

Physique-chimie

Présentation des épreuves

Deux épreuves orales de physique-chimie, de natures très différentes, sont proposées aux candidats.

Dans l'épreuve de physique-chimie 1, les candidats découvrent un sujet assez court et doivent le résoudre lors d'un oral de 30 minutes au tableau et sans préparation. Cette épreuve permet d'évaluer la réactivité et la capacité des candidats à mobiliser leurs connaissances rapidement et avec rigueur dans une situation proche du cours. Leur autonomie dans la résolution est également un critère important de réussite dans cette épreuve.

Dans l'épreuve de physique-chimie 2, les candidats disposent d'une préparation de 30 minutes et d'un passage à l'oral de 30 minutes pour s'approprier un sujet plus long. Ils doivent mettre en application les acquis du programme de physique-chimie dans une situation fortement contextualisée, plus éloignée du cours, et à priori inconnue. Ils doivent, selon les sujets, utiliser des résultats issus de programmes informatiques en Python ou extraire des informations de documents. Leur capacité à mener une discussion scientifique de qualité avec le jury est ici particulièrement évaluée.

L'évaluation des deux épreuves se fait à l'aide d'une grille de compétences qui prend en compte :

- d'une part, les compétences de communication, d'autonomie et de réalisation de démonstrations classiques.
- d'autre part, les compétences de réalisation de tâches complexes, s'approprier un problème, analyser physiquement une situation et valider les résultats obtenus.

Pour chaque épreuve, le poids des compétences est modulé en fonction du format proposé. De plus, l'organisation des épreuves est telle que la thématique support d'un exercice de l'épreuve de physique-chimie 1 est nécessairement différente de celle d'un oral de physique-chimie 2. Les candidats peuvent être interrogés sur l'intégralité des programmes de première et deuxième année.

Analyse globale des résultats

Le déroulement des oraux a permis d'assister à un ensemble de présentations très hétérogène. Le jury note une dégradation de la connaissance du cours, par rapport à la session précédente (2019). Celle-ci est très probablement une conséquence de la crise sanitaire, mais relève peut-être également de la poursuite d'une tendance de fond observée ces dernières années.

Comme chaque année, de très bons candidats ont fourni d'excellentes prestations et ont su mener avec le jury une discussion scientifique intéressante et de qualité. Ponctuant leur présentation de commentaires subtils, d'hypothèses bienvenues et sachant interagir avec le jury de manière très constructive, ils ont montré une très bonne aptitude à résoudre des problématiques complexes. Ils ont, toutefois, été plus rares que d'habitude.

À l'inverse, une proportion grandissante de candidats (de l'ordre de la moitié environ) ne possède pas une connaissance suffisante des bases du cours pour réussir l'oral. Comment s'approprier un contexte nouveau, analyser les ressorts physiques ou chimiques d'une situation si l'on bute sur les résultats les plus élémentaires étudiés pendant les deux années de préparation ? De même, la physique-chimie ne se résume ni à chercher la bonne formule « toute faite » à appliquer ; ni à raisonner en utilisant uniquement les unités des grandeurs disponibles pour, au final, proposer des relations ne possédant aucun sens. La compréhension des phénomènes et la signification des relations du cours est essentielle. Face à une situation

à étudier, il convient d'abord de schématiser et modéliser le problème, de formuler des hypothèses et de produire un raisonnement à l'aide d'arguments issus du cours et d'un vocabulaire adapté.

Alors que cette situation devrait être la norme à l'oral du concours Centrale-Supélec, ceux, trop rares, qui ont réussi à appliquer correctement les méthodes du programme dans les cas les plus simples ont tiré leur épingle du jeu en s'assurant des bonnes notes.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Introduction

Toutes les remarques et conseils reportés dans les rapports des années précédentes sont toujours valables et le jury encourage les candidats à les lire régulièrement au cours de l'année. Voici quelques points plus spécifiques à la session 2021.

Le jury insiste sur la nécessité de lire les rapports : des candidats arrivent encore souvent à une épreuve sans en connaître le format.

En physique-chimie 2, la majorité des candidats s'efforce d'effectuer une présentation du sujet avant de le résoudre. Il ne faut toutefois pas hésiter à approfondir cette présentation et faire ressortir la logique de l'exercice proposé ainsi que sa problématique. En revanche, en physique-chimie 1, les candidats oublient très souvent de présenter leur exercice. Même si l'absence de préparation ne permet pas une analyse détaillée de l'exercice, il convient d'en faire une description succincte. Par ailleurs, commencer son oral par la réalisation d'un schéma modélisant la situation étudiée est très apprécié.

L'intervention du jury est toujours bienveillante et a pour but d'aider les candidats à montrer l'étendue de leurs compétences. Une intervention de l'examinateur n'est pas synonyme de « perte de point » et des candidats qui ont su mener un dialogue de grande qualité avec l'examinateur ont eu de très bonnes notes. En revanche, les candidats qui s'agacent des interventions de l'examinateur (par exemple, lorsqu'il demande des précisions) ne se valorisent pas. De plus, il faut, dans la mesure du possible, parler en regardant l'examinateur.

Parfois, lors de phases de calcul au tableau, certains candidats arrêtent de parler pendant plusieurs minutes en écrivant. Il faut éviter de faire durer ces longues minutes et essayer d'expliquer tout en écrivant ce que l'on fait : ce n'est pas toujours simple, mais la dynamique de l'oral est nettement améliorée.

Il convient par ailleurs de ne pas effacer une partie du tableau sans en avoir demandé, au préalable, l'autorisation à l'examinateur. Parfois, des résultats intéressants sont effacés... et les retrouver fait perdre du temps au candidat.

Lors des phases de réflexion, après avoir pris le temps de bien s'approprier ce qui est demandé, les candidats ont tout à gagner à développer oralement le cheminement de leur raisonnement plutôt que de rester silencieux trop longtemps. Face à des questions complexes, le jury valorise fortement les candidats qui avancent doucement, émettent des hypothèses, complètent leurs schémas, essayent de relier la situation à une situation connue... À contrario, ceux qui se plongent directement dans les unités des données pour déterminer quelle combinaison des grandeurs numériques proposées par l'énoncé fournit un résultat compatible avec l'unité attendue ne comprennent pas ce qui est attendu d'eux. Bien sûr, l'analyse dimensionnelle est parfois utile pour avancer dans un problème ou pour valider un résultat... mais elle n'a pas valeur de preuve. De même, le réflexe d'utiliser une formule de cours avant toute analyse de la situation étudiée est à corriger. Une telle démarche aboutit rarement à un résultat correct.

Une fois un résultat fourni, *il ne faut pas attendre une approbation de l'examinateur*. Certains candidats sont particulièrement insistants : ils s'arrêtent et attendent. Si le jury n'intervient pas, c'est qu'il attend que le candidat contrôle lui-même si son résultat est plausible. Il peut, pour cela, vérifier l'influence des

paramètres du problème sur le résultat, faire une application numérique pour la commenter ou encore procéder à une analyse dimensionnelle. Moins de 5% des candidats valident spontanément les résultats qu'ils trouvent. Ceux qui s'efforcent de le faire (même de manière rapide) sont valorisés. En effet, la validation est un élément essentiel : tout candidat a le droit de faire une erreur de calcul, de se tromper sur une formule... mais il doit être en mesure de s'en rendre compte si cela mène à une incohérence notable.

Bien entendu, la maîtrise du cours est un prérequis indispensable au bon déroulement de l'oral. Il est normal qu'un candidat ne sache pas toujours quelle direction prendre pour résoudre un problème. Le jury est là pour l'aider en lui donnant des indices. En revanche, si les résultats fondamentaux du cours ne sont pas maîtrisés ou si les concepts phares de la physique-chimie de CPGE sont ignorés, il est très difficile de réussir l'oral. Le jury a tenu compte de l'effet de la crise sanitaire et a pu parfois tolérer des « oublis » de cours sur certains points, mais, régulièrement, ce sont des pans entiers qui étaient mal connus. Les points les plus délicats relevés cette année sont présentés dans la suite.

D'un point de vue pratique, le jury conseille aux candidats de préparer à l'avance : convocation, pièce d'identité, calculatrice et, pour l'épreuve avec préparation, stylos. Les candidats gagnent alors du temps sur leur oral. Certains perdent plusieurs minutes à retrouver leurs affaires. De même, à la fin de l'oral, il convient de ne pas « prendre son temps » lors de l'effacement du tableau ou du rangement des affaires personnelles. Ces points sont importants pour que tous les candidats puissent bénéficier d'un temps effectif d'interrogation égal.

Thermodynamique

Le premier principe de la thermodynamique est souvent mal maîtrisé. Lors d'un calcul de transfert thermique, la formule $Q = mc\Delta T$ est très souvent donnée sans aucune justification. Quand elle est vraie, elle doit absolument être déduite du premier principe appliqué sur un système à définir et entre des instants à préciser. Les écritures $U = Q + W$, ou $dU = Q + W$ apparaissent aussi régulièrement. On note beaucoup de confusions entre d , δ et Δ : ces notations sont certes un peu difficiles mais la rigueur quant à leur utilisation est indispensable pour une bonne compréhension de la situation étudiée.

L'étude des diagrammes enthalpiques est plus souvent réussie.

La différence entre le premier principe et le premier principe appliqué aux fluides en écoulement n'est pas toujours comprise. Trop souvent, on entend que l'on passe de l'un à l'autre « en divisant par la masse ». Les confusions sont régulières entre W et w_i et la signification des grandeurs massiques souvent non assimilée.

Énergie interne ou enthalpie sont souvent confondues et l'étude des changements d'état régulièrement mal menée.

Il est alors évident que les candidats qui savent citer et utiliser correctement les théorèmes du cours sont tout de suite valorisés. De même, ceux qui font la différence entre le sens conventionnel choisi pour un transfert thermique et son sens réel (à l'aide notamment d'un schéma, particulièrement utile quand deux systèmes sont en jeu) se distinguent nettement des autres.

Les notions de résistance thermique ont été correctement utilisées dans l'ensemble. En revanche, le laplacien ΔT apparaissant dans l'équation de la chaleur a plusieurs fois été confondu avec une variation de température.

Mécanique des fluides

Il est rare d'avoir à la fois un énoncé juste du théorème de Bernoulli associé à ses conditions d'application (et à leur signification).

La capacité exigible du programme « établir un bilan de puissance pour un circuit hydraulique ou pneumatique avec ou sans pompe » est particulièrement mal maîtrisée. Le jury est souple sur la méthode utilisée par le candidat (premier principe sur fluide en écoulement, théorème de Bernoulli généralisé, ou bilan macroscopique) mais il y a souvent des confusions et des impossibilités de développer des raisonnements sur ce type de questions.

Mécanique

La mécanique, qui était un domaine plutôt bien maîtrisé les années précédentes, a montré davantage de prestations décevantes qu'à l'accoutumée. C'est probablement la première année que des candidats ne savent plus énoncer la deuxième loi de Newton et écrivent « $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{v}$ » ou des relations erronées du même type. C'est encore relativement rare, mais suffisamment significatif pour être évoqué.

Régulièrement, des confusions ont lieu entre force et moment. Le calcul du moment par bras de levier mène régulièrement à des erreurs de signe. De manière générale, la plupart des candidats ne prennent pas le temps de faire un schéma clair de la situation, de définir correctement le système et de dessiner les actions mécaniques en présence... engendrant ainsi de multiples erreurs. Même si, individuellement, elles n'ont pas de gravité, leur accumulation fait perdre un temps considérable (bien plus que le temps de dessiner un schéma) et laisse une impression mitigée à l'examineur. Les erreurs de projection de forces, de calculs des moments et des confusions sur les théorèmes utilisés sont souvent remarquées (utiliser le TEC/TEM pour chercher une vitesse inconnue, et le TPC/TPM pour déterminer l'équation différentielle régissant le mouvement).

Optique

En optique, c'est probablement l'optique interférentielle à deux ondes qui a été la mieux réussie. Il faut toutefois que les candidats connaissent et comprennent la formule de Fresnel, sachent calculer la différence de marche au point étudié, et connaissent les conditions d'interférences constructives/destructives. Dans ce cas, alors, la prestation est souvent intéressante et l'exercice bien mené. Les confusions entre les conditions d'interférences portant sur le déphasage, la différence de marche ou l'ordre d'interférence sont malheureusement régulières. Sur un dispositif de type « trous d'Young » avec observation à l'infini, les candidats qui ont clairement su expliquer l'utilisation du théorème de Malus combiné au principe de retour inverse de la lumière ont été fortement valorisés.

Les exercices sur les réseaux ont mené à des prestations contrastées. Chez certains, elles se résument à présenter la formule des réseaux sans en connaître la signification et sans savoir à quoi correspondent les angles γ apparaissant. L'ordre d'interférence (souvent noté p) a régulièrement été interprété comme le pas du réseau. Il y a là un exemple typique d'application d'une formule sans réelle compréhension. En revanche, d'autres ont bien assimilé cette notion et ont alors réalisé une bonne prestation.

En optique géométrique, la relation, issue des lois de Descartes, reliant les angles formés par les rayons incidents et réfractés par rapport à la normale a plusieurs fois été écrite de manière erronée. Par ailleurs, la conjugaison des foyers et de l'infini est rarement clairement connue. La construction de rayons, l'utilisation de foyers secondaires ou encore la manipulation des longueurs algébriques posent de nombreux problèmes.

Électromagnétisme

À la question « Pouvez-vous présenter le phénomène d'induction ? », le jury attend, à minima, la présence d'un champ magnétique variable traversant un circuit et qui génère une force électromotrice en son sein. Certains candidats ont par ailleurs approfondi en présentant les deux cas (circuit fixe par rapport à champ uniforme variable, circuit mobile) ce que le jury a apprécié. Toutefois, beaucoup d'explications fausses ont été données, notamment celle qui consiste à dire que l'induction est le fait qu'un courant (parfois devant être variable) génère un champ magnétique.

L'étude des circuits électriques à mutuelle inductance pose souvent problème.

Le programme de première année de TSI mentionne que les candidats doivent pouvoir décrire qualitativement le fonctionnement de diverses machines électriques (synchrone, asynchrone et courant continu) : à chaque fois que cette question a été posée, elle a généré de grandes difficultés.

Les équations de Maxwell sont généralement connues, même si leurs noms sont parfois inversés. Leur signification et leur lien aux équations macroscopiques associées sont moins souvent compris par les candidats.

De nombreuses confusions ont été constatées entre le théorème de Gauss et le théorème d'Ampère. Les études des symétries et invariances, quand elles sont effectuées, sont souvent peu rigoureuses et incomplètes. Enfin, les contours et surfaces d'intégrations sont rarement précisés et orientés clairement.

Électricité

Face à des circuits à ALI, l'identification du fonctionnement linéaire ou non par analyse de la rétroaction a été souvent bien menée. Les conséquences sur la valeur de $\epsilon = V_+ - V_-$ ne sont pas toujours connues ; et les hypothèses associées à l'ALI idéal pas toujours maîtrisées. De nombreux étudiants utilisent le théorème de Millman, mais le jury rappelle qu'aucun exercice ne le justifie a priori. Ponts diviseurs, lois des mailles et lois de nœuds sont suffisants dans tous les cas. Établir des fonctions de transfert simples par pont diviseur est souvent bien mené. L'analyse des pentes hautes et basses fréquences du diagramme de Bode en gain d'un filtre, à partir de sa fonction de transfert est régulièrement réussie.

Le jury insiste toutefois sur le fait qu'un exercice d'électronique n'est pas une succession de calculs. Par exemple, la compréhension de la notion de spectre d'un signal est essentielle pour anticiper le rôle d'un filtre dans une application donnée et pouvoir ainsi le dimensionner.

Si donc l'électricité a mené à des prestations correctes, il y a un domaine qui pose de gros problèmes : l'étude des oscillateurs. Les candidats doivent pouvoir reconnaître et savoir étudier, à partir de la description des blocs qui les constituent, les oscillateurs quasi-sinusoïdaux et à relaxation. À la question : « Quels types d'oscillateurs connaissez-vous en électronique ? » que le jury pose pour guider la réflexion, la réponse quasi-systématique est « l'oscillateur harmonique, les oscillateurs pseudo-périodiques... ». Les exercices sur les oscillateurs sont fortement discriminants : soit ils mènent à des prestations assez décevantes, soit à d'excellents (mais trop rares) oraux pour des candidats qui maîtrisent ce point de cours.

L'électrocinétique de première année a également posé de nombreux problèmes avec notamment des difficultés dans la manipulation de la notation complexe.

Chimie

Alors que, usuellement, la chimie était une thématique qui était satisfaisante, le manque de rigueur dans l'application des méthodes usuelles a, cette année, souvent été regretté.

De nombreuses confusions ont été observées sur l'interprétation du signe de $\Delta_r H^\circ$: difficile pour beaucoup de candidats de trancher entre exo et endothermique.

Les lois de modération concernant les déplacements d'équilibre sont souvent connues de manière imprécise. La différence de nombre de molécules de gaz entre produits et réactifs est souvent évoquée, tout comme le caractère exo ou endothermique... mais souvent la conclusion est inverse de celle attendue ou, pire, l'influence de la pression est associée au caractère endo(exo)-thermique et celle de la température aux molécules de gaz...

Pour la méthode de la température de flamme, trop souvent, c'est l'analyse des unités des grandeurs présentes dans les données qui est le seul argument présenté pour justifier les raisonnements effectués. Le

jury a toutefois apprécié et valorisé quelques candidats sachant expliquer clairement les différentes étapes de raisonnement associées à cette méthode.

Par ailleurs, le jury a conscience que nombre de calculatrices sont capables de mémoriser la structure électronique d'un élément quelconque. Il convient donc d'énoncer les lois utilisées pour déterminer cette structure et de savoir les expliquer à l'oral.

Des erreurs sont régulièrement observées lors du calcul du quotient de réaction. Sa confusion avec la constante thermodynamique d'équilibre est courante. En oxydo-réduction, la détermination de la constante thermodynamique d'équilibre par égalité des potentiels redox est assez mal réussie. De même, des confusions entre oxydation/réduction ou anode/cathode sont souvent observées.

Informatique

Le jury rappelle que, lorsque l'on évoque la fonction `nom_fonction(paramètres)` du module `nom_module`, il suffit de l'appeler (un aide-mémoire est d'ailleurs fourni pour rappeler comment effectuer cette action) et non de la programmer. Dans la grande majorité des sujets, il suffit d'appliquer les fonctions en choisissant les paramètres adéquats et d'interpréter les résultats obtenus.

Quand il faut programmer une fonction, l'énoncé le demande clairement.

Conclusion

Malgré une rédaction de ce rapport qui peut paraître sévère, le jury a bien entendu conscience des fortes perturbations qui ont ponctué la préparation des épreuves durant les deux années de préparation. Il a pu tolérer des oublis et a accepté, plus que d'habitude, le fait que certains points essentiels du cours aient été mal compris. Si les candidats faisaient preuve d'esprit critique, savaient rebondir sur les indications du jury et avançaient pas à pas pour construire des raisonnements de qualité... alors ils ont été très valorisés.

En revanche, la tendance grandissante à escamoter les raisonnements en présentant une formule non justifiée, la volonté de ne raisonner qu'avec les unités ou la difficulté pour un candidat d'expliquer la démarche qu'il entreprend sont grandissantes et le jury ne peut les accepter. Il convient pour les futurs candidats d'être très vigilants sur ces points.

Le jury n'attend pas des prouesses de calcul sur des exercices techniques ou la connaissance d'astuces sur des exercices « type » ; il cherche juste à évaluer le degré de maîtrise des capacités exigibles identifiées dans le programme, ainsi que la capacité des candidats à s'approprier des situations nouvelles par une lecture attentive des informations de l'énoncé. Certains y sont bien parvenus et ont réussi de très beaux oraux. Le jury les félicite.

Travaux pratiques de physique-chimie

Présentation de l'épreuve

L'épreuve, d'une durée de 3 heures, consiste à réaliser plusieurs expériences, à analyser et à interpréter les résultats en vue de répondre à une problématique concrète.

Que ce soit en chimie (titrage, étude cinétique et thermodynamique, oxydoréduction, électrolyse...) ou en physique (électricité, électronique, optique, capteurs...), il s'agit d'étudier un phénomène particulier à l'aide des notions figurant au programme des deux années de préparation. D'une manière générale, les candidats sont évalués à partir des compétences de la démarche expérimentale : s'approprier, analyser, réaliser, valider, communiquer.

L'évaluation s'articule le plus souvent autour de trois composantes : les échanges oraux qui conduisent la plupart du temps à l'élaboration ou à l'explication de protocoles, les gestes techniques, c'est-à-dire la mise en œuvre des protocoles et enfin le compte-rendu. Les protocoles expérimentaux peuvent être donnés dans le sujet ou sont à proposer par les candidats. Parallèlement aux échanges avec l'examinateur, les candidats rédigent un compte-rendu dans lequel figurent les résultats obtenus et les réponses aux questions non traitées lors de ces échanges. En guise de conclusion, il est demandé aux candidats d'analyser et de valider les résultats, de répondre de façon argumentée à la problématique posée, d'effectuer une synthèse montrant qu'ils ont compris la démarche et la finalité de l'étude ou encore de répondre à une question ouverte permettant de replacer le travail dans un contexte plus général.

Le matériel fourni diffère d'un centre d'examen à l'autre. Par défaut, les candidats doivent se munir d'une calculatrice et du matériel d'écriture usuel (stylos, crayons, gomme et règle). Les copies et les brouillons sont en revanche toujours fournis par le concours. Les appareils connectés (et en particulier les téléphones portables) et les clés USB sont interdits. Les montres sont interdites dans certains centres d'examen (par exemple à l'IUT Orsay) mais tous les centres mettent un réveil ou une horloge à disposition des candidats. Pour les manipulations de chimie et pour des raisons de sécurité, les candidats doivent porter un pantalon et des chaussures fermées, les cheveux longs doivent être attachés. Ils doivent se munir d'une blouse en coton à manches longues et apporter leurs lunettes de protection. Les lentilles de contact ne sont pas autorisées.

Durant l'épreuve, les candidats peuvent disposer de la notice de certains appareils ou bénéficier d'explications sur le fonctionnement de certains dispositifs. Des modes d'emploi succincts des différents logiciels sont parfois mis à disposition.

Analyse globale des résultats

Si globalement, les candidats sont bien préparés à l'épreuve de TP de physique, on a pu noter cette année, un peu plus de difficultés et de lenteurs dans la réalisation des protocoles expérimentaux. Par ailleurs, le jury déplore le niveau très bas d'un nombre assez important de candidats, insuffisamment préparés ou même sans aucune préparation aux épreuves expérimentales. De plus, le jury a constaté un manque de combativité de ces candidats durant l'épreuve, malgré la bienveillance des examinateurs à leur rencontre. Cette situation pourrait s'expliquer en partie par la situation sanitaire, qui n'aurait pas permis, dans certains lycées, une préparation suffisante à cette épreuve.

En TP de chimie, un grand nombre de candidats de la filière TSI semblent avoir eu quelques difficultés dans les manipulations et manquent de dextérité. Le jury a conscience que la préparation a certainement dû être plus difficile en raison du contexte sanitaire. Certains candidats sont néanmoins de brillants expérimentateurs et font des analyses très fines.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Attitude

L'épreuve de travaux pratiques se déroule souvent dans un lieu différent de celui des autres épreuves. Les candidats doivent donc veiller à se présenter à l'endroit et à l'heure précisés sur leur convocation.

Il est rappelé que cette épreuve s'effectue en temps limité : trois heures pour la réalisation des expériences et la rédaction du compte-rendu, une fois les explications et consignes données. En chimie, le rangement de la paillasse et la vaisselle se font en dehors des trois heures.

Les candidats sont responsables de la gestion de leur temps, qui doit leur permettre de traiter l'essentiel de l'épreuve dans la durée impartie. Le jury recommande l'usage de brouillons ou, pour les TP de physique, du compte-rendu lors des échanges avec l'examineur et regrette que ces échanges ne soient pas plus précoces, ce qui permettrait au candidat de disposer de plus de temps pour traiter la suite du TP. En chimie, mais également en optique ou en électronique, certains candidats retardent à l'excès la réalisation des expériences et perdent beaucoup de temps à s'approprier la problématique en s'engageant dans des calculs très souvent inadéquats. Le jury leur conseille, en cas de difficulté dans la compréhension du sujet, de faire appel à l'examineur pour engager un dialogue qui, certes, peut les priver d'une partie des points attribués dans le barème à l'appropriation du problème posé mais leur permet de mettre en œuvre les protocoles et d'exploiter les résultats des mesures, activant ainsi les compétences « réaliser » et « valider ».

Les candidats sont invités à lire attentivement l'ensemble du sujet, y compris les annexes et les tableaux de données. Identifier les différentes manipulations à réaliser et les éventuels « temps d'attente » (notamment en chimie : chauffage ou agitation de quelques minutes, acquisitions automatiques en cinétique, attente d'un appel) permettrait aux candidats de s'organiser avec plus d'efficacité. L'analyse des données fournies est importante. En chimie, elle permet de reconnaître la réactivité des espèces chimiques étudiées (acides, bases, oxydants, réducteurs...) et les grandeurs physico-chimiques qui les caractérisent (E° , pK_a , pK_s) donc de prévoir ou de comprendre les protocoles permettant, par exemple, de les doser.

Le jury déplore que le sujet ne soit parfois pas lu avec assez d'attention : dans la précipitation, certains candidats passent à côté d'informations importantes ou font des contre-sens très préjudiciables à l'élaboration de protocoles pertinents.

Dans chaque sujet, figurent deux ou trois appels à l'examineur, pendant lesquels les candidats doivent faire une brève synthèse orale de leurs réflexions et de leurs travaux et répondre aux éventuelles questions posées dans le sujet. Les candidats doivent prendre l'initiative de solliciter l'examineur lors des différents appels.

Le jury attend que les candidats préparent ces appels :

- l'argumentation doit être organisée de façon claire et logique et s'appuyer sur un vocabulaire adapté (les appareils clairement identifiés, la verrerie correctement nommée...);
- si la réponse s'appuie sur une équation, un calcul, un schéma, il faut que le support écrit soit clair et lisible.

Suivant le cas, un protocole est fourni à l'issue de l'appel, que la proposition faite par le candidat soit correcte ou non. Par ailleurs, les candidats doivent faire la différence entre un test qualitatif et une mesure précise de manière à ne pas perdre de temps. Ainsi, de nombreux candidats n'ont pas le temps d'effectuer le dernier appel, ou sinon dans de mauvaises conditions.

Dans le compte-rendu demandé en fin d'épreuve, les candidats doivent répondre aux questions posées. Pour les TP de chimie, il est inutile de reporter les échanges oraux car ces derniers ont déjà été évalués.

Interaction avec l'examineur

Les candidats sont dans leur grande majorité courtois. Le jury regrette toutefois qu'ils ne soient pas toujours attentifs aux remarques et propositions de l'examineur car ces dernières sont formulées dans le but de les aider. Un nombre croissant de candidats attribue les résultats expérimentaux erronés à des dysfonctionnements présumés du matériel et ont des difficultés à prendre en compte les indications apportées par l'examineur pour les aider à corriger leur protocole expérimental (par exemple lors de mesures automatiques en AC+DC mal comprises).

Sécurité

Lors d'une manipulation de chimie, garder des gants en permanence est source de danger puisque cela revient à répandre partout les substances dont il faut se protéger. Ainsi, le port des gants est nécessaire pour prélever des réactifs corrosifs ou toxiques mais le jury conseille aux candidats de les retirer après le prélèvement et de les jeter. Si besoin, une autre paire de gants peut être fournie.

Le port des lentilles de contact est strictement interdit et les lunettes, sur-lunettes ou visières sont obligatoires pendant toute la durée des manipulations. Cette année, le jury a mis à disposition des candidats des visières afin d'éviter la buée sur les lunettes due au port du masque. Le jury a constaté que les candidats ont bien mieux supporté ces visières que les lunettes de sécurité et réitérera sa démarche pour les années futures.

Aspects pratiques en TP de physique

De manière générale, le jury constate une grande disparité dans les compétences expérimentales des candidats. Certains manipulent avec une relative aisance en utilisant le matériel adéquat. Les maladresses des autres témoignent d'un manque de préparation.

L'oscilloscope numérique est souvent employé comme instrument capable de tout mesurer (à la place du voltmètre par exemple). Nombre de candidats en attendent des fonctions évoluées (calcul de valeur crête, de valeur moyenne...) mais manquent d'esprit critique quant aux résultats obtenus (par exemple dans le cas d'échelles horizontales ou verticales inadaptées, de valeurs relevées en position AC ou DC). Un mauvais choix de fonctions par certains candidats (maximum ou tension crête-à-crête au lieu d'amplitude, retard au lieu de phase...) rend les mesures moins précises ou moins faciles à effectuer. Beaucoup de candidats attendent que l'appareil mesure les déphasages et ne pensent pas toujours à utiliser les marqueurs temporels lorsque cette fonction n'est pas disponible. Enfin certains candidats font confiance à la fonction *measure* alors même que le signal est à peine visible à l'écran.

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

Malgré les notices simplifiées fournies aux candidats pour les oscilloscopes, beaucoup d'entre eux font des erreurs de mesure en raison d'une mauvaise configuration. Le bouton de configuration automatique des oscilloscopes (*autoset*) est à utiliser avec une grande précaution car il modifie de nombreux paramètres.

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. Le code couleur pour les câblages en électronique est mal maîtrisé, ce qui conduit les candidats à commettre de nombreuses confusions. Les notions de masse et de terre (terre des générateurs basse fréquence et des oscilloscopes par comparaison avec la masse flottante des multimètres et des alimentations continues) sont très mal maîtrisées. Certains candidats essaient de mesurer un courant directement à l'oscilloscope.

Parmi les candidats qui décident d'utiliser une résistance pour effectuer cette mesure à l'oscilloscope (via une mesure de différence de potentiel), la plupart ne sait pas justifier le choix de la valeur de la résistance.

L'étude de la fonction de transfert d'une boîte noire avec deux bornes marquées « entrée » et deux bornes marquées « sortie » pose souvent des problèmes de branchement (par exemple le générateur de fréquence est branché à la fois sur l'entrée et la sortie pour tenter de fermer le circuit). Les résistances internes des composants ne sont quasiment jamais prises en compte dans l'estimation des sources de pertes dans un circuit.

Une confusion entre courant alternatif et continu, des erreurs de branchement de câbles coaxiaux et des erreurs de calcul de pente en échelle logarithmique ont parfois été constatées.

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 de cette filière donne l'impression d'avoir insuffisamment manipulé du matériel expérimental au cours de l'année.

Concernant le matériel utilisé en optique, trop de candidats ne savent pas distinguer 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...). 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 pas acquis les bases théoriques indispensables à la compréhension de certains sujets d'optique. Sur le goniomètre, par exemple, peu de candidats comprennent le protocole de réglage ou font correctement le lien entre les angles lus sur le cercle gradué et les angles incidents et réfractés ou diffractés par un réseau. La conjugaison infini-foyer pour un point objet hors d'axe n'est pas toujours maîtrisée. Idem pour la notion de mise au point à l'infini. Les réglages et alignements sont en général grossiers, les candidats se satisfaisant de voir un vague signal lumineux quand bien même il leur est demandé de réaliser un alignement soigneux. Le retour sur investissement en temps passé à réaliser des alignements soigneux est pourtant évident : il autorise des mesures avec des biais et des incertitudes réduits. L'examineur est d'ailleurs très sensible à la qualité des réglages et mesures effectués.

Aspects pratiques en TP de chimie

Environ 15 % des admissibles au concours ont réalisé une épreuve de travaux pratiques portant sur la chimie. Le jury souhaite donner quelques conseils spécifiques aux futurs candidats pour que ceux-ci puissent réaliser au mieux dans le temps imparti les différentes manipulations proposées.

Les sujets de chimie portent sur le programme des deux années. Ils demandent la réalisation de manipulation concernant un grand nombre de thématiques, par exemple :

- chimie analytique (réalisation de titrage ou de dosage par étalonnage, études de transformation acido-basique ou d'oxydoréduction, précipitation) ;
- cinétique chimique (détermination d'ordre, d'énergie d'activation) ;
- thermochimie (détermination d'enthalpie de réaction, mise en œuvre d'une technique de calorimétrie) ;
- oxydoréduction (mise en œuvre d'une démarche expérimentale s'appuyant sur un diagramme potentiel-pH.)

Les techniques et mesures mises en œuvre sont également variées (calorimétrie, potentiométrie, pH-métrie...).

Choix de la verrerie

Tout d'abord, le jury note que certains candidats ne savent pas nommer correctement la verrerie. Ensuite, une utilisation adaptée de celle-ci est nécessaire en chimie. Le jury attend donc que les candidats sachent qu'un prélèvement précis nécessite une pipette jaugée et non une éprouvette, que l'on prépare une solution dans une fiole jaugée et non dans un bécher ou une éprouvette. Le jury rappelle qu'un bécher ne peut servir lors du prélèvement d'une solution. Dans certains sujets, la précision du prélèvement est explicitement annoncée. Dans d'autres sujets, c'est aux candidats de choisir la verrerie avec discernement. Ainsi, pour acidifier par exemple une solution, rincer un solide, ajouter un réactif en excès, une éprouvette graduée suffit alors que pour prélever la solution que l'on veut titrer, l'utilisation de verrerie jaugée adaptée s'impose. Aussi, le jury recommande aux candidats de prendre le temps de réfléchir au choix de la verrerie. Par défaut et dans le doute, les candidats préfèrent souvent recourir à la verrerie de précision (« qui peut le plus peut le moins » pensent-ils). Mais ils perdent en général un temps précieux : d'une part parce que mesurer un volume à l'aide d'une pipette jaugée prend plus de temps qu'avec une éprouvette graduée, d'autre part parce que la verrerie à disposition n'étant pas en nombre infini, il leur faut procéder à des étapes de lavage très chronophages. De plus, le jury sanctionne l'utilisation d'une verrerie trop précise, signe d'une mauvaise compréhension du rôle de l'espèce chimique ainsi introduite. L'utilisation de burette comme instrument de mesure de volumes précis (à 0,1 mL près environ) est rarement envisagée par les candidats. Elle est pourtant recommandée lorsqu'on souhaite préparer plusieurs solutions étalons ou plusieurs mélanges de compositions différentes, par exemple pour une étude d'ordre en cinétique.

Réalisation de solutions

Le jury attend des candidats qu'ils soient capables :

- de préparer avec précision une solution par dissolution d'un solide en utilisant une balance de précision, une fiole jaugée et en récupérant de façon quantitative le solide. La masse réellement pesée plus ou moins proche de la masse demandée n'est généralement pas utilisée dans l'exploitation des manipulations par le candidat. Le terme transvasement quantitatif est source d'incompréhension. Le jury rappelle aux candidats qu'un transvasement quantitatif consiste à verser la totalité du prélèvement en rinçant la coupelle ou le contenant avec le solvant. Cette année, beaucoup de candidats ont réalisé les dissolutions en utilisant des béchers au lieu de fioles jaugées. Par ailleurs, le jury regrette l'absence d'homogénéisation (aussi bien quand la fiole jaugée n'est remplie qu'aux deux-tiers qu'en fin de réalisation) si bien que dans certaines solutions préparées, il reste encore du solide au fond de la fiole jaugée. Retourner cinq fois une fiole bouchée permet souvent une excellente homogénéisation ;
- de réaliser une dilution précise en utilisant pipette jaugée et fiole jaugée. Là encore, l'homogénéisation est souvent défailante induisant un gradient de concentration qui peut poser problème lors de l'utilisation des solutions. De même, trop souvent, on a pu regretter l'utilisation de béchers ou d'éprouvettes.

Titration

Il convient dans un premier temps de réfléchir à la réaction support du titrage puis de s'assurer que la transformation est quantitative (ce terme n'est d'ailleurs pas toujours compris par les candidats). Le jury note cette année de réelles difficultés à calculer la constante d'équilibre à partir des grandeurs thermodynamiques (pK_a ou potentiels standard) pour des réactions acide-base ou d'oxydoréduction. Les candidats confondent fréquemment quotient de réaction et constante thermodynamique d'équilibre et regrettent de ne pouvoir déterminer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre à partir de l'expression du quotient de réaction.

Dans un second temps, les candidats doivent chercher une méthode de détermination de l'équivalence. Puis, lors de l'élaboration d'un protocole, il convient d'écrire la relation à l'équivalence, de supposer

un volume équivalent cohérent ; les candidats pourront ainsi en déduire la nécessité ou non de diluer la solution titrée et de choisir le volume du prélèvement adapté.

Cette année, le jury a constaté qu'outre l'erreur fréquente qui consiste à « oublier » les nombres stœchiométriques certains confondent équivalence et équilibre. Il rappelle que l'équivalence est une situation particulière atteinte lors d'un titrage lorsque les réactifs sont introduits en proportions stœchiométriques. La traduction « à l'équivalence $Q_r = K^\circ$ » n'est pas correcte. Les candidats qui cherchent à déterminer la relation entre les quantités introduites à l'équivalence en s'appuyant sur un tableau d'avancement parviennent rarement à leur fin. Il est bien plus efficace, pour le titrage d'une espèce A par une espèce B s'appuyant sur la réaction support de titrage du type $aA + bB = \text{produits}$ d'écrire qu'à l'équivalence :

$$\frac{n_A(\text{introduit})}{a} = \frac{n_B(\text{versé})}{b}.$$

Par ailleurs, les différentes techniques de suivi d'un titrage ne sont pas toutes connues ou maîtrisées. Le suivi par potentiométrie est ainsi rarement proposé. Cette année encore, le suivi par potentiométrie est confondu avec celui par conductimétrie ou même par pH-métrie. De même, le suivi conductimétrique est confondu avec celui de la pH-métrie. Le jury rappelle que lors d'un dosage suivi par conductimétrie, la grandeur mesurée est la conductivité alors que celle mesurée lors d'un dosage suivi par potentiométrie est une différence de potentiel.

Les candidats doivent attendre dans ce dernier cas un saut de potentiel à l'équivalence et doivent être capables de prévoir une augmentation ou une diminution du potentiel au cours du titrage suivant que le réactif titrant joue le rôle d'oxydant ou de réducteur.

Lors d'un titrage suivi par colorimétrie, au moins deux essais sont nécessaires. Un premier titrage rapide permet de déterminer un encadrement du volume équivalent, un second titrage déterminera à la goutte près le volume équivalent. Il ne s'agit pas d'un problème de temps car de nombreux candidats finissent les manipulations bien avant l'horaire. Le jury rappelle par ailleurs que la détermination de l'équivalence ne peut être faite qu'en regardant le changement de couleur de la solution dans l'erlenmeyer et non le volume lu sur la burette. Par ailleurs, les candidats considèrent fréquemment qu'un titrage suivi par colorimétrie nécessite l'utilisation d'un indicateur coloré. Le jury rappelle que lorsque l'espèce titrante ou l'espèce à titrer est la seule espèce colorée, l'apparition ou la disparition de la couleur permet de repérer aisément l'équivalence.

De plus, les candidats ne connaissent pas les spécificités liées à chaque méthode. Ainsi, le jury a trop souvent vu 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, un grand nombre de candidats ne cherchent pas à resserrer les mesures à l'approche de l'équivalence d'un titrage suivi par pH-métrie ou potentiométrie.

Le jury recommande également de tracer la courbe de façon simultanée à la prise de valeur ce qui permet aux candidats de resserrer les points si nécessaire. L'utilisation d'un tableur (Regressi, Latis-pro, Excel, Libre-office Calc) est recommandée. Par ailleurs, les candidats qui utilisent les tableurs, entrent leurs mesures directement mais ne pensent pas (ou ne savent pas) afficher les courbes au fur et à mesure. Ils déterminent mal l'équivalence, le volume versé à l'équivalence est alors obtenu de façon très imprécise. De plus, certains candidats sont si peu à l'aise avec le logiciel choisi qu'ils ne savent pas l'utiliser pour déterminer le volume versé à l'équivalence à partir de la courbe tracée.

Le jury regrette qu'un grand nombre de candidats a utilisé cette année le papier millimétré en consacrant un temps important lors du tracé des courbes de suivi de dosage. Les spécificités des titrages de mélanges d'acide, de mélanges de bases, de polyacides ou de polybases sont souvent méconnues : il est important de savoir prévoir à partir des données de pK_a si les réactions envisagées sont simultanées ou successives puis d'utiliser des relations à l'équivalence cohérentes.

Un logiciel de simulation (dozzaqueux) est mis à disposition pour aider les candidats qui ne parviendraient pas à prévoir l'évolution du pH lors d'un titrage acido-basique.

Le jury recommande également aux candidats d'observer la courbe obtenue expérimentalement pour valider ou infirmer la prévision exposée pendant l'appel quant à l'aspect successif ou simultané de deux titrages. Enfin, on peut noter une mauvaise utilisation de la burette qui contient quasi-systématiquement une bulle d'air dans sa pointe, faussant ainsi la mesure de volume.

Calorimétrie

Cette année, les mesures de calorimétrie ont posé de gros problèmes aux candidats. La méthode des mélanges permettant de mesurer la capacité thermique d'un calorimètre est mal connue. La mise en pratique de la méthode des mélanges s'avère délicate. Les masses d'eau introduites dans le calorimètre doivent être connues avec précision. Il est par exemple possible de verser un volume d'eau correspondant approximativement à la masse d'eau souhaitée dans un bécher, de peser le bécher plein, de verser l'eau dans le calorimètre puis de peser le bécher vide pour connaître par différence la masse d'eau introduite.

Les mesures de température peuvent être réalisées, selon les sujets proposés, avec un thermocouple relié à un dispositif d'acquisition permettant de réaliser un suivi temporel de la température ou avec un thermomètre à affichage numérique.

Oxydoréduction

L'utilisation des diagrammes E-pH semble globalement bien comprise. Des erreurs subsistent notamment sur le diagramme potentiel-pH de l'eau où les domaines de prédominance de H_2O , H_2 et O_2 sont mal déterminés.

L'établissement des équations de réaction d'oxydoréduction pose problème. Le jury conseille d'établir les demi-équations électroniques avant d'écrire l'équation de la réaction.

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.

Certaines courbes manquent de définition d'échelle ou utilisent des échelles inadaptées. On relève aussi parfois une erreur sur l'unité choisie (pourtant précisée dans l'énoncé) qui implique une déviation importante sur les résultats (passage de degrés Celsius en kelvin, par exemple).

Certains candidats n'utilisent pas le papier millimétré à leur disposition et dressent un graphique rudimentaire et peu précis sur le compte-rendu. Par exemple, il est vraiment inacceptable de lire un volume équivalent sur une feuille de copie avec une abscisse non précisée et mal graduée. Un graphique doit présenter un titre et les axes doivent être annotés.

Dans l'ensemble, la plupart des candidats maîtrisent correctement le tracé expérimental de diagrammes de Bode ainsi que l'analyse de ces diagrammes mais 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 tester 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 ou une courbe.

Plusieurs tableurs peuvent être mis à disposition des candidats (Latis Pro, Regressi, Libre Office, Excel), avec parfois fourniture d'une notice succincte. 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. Afin d'utiliser efficacement cet outil, il est recommandé :

- d'entrer les points de mesure directement dans le tableur (plutôt que d'avoir à recopier un brouillon inutile) en veillant à enregistrer son fichier après chaque modification ;
- de tracer les courbes au fur et à mesure de manière à contrôler l'évolution de la grandeur mesurée ;
- d'utiliser les outils de modélisation pour déterminer l'équivalence (méthode des tangentes intégrée dans certains tableurs, modélisation affine des points expérimentaux et recherche de l'intersection des droites modèles).

Compétence « communiquer »

À l'oral

L'épreuve comporte une part de communication orale et la capacité des candidats à exposer clairement leur démarche est largement évaluée. Les candidats sont invités à appuyer leur raisonnement sur un schéma clair ou un calcul effectué proprement au brouillon. On attend un langage précis, une expression claire. Le jury recommande de limiter l'expression « du coup » qui est trop souvent utilisée.

Les échanges avec l'examineur sont aussi l'occasion d'orienter les candidats qui se sont parfois trompés. Le jury évalue favorablement ceux d'entre eux qui écoutent et mettent en pratique les conseils prodigués. Comme indiqué précédemment, nous recommandons aux candidats d'interagir avec l'examineur, de l'appeler en cas de difficultés ou de doute.

À l'écrit

Un compte-rendu succinct est attendu, il doit comporter les réponses aux questions posées dans le sujet. Toutefois, il n'est pas nécessaire de développer les commentaires des résultats et de présenter le détail des protocoles qui ont été précédemment abordés à l'oral car ils ont déjà été évalués. Enfin, les candidats doivent s'efforcer de rédiger leur compte-rendu en utilisant un vocabulaire rigoureux, une syntaxe correcte et une calligraphie lisible. Les résultats doivent être soulignés ou encadrés. Les explications doivent être concises et répondre aux questions posées. Les tableaux de mesures sont trop rares alors qu'ils sont très appréciés. En fait, trop de candidats se satisfont d'une seule mesure. L'épreuve est certes en temps limité, mais répéter une mesure est utile pour comprendre quels effets peuvent intervenir dans l'évaluation de l'incertitude associée la mesure. Le jury recommande aux futurs candidats ne pas négliger la rédaction du compte-rendu. Il a été noté que la qualité des comptes-rendus s'est globalement dégradée dans les dernières années.

En TP de physique, dans certains sujets, une part non négligeable du travail, qui peut compter jusqu'à un tiers de la note finale, est à faire après le dernier appel et n'est donc évalué qu'à l'écrit.

Conclusion

Cette épreuve requiert de la part des candidats des efforts d'appropriation du sujet et d'analyse. Après avoir réalisé les manipulations, il convient d'en exploiter les résultats expérimentaux et d'avoir une attitude critique vis-à-vis des résultats obtenus.

Ce rapport pointe principalement les erreurs et l'absence de maîtrise de capacités techniques et compétences expérimentales observées chez les candidats mais le jury n'en oublie pas moins les qualités de beaucoup d'entre eux.