

Rapport de l'épreuve d'activités expérimentales de physique **Concours A-BCPST, session 2016**

Description de l'épreuve

L'épreuve « activités expérimentales de physique » durait trois heures. L'énoncé, volontairement succinct afin de favoriser l'initiative personnelle et l'autonomie, proposait comme lors de l'année précédente de déterminer le plus précisément possible un paramètre expérimental (densité d'un fluide ou d'un solide, focale d'une lentille, capacité d'un condensateur...) à partir d'une liste de matériel disponible. Le candidat était invité à faire appel à l'examineur de façon à présenter oralement un protocole ou des résultats expérimentaux.

Un compte-rendu succinct, regroupant figures, principaux calculs et commentaires, a été demandé aux candidats.

La partie « ouverture » formalisée l'an passé par une production écrite succincte a été remplacée cette année par des questions d'ouverture aux meilleurs candidats qui avaient pu mener à terme leur activité expérimentale.

Consignes données aux candidats en début d'épreuve

« Note sur les critères d'évaluation : la qualité de l'expérimentation et de la réflexion seront fortement valorisées ; terminer le sujet n'est pas déterminant dans la notation. Aucune connaissance préalable n'est attendue sur le fonctionnement spécifique des appareils utilisés. Ne pas hésiter à faire appel à l'examineur en cas de doute. Le matériel d'usage courant non mentionné dans la liste peut être demandé à l'examineur. Un compte-rendu succinct qui fera figurer schémas, résultats et commentaires sur les mesures réalisées sera rédigé par le candidat. Aucun développement excessif n'est attendu puisqu'on rappelle qu'il s'agit d'une épreuve orale. »

Analyse globale

Le jury invite à se reporter au rapport établi en 2015 pour davantage de commentaires généraux sur l'épreuve.

Le jury tient tout d'abord à nouveau à souligner la très bonne préparation globale des candidats à cette épreuve d'activités expérimentales. On peut en particulier noter par rapport à l'édition précédente davantage d'aisance des candidats pour proposer spontanément des protocoles, faire preuve d'autonomie pour mener à bien une expérience n'ayant a priori pas été préparée dans l'année, et pour utiliser les logiciels à disposition (Régressi, Gum et LatisPro).

Une amélioration est encore attendue dans la présentation numérique des résultats (nombre de chiffres significatifs, incertitude – voir rubrique correspondante - et unité) et leur commentaire (compatibilité avec une grandeur tabulée ou connue, ou encore comparaison avec un résultat issu d'une autre méthode de mesure). Nous rappelons que le jury ne vient pas mettre en garde le candidat lorsque celui-ci obtient un résultat aberrant, et qu'il est attendu que l'élève s'en rende compte par lui-même, qu'il corrige ou reprenne des points de mesure, ou au besoin qu'il remette en question la validité de son protocole.

Bien que la finalité de l'épreuve soit principalement de tester les capacités expérimentales, les connaissances théoriques figurant au programme de BCPST sont supposées acquises. Trop de candidats sont gênés par leur connaissance superficielle du cours : certains utilisent le théorème de Bernoulli dans un écoulement visqueux, sont incapables de retrouver en quelques lignes la constante

de temps d'un circuit RC, la période propre d'un système masse-ressort, la période d'oscillation d'un pendule simple...

Trop peu de candidats pensent à utiliser l'analyse dimensionnelle.

On rappelle qu'exposer un protocole à l'examineur ne saurait se limiter à dire "je vais mesurer R et T et tracer la courbe demandée". Il est attendu de préciser comment et avec quel appareil les différentes grandeurs vont être mesurées. Lorsqu'une mesure précise et soignée d'un paramètre est nécessaire, le candidat ne s'étonnera pas que l'examineur lui demande de reprendre un point de mesure.

Critères d'évaluation

L'évaluation des candidats se fait par compétences. On pourra consulter le rapport de jury de l'édition 2015 pour davantage de détails.

Incertitudes

Bien que les élèves consacrent spontanément du temps aux incertitudes de mesure, leur gestion est très rarement bien menée et exploitée.

Nous tenons à nouveau à souligner que les calculs interminables, basés sur des formules « toutes faites » d'une technicité dépassant largement les compétences d'un élève moyen de BCPST, sont à proscrire, au bénéfice d'une véritable réflexion sur les causes d'erreurs, et de l'évaluation de l'ordre de grandeur de l'incertitude (évaluer l'incertitude à un facteur deux près contenterait tout à fait le jury, tant les dérives chronophages et calculatoires sont légions...), et de son intérêt pour la compréhension de l'expérience. Le questionnement attendu de la part du candidat pourrait être le suivant : « La mesure est-elle précise au vu de l'objectif de travail ? Quel est le principal facteur qui en limite la précision ? Peut-on améliorer cette précision en utilisant un autre matériel ou même un autre protocole ? Compte-tenu des incertitudes, les mesures d'une même grandeur par deux méthodes distinctes sont-elles compatibles ?, ... ».

Si le sujet ne le spécifie pas explicitement, il est toujours attendu que le candidat ait réfléchi conjointement à la précision et à l'incertitude associée à sa mesure avant d'arriver à la fin de l'expérimentation. Trop de candidats adoptent en effet la démarche séquentielle suivante : 1. Protocole, 2. Points de mesure dans un tableau sans aucune réflexion, 3. Incertitude de mesure, 4. Interprétation. Ces quatre étapes doivent interagir et « s'alimenter » au cours de l'expérimentation pour faire évoluer la réflexion ou simplement pour éviter de se rendre compte lors de l'exploitation que les points de mesure censés s'aligner forment en pratique un nuage de points et que le protocole est totalement inadapté.

Lorsqu'une mesure fait intervenir plusieurs sources d'erreurs ou qu'une « propagation des incertitudes » est nécessaire, le jury invite les candidats à privilégier le logiciel GUM par rapport à la calculatrice. D'utilisation simple, il permet de mettre l'accent sur l'importance relative de chacun des paramètres et potentiellement d'améliorer la méthode de mesure ou le protocole. Un grand nombre de candidats a déjà ce réflexe.

Afin de minimiser encore davantage les calculs, lorsqu'une loi physique peut être vérifiée et validée par un ajustement (pas nécessairement sous forme affine), on pourra privilégier le logiciel Regressi. L'ajustement peut alors prendre en compte la dispersion des points et l'incertitude associée à chaque point en cochant « Prise en compte des incertitudes Chi(2) » dans l'onglet « Option de modélisation » dans la partie « Modélisation ». On notera que le logiciel Excel, dont nous déconseillons l'utilisation, ne permet que d'afficher les barres d'incertitudes sans les prendre en compte dans l'ajustement.

Pour l'évaluation des incertitudes des variables expérimentales, la plupart des étudiants s'en remettent assez systématiquement à la précision des instruments de mesure utilisés sans toujours réaliser que la façon de mesurer introduit des incertitudes bien plus importantes. Par exemple, lors d'une mesure d'un temps au chronomètre, l'incertitude dominante n'est pas le centième de seconde correspondant à la

précision du chronomètre mais le temps de réaction de l'expérimentateur. De même, l'incertitude sur la température d'un bloc de métal sorti d'un congélateur pour être introduit dans un calorimètre ne correspond pas à au demi degré de précision donné par le thermomètre dans le congélateur....

Pour analyser leurs mesures expérimentales, beaucoup de candidats proposent de faire un calcul pour chaque point expérimental (avec le modèle attendu) et font ensuite la moyenne sur tous les points expérimentaux plutôt que de tracer un graphe et d'ajuster les points expérimentaux avec le modèle adéquat. Outre le fait qu'elle économise un temps précieux, cette dernière démarche permet pourtant de détecter et corriger les éventuels biais de la mesure et de valider le modèle. Le problème s'est posé pour plusieurs sujets où une erreur systématique pouvait intervenir dans la mesure d'une des variables expérimentales.

Nous donnons ici un exemple précis portant sur la détermination de g à partir de la mesure de la période propre T d'un pendule en fonction de sa longueur l . Une des erreurs classiques commises par les candidats est de mesurer l entre les deux points d'attache du fil (au niveau du support et de l'anneau accroché à la masse), au lieu de mesurer la longueur entre le point d'attache au support et le centre d'inertie de l'objet. Ceci induit une erreur systématique de $2,5\text{ cm}$ sur toutes les mesures de longueur. En calculant g pour chaque point expérimental (voir tableau ci-dessous), en appliquant $g=4\pi^2 l/T^2$, on obtient une moyenne $g=9,36\text{ m.s}^{-2}$. Lorsqu'on interroge le candidat sur l'origine du décalage avec la valeur attendue (lorsqu'elle est connue...), les candidats invoquent les erreurs de mesure (ce qui est vrai !) de manière très vague, mais ne soupçonnent pas à quel point. En effet, certains proposent une incertitude de l à 2 mm d'erreur sur la mesure de l , ce qui ne permet alors pas d'expliquer le décalage si l'on propage les erreurs sur g (l'incertitude obtenue est insuffisante pour englober $9,81$ dans l'intervalle).

| | | | | | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $l(\text{cm})$ | 32,3 | 36,7 | 42,6 | 46,9 | 55,8 | 62,8 | 69,3 | 73,5 | 76,6 |
| $T(\text{s})$ | 1,18 | 1,26 | 1,35 | 1,41 | 1,53 | 1,60 | 1,70 | 1,75 | 1,79 |
| $g(\text{m.s}^{-2})$ | 9,11 | 9,18 | 9,27 | 9,31 | 9,39 | 9,53 | 9,43 | 9,49 | 9,50 |

En revanche si l'on trace T^2 en fonction de l , on voit immédiatement que T^2 varie avec l de façon affine et non linéaire comme le prévoit le modèle. On peut alors réaliser qu'il y a un problème systématique sur une mesure : celle de l vraisemblablement (puisque T est au carré). L'ajustement des données avec un modèle affine $T^2=4\pi^2(l+e)/g$ permet alors à la fois de déterminer la valeur de g ($9,82\text{ m.s}^{-2}$) ainsi que l'erreur systématique sur l ($e=0,026\text{ m}$) et donc de comprendre l'origine de l'erreur de mesure.

Remarques spécifiques

Cette année, un quart des sujets portait sur l'optique, un autre quart sur l'électronique, et la moitié restante sur la mécanique ou la thermodynamique. On notera que les moyennes et écart-types des différents domaines ont été harmonisés de manière à ne pas défavoriser les candidats ayant été interrogés en électronique, dont les notes brutes étaient cette année encore un peu moins élevées. Nous listons ci-dessous les remarques formulées par les examinateurs dans chacun des domaines de manière spécifique. Là encore, nous invitons le lecteur à consulter le rapport établi en 2015.

Optique

Les candidats montrent souvent de bonnes connaissances sur le plan théorique en optique, mais ils doivent prêter plus d'attention à la qualité de l'alignement des éléments sur un banc d'optique ; ils n'ont pas systématiquement le réflexe d'aligner en premier les éléments les plus éloignés dans le montage final.

Par ailleurs, le réglage du goniomètre est souvent bien effectué mais la justification, même simplifiée, de son principe n'est pas toujours connue. On précise que le réglage de l'horizontalité du plateau des goniomètres n'est pas exigible, mais que l'utilisation de la lunette et du collimateur doivent être maîtrisées. Pour l'utilisation du goniomètre à réseau sous incidence normale, on rappelle qu'il est possible de faire un réglage précis et rapide par autocollimation directement sur la face plane du réseau grâce à son caractère partiellement réfléchissant.

Mécanique et thermodynamique

Lors de la détermination la plus précise possible d'un paramètre faisant intervenir une expérience avec 3 masses marquées différentes, on ne se contentera pas de faire 3 mesures, et on pensera à les associer pour réaliser 7 mesures.

Electronique

Dans les montages d'électronique, les problèmes d'interconnexion des masses sont mieux pris en compte que l'an dernier ; de même, la touche « autotest » n'a que très rarement été utilisée. Il est toutefois dommage que la plupart des candidats ne connaissent pas l'existence du mode différentiel sur un oscilloscope ou une console d'acquisition (bien entendu, les candidats n'ont pas été pénalisés pour cela) ; il est également dommage que les candidats pensent plus volontiers aux régimes transitoires qu'au régime sinusoïdal forcé pour déterminer des valeurs de composants (protocoles plus simples et erreurs systématiques plus maîtrisables en RSF) et les formules théoriques (lois horaires) données pour l'exploitation ne sont pas toujours adaptées à la situation expérimentale présente (peu de questionnements sur les conditions initiales) ; par ailleurs, les candidats doivent penser à exploiter toutes les informations contenues dans une fonction de transfert fournie (l'utilisation du déphasage n'est que rarement proposée spontanément).

On notera que le matériel présent au concours nécessite l'utilisation de câbles mixtes bananes/coaxiaux, notamment au niveau des branchements des oscilloscopes et GBF. Certains candidats ont du mal à comprendre qu'un seul câble puisse en remplacer deux sur une portion du circuit. Il paraît donc intéressant de l'évoquer ou d'utiliser un tel câble au moins une fois dans l'année.

Conclusion

Bien qu'il subsiste une très grande hétérogénéité entre les candidats, le jury a pu apprécier une amélioration de la préparation globale aux spécificités de cette nouvelle épreuve. La préparation doit être poursuivie dans ce sens pour les années ultérieures, sans chercher à augmenter le niveau de technicité sur tel ou tel appareil ou logiciel.

Le jury a apprécié l'interaction constructive avec les professeurs qui se sont déplacés sur le lieu des épreuves.