

# EPREUVE DE PHYSIQUE-CHIMIE

Durée : 4 heures

## PRESENTATION DU SUJET

Le problème est structuré en trois parties indépendantes. La première est consacrée au contrôle de plaques d'immatriculation par caméra infra-rouge tandis que la seconde aborde la détection de véhicules par boucles inductives incluses dans la chaussée. La troisième aborde la production industrielle de soufre par le procédé Claus.

- La première partie débute par un dimensionnement des caméras et se poursuit par la détermination graphique puis littérale de leur profondeur de champ. L'objectif consiste à justifier *a posteriori* les choix effectués par le constructeur (distance focale, diamètre des lentilles, plage de longueur d'onde observée).
- La deuxième partie propose dans un premier temps de déterminer l'inductance d'une spire rectangulaire par calcul direct de son flux propre puis d'étudier, par une lecture de carte de champ, l'influence du châssis d'un véhicule positionné au-dessus de cette spire. Le but est de nouveau de comprendre les recommandations d'un constructeur de ce type de matériel (notamment le nombre de spires à placer dans la chaussée).
- La dernière partie du sujet concerne la production de soufre à partir d'hydrogène sulfuré  $H_2S$  par le procédé Claus. La caractérisation successive d'une combustion totale, d'une oxydoréduction limitée puis de deux réductions catalysées permet de suivre tout au long du processus l'évolution de la composition de 100 moles de gaz traitées. Une description de la structure électronique du soufre puis de la cristallographie du catalyseur utilisé conclut cette partie.

## COMMENTAIRE GENERAL DE L'EPREUVE

Ce sujet aborde cinq domaines des sciences physiques : l'optique géométrique, l'électromagnétisme, l'électrocinétique, la thermochimie et la structure de la matière. Il permet à la fois de vérifier les connaissances des candidats, d'évaluer leur capacité à les mettre en œuvre dans une situation nouvelle et enfin de tester la manière dont ils abordent l'étude d'un dispositif concret.

Dans ce but, l'énoncé comporte quatre types de questions : application du cours, raisonnement qualitatif, calcul littéral ou numérique et réflexion sur la valeur des paramètres. L'équilibre entre ces différents aspects et l'indépendance de très nombreux groupes de question permet une évaluation de compétences complémentaires et empêche qu'un candidat ne reste bloqué en cours d'épreuve. La difficulté graduelle de chaque partie assure enfin une utilisation de toute la plage de notation.

Le sujet ayant été conçu à partir des documentations techniques des dispositifs étudiées, tout en restant strictement conforme au programme de la filière MP, il confronte les candidats à des dispositifs existants et révèle ainsi la manière dont ils peuvent utiliser leurs connaissances lors de l'étude de systèmes réels. Une compréhension concrète des concepts abordés et un bon esprit critique sont donc des atouts pour mieux réussir une telle épreuve, dont l'objectif est de participer au recrutement de futurs ingénieurs.

## ANALYSE PAR PARTIE

### 1<sup>ère</sup> Partie : Contrôle des plaques d'immatriculation

#### A / Dimensionnement des caméras

Cette section débute par une question portant sur la réalisation d'une image réelle à partir d'un objet réel (explicitement au programme de MPSI) : de manière très surprenante, moins de 10% des candidats ont su dire que cette opération est nommée projection et qu'elle nécessite que la distance objet-image soit supérieure à quatre fois la distance focale.

Les expressions littérales de la position du capteur CCD et du grandissement ont été très bien déterminées à l'exception des candidats n'ayant pas pris soin de distinguer la notation algébrique  $\overline{OP}$  de la distance  $L$ .

La détermination de la taille du capteur CCD et d'un pixel a posé problème aux candidats n'ayant pas compris que le théorème de Pythagore permettait de relier la diagonale aux cotés, dont on connaissait les proportions.

Les candidats ayant traité toutes les questions quantitatives ont souvent bien interprété leurs résultats dans les dernières questions. L'estimation de la taille de la tache de diffraction est en revanche très rarement bien menée et comporte des confusions entre l'angle au sommet du lobe principal et la taille de la tache image sur le capteur CCD.

#### B / Profondeur de champ

Les constructions graphiques sont globalement satisfaisantes bien qu'un nombre conséquent de candidats ne sache pas déterminer la direction d'un rayon lumineux après traversée de la lentille sans utiliser d'objet orthogonal à l'axe optique, cette lacune les empêche de réaliser la dernière construction. Il est à noter des étourderies très dommageables comme par exemple un rayon incident passant par le foyer image mais non dévié après traversée de la lentille.

La seconde partie fait appel aux capacités de calcul des candidats et est plus délicate. Elle nécessite pour démarrer de bien comprendre le problème posé et d'appliquer le théorème de Thalès sur les bons triangles.

## DEUXIEME PARTIE : Détection de véhicules par boucle inductive

#### C / Inductance de la boucle

Cette partie propose une démarche très proche du cours afin d'estimer l'inductance d'une spire rectangulaire. Le jury regrette qu'à peine plus de 50% des candidats ne sache déterminer le champ magnétique créé par un fil infini de section non négligeable.

Les notions élémentaires de circulation et de flux ne sont pas bien maîtrisées : le barème valorise les étudiants écrivant correctement ces intégrales sans forcément réussir à les calculer, mais le jury a rarement attribué ces points.

Que penser des trop nombreux candidats affirmant que le champ magnétique est colinéaire à l'axe du fil puis poursuivant par un « calcul » de sa circulation le long d'un cercle de même axe sans se préoccuper du fait qu'alors  $\vec{B} \cdot d\vec{l} = 0$  ?

La suite est correctement menée lorsque le flux produit par un des côtés de la spire est déterminé. La multiplication de l'inductance par  $n^2$  lors de la mise en série de  $n$  spires n'est connue que d'une très faible minorité de candidats. Cette notion n'étant pas explicitement au programme, la question est donc en fin de partie et n'est pas pénalisante.

## **D / Détection d'un véhicule**

Cette dernière partie de physique comportait à la fois des questions plus délicates et des questions d'application directe du cours. Les unes comme les autres n'ont pas été bien traitées et rares sont les candidats à correctement argumenter leur réponse.

Il est très regrettable de constater que de nombreux raisonnements corrects n'aboutissent pas à cause d'une simple erreur de signe ou de calcul. Le calcul numérique du champ magnétique créé par chaque fil est par exemple correct mais une erreur sur leur sens lors de la sommation conduit certains à affirmer que  $B(O) = 0 \text{ T}$ . L'expression de la résistance d'un barreau est connue par près de la moitié des candidats mais moins d'un sur dix ayant donné la bonne formule réussit l'application numérique. L'équation du circuit RLC comporte fréquemment un signe moins devant le terme d'ordre 0 à cause d'une mauvaise application de la loi des mailles. La définition du facteur de qualité est quant à elle largement ignorée.

## **TROISIEME PARTIE : Production de soufre par procédé Claus**

### **E / Conversion de l'hydrogène sulfuré**

La détermination de l'enthalpie libre et des constantes de réactions est globalement bien comprise (aux erreurs d'unité près). Il est regrettable de noter que de trop nombreux candidats n'ont pas assimilé la différence entre constante d'équilibre et quotient réactionnel. La détermination des quantités de matière n'a pas posé de problème, excepté pour le diazote qui nécessitait de bien prendre en compte le ratio 1 : 4 entre  $O_2$  et  $N_2$ .

### **F / Conversion catalytique**

Cette partie n'a pas été bien comprise par les candidats lisant l'énoncé trop rapidement et ne cherchant assez à en comprendre l'esprit. Les réponses ne font que très rarement apparaître les différentes quantités de matière et se résument à une succession de calculs le plus souvent faux et non justifiés.

### **G / Structure du soufre**

Cette partie fait appel à des connaissances de base et à été plutôt bien menée. Nous rappelons cependant aux candidats que les électrons non appariés doivent être représentés sous forme d'un point dans la structure de Lewis et que chaque atome doit vérifier la règle de l'octet dans une molécule. Les appellations « interaction forte » et « interaction faible » ne paraissent enfin pas appropriées pour désigner les liaisons en jeu dans les molécules.

### **H / Structure de $\beta$ -SiC, support de catalyseur**

Les candidats connaissant le cours ont abordé cette partie avec succès.

## **ANALYSE DES RESULTATS**

Les copies sont de qualité très variable, allant d'une résolution quasi complète du sujet, allée à une présentation et une réflexion de grande qualité jusqu'à des brouillons d'une ou deux pages ne comportant aucune réponse mise en valeur ni argumentation.

Un nombre plus important de questions a été abordée durant cette session par rapport aux précédentes, néanmoins le jury souhaite préciser qu'un clivage important se dégage entre deux types de copies :

- celles comportant une volonté affichée de bien se faire comprendre du correcteur en mettant en valeur les réponses, en veillant à leur correction et en les justifiant avec soin,
- celles faisant preuve d'une absence de mise en forme et de soin intellectuel, des « idées » sont jetées au fil de la plume, sans respecter l'ordre des questions ni s'assurer de l'intérêt de la réponse, parfois enfouie dans des digressions inutiles.

Les candidats doivent avoir conscience que leur travail est destiné à être lu par le jury. Il convient donc qu'ils le rendent intelligible et qu'ils s'assurent de la qualité de leurs réponses (« Ai-je répondu à la question posée ? », « Mon résultat est-il homogène et comporte-t-il une unité ? », « Ma réponse est-elle encadrée ? », « L'ordre de grandeur est-il plausible ? », ...)

A titre d'exemple, le jury a pu lire que le capteur CCD mesure 1651,52 mm par 349,36 mm, que la caméra a un champ de vue de 1705,9 m par 1271,2 m, qu'il faut bobiner 201 234 000 spires pour réaliser le capteur inductif ou encore que la compacité de  $\square$ -SiC vaut  $2,14 \cdot 10^{-5}$ , 3,02 ou 5,66.

Notons que de trop nombreux candidats ne savent pas répondre aux questions portant directement sur le cours. Ceci est très regrettable et ne permet évidemment pas de traiter l'épreuve sérieusement. Certaines copies ne comportent enfin aucune mention de chimie, rappelons qu'il s'agit d'une épreuve de physique-chimie et qu'il est regrettable, en ne traitant que la physique, de se priver de près du tiers des points du barème.

Après le traitement informatique d'usage, la moyenne s'élève à 8,62 sur 20, avec un écart-type de 4,11. L'étalement des notes permet un classement efficace des candidats :

## **CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS**

Le jury reprend ici les conseils déjà formulés lors des épreuves antérieures. Il invite les candidats à accentuer leurs efforts sur l'apprentissage du cours, qui demeure le socle fondamental des connaissances permettant ensuite aux étudiants de traiter des questions plus originales.

Par ailleurs, s'inspirer de trop près d'une solution type, sans chercher réellement à s'adapter au problème posé n'est pas productif. Une lecture attentive et une attitude ouverte face au sujet permettent d'éviter ce travers.

Enfin, en tant que futur ingénieur, le candidat doit faire preuve de persuasion. A l'aide d'un bon maniement de l'expression écrite et d'une démarche rigoureuse, il doit convaincre le jury qu'il maîtrise son sujet. Ainsi, une copie se présentant comme une suite ininterrompue d'équations ou de chiffres ne saurait répondre à cette attente.