

## Composition de Physique et Sciences de l'Ingénieur, Filière MP

Rapport de MM. Yannick DESHAYES et Sylvestre LACOUR, correcteurs.

## Présentation du sujet

Le sujet proposé cette année portait sur un lecteur de disque optique de type Compact Disc (CD). La première partie du sujet, plus Science de l'ingénieur, portait sur l'étude du mécanisme de lecture de ce dispositif. La seconde partie, plus physique, se concentrait sur l'étude de la focalisation du faisceau laser afin d'étudier le suivi d'une piste gravée sur le CD.

La tête de lecture est reliée à un système mécanique vis écrou permettant de balayer la surface du disque alors que ce dernier est entraîné en rotation. De cette manière, il est possible de lire la totalité du disque optique. Le système automatique de contrôle de positionnement de la tête de lecteur était, en partie envisagée dans ce travail.

L'optique de lecture est étudiée dans la deuxième partie. Elle se compose de 4 sous-parties qui couvrent extensivement le domaine de l'optique. Elle comprend notamment une étude de i) la polarisation, ii) la diffraction, iii) l'optique anamorphique, et enfin iv) la réflexion sur la surface du CD.

## Résultats des candidats

Le Tableau 1 présente la répartition des notes des candidats français. La moyenne de l'épreuve s'établit à 8,08 avec un écart-type de 3,05.

$0 \leq N < 4$	70	8,7%
$4 \leq N < 8$	332	41,4 %
$8 \leq N < 12$	318	39,7 %
$12 \leq N < 16$	78	9,7 %
$16 \leq N \leq 20$	4	0,5 %
Total	802	100 %
Nombre de copies : 802		
Note moyenne : 8,08		
Écart-type : 3,05		

Tableau 1 : Résultat de l'épreuve P &amp; SI filière MP

La Figure 1 donne le taux de réussite des candidats français à chaque question. Une question est considérée comme réussie si le candidat a reçu au moins la moitié des points. Certaines questions ont été réussies par une grande partie des candidats, mais ne sont pas celles qui ont fait la différence sur la notation finale. On remarquera une disproportion de réussite entre la partie 1 (question 1 à 26) et la partie II (question 27 à 51). Ce résultat montre clairement un regrettable désengagement des candidats pour l'étude optique, qui, même si non trivial, a fait la différence entre les candidats de bon niveau.

Comme chaque année, l'attention des futurs candidats est attirée sur le fait que des applications numérique fort simple ont fait perdre des points à une bonne partie des candidats. Il est rappelé que la valeur numérique d'une grandeur physique doit être obligatoirement suivie d'une unité, sans quoi le résultat est considéré comme faux.

Les unités de base du Système international sont bien sûr correctes et acceptées, mais il est préférable de savoir que la durée d'un CD est donnée par les industriels en minutes. Il est également souhaitable de savoir l'ordre de grandeur de la durée d'un CD (environ 74 minutes) pour ne pas donner des résultats qui dépassent l'entendement (1 microseconde ou plusieurs siècles).

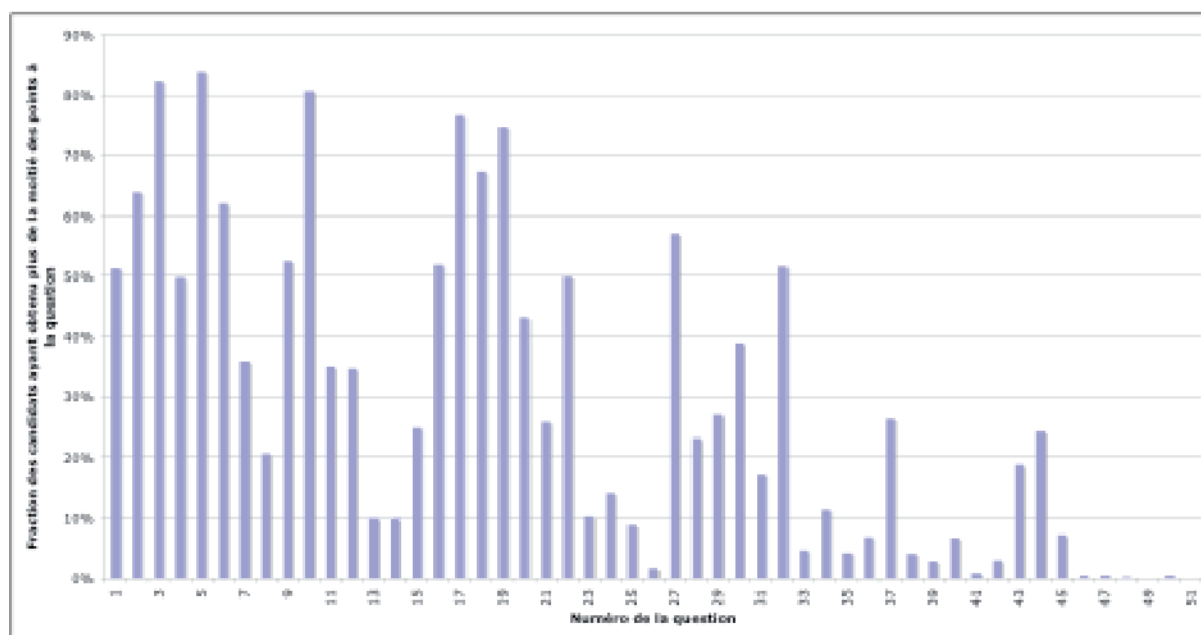


Figure 1 : Taux de réussite des candidats par question

Reprenant les termes des rapports des années précédentes, nous souhaitons insister à nouveau sur l'importance de la qualité de la rédaction (précision, concision et propreté) dans l'appréciation d'une copie. Un raisonnement clair, concis et bien exprimé a bénéficié d'une notation plus favorable que la simple énonciation du résultat juste. Le fait d'exposer sa démarche permet de montrer :

- la compréhension du problème,

- la maîtrise des méthodes de résolution,
- l’aptitude à expliquer aux autres un problème posé.

Ses différentes qualités sont incontournables dans un métier d’ingénieur de haut niveau et ne peuvent, en aucun cas, être mis de côté lors d’un concours. De plus, l’utilisation d’un commentaire concis et/ou d’un schéma pour appuyer sa démonstration scientifique ont été fortement pris en compte dans la notation de chacune des questions.

## **Partie I : Aspects de la mécanique d’un lecteur de CD**

**I.1. Caractéristiques cinématiques des éléments du lecteur.** Cette première partie contenant 4 questions permettait d’appréhender le fonctionnement cinématique général du lecteur. La question **1** abordait le calcul de la longueur de la piste d’enregistrement d’un disque. Cette question a été très moyennement réussie et certains étudiants ont oublié la définition d’une spirale. On acceptait un calcul approché utilisant une somme de série finie ou bien le calcul intégrale. Les réponses de la question **2** ont été quelques fois exotiques avec des microsecondes ou bien des siècles comme réponse du temps de lecture, mais dans l’ensemble les candidats ont donné des valeurs proches du bon résultat (74 minutes). Les questions **3** et **4** ont été relativement bien traitées lorsqu’elles ont été abordées. On notera assez peu d’erreur de calcul dans l’ensemble.

**I.2. Une solution technologique pour le déplacement du spot laser.** La question **5** a été bien traitée par une grande partie des candidats. On notera quelques erreurs de dénomination de liaison. La question **6**, demandant une démonstration, a été traitée de manière très inégale. Un nombre trop important d’étudiants n’ont même pas fait de démonstration et d’autres ont oublié les justifications nécessaires pour mener les calculs. La question **7** a été bien mal traitée alors que le degré d’hyperstatisme est une définition élémentaire de mécanique. Un trop grand nombre de candidats ne savent pas définir le degré d’hyperstatisme.

**I.3. Dynamique de la solution à déplacement radial du chariot.** Cette partie du problème a été relativement décevante au niveau des réponses bien qu’étant, en partie, proche de questions de cours. En effet, les questions **8**, **9** et **10** étaient proches de questions de cours. Il est inconcevable pour un ingénieur de haut niveau de ne pas savoir écrire correctement le théorème du moment dynamique ou bien de faire un bilan des efforts très approximatif. Les étudiants semblent préférer les mouvements en translation puisque la question **10** est une des questions les plus réussies. Les questions **11**, **12** et **13** demandaient une approche de type système matriciel que les étudiants de classes préparatoires devraient maîtriser. Ce n’est pas du tout le cas puisqu’on atteint les plus mauvais résultats de cette partie. Un trop grand nombre d’étudiants ne savent pas présenter correctement un système de deux équations. Dans de nombreux cas, la mise sous forme matricielle a été très insuffisante.

**I.4. Système de suivi de la piste spirale.** Cette partie du problème a été relativement bien traitée malgré les difficultés de signe et de convention non conforme. Les étudiants maîtrisent dans une bonne partie la transformation de Laplace. La simplification des équations a parfois été incomplète ce qui a coûté de nombreux points à de nombreux candidats. Il fallait, en effet, considérer que les termes en  $L$  étaient négligeables et non seulement le terme en  $p^3$ . Très peu de candidats ont correctement analysé la stabilité du système du second ordre avec une résonance. Ce cas est pourtant relativement basique et ne nécessite pas une connaissance de l'automatique hors programme.

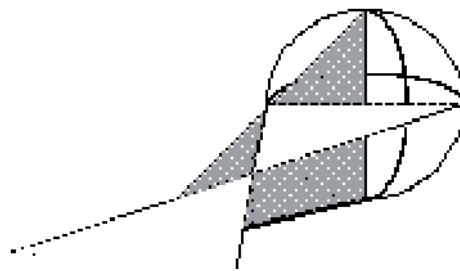
**I.5. Asservissement du suivi de la piste spirale.** Cette dernière série de questions est sans doute la plus difficile de la **partie I**. Elle a d'ailleurs été très peu abordée par les candidats. La question **22** est une question de cours et a été relativement bien traitée. La question **23** a souvent été mal abordée et les calculs étaient souvent faux. On ne pouvait pas faire de simplification car la taille du spot est généralement de l'ordre de grandeur de la dimension de la piste. La simplification n'étant pas possible, on procède à un pilotage automatique par calcul en temps réel. Cela permet d'effectuer un asservissement sur des dispositifs non linéaires. La question **24** n'était pas insurmontable car il suffisait de traduire le comportement d'un capteur reproduit sur un graphe par une équation de Laplace. Cette partie du traitement de Laplace semble ne pas être maîtrisée par les étudiants qui ont abordé la question. La question **25**, plus complexe, introduisait un amplificateur à marge de phase dont l'étude graphique est relativement simple mais l'introduction dans un système est plus difficile à comprendre. Cet amplificateur permet, en fait, de ramener la phase de quasiment  $90^\circ$  afin de s'éloigner du point (Gain = 1 phase =  $180^\circ$ ). Pour un système du troisième ordre, on place l'ampli à la fréquence où le système a une phase de  $225^\circ$  ( $180+45$ ). De cette manière, la phase du dispositif complet est de l'ordre de  $135^\circ$ . La question **26** sur l'étude du dispositif complet a été assez peu traitée, mais était tout de même hors programme.

## Partie II

**II.1. Isolateur Optique.** Le principe est le suivant : l'onde est polarisée rectilignement par le cube séparateur, la lame quart d'onde transforme la polarisation rectiligne en polarisation circulaire (question **1**, **2** et **3**), le disque réfléchi l'onde perpendiculairement sans modifier la polarisation (question **4**), puis la lame quart d'onde retransforme l'onde rectilignement (à  $90^\circ$  de l'onde incidente) pour que le cube séparateur renvoie la lumière vers la photodiode (question **5**). Il s'agit ici d'une utilisation classique de la polarisation pour obtenir une mesure incidente sur une surface à  $90^\circ$  (en l'occurrence la surface du CD). Ceux qui avaient la connaissance d'un tel système pouvaient appréhender le problème avec plus de sérénité. Attention cependant à trop d'engouement. Par exemple, question **2**, l'objectif est de montrer que la lame déphase une polarisation par rapport à l'autre de  $90$  degrés. Or, certains candidats n'ont pas effectué le calcul modulo  $2\pi$ , et se sont arrêtés à  $89.6$  radians (certains même oublient complètement la notion d'unité, en écrivant  $89.6^\circ$ ).

**II.2. Focalisation.** Cette partie porte sur la notion de diffraction. Celle-ci est généralement abordée dans le cas du champ lointain ( $1.22\lambda/d$ ). Mais ce n'est pas le cas ici : la grande ouverture de la lentille nous place dans un cas intermédiaire (diffraction de Fresnel). La question 6 porte justement sur le calcul de la diffraction sous la forme  $1.22\lambda/d$ . La question 7, outre l'application numérique, consiste à noter que l'on n'est pas dans l'approximation de Gauss (ouverture trop importante). Une réponse plus mitigée comme : « on est à la limite de cette approximation », si justifiée, a été considérée comme recevable par les correcteurs. Ceci étant, la question 8 est notée comme juste si et seulement si l'approximation des petits angles n'a pas été faite. La réponse à la question 9 est 1.73 nm. Il s'agit ici d'un simple calcul géométrique, mais très rarement bien effectué. La question 9 est la question type où un bon schéma, ainsi qu'une tête bien reposée, permet de gagner facilement quelques points. A la question 10, il faut remarquer que le dioptre plan ne modifie ni l'ouverture numérique, ni le grandissement.

**II.3. Détection optique des défauts de focalisation.** Cette partie faisait appel à deux capacités du candidat. La géométrie, et la connaissance pratique de l'optique. Une erreur suffisamment fréquente (environ 5% des copies) est la représentation d'une lentille convexe avec des faisceaux qui divergent, perpendiculaires à la surface bombée. Une telle représentation, non seulement choque le correcteur, mais aussi montre que le candidat n'a jamais tenu entre ses mains une lentille avec un regard critique. Le système étudié dans cette partie n'est guère plus complexe. Il s'agit d'une lentille cylindrique suivie d'une lentille convergente. La majorité des points pouvaient être obtenus sans calculs, juste sur la base de la réflexion. Question 11 : la lentille cylindrique fait converger uniquement les rayons dans le plan  $yOz$ . Question 12 : l'ensemble lentille conventionnelle + lentille cylindrique focalise  $xOz$  au foyer de la lentille convergente, et  $yOz$  légèrement avant ce même foyer. Il y a donc deux foyers distincts (optique anamorphique). Chacun de ces foyers n'est plus caractérisé par un point, mais par un trait focal (question 13) :



La question 14 aurait pu être posée de la façon suivante : est-ce que les rayons sur le plan  $yOz$  convergent avant ou après ceux du plan  $xOz$  ? La réponse est oui, parce que la lentille cylindrique est convergente selon  $yOz$ . Notez que l'énoncé parle du plan  $B_1B_2C_1$ , qui est le même que le plan  $B_1B_2C_2$ . La question 15 est triviale pour qui a répondu à la question 13 (voir schéma plus haut). Enfin la question 16 consiste en un simple calcul géométrique, facilité si l'on fait l'hypothèse pertinente que les deux traits focaux ont les mêmes longueurs. Le cercle de moindre confusion est alors à égale distance de  $C_1$  et  $C_2$ .

**II.4. Etude du faisceau réfléchi.** Cette partie a été très peu explorée. Il s'agit pourtant d'une étude optique plus classique, et peu difficile. Les correcteurs ont clairement pu sentir la fatigue des candidats, qui ont eu à affronter un sujet particulièrement long et varié. Elle commence question **17** par le calcul de la dérivé de  $OA'$  par  $OA$ . Ce calcul est obtenu via la relation  $1/OA + 1/OA' = 1/f$ . La question **18** peut être répondu par un rapide schéma montrant que  $G = -f_1/f_2$ . Pour la question **19**, il fallait noter que le point source équivalent se déplaçait de deux fois le déplacement de la surface réfléchissante (d'où le facteur 2). La question **20** contient une simple application numérique ( $R_c$ ) qui est l'occasion de gagner quelques points. Les calculs de la longueur des traits focaux et du diamètre du cercle de moindre confusion nécessite cependant d'avoir compris la partie **II.3**. Question **21**, il est intéressant de noter que le diamètre de la tache de diffraction donné est différent de celui trouvé question **8** ( $2.13\ \mu\text{m}$ ). Il s'agit là d'une volonté délibérée du rédacteur du sujet de tester la confiance en eux des candidats. La question **22** est l'occasion pour le candidat de comprendre la raison de l'utilisation d'une optique anamorphique : suivant la direction de déplacement du CD en  $z$ , la tache de diffraction s'allonge dans une direction ou dans une autre. Cela va permettre d'asservir la tête de lecture. La question **23** en est une application numérique. La question **24** nécessite d'utiliser – et de connaître – la formule des réseaux. Elle en est une simple application. Enfin, question **25**, il fallait remarquer que la taille des taches de diffraction est proche de celle des aires détectrices des photodiodes.