

EPREUVE DE PHYSIQUE - CHIMIE

Durée : 4 heures

PRESENTATION DU SUJET

Le problème illustre le « parcours » d'un polymère, le polyméthacrylate de méthyle (PMMA) dans le cadre de la réalisation d'une plaque transparente et comportait trois parties totalement indépendantes :

- Polymérisation du MMA et plus particulièrement l'étude de la cinétique de polymérisation ;
- Injection dans un moule de forme simple, assortie de la qualification de l'écoulement et la détermination du profil de vitesse entre les plaques du moule ;
- Contrôle de l'indice de réfraction par interférométrie optique (Mach-Zehnder).

COMMENTAIRE GENERAL DE L'EPREUVE

La totalité des questions (sauf la fin de la partie optique) a été parfaitement résolue par un certain nombre de candidats ; malheureusement beaucoup d'entre eux rencontrent des difficultés à exploiter l'énoncé (les réponses à plusieurs questions étaient implicitement contenues dans le texte, à condition de le lire attentivement), à rédiger leurs solutions de façon simple et compréhensible.

Les questions purement qualitatives d'analyse des résultats ou des phénomènes décrits sont souvent éludées sinon bâclées et la rédaction se réduit trop souvent à un mot, à une formule débarquant de nulle part ou à une succession d'équations sans explication ni articulation. Pour compléter, signalons que l'orthographe et style deviennent de plus en plus pauvres.

Le niveau de difficulté très variable des questions et le caractère indépendant de certains paragraphes a ouvert pour bon nombre de candidats une "chasse aux points" alors qu'ils n'ont ni appréhendé, ni compris le fonctionnement global du dispositif proposé. Tous les correcteurs sont unanimes à dire qu'il serait plus profitable pour eux, en termes de points accumulés, à rédiger certaines parties dans leur globalité plutôt que de papillonner d'une question à une autre.

La malhonnêteté intellectuelle est toujours présente : appropriation de résultats déjà fournis dans l'énoncé ou résolution des calculs à l'envers, pour lesquelles les correcteurs sont sans pitié. Certains candidats n'hésitent pas à reproduire des résultats d'exercices stockés dans leur calculette, sans la moindre explication ; ils font alors preuve de naïveté car les correcteurs, eux, ne sont pas dupes.

Toutes les questions élémentaires de démarrage de parties ou sous parties ont bien été abordées ; mais dès lors que les questions suivantes commençaient à assembler les résultats de ces premières questions, les candidats ont très souvent renoncé à poursuivre, comme par crainte d'un effort supplémentaire de réflexion ou de calcul.

C'est la première fois depuis qu'existe cette épreuve de Physique-Chimie PSI que la chimie a été aussi peu (20% des candidats l'ont purement et simplement boycottée) et surtout aussi mal traitée. Sans doute les candidats ne s'attendaient-ils pas à quelques questions de chimie organique ni à de la cinétique sur ces mêmes produits, mais l'étude du PMMA figure au chapitre des matériaux polymères de seconde année, tandis que la cinétique est un classique du programme de chimie de première année, quelle que soit la sous-section.

ANALYSE PAR PARTIE

1^{ère} Partie : PMMA et cinétique de polymérisation

A / Polymérisation et MMA

Les questions de chimie organique ne présentaient guère de difficulté pour quelqu'un qui avait appris son cours. Il est totalement inadmissible que les candidats ne sachent pas reconnaître une base de Lewis, ne sachent pas représenter des formules mésomères d'un composé ou ne connaissent pas les règles d'addition d'un radical carboné sur une double liaison carbone-carbone. Les correcteurs ont accumulé en quatre questions un régal d'horreurs, où tout et le contraire de tout du programme de chimie organique a pu être rencontré. Pour bien des candidats, l'appellation vinylique provient de la fonction CO-O-CH₃, ou est liée à la présence de 20 atomes dans la molécule, ou encore parce qu'on la rencontre dans le vin ... ! Plus grave encore, un candidat sur deux se hasardant dans cette partie confond mésomérisation et isomérisation, avec un régal de formes Z ou E ! Par ailleurs il eut été amusant de comptabiliser les pour et les anti Markovnikov et Karasch, afin de choisir le malheureux carbone sujet à l'attaque par un radical, mais en se préoccupant que très peu de notions élémentaires d'encombrement stérique.

B / Cinétique de polymérisation

Le schéma réactionnel de la polymérisation radicalaire était totalement décrit et expliquée dans l'énoncé. De plus les candidats n'avaient qu'à se laisser guider par les questions successives pour mener à bien l'étude des différentes vitesses de réaction. Pour ceux qui se sont donné la peine d'y réfléchir, la rédaction de la partie plus théorique a été réalisée de façon satisfaisante et les vitesses de réaction ont été obtenues assez facilement, montrant bien qu'ils étaient capables de mener à bien une étude cinétique, même sur des molécules organiques. Les correcteurs n'ont par contre pas apprécié les nombreux candidats qui « balançaient » les expressions des vitesses de polymérisation et de terminaison sans le moindre calcul intermédiaire ni explication, même succincte. A titre anecdotique, au sujet de l'hypothèse de la quasi-stationnarité des intermédiaires réactionnels, 14% des candidats l'attribuent à son auteur, Bodenstein, 5% à Van't Hoff, 2% à Arrhenius, sans oublier Lewis, Gibbs, Cauchy, Euler, Einstein, Ellingham et même Mendeleïev.

C / Analyse de résultats expérimentaux

Le concepteur proposait de confronter les résultats théoriques aux résultats expérimentaux de Sigimura et Minoura qui font foi dans le domaine. La majorité des candidats sont incapables d'exploiter des résultats tracés sur un graphique (a fortiori ici avec des échelles logarithmiques) et le phénomène s'accroît d'année en année, alors que les épreuves introduisent de plus en plus ce type d'analyse. L'ordre de la réaction, qu'il soit donné pour 0, 1, 2 ou une valeur algébrique quelconque ... est écrit sans aucune justification. Rares furent les candidats à calculer les différentes vitesses, en suivant le guide de l'énoncé ; quant aux unités (il est vrai, peu courantes comme des L. mol⁻¹.s⁻¹) elles brillèrent par leur absence ! La dernière question, relative à la variation de la constante de vitesse apparente consécutive à une variation de la température, a confirmé une fois de plus que les élèves n'ont toujours pas

assimilé la notion de variation relative d'une grandeur et que malgré les heures et les heures d'enseignement de la mathématique, ils ne savaient toujours pas différentier une grandeur.

2^{ème} Partie : Thermique de l'injection

D / Ecoulement de Poiseuille plan

La détermination de la répartition du champ de vitesses entre deux plaques a montré que les candidats ne savent pas répondre à une question dont la réponse est fournie dans l'énoncé ; entre ceux qui écrivent une page pour ne rien prouver, ceux qui essaient vainement de se raccrocher à leur cours, rares furent ceux qui étayèrent leur réponse sur l'invariance temporelle, l'invariance par symétrie et surtout l'incompressibilité du fluide. L'appellation viscosité est connue, même si la confusion entre dynamique ou cinématique est fréquente, les unités sont correctes (l'orthographe de Poiseuille nettement moins !).

La question de culture générale sur fluides newtoniens et non-newtoniens a été éludée ; pourtant un nombre intéressant de candidats propose des exemples de tels fluides, tels le dentifrice, la peinture ou le mélange eau-maïzena.

E / Profil de vitesse entre les plaques

La détermination de la force volumique de viscosité à partir d'un schéma très explicite s'est souvent résumée à l'écriture d'une formule toute faite ou à l'établissement d'un résultat qui pour un bon quart des candidats renfermait encore un élément de volume, fini ou infinitésimal).

Le point d'orgue de cette partie était la détermination du profil de vitesse de l'écoulement. La relation de Navier-Stokes était fournie mais un nombre insuffisant de candidats a établi sans faille le profil parabolique ; beaucoup d'autres l'ont également obtenu mais en se moquant de la démonstration, en retirant sans explication tout terme qui les dérange, en ignorant totalement pourquoi le gradient de pression était écrit égal à une constante, en jouant sur les signes quand cela les dérangeait ... avec à la fin un tracé correct ! Les évaluations numériques des diverses grandeurs (vitesses, débit) ont été correctes dans l'ensemble, même si un très grand nombre de candidats attachent une telle importance au nombre de Reynolds qu'ils en oublient souvent de calculer les vitesses.

L'évaluation de divers temps de séjour du polymère dans le moule (données essentielles pour déterminer le temps de réalisation d'une pièce) a été dans l'ensemble correctement traitée d'un point de vue purement mathématique mais mal interprétée d'un point de vue technique.

3^{ème} Partie : Contrôle de l'indice de réfraction par interférométrie optique

F / Etude préliminaire

En milieu industriel, la caractérisation optique de plaques de PMMA par interférométrie fait partie des tests obligatoires, à côté de tests mécaniques, dans le cadre du contrôle qualité du produit fabriqué.

Après une description très précise de l'interféromètre de Mach-Zehnder, il était proposé au candidat une étude préliminaire afin de se familiariser avec cet appareil et d'établir quelques résultats élémentaires, utiles pour la suite de l'étude. Alors qu'il était simplement demandé d'additionner les amplitudes de deux faisceaux réalisant deux parcours différents au gré de leurs transmissions ou réflexions sur des miroirs ou des séparatrices (pour lesquels les coefficients de transmission et réflexion étaient fournis), il fut rarissime de trouver des candidats réalisant correctement cette addition ; l'évaluation des éclaircissements correspondants était ensuite un autre obstacle.

Un nombre impressionnant de candidats ne sait pas qu'une lame mince d'épaisseur e et d'indice n provoque un accroissement de chemin optique de $e(n-1)$, eux se contentant de ne .

Dans un cas comme dans l'autre, l'éclairement est uniforme mais de très nombreux candidats veulent à tout prix y observer sur l'écran des franges, des anneaux ; ne sont-ils donc capables que de réagir par mimétisme et de ne pas réfléchir devant une question plus que simpliste ? Pour la lame inclinée dans le faisceau, l'expression de la différence de marche (fournie dans l'énoncé) devait être démontrée : comme d'habitude toutes les supercheres pour obtenir le résultat ont été notées mais dans la majorité des cas ils se sont contentés d'admettre le résultat, pensant qu'il leur serait insurmontable de calculer la différence entre deux chemins optiques, assorti d'un peu de trigonométrie !

L'obstacle majeur à leur poursuite dans cette partie fut de simplifier cette différence de marche en se plaçant dans un domaine de faibles angles d'incidence et de réfraction (niveau classe de Terminale) ; le concepteur leur avait fourni généreusement les approximations nécessaires ainsi que les relations trigonométriques utiles ; ce fut une hécatombe et pour beaucoup l'arrêt de leurs efforts.

G / Détermination précise de l'indice de réfraction

Fort heureusement quelques bons candidats (moins de 10% tout de même) ont franchi cet obstacle pour aborder une approche originale pour déterminer précisément l'indice de réfraction, sans pour autant être confiné dans le domaine des petits angles. Bien guidés par l'énoncé, qui leur proposait successivement les relations à établir, un certain nombre a obtenu la relation permettant de calculer l'indice. Il est dommage que le manque de temps ou le caractère plus calculatoire des trois dernières questions les aient stoppés à ce stade.

ANALYSE DES RESULTATS :

Malgré un barème adapté à la diversité et au grand nombre de questions et favorisant les questions proches du cours, les résultats constatés sont loin d'être satisfaisants, d'autant que la longueur de l'énoncé avait notablement diminué par rapport aux années précédentes. Le niveau général des connaissances a été jugé insuffisant par les correcteurs. Les réponses fournies sont souvent très approximatives, non justifiées, dénotant des connaissances trop superficielles. La simple lecture de graphes, a fortiori leur utilisation, pose des difficultés à bon nombre de candidats.

Traiter un problème de Physique-Chimie, c'est exposer la solution de façon claire et concise. Encore plus aujourd'hui qu'hier, il reste trop difficile pour beaucoup de candidats de rédiger leurs réponses de façon synthétique et compréhensible. La rédaction se réduit trop souvent à une succession d'équations sans explication ni articulation.

Après le traitement informatique d'usage, la moyenne s'élève à 8,92 sur 20, avec un écart-type de 3,90. Quelques très bonnes copies ont été appréciées mais beaucoup trop de copies stagnent avec un total ne dépassant pas quelques points.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS :

La première recommandation une lecture soignée et réfléchie de l'énoncé avant de se lancer dans la rédaction : les réponses à de nombreuses questions ou des informations importantes sont régulièrement glissées par le concepteur dans les phrases introductives ou de liaison entre

les diverses parties, dans la formulation proprement dite des questions, sur des schémas explicatifs ou des graphes de résultats et même souvent dans les données numériques.

La préparation à la formation d'ingénieur ne consiste pas à apprendre une collection de formules, ni à les récrire avec l'aide précieuse de la calculatrice, sans justification, mais surtout à savoir analyser les résultats des expériences et leur modélisation. Les candidats ne devront pas se contenter de répondre mathématiquement aux questions posées, mais plutôt s'attacher à donner un sens à leurs réponses et leurs analyses.