

Travaux pratiques de physique-chimie

Présentation de l'épreuve

L'épreuve consiste à réaliser une ou plusieurs expériences, souvent pour répondre à une problématique concrète issue d'un contexte industriel, à analyser et interpréter les résultats, à en rendre compte à l'oral et à l'écrit et à en faire la synthèse, le tout dans un délai de 3 heures. Il peut s'agir de chimie, d'électricité, d'électronique, d'optique, de l'analyse d'un phénomène particulier à l'aide des notions au programme. Elle nécessite généralement le suivi ou le choix d'un protocole expérimental, une interprétation et une présentation comparative des résultats, accompagnés éventuellement de quelques justifications théoriques.

Suite à la mise en place des nouveaux programmes de CPGE, des travaux pratiques de chimie ont été proposés cette année en filière MP à environ 15 % des candidats.

D'une manière générale, le jury rappelle que les candidats sont évalués sur les compétences qui figurent au programme des deux années de préparation : s'approprier, analyser, réaliser, valider, communiquer.

Les protocoles expérimentaux peuvent être donnés dans le sujet ou proposés par le candidat. Dans ce cas, le protocole est validé au cours d'une discussion avec l'examineur. À l'issue de la discussion, un protocole détaillé est généralement distribué au candidat : c'est ce protocole que le candidat doit mettre en œuvre.

Durant la manipulation, les étudiants disposent de la notice des appareils et des modes d'emploi succincts des différents logiciels mis à leur disposition. Un technicien peut également expliquer le fonctionnement de certains dispositifs.

Parallèlement aux échanges avec l'examineur, le candidat rédige un compte-rendu dans lequel figurent, les résultats obtenus et les réponses à des questions non traitées lors de ces échanges. La rédaction d'une phrase résumant la problématique du sujet en début de compte-rendu est toujours appréciée. En guise de conclusion, il est demandé au candidat d'analyser et de valider les résultats et de répondre de façon argumentée à la problématique posée.

D'un point de vue pratique, pour des questions de sécurité, le candidat doit être en pantalon et porter des chaussures fermées. Il a besoin d'une calculatrice, de stylos et d'une blouse en coton à manches longues. Si nécessaires, les lunettes de protection lui sont fournies. Les lentilles de contact ne sont pas autorisées pour les manipulations de chimie.

Analyse globale des résultats

Le déroulement de l'épreuve n'a soulevé aucun problème particulier. L'attitude des candidats est sérieuse et correcte, sans agressivité ou indiscipline à déplorer. Certains candidats ont montré une très belle aisance dans la compréhension des sujets et dans l'expérimentation témoignant d'une excellente préparation. On peut en revanche regretter que d'autres se focalisent sur la réalisation des gestes expérimentaux mais cherchent peu à comprendre les phénomènes et à exploiter les résultats en vue de répondre à la problématique proposée. Par rapport à l'an passé, on note

que les candidats éprouvent dans l'ensemble plus de difficultés à expérimenter et même parfois à comprendre la finalité du sujet. Les principales observations sont les suivantes :

- les présentations orales sont dans l'ensemble bien préparées ;
- le compte-rendu écrit est de qualité variable, parfois médiocre, parfois trop détaillé ;
- la synthèse écrite demandée en fin d'épreuve est souvent absente ou se limitant à un simple résumé de quelques lignes énonçant les résultats obtenus ;
- l'oscilloscope numérique et ses fonctions évoluées sont dans l'ensemble bien maîtrisés, mais avec parfois un manque d'esprit critique quant aux résultats obtenus ;
- trop de candidats répondent aux questions les unes après les autres sans avoir une vision globale de leur travail ; beaucoup de candidats ne s'inquiètent pas de ne pas arriver au bout du sujet, qui est pourtant dimensionné pour la durée de l'épreuve ;
- peu de candidats fournissent spontanément des explications ou une interprétation des résultats lorsqu'elles ne sont pas explicitement demandées, même quand celles-ci restent très simples ;
- certains candidats ne font pas le lien entre la théorie et l'expérience, en énonçant des résultats sans vérifier expérimentalement ce qu'ils prédisent, ou au contraire en effectuant des mesures sans les confronter à leurs connaissances théoriques.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Attitude

L'épreuve de travaux pratiques se déroule souvent dans un centre différent des autres épreuves, les candidats doivent donc veiller à se présenter à l'endroit et à l'heure précisés sur leur convocation. D'année en année, de plus en plus de candidats arrivent au dernier moment voire nettement en retard sans sembler en être affectés.

Il est rappelé aux candidats que l'épreuve de TP est une épreuve en temps limité (3h pour la réalisation des expériences et la rédaction du compte-rendu) et qu'ils sont totalement responsables de la gestion de leur temps. On note depuis plusieurs années une tendance à progresser de plus en plus lentement et parfois même un manque de motivation. De nombreux candidats passent trop de temps sur les premières manipulations et n'arrivent pas au bout de leur sujet. Beaucoup se révèlent mal à l'aise avec l'instrumentation (certainement du fait d'un manque de préparation pratique au cours de l'année scolaire, voire d'un manque d'esprit pratique) et peu autonomes. Il en résulte que les candidats ont de plus en plus souvent besoin d'aide pour avancer dans leur sujet.

Les candidats sont invités à lire attentivement l'ensemble du sujet, ce qu'ils ne font cependant pas toujours. Des erreurs pourraient être souvent évitées si les candidats prenaient le temps de lire complètement les questions posées et s'ils appliquaient avec plus de rigueur le protocole expérimental quand il est suggéré. On ne saurait trop insister sur la nécessité de prendre du recul en se forçant à réfléchir et à saisir la finalité de l'étude.

Identifier les différentes manipulations à réaliser et les éventuels « temps morts » (acquisitions automatiques, chauffage ou agitation, attente d'un échange avec l'examineur) permet aux candidats de mieux s'organiser. De même, un usage raisonné des brouillons constitue un précieux gain de temps. Faire la différence entre un test qualitatif et une mesure précise permet également de ne pas perdre de temps.

Par ailleurs, les candidats sont invités à prendre quelques minutes après la lecture du sujet pour évaluer ce dont ils disposent pour répondre à la problématique posée : en général, il s'agit du matériel placé sur la paillasse et des données fournies dans l'énoncé du sujet, mais il se peut que l'usage d'un logiciel (par exemple simulation de titrages tel que DOZZAQUEUX) soit proposé. Il est alors vivement recommandé de l'utiliser pour gagner du temps. Le jury recommande par ailleurs aux candidats de se familiariser avec l'usage d'un tel logiciel au cours de leur préparation.

De plus, le jury rappelle aux candidats qu'ils doivent prendre l'initiative de solliciter l'examineur lors des différentes phases d'échange mentionnées dans le sujet. Si un candidat n'a pas réussi à élaborer complètement le protocole demandé, il ne doit pas hésiter à solliciter quand même l'examineur pour lui faire part de ses réflexions. Un échange s'engage alors entre l'examineur et le candidat, celui-ci reçoit les indications nécessaires et peut continuer l'épreuve. Il est regrettable de voir que certains candidats n'appellent pas suffisamment tôt l'examineur, perdent du temps à élaborer un protocole qu'ils ne parviennent pas à finaliser et n'ont ensuite pas le temps nécessaire pour mener à bien l'ensemble des manipulations.

À l'inverse, certains candidats présentent leurs résultats à l'oral sans avoir abordé toutes les expérimentations demandées, attitude évidemment contraire à l'esprit de l'épreuve. Le jury remarque également que de plus en plus de candidats sollicitent l'aide de l'examineur pour être aidés ou débloqués (principalement parce que leur expérience ne donne pas les résultats attendus).

La prise d'initiative et les essais sont encouragés dans cette épreuve. Toutefois, beaucoup de candidats confondent initiative personnelle et manipulations hasardeuses, ce qui conduit parfois à la destruction de matériel (courts-circuits, chutes, dépassement de tensions ou intensités limites, disjonctions, etc.). Le jury rappelle aux candidats qu'ils doivent consulter les données de sécurité concernant les appareils et les produits chimiques utilisés avant de les manipuler et qu'ils doivent veiller, le cas échéant, à se protéger tant qu'ils sont en contact avec ces produits. L'usage des gants doit être réfléchi : les candidats ne doivent pas garder des gants souillés pour écrire ou taper sur le clavier de l'ordinateur.

Beaucoup de candidats se contentent d'observations passives de phénomènes qu'ils n'ont pas l'idée de caractériser en faisant des mesures : par exemple, le candidat « voit » une sinusoïde, mais n'a pas l'idée d'en mesurer l'amplitude ni la fréquence. De manière générale, un nombre non négligeable de candidats donne l'impression de ne pas avoir manipulé de matériel expérimental au cours de l'année ou alors très peu. On peut ainsi s'interroger sur la disponibilité de matériel expérimental (en particulier en optique) dans certaines classes préparatoires.

Peu de candidats parlent des erreurs liées au principe physique utilisé par l'instrument, de la précision de mesure de l'appareil, des erreurs systématiques et subjectives, de la notion de résolution ... Beaucoup de candidats ne savent pas donner la précision de lecture d'un appareil : par exemple, une tension lue sur un voltmètre analogique ou un angle lu sur un goniomètre ont une précision donnée par les graduations. Lorsqu'un calcul d'incertitude est demandé, on voit un peu de tout (somme des incertitudes relatives, racine carrée de la somme des carrés des incertitudes relatives ...) parfois accompagné d'un coefficient, indépendamment du nombre de variables ; certains candidats ne semblent pas surpris d'obtenir une incertitude très inférieure à celle des composants ou de l'appareil de mesure.

Globalement, il convient de rappeler aux candidats que toute utilisation d'un appareil de mesure, même et surtout s'il s'agit d'un instrument évolué, doit s'accompagner d'une analyse des résultats obtenus et d'un regard critique sur ceux-ci.

Mobilisation des connaissances théoriques

L'épreuve demande parfois quelques calculs simples qui permettent la confrontation entre expérience et théorie et nécessitent un minimum de connaissances élémentaires. Mais beaucoup de candidats ne montrent pas la compétence nécessaire pour les maîtriser (incohérences dans l'application de la loi des mailles, courant négatif dans une diode, déphasage entre deux fonctions sinusoïdales supérieur à 2π , manque de maîtrise de la notion de quadrature ou d'opposition de phase, etc.). Un nombre important de candidats privilégie les explications par des calculs théoriques complexes au détriment d'une explication physique ou de bon sens.

Commentaires et conseils sur les différentes techniques

Électricité, électronique

L'oscilloscope est souvent employé comme instrument à tout mesurer (à la place du voltmètre par exemple). Nombre de candidats en attendent des fonctions évoluées (calcul automatique de valeur max, de valeur moyenne ...) mais la synchronisation reste parfois mal connue ou mal maîtrisée. Beaucoup de candidats attendent que l'appareil mesure aussi les déphasages et ne pensent pas toujours à passer en mode X-Y ou à utiliser les marqueurs temporels.

Pour le multimètre et l'oscilloscope, on relève encore régulièrement des erreurs de choix entre les positions AC et DC, des erreurs de branchement (ampèremètre en parallèle, voltmètre en série ...) et de compréhension de la notion de calibre.

On note toujours également des erreurs de masse (non-raccordement ou raccordement en deux endroits différents, entrée non branchée à la masse, le candidat pensant que c'est équivalent à appliquer un potentiel de 0 V), la non-vérification du fonctionnement linéaire d'un montage (choix de signaux d'amplitude inadaptée), la confusion entre fréquence et pulsation, entre tension crête et tension crête-à-crête.

Une confusion entre courant alternatif et continu, des erreurs de branchement de câbles coaxiaux, une mauvaise maîtrise de la notion de quadripôle (par exemple étudié comme un dipôle et donc court-circuité) et des erreurs de calcul de pente en échelle logarithmique ont parfois été constatées.

Dans l'ensemble, les candidats maîtrisent correctement le tracé expérimental de diagrammes de Bode ainsi que l'analyse de ces diagrammes.

Optique

Trop de candidats ne savent pas reconnaître une lentille divergente d'une lentille convergente. Les termes utilisés sont souvent approximatifs et il y a souvent confusion entre les différents instruments (lunette, viseur, collimateur ...). Beaucoup de candidats ne différencient pas « polarisation » de « polarisation rectiligne », pas plus qu'ils ne connaissent le terme de « minimum de déviation » par exemple.

En interférométrie, il manque souvent la compréhension physique des phénomènes observés, en particulier la relation entre l'observation (niveau lumineux) et la différence de marche, ainsi que la différence entre forme des franges (rectilignes, circulaires ou autres) et leur interprétation physique (égale épaisseur ou égale inclinaison).

Plus généralement certains candidats n'ont visiblement pas eu accès au matériel de base ou n'ont pas acquis les bases théoriques indispensables à la compréhension de certains sujets d'optique. Une fraction notable (environ 10 %) des candidats ne sait pas positionner l'image d'un point à travers un miroir plan et faire le tracé de rayons associé à cette conjugaison. Il s'agit d'un phénomène

nouveau et surprenant, s'agissant d'un point autant élémentaire que concret dans la vie de tous les jours.

Calorimétrie

Cette technique est globalement bien connue des candidats qui pensent à la détermination préalable de la capacité thermique du calorimètre.

Cinétique chimique

Les candidats présentent des difficultés sur cette thématique : les méthodes de suivi d'une réaction, l'exploitation de résultats en vue de déterminer une loi de vitesse, les méthodes permettant de simplifier les lois de vitesses (proportions stœchiométriques, dégénérescence de l'ordre) sont très souvent inconnues.

Spectrophotométrie

La technique de spectrophotométrie UV-visible est plutôt bien maîtrisée. En particulier, la plupart des candidats connaît la loi de Beer-Lambert et pense à faire un spectre d'absorption pour déterminer la longueur d'onde de travail. La justification du choix du maximum d'absorption est en revanche plus délicate. Du point de vue pratique, rares sont les candidats qui pensent à rincer la cuve utilisée avec la solution étudiée, et la nécessité de « faire le blanc » avant une mesure n'est pas toujours connue ou comprise.

Enfin, lorsque le choix de la technique d'analyse leur est laissé, les candidats n'ont pas le réflexe de pratiquer le suivi par spectrophotométrie d'une réaction lorsqu'une espèce colorée y participe, qu'elle soit formée ou consommée.

Titrages

Avant de proposer d'utiliser une transformation chimique dans le cadre d'un titrage direct, il convient de s'assurer :

- de son caractère très favorable ;
- de sa rapidité ;
- de la possibilité de repérer l'équivalence.

Certains candidats ne connaissent pas la définition de l'équivalence d'un titrage (souvent confondue avec la notion d'équilibre ...). Le jury rappelle à cette occasion aux candidats qu'écrire une relation entre quantités de matière à l'équivalence sans avoir écrit au préalable l'équation de réaction associée n'a pas de sens. De plus, les erreurs pour déterminer la relation entre les quantités de réactifs à introduire à l'équivalence lorsque les nombres stœchiométriques sont différents de 1 sont trop fréquemment rencontrées.

L'attribution des transformations chimiques aux différentes portions d'une courbe de titrage est mal maîtrisée. Le réflexe d'extraire de la courbe un volume équivalent (ou plusieurs si l'espèce étudiée est titrée entre deux équivalences !) est curieusement peu répandu ! Et le volume à l'équivalence est parfois obtenu sans avoir recours aux méthodes usuelles (méthode des tangentes ou courbes dérivées) pour les titrages suivis par pH-métrie ou potentiométrie.

Par ailleurs, les différentes techniques de suivi d'un titrage ne sont pas toutes connues et/ou maîtrisées. Le suivi par potentiométrie est ainsi rarement proposé. De plus, les candidats ne connaissent pas forcément les spécificités liées à chaque méthode. Le jury a vu trop souvent des candidats resserrer les points lors d'un titrage suivi par conductimétrie puis arrêter les mesures juste après

la rupture de pente. À l'inverse, certains candidats ne cherchent pas à resserrer les mesures à l'approche de l'équivalence d'un titrage pH-métrique, alors même qu'ils disposent parfois d'un logiciel de simulation leur permettant de connaître facilement le volume équivalent attendu.

Le jury observe en outre que certains candidats ne pensent pas à ajouter de l'eau distillée pour que les électrodes utilisées soient suffisamment immergées. D'autres ne pensent pas à agiter le contenu du bécher.

Le jury rappelle également que réaliser un premier titrage rapide afin d'évaluer le volume à l'équivalence peut faire gagner du temps au candidat.

Enfin, les candidats semblent ne connaître que les titrages directs. Ils ont eu du mal à s'approprier un protocole de titrage indirect ou en retour.

Électrochimie

Si la notion de potentiel standard redox et l'approche thermodynamique de la faisabilité d'une réaction d'oxydoréduction sont maîtrisées par la majorité des candidats, la différence entre fonctionnement en pile ou en électrolyseur d'une cellule électrochimique est insuffisamment comprise.

L'analyse ou la prévision des phénomènes électrochimiques observés à l'aide de courbes intensité-potentiel est plus délicate. En particulier, la notion de surtension seuil (ou surtension à vide) n'est pas maîtrisée. De même, la description d'un montage à 3 électrodes et la mise en œuvre d'un protocole expérimental utilisant les courbes intensité-potentiel posent problème à de trop nombreux candidats.

Tableurs

Les candidats disposent de tableurs-grapheurs (tableur ou logiciel de traitement des données comme régressi ou Graph2D mis à disposition dans certains cas) et également de papier millimétré.

Cette année encore de nombreux candidats ont utilisé l'ordinateur pour le traitement et la présentation des résultats. Un nombre non négligeable de candidats croit savoir se servir d'un tableur mais perd finalement beaucoup de temps à l'utiliser correctement et finit par demander de l'aide à l'examineur (dont ce n'est pas le rôle). Le jury encourage les candidats à s'approprier réellement un tableur au cours de leur préparation pour savoir facilement

- réaliser le tracé d'une courbe puis l'exploiter ;
- effectuer une régression linéaire ;
- réaliser un calcul : par exemple construire le tableau $(t, \ln A)$ à partir d'un tableau (t, A) .

Manipulations

Le jury a bien conscience qu'au cours de leur formation, les candidats n'ont pas eu l'occasion de réaliser un grand nombre de travaux pratiques de chimie. Ils sont donc guidés et un technicien les assiste pour les opérations un peu délicates. Toutefois des opérations simples ne devraient pas poser de problèmes et le jury attend ainsi que les candidats sachent :

- nommer les différentes pièces de verrerie ;
- préparer une solution par dissolution d'un solide (pesée précise, utilisation de la fiole jaugée, rinçage de la coupelle de pesée et de l'entonnoir à l'eau distillée, agitation jusqu'à dissolution du solide avant de compléter au trait de jauge à l'aide d'une pissette d'eau distillée puis d'un compte-goutte et enfin homogénéisation) ;

- préparer une solution par dilution (utilisation correcte d'une pipette jaugée et d'une fiole jaugée et homogénéisation) ; les mesures précises de volume sont trop souvent effectuées à l'aide de béchers ou d'éprouvettes ;
- utiliser correctement une burette (rinçage à la solution, élimination de l'éventuelle bulle d'air, ajustage du zéro) et une pipette jaugée (connaître l'existence des pipettes jaugées à 1 ou 2 traits) ;
- étalonner un pH-mètre en s'appuyant sur une notice (les électrodes pouvant être combinées ou non, les examinateurs ont été vigilants pour assister les candidats qui ne connaissaient pas le type d'électrode mise à disposition) ;
- ne pas forcément étalonner un conductimètre si l'objectif est d'effectuer un titrage suivi par conductimétrie ;
- rincer les cuves utilisées en spectrophotométrie avec la solution et veiller à ce qu'il n'y ait pas de traces sur les parois ou de bulles d'air.

Certains volumes doivent être mesurés avec précision, d'autres non. Il est important d'y réfléchir avant de prélever les solutions pour utiliser la verrerie adéquate.

Exploitation des résultats

Des résultats expérimentaux incohérents ne semblent pas perturber certains candidats. D'autres au contraire n'hésitent pas à déformer les phénomènes observés pour les faire coïncider avec des interprétations erronées.

Quelques courbes manquent de définition d'échelle ou utilisent des échelles inadaptées. Certains candidats n'utilisent pas le papier millimétré à leur disposition et dressent un graphique rudimentaire et peu précis sur le compte-rendu, ou encore ne pensent pas à relier les points de mesure. Une proportion assez importante de candidats ne connaît pas le papier semi-logarithmique et trop de candidats annoncent comme « asymptote à -20 dB/décade » une droite de pente différente, qu'ils ont tracée en se contentant de « coller » au mieux aux points de mesure. Dans d'autres cas, les candidats ne pensent pas toujours à essayer de se ramener au tracé d'une droite pour démontrer une loi physique. Inversement, de nombreux candidats essaient de faire passer une droite par des points qui n'ont pas de raison particulière d'être alignés : dire qu'une courbe est une droite après avoir placé seulement trois points n'est pas très rigoureux et il convient de placer tous les points mesurés avant de conclure.

De manière générale, une mesure ou constatation expérimentale devrait se traduire dans le compte-rendu par un tableau et/ou une courbe. On relève aussi parfois, sur les courbes, l'absence d'unités ou des erreurs sur celles-ci. Parfois une erreur sur l'unité choisie (pourtant souvent précisée dans l'énoncé) implique une déviation importante sur les résultats (passage de degrés Celsius en Kelvin, par exemple).

Même si des initiatives sont toujours bienvenues, il convient de ne pas pousser l'étude trop au-delà de ce qui est demandé.

Rédaction

L'épreuve comporte la rédaction d'un compte-rendu succinct, qui doit principalement se concentrer sur les résultats expérimentaux demandés (tableaux, courbes, valeurs numériques ...), les interprétations qu'on en déduit et la synthèse finale et qui complète l'évaluation effectuée à l'oral. Sa

rédaction est trop souvent négligée : certains rapports sont mal écrits (fautes de grammaire et d'orthographe, texte illisible, tracés à main levée très négligés), certaines courbes ou résultats sont fournis sans même une phrase de renvoi dans le compte-rendu ou avec un bref commentaire à même la feuille. Relire le compte-rendu avant de le rendre permettrait souvent d'éviter ces défauts grossiers.

Le compte rendu doit être succinct mais synthétique et soigné : bien choisir ce qui doit y apparaître, ne pas recopier l'énoncé, ne pas redémontrer les résultats fournis, décrire le protocole de mesure s'il est demandé et s'il n'est pas exposé oralement, tracer les courbes demandées avec des échelles bien choisies, mettre en évidence les principaux résultats, et garder un peu de temps pour rédiger la synthèse écrite.

Présentations orales

Au moins deux présentations orales assez brèves ont lieu pendant les trois heures de l'épreuve, pendant lesquelles les candidats doivent présenter les résultats obtenus. Elles sont dans l'ensemble bien préparées avec un louable effort de synthèse ; à contrario quelques candidats se contentent encore de banalités ou d'un simple énoncé des résultats sans mise en perspective. Il convient d'insister sur la nécessité de bien préparer ces présentations, qui doivent permettre au candidat de présenter ses résultats et de montrer ses capacités d'analyse et de synthèse.

On a pu remarquer que ces présentations apportent parfois une aide aux candidats qui se rendent compte à ce moment des erreurs commises. Mais dans tous les cas l'attitude de l'examineur ne doit pas être interprétée de façon erronée : le candidat ne doit pas attendre de sa part une validation de son travail.

Synthèse écrite

Demandée depuis 2011, elle a été abordée cette année par environ la moitié des candidats, alors qu'il n'est pas nécessaire en général d'avoir effectué toutes les expérimentations pour tirer quelques conclusions et répondre à la problématique ou à une question d'ouverture permettant de replacer le travail dans un contexte plus général ; si quelques synthèses comportent des analyses assez poussées, trop de candidats se contentent de résumer leur travail sans fournir un réel effort de synthèse ou d'interprétation, en écrivant quelques lignes assez banales pendant les dernières minutes.

Conclusion

L'épreuve de travaux pratiques requiert de la part des candidats des efforts d'analyse et de synthèse, une attitude critique, une bonne organisation et une bonne gestion de leur temps, à répartir entre la conduite des mesures et une présentation soignée, orale et écrite, de la démarche et des résultats. Il convient donc de préparer les candidats dans ce sens, certes en développant leurs capacités expérimentales mais aussi en insistant sur la nécessité de faire preuve de rigueur, d'autonomie et de recul par rapport au sujet, sans oublier de soigner la communication orale et écrite. Le jury espère que ce rapport permettra aux futurs candidats de bien engager leur préparation.