nous n'avons pas souhaité sanctionner les confusions entre h et $\hbar$.

Présentation et tenue des copies

La présentation et la tenue des copies sont assez satisfaisantes. L'orthographe laisse en revanche souvent à désirer, où l'on voit la “raisonance” l'emporter sur la résonance. . . .

Réaction des candidats, partie par partie

La plupart des candidats connaissent bien les résultats de cours, ce qui démontre le sérieux de leur préparation et leur bonne volonté. C'est dans les applications que les choses se gâtent. Le sujet était dans l'ensemble peu calculatoire, mais nécessitait une compréhension des objets mathématiques de base (vecteurs, exponentielles complexes, fonctions trigonométriques et leur valeur moyenne, primitive de fonctions puissance, équations différentielles linéaires à variables facilement séparables et règle de trois).

I.1 Pesanteur = gravitation - accélération d'entraînement, n'est su que d'une petite moitié des candidats. Orbite géostationnaire à 36000 km plutôt bien connue.

I.2 Différence entre référentiel terrestre et géocentrique bien connue d'une majorité des candidats. Cependant, nombre de réponses (fausses) n'attachent d'importance qu'à l'origine supposée des référentiels (à la surface ou au centre de la Terre) et non pas à la direction des axes. A signaler aussi la confusion entre réf géocentrique et réf de Copernic (héliocentrique).

La projection de la force d'inertie d'entraînement dans le repère de coordonnées sphérique a piégé la plupart des candidats.

La majorité des candidats a bloqué à la question I.2.5 (voir commentaires ci-dessous).

I.3 Le “plat de résistance” du problème I s'est révélé indigeste. A part les deux premières questions faciles, la plupart des candidats se sont arrêtés à la question I.3.3.

La définition du module de Young est connue et comprise d'une petite moitié des candidats. Ceux ayant osé se lancer dans la question I.3.7 ont plutôt bien réussi.

I.4 Cette partie faisait de nombreux clins d'oeils aux classiques exercices de prépa. Quasi-ment tout le monde reconnaît une équation d'ondes (d'Alembert) et la célérité qui va avec. Le calcul de la fréquence des ondes stationnaires est assez bien traité, mais nombreuses sont les erreurs d'un facteur 2, par ceux qui confondent la demi-période et la période spatiale de l'onde stationnaire. Les autres erreurs fréquentes sont les confusions entre fréquence et pulsation, entre fréquence et période, etc...

Si une majorité de candidats évoquent le phénomène de résonance (c'est bien) ils prédisent tous sans coup férir une issue tragique, à savoir la rupture du câble. Que de catastrophisme. . .

La notion de nombre de Reynolds est plutôt bien comprise même si les erreurs dans l'application numérique sont fréquentes. L'erreur à éviter était de se tromper de longueur caractéristique (hauteur du câble au lieu de diamètre). En revanche, très peu de candidats ont tenté d'estimer l'angle d'inclinaison du câble.

Si le calcul de la longueur du train d'onde est fréquent, le calcul de l'énergie transportée est très rare.

I.5 Assez souvent les lignes se croisent. C'est une erreur à deux dimensions, mais cela peut arriver si l'on dessine en perspective des lignes de champs toriques (merci à M.J.Y.L pour cette remarque). Il n'en reste pas moins que souvent les lignes de champs tracées convergent toutes aux pôles nord et sud, et sont orientées dans la mauvaise direction.

La question I.5.2 était une application numérique ayant pour but de montrer que le champ magnétique décroissait vite avec la distance, et que par conséquent le mécanisme de dissipation qui allait suivre ne serait efficace qu'à basse altitude. Cette question donne lieu à de nombreuses erreurs dans le calcul de la norme du vecteur $\vec{B}$.

Les questions sur l'induction ont été bien abordées et assez sélectives. Pas mal de candidats ont compris, au moins qualitativement, la nature de l'amortissement des vibrations. Clairement, cette partie a souffert de ce que les candidats ayant commencé par le problème II ont manqué de temps.

II.1 Cette partie portait sur des applications directes du cours d'électromagnétisme. La structure de l'opmm dans le vide est plutôt bien connue. En revanche, le calcul du vecteur de Poynting occasionne souvent l'erreur suivante : $\langle e^{2i(qx - \omega t)} \rangle = \langle \cos(qx - \omega t)^2 \rangle$ dû à ce que les candidats oublient de conjuguer le vecteur $\vec{B}$ complexe. L'utilisation sans démonstration de la formule spécifique $\frac{\vec{E} \wedge \vec{B}^*}{2\mu_0}$ a été acceptée.

La notion de photon est connue d'une petite moitié de candidats.

II.2 Ces questions portant sur une cinétique chimique élémentaire ont été parmi les mieux traitées (un comble pour une épreuve de physique !).

II.3 C'est la partie centrale du problème II. Le traitement de cette partie a été perçu comme **vraiment décevant** par les correcteurs. La rédaction critiquable de la question II.3.3 n'explique pas tout. Clairement, la notion de plans d'onde n'est pas comprise. Les candidats semblent répondre au petit bonheur, et confondent allègrement les différents montages interférentiels vus en cours. Ainsi, nombre de copies parlent d'anneaux de diffraction (Michelson) au lieu de franges d'interférence. Le calcul des déphasages et de la différence de marche est souvent approximatif. La notion de cohérence est par contre plutôt bien connue.

Le calcul de l'intensité lumineuse des franges d'interférence est fait une fois sur trois, alors que beaucoup de candidats se sont contentés d'apprendre le résultat par coeur. Hélas, trop peu de candidats obtiennent ne serait-ce que l'ordre de grandeur du nombre de traits par mm du film photographique.

En conclusion, il y a "danger" à s'écarter du cas du Michelson ou des fentes d'Young.

II.4 Cette partie, trop délicate, n'a pas su capter l'attention des candidats. Le mot réseau n'apparaît que rarement.

Un exemple emblématique

Je souhaite commenter en particulier les questions I.2.5 et I.2.6 car elle me paraissent révélatrices de carences essentielles parmi les candidats.

Un bon tiers, disons, des candidats obtiennent une expression correcte de la tension fonction de l'altitude $T(r)$ en 1.2.4. Et pourtant, si peu parviennent à étudier correctement le signe et les variations de la fonction, qui il n'y a pas si longtemps aurait été à la portée d'un élève de première.

Comment, munis de calculatrices graphiques perfectionnées, les étudiants ne parviennent-ils pas à mieux exploiter leur résultats ? De même, pour la question 1.2.6, il suffit de donner les nombres à la calculatrice pour vérifier si la tension est négative ou positive.

Je trouve cela révélateur d'un manque de pragmatisme et de réalisme. Les candidats doivent

faire preuve de plus d'agressivité face au sujet, et tenter leur chance avec les outils dont ils disposent. Est-ce de la nonchalance ou de la paresse ? Un manque de confiance dans leur résultat ? Le fait de ne pas voir le moindre rapport entre l'expression de $T(r)$ et la question posée ? Ceci reste cependant une appréciation personnelle, d'autres correcteurs ne partageant pas ce jugement quant à l'attitude des candidats.

Conclusion et conseils

Les correcteurs saluent un effort de présentation des copies. Cela doit inciter la minorité des candidats qui persistent à rendre des copies illisibles à se mettre au niveau.

La rédaction doit être concise et la logique des phrases claire. Il faut prendre le temps de relire sa copie en fin d'épreuve. Tous les candidats devraient réviser leur alphabet grec et s'entraîner à bien en former les lettres minuscules : confusion entre μ et η par exemple.

Les questions de cours ont paru plutôt bien traitées. Rappelons que les candidats doivent s'attendre à voir leurs connaissances éprouvées, à l'écrit comme à l'oral.

Les correcteurs estiment par contre que la maîtrise des outils mathématiques fondamentaux n'est pas satisfaisante : exponentielles complexes, repères de coordonnées sphériques, équations différentielles et primitives de fonctions élémentaires, confusions entre scalaires et vecteurs, homogénéité des expressions... Ces fautes grossières n'ont bénéficié et ne bénéficieront d'aucune indulgence.

Nous conseillons enfin aux candidats de mieux exploiter les possibilités numériques et graphiques de leur calculatrice, et à ne pas négliger les applications numériques.