

PHYSIQUE TZ2 (IBAP & IBAEM)

Seuils d'attribution des notes finales par matière

Niveau supérieur

Note finale :	1	2	3	4	5	6	7
Gamme de notes :	0 - 16	17 - 30	31 - 42	43 - 52	53 - 63	64 - 72	73 - 100

Niveau moyen

Note finale :	1	2	3	4	5	6	7
Gamme de notes :	0 - 14	15 - 26	27 - 39	40 - 48	49 - 59	60 - 68	69 - 100

Évaluation interne du niveau supérieur

Seuils d'attribution des notes finales par composante

Niveau supérieur

Note finale :	1	2	3	4	5	6	7
Gamme de notes :	0 - 8	9 - 16	17 - 22	23 - 27	28 - 33	34 - 38	39 - 48

Niveau moyen

Note finale :	1	2	3	4	5	6	7
Gamme de notes :	0 - 8	9 - 16	17 - 22	23 - 27	28 - 33	34 - 38	39 - 48

Commentaires généraux

Procédures du BI pour la session d'examen de mai 2012

Les écoles se sont clairement conformées aux prescriptions du BI. Une page de garde et un formulaire 4/PTP approprié accompagnaient tous les échantillons soumis à l'ÉI, ainsi que les instructions fournies aux candidats pour chacune des recherches. Quelques écoles ont joint

la preuve de leur Projet du Groupe 4, bien que ce ne soit pas requis. La modération globale de l'examen de mai 2012 s'est très bien déroulée, avec seulement quelques problèmes. La majorité des écoles ont évalué le travail de leurs candidats d'une manière acceptable et cohérente. Peu de modération s'est avérée nécessaire.

Globalement, les professeurs connaissaient les attentes de l'ÉI ; ils ont utilisé les formulaires appropriés et ils ont respecté les procédures d'échantillonnage. La plupart des formulaires 4/PTP rédigés par les écoles étaient acceptables, bien que quelques écoles aient omis d'inclure les cadres réservés au modérateur et aux notes attribuées par le modérateur principal. Les délais ont été respectés et très peu de difficultés de procédure sont apparues. La modération de l'ÉI de l'épreuve de mai 2012 s'est déroulée sans accroc.

Commentaires spécifiques relatifs à l'examen de la session de mai 2012

À la lumière des formulaires 4/PTP, il apparaît que les écoles fournissent à leurs candidats des programmes d'activités pratiques riches et diversifiés. On remarque une utilisation croissante des TIC, la majorité des rapports de laboratoire étant rédigés avec un traitement de texte et comportant des graphiques tracés par ordinateur. La majorité des écoles démontrent un traitement approprié des erreurs et des incertitudes. Malheureusement, quelques écoles autorisent des candidats à tracer des graphiques à la main, sans utiliser du papier millimétré et en joignant les points de données. Il existe un ensemble bien défini d'énoncés relatifs au critère de conception et la plupart des candidats font du bon travail sur ce plan. Dans certains cas, des professeurs demandent encore aux candidats de formuler une hypothèse pour leurs recherches portant sur le critère de conception, mais cette pratique n'est pas pénalisée. Occasionnellement, l'énoncé fourni par le professeur peut comporter deux variables, ce qui empêche le candidat de sélectionner une variable indépendante appropriée. Enfin, quelques écoles traitent la conception comme un sujet de recherche, autorisant les candidats à utiliser des manuels et à consulter Internet. Cette pratique est absolument inadéquate, car elle débouche sur des recherches déjà abouties, d'un niveau moyen et où figurent également les équations appropriées.

Actuellement, beaucoup d'écoles n'imposent que deux recherches, chacune étant évaluée par les trois critères. Cette procédure n'est pas correcte à l'égard des candidats, car ils n'ont pas l'occasion d'améliorer leur travail. Le problème est particulièrement préoccupant lorsqu'un candidat obtient des notes faibles.

Un certain nombre d'écoles fournissent à leurs candidats une liste de contrôle de l'ÉI ; celle-ci s'avère utile aux candidats, car elle énumère en détail les attentes de l'ÉI. Cette bonne pratique est encouragée. Enfin, la majorité des professeurs évaluent les travaux de leurs candidats en formulant de brefs commentaires et en précisant les niveaux de satisfaction des critères de l'ÉI. Cette information en retour est utile aux candidats et aide les modérateurs à valider la note du professeur. Cette pratique est encouragée.

Variété et pertinence du travail présenté

Il est clairement apparu que la plupart des centres proposent des programmes d'activités pratiques étendus, couvrant un large spectre de travaux de recherche. Le recours aux TIC est maintenant devenu pratique courante ; la plupart des rapports des candidats sont réalisés avec un traitement de texte et les graphiques sont présentés en utilisant le logiciel approprié. Le nombre d'heures attribué aux travaux pratiques ne semble pas constituer un problème et il

est évident que le programme est bien couvert. On a rappelé aux professeurs que les recherches pouvaient porter sur des sujets ne figurant pas au programme.

Certains centres requièrent encore des candidats qu'ils formulent une hypothèse pour leurs recherches portant sur le critère conception. Bien que cette pratique ne soit pas pénalisée, elle peut inhiber le caractère ouvert de la conception réalisée par le candidat. De même, lorsque les candidats connaissent déjà la théorie et les équations pertinentes, évaluer la conception n'est pas toujours approprié.

Les professeurs doivent se montrer prudents lorsqu'ils fournissent la variable dépendante dans l'énoncé de la question de conception, car, dans certains cas, la variable indépendante a été aussi communiquée aux candidats. On a observé un certain nombre de situations où les candidats avaient, de ce fait, deux variables indépendantes, comme la variation de la masse d'une balle lorsque sa taille varie. Les professeurs auraient dû relever cette erreur majeure et orienter le candidat vers une approche plus productive. Une guidance globale est autorisée.

Le Projet du Groupe 4 semble être bien intégré dans les programmes de travaux pratiques. Ajoutons que quelques centres fournissent des preuves du projet, ce qui n'est pas requis (seule une indication de la date et des heures doit figurer sur le formulaire 4/PTP).

Résultats des candidats pour chaque critère d'évaluation

Conception

Les professeurs maîtrisent l'art de formuler des questions de conception. Toutefois, dans quelques situations, les énoncés n'étaient pas appropriés ; tel est le cas lorsqu'on demande aux candidats de concevoir une recherche pour mesurer la pesanteur ou pour confirmer la loi d'Ohm. De bons énoncés de conception devraient inciter les candidats à rechercher une fonction entre deux variables et non à rechercher une valeur spécifique. Il convient de rappeler aux candidats que pour satisfaire complètement au critère de conception, les variables doivent être définies (de vagues formulations telles que « Je vais mesurer le temps » doivent être clarifiées sur le plan de la manière dont ce sera réalisé). Des définitions opérationnelles aident aussi à concevoir une méthode. Cela découle de la possibilité de contrôler des variables.

Recueil et traitement des données

Les candidats ont tendance à se montrer plus performants avec le critère RTD. Les données brutes comportent toujours des incertitudes. Les modérateurs recherchent une brève description de la raison pour laquelle le candidat a attribué une valeur particulière à l'incertitude, ce qui s'applique aussi bien aux données brutes qu'aux données traitées. Les chiffres significatifs et la limite inférieure des appareils de mesure sont d'application ici. Pour être crédités du maximum des points pour le critère RTD, il faut que les candidats aient dessiné un graphique.

Dans certains cas, un graphique eut été approprié, mais les candidats se sont limités à faire des calculs. Ces cas ne peuvent être crédités de l'appréciation « complètement » pour l'aspect 3 du RTD. Les professeurs doivent être conscients de cette attente. De même, il est

important que le candidat (et non le professeur) décide des grandeurs à représenter sur le graphique et de la manière de traiter les données.

Conclusion et évaluation

Ce critère peut être celui pour lequel il est le plus difficile d'obtenir le maximum des points, en particulier pour l'aspect 1, et il est souvent surévalué par le professeur. Les candidats doivent dépasser les données disponibles pour fournir une justification basée sur une interprétation raisonnable des données. Une telle introspection pourrait conduire à s'interroger sur le sens physique éventuel à attribuer aux valeurs extrêmes du spectre des données, à l'origine d'un graphique ou à l'ordonnée à l'origine. Les candidats pourraient même donner une interprétation physique à la relation globale (peut-être sous la forme d'une hypothèse). Les professeurs doivent y être attentifs lorsqu'ils attribuent la mention « complètement » à l'aspect 1, car les modérateurs ont dû souvent modifier la mention « complètement » en « partiellement ». En définitive, si les candidats réalisent une activité de laboratoire de physique standard et bien balisée, et que le critère CÉ est évalué, il est peu probable qu'ils puissent révéler des faiblesses ou des progrès. Le critère CÉ est évalué au mieux lorsque les candidats ont dû établir la conception et réaliser la recherche eux-mêmes.

Recommandations pour la préparation de futurs candidats

- Les candidats doivent avoir une compréhension claire des critères de l'ÉI. Pour les y aider, les professeurs pourraient donner aux candidats une copie d'une ÉI vraiment bonne, à laquelle la mention « complètement » aurait été attribuée pour tous les aspects évalués.
- Les candidats doivent être entraînés à satisfaire à tous les aspects de l'ÉI. Le travail en groupe, la guidance du professeur et même une évaluation par les pairs peuvent aider. Bien sûr, dans ces circonstances, le professeur ne ferait pas intervenir l'ÉI dans la note finale sur le formulaire 4/PTP.
- Lors de l'évaluation d'une activité de travaux pratiques, il est important que le candidat travaille seul. Toutefois, cela ne signifie pas qu'un autre candidat ne puisse l'aider, comme, par exemple, en laissant tomber une balle d'une certaine hauteur pendant que le candidat mesure le temps de chute. Toutes les mesures doivent provenir du candidat qui est soumis à l'évaluation. De manière occasionnelle, les modérateurs ont trouvé des recueils de données identiques, ce qui les rend méfiants. De même, une recherche sur Internet ou dans une bibliothèque n'est pas un travail approprié.
- Les rapports de laboratoire devraient avoir un intitulé explicite, tel que « Comment la longueur d'un pendule influence-t-elle la période ? », plutôt que « Le pendule ».
- Les professeurs qui ont ajouté des commentaires sur le rapport du candidat ou qui ont joint une feuille précisant le niveau de réussite et motivant leur note n'ont généralement pas fait l'objet d'une modération vers le haut ou vers le bas ; en effet, une attention aussi fine portée à l'évaluation garantit un niveau de notation approprié, en général justifié par le professeur. Cette pratique est encouragée.

Commentaires complémentaires

Un problème qui s'est posé à plusieurs reprises au cours de la session de mai 2012 a été la question de l'évaluation de l'aspect 3 du critère conception et le fait de disposer d'un nombre suffisant de données. Bien que les professeurs attendent de la part des candidats une référence explicite à ces éléments dans les aspects préliminaires de leur rapport, des indications manifestes peuvent souvent être trouvées dans la partie du rapport qui concerne le recueil et le traitement des données. Normalement, les candidats signalent les mesures répétées, mais s'ils omettent de le faire, alors que de manière évidente ils ont opéré plusieurs mesures et qu'ils ont mentionné une moyenne, ils seront quand même crédités des points (de même, en ce qui concerne l'étendue et le nombre de points de données graphiques). Si le tableau des données révèle un nombre suffisant de données et une étendue adéquate, les attentes en matière de conception seront considérées comme satisfaites. En l'occurrence, les modérateurs accordent aux candidats le bénéfice du doute et ne les pénalisent pas pour n'avoir pas fait exactement ce que le modérateur aurait souhaité voir. Au contraire, le modérateur recherche des éléments lui permettant d'attribuer des points au candidat.

La plupart des professeurs ont évalué des travaux appropriés et ont attribué des notes appropriées. En outre, la plupart des candidats ont accompli un travail important et ont produit de bons rapports de laboratoire de physique. Néanmoins, il convient de rappeler aux professeurs que les recherches relatives à la conception ne sont pas destinées à être des projets de recherche. Une recherche sur Internet n'est pas appropriée.

En règle générale, les modérateurs ont confirmé les notes attribuées par les professeurs, mais occasionnellement, ils ont haussé ou diminué des notes. Si l'on peut dégager une tendance, on peut dire que les professeurs sont enclins à surestimer le critère conclusion et évaluation (CÉ). Si les professeurs ont appliqué les critères de manière appropriée, le système de modération devrait les appuyer. Les modérateurs ne sont pas là pour appliquer leurs propres théories ou leurs pratiques pédagogiques favorites, mais pour garantir que les centres utilisent les critères dans des limites acceptables en référence aux documents officiels. En d'autres mots, les modérateurs recherchent l'erreur systématique plus que l'erreur aléatoire dans l'application des aspects des critères.

Les sections suivantes contiennent les recommandations que les modérateurs de l'ÉI en physique suivent.

Quand les modérateurs diminuent la note — Conception

Le modérateur abaissera la note lorsque le professeur donne une question de recherche clairement définie et/ou lorsque les variables indépendante(s) et contrôlée(s) sont précisées. Le professeur peut fournir la variable dépendante (pour autant qu'il existe une gamme de variables indépendantes que le candidat doit identifier). Préciser au candidat l'objectif général de la recherche est une bonne chose si le candidat a modifié significativement l'énoncé ou la question (par exemple, en la précisant, en définissant les variables). Le modérateur va diminuer la note lorsqu'une fiche méthodologique est fournie au candidat, laquelle est suivie sans aucune modification, ou lorsque **tous** les candidats appliquent des méthodes identiques. Des manipulations de laboratoire standards ne sont pas appropriées à l'évaluation du critère conception.

Quand les modérateurs diminuent la note — Recueil et traitement des données

Le modérateur abaissera la note lorsque la photocopie d'un tableau où figurent déjà les titres et les unités est fournie au candidat, tableau qu'il n'a plus qu'à compléter. Si le candidat n'a pas relevé les incertitudes sur chaque donnée quantitative, le maximum attribué par le modérateur pour l'aspect 1 de ce critère sera « partiellement ». Si le candidat s'est avéré de manière répétée inconsistant dans l'utilisation des chiffres significatifs lors du recueil des données, le maximum que le modérateur puisse attribuer pour l'aspect 1 de ce critère sera « partiellement ». En physique, les données sont toujours quantitatives. Dessiner les lignes de champ au voisinage d'un aimant ne constitue pas une activité relevant du critère RTD.

Le modérateur abaissera la note lorsqu'un graphique dont les axes sont déjà légendés est fourni aux candidats (ou lorsque les candidats ont été informés des variables à utiliser pour tracer le graphique) ou lorsque les candidats doivent suivre un processus structuré par des questions pour réaliser le traitement des données. Pour l'évaluation de l'aspect 3 du critère RTD, les candidats sont censés construire des graphiques. Pour que soit attribuée la mention « complètement », les points de données du graphique devraient être pourvus des barres d'incertitude et l'incertitude sur la pente de la droite de meilleur ajustement devrait être calculée.

Quand les modérateurs diminuent la note — Conclusion et évaluation

Si le professeur a fourni aux candidats des questions structurées pour les guider à travers la discussion, la conclusion et la critique, selon le degré de précision des questions du professeur et la qualité des réponses des candidats, la note maximale attribuée sera « partiellement » pour chacun des aspects où le candidat a bénéficié d'une guidance. Le modérateur n'évalue strictement que l'apport du candidat. La différence entre les mentions « partiellement » et « complètement » pour l'aspect 1 du critère CÉ tient à la justification que donnent les candidats de leur interprétation des résultats expérimentaux. Il s'agit d'une tâche difficile qui peut impliquer le recours à une théorie physique.

Dans les cas décrits ci-après, le modérateur confirmera la position du professeur, car il est conscient de ses propres attentes de la part des candidats.

Quand les modérateurs n'abaissent pas la note — Conception

Les modérateurs n'abaisseront pas la note lorsque les variables indépendantes et contrôlées ont été clairement identifiées dans la procédure sans être données sous la forme d'une liste séparée (nous attribuons des notes pour le rapport complet et il n'y a pas d'obligation d'établir une notation distincte pour chaque titre des aspects). Les modérateurs n'abaissent pas la note quand il y a une liste de variables dont le caractère dépendant ou indépendant apparaît clairement dans la procédure.

Les modérateurs n'abaissent pas la note quand des procédures similaires (mais non identiques mot pour mot) sont données pour une tâche réduite. Le modérateur fera un commentaire concernant la faible adéquation de la tâche sur le formulaire de commentaires sur l'évaluation interne 4/CÉI. Les modérateurs n'évaluent pas seulement la liste d'équipement, mais ils créditent l'identification claire de l'équipement selon une procédure

méthodique. Il faut se rappeler que les modérateurs examinent le rapport complet. Ils n'insistent pas sur la mention du degré de précision des appareils figurant dans la liste. Cet aspect n'a jamais été spécifié aux professeurs et le concept du relevé des incertitudes est pris en considération par le critère RTD. Les modérateurs ne diminuent pas la note du professeur si des éléments de procédure habituels, comme le port de lunettes de sécurité ou d'une blouse de laboratoire, ne sont pas mentionnés. Certains professeurs considèrent que la liste de ces éléments lors de chaque activité est vitale, alors que d'autres estiment que ces éléments font tellement partie intégrante des activités de laboratoire qu'il est superflu d'en faire mention. Dans le cas présent, les modérateurs s'alignent sur la position du professeur.

Quand les modérateurs n'abaissent pas la note — Recueil et traitement des données

Dans un exercice global de recueil des données, comportant plusieurs tableaux de données, le candidat peut avoir été inconsistant avec les chiffres significatifs pour un point de donnée ou il peut avoir omis d'indiquer les unités dans le titre d'une colonne du tableau. Dans de tels cas, le modérateur ne sanctionnera pas ces erreurs mineures. Si le modérateur a conscience que le candidat a été attentif à ces éléments mais qu'il a commis une faute d'inattention, alors le modérateur peut encore accepter que la note maximale ait été attribuée, en vertu du principe selon lequel « ce qui est complet n'est pas forcément parfait ». Il s'agit d'un principe important, car de bons candidats répondant complètement à une tâche ouverte sont plus souvent injustement pénalisés que des candidats qui réalisent un exercice simpliste. La note d'un candidat ne sera pas diminuée s'il n'a pas inclus d'observation(s) qualitative(s) et si le modérateur ne considère pas qu'une observation ait été manifestement pertinente. Le modérateur ne diminue pas la note si le titre d'un tableau manque, pour autant que la référence de ces données soit évidente. Souvent, les candidats effectuent le plus dur du travail pour le RTD et perdent un point dans la notation du professeur parce qu'ils n'ont pas indiqué le titre du tableau de données. Excepté dans le cas de recherches étendues, la référence d'un tableau est normalement évidente.

Les attentes en ce qui concerne le traitement des erreurs et des incertitudes en physique sont décrites dans le guide de matière et dans le matériel de soutien pédagogique. Les candidats du niveau moyen (NM) et du niveau supérieur (NS) sont évalués sur base des mêmes programmes de cours et des mêmes critères de performance.

Toutes les données brutes sont supposées inclure les unités et les incertitudes. La limite inférieure de toute échelle de lecture d'un instrument ou le chiffre significatif le plus bas de toute mesure est une indication de l'incertitude minimale. Les candidats peuvent commenter les spécifications du constructeur à propos de l'exactitude, mais ce n'est pas requis. Lors du traitement des données brutes, les incertitudes doivent être calculées (voir le guide pédagogique, détails du programme 1.2.11).

Les candidats peuvent estimer les incertitudes dans des mesures complexes (\pm la moitié de l'étendue de la plage de lecture) et faire des suppositions sensées à propos des incertitudes liées à la méthode de mesure. Si les incertitudes sont suffisamment faibles pour être ignorées, le candidat devrait le mentionner.

Les droites traduisant les écarts minimum et maximum devraient être représentées sur les graphiques, sur base des barres d'incertitudes (en utilisant les premier et dernier points de

mesure) et seulement pour une seule grandeur. Cette procédure simplifiée devient plus compliquée lorsque les deux grandeurs représentées sur le graphique présentent des barres d'incertitude. Une autre analyse des incertitudes est attendue lorsque les graphiques ne sont pas linéaires.

Si le candidat a clairement essayé de tenir compte des incertitudes ou de leur propagation, les modérateurs confirmeront la notation du professeur, même s'ils ont le sentiment que le candidat aurait pu faire un effort plus conséquent. Si la propagation des incertitudes est traitée dans une partie de l'activité de laboratoire, le maximum des points peut être attribué, même si le calcul d'erreur n'est pas effectué en détail (lorsque le candidat a fait preuve du fait qu'il a envisagé l'incertitude, il peut être crédité de la mention « complètement »).

Les modérateurs **ne pénalisent pas** un professeur ou un candidat si le protocole n'est pas celui qui est enseigné. Ainsi, les incertitudes sur la balance à plateaux ont été fixées à $\pm 0,01$ g, alors que les professeurs peuvent estimer que cette valeur doit être doublée si la tare est prise en considération. La modération n'est pas le moment ni le lieu pour instaurer un protocole du BI privilégié.

Quand les modérateurs n'abaissent pas la note — Conclusion et évaluation

Les modérateurs appliquent souvent le principe selon lequel « ce qui est complet n'est pas forcément parfait ». Par exemple, si le candidat a identifié les sources les plus perceptibles d'erreur systématique, le modérateur peut confirmer la note du professeur, même s'il peut identifier une source supplémentaire. Les modérateurs sont un peu plus critiques en ce qui concerne le troisième aspect, car les modifications proposées doivent réellement être en rapport avec les sources d'erreur citées. Si un modérateur estime que la tâche était trop simple pour être en adéquation avec l'esprit des critères, il fera un commentaire sur le formulaire 4/CÉI pour signaler l'inadéquation de la tâche, en justifiant dûment son appréciation. Ces données seront fournies sous forme d'une information en retour, mais la note du candidat ne sera pas forcément diminuée.

L'aspect qui constitue un véritable défi pour le critère CÉ, est la distinction entre les mentions « partiellement » et « complètement » pour l'aspect 1 : « Formulez une conclusion, en la justifiant, sur base d'une interprétation raisonnable des données ». Une justification peut consister en une analyse mathématique des résultats, en une appréciation des limites de l'étendue des données, mais il pourrait aussi s'agir d'une analyse incluant le sens physique ou la théorie, voire même une hypothèse (bien que la formulation d'une hypothèse ne soit pas requise). Pour obtenir la mention « complètement » pour le critère CÉ (aspect 1), des commentaires sérieux et réfléchis sont requis, des commentaires qui dépassent le niveau de « les données révèlent une relation linéaire et de proportionnalité ».

Épreuve 1

Seuils d'attribution des notes finales

Niveau supérieur

Note finale :	1	2	3	4	5	6	7
Gamme de notes :	0 - 10	11 - 17	18 - 23	24 - 26	27 - 30	31 - 33	34 - 39

Niveau moyen

Note finale :	1	2	3	4	5	6	7
Gamme de notes :	0 - 7	8 - 11	12 - 16	17 - 18	19 - 21	22 - 23	24 - 29

Commentaires généraux

Une partie des questions est commune aux épreuves du NM et du NS, des questions additionnelles au NS assurant une couverture plus approfondie du programme.

Un bon nombre de centres ayant participé aux examens ont renvoyé des formulaires G2. Pour le NM, 146 réponses ont été reçues sur 688 centres et au NS, 144 réponses sur 729 centres. C'est une augmentation appréciable par rapport aux années précédentes, bien qu'il subsiste encore beaucoup d'écoles qui ne renvoient pas d'informations. Les réponses reçues ont indiqué que les examens de mai 2012 ont généralement été bien accueillis et beaucoup de formulaires G2 reçus exprimaient des commentaires favorables. Toutefois, quelques questions ont posé problème ; elles seront envisagées dans la suite du rapport. La grande majorité des professeurs qui ont formulé des commentaires sur les épreuves ont estimé qu'elles contenaient des questions d'un niveau approprié.

À quelques exceptions près, les professeurs ont estimé que les épreuves couvraient le programme d'une manière satisfaisante à bonne. En ce qui concerne les commentaires relatifs à la couverture du programme, il convient de garder à l'esprit qu'il faut l'évaluer en conjonction avec l'épreuve 2. Tous les professeurs qui ont renvoyé des formulaires G2 ont considéré que la présentation des épreuves était satisfaisante à bonne.

Analyse statistique

La performance globale des candidats et la performance pour les questions individuelles sont illustrées dans l'analyse statistique des réponses. Ces données sont reprises dans les tableaux ci-après. Les nombres indiqués dans les colonnes A-D et dans la colonne « Pas de réponse » représentent le nombre de candidats ayant choisi les propositions correspondantes

ou n'ayant pas répondu à la question. La solution (l'option correcte) est repérée par un ombrage de la cellule. L'*index de difficulté* (qu'il serait peut-être préférable d'appeler *index de facilité*) est le pourcentage de candidats qui ont fourni la réponse correcte (la solution).

Un index élevé indique donc une question facile. L'*index de discrimination* est une mesure de l'efficacité avec laquelle la question opère la discrimination entre les candidats ayant des aptitudes différentes. En général, un index de discrimination plus élevé indique qu'une plus grande proportion de candidats plus compétents a correctement identifié la solution, comparativement aux candidats plus faibles. Toutefois, cela peut ne pas être le cas lorsque l'index de difficulté de la question est soit élevé, soit faible.

Analyse des items de l'épreuve 1 du NS

Question	A	B	C	D	Pas de réponse	Index de difficulté	Index de discrimination
1	3149	904	631	411	3	61,77	0,28
2	195	557	3794	547	5	74,42	0,40
3	29	412	3013	1641	3	32,19	0,25
4	3047	509	931	607	4	59,77	0,33
5	113	4751	213	19	2	93,19	0,17
6	4584	370	88	54	2	89,92	0,18
7	556	2186	647	1687	22	42,88	0,32
8	809	590	785	2913	1	57,14	0,49
9	4448	343	128	176	3	87,25	0,21
10	4043	630	222	197	6	79,31	0,28
11	522	434	1881	2258	3	44,29	0,42
12	205	422	1996	2460	15	39,15	-0,02
13	674	431	315	3675	3	72,09	0,45
14	165	3826	523	578	6	75,05	0,46
15	124	619	3105	1233	17	24,19	0,19
16	4772	86	215	24	1	93,61	0,14
17	4196	173	540	184	5	82,31	0,31
18	957	851	2300	972	18	45,12	0,42
19	772	340	3399	578	9	66,67	0,32
20	334	947	2230	1568	19	30,76	0,35
21	3042	909	513	629	5	59,67	0,60
22	55	335	4644	57	7	91,09	0,18
23	71	4715	179	130	3	92,49	0,16
24	2688	525	1602	266	17	31,42	0,24
25	363	406	161	4152	16	81,44	0,34
26	708	55	4282	49	4	83,99	0,17
27	1343	578	180	2987	10	58,59	0,52
28	3926	607	437	119	9	77,01	0,31
29	1670	669	2025	721	13	39,72	0,43
30	228	380	3607	877	6	70,75	0,52
31	2583	284	1096	1120	15	50,67	0,42
32	1119	602	406	2953	18		
33	2236	442	1634	772	14	32,05	0,32
34	395	3876	457	365	5	76,03	0,30
35	655	3980	353	89	21	78,07	0,33
36	4484	131	207	259	17	87,96	0,22

37	152	431	4310	196	9	84,54	0,21
38	98	150	4443	397	10	87,15	0,23
39	3351	352	946	427	22	65,73	0,50
40	527	3885	390	285	11	76,21	0,48

Nombre de candidats: 5098

Analyse des items de l'épreuve 1 du NM

Question	A	B	C	D	Pas de réponse	Index de difficulté	Index de discrimination
1	2860	651	719	271	4	63,49	0,35
2	1874	1062	1152	413	4	41,60	0,30
3	301	750	2766	685	3	61,40	0,52
4	71	397	2768	1267	2	28,12	0,12
5	676	685	254	2877	13	63,86	0,47
6	2080	727	855	838	5	46,17	0,29
7	597	2966	723	217	2	65,84	0,37
8	253	1249	1001	1990	12		
9	679	3293	118	411	4	73,10	0,41
10	3340	472	317	373	3	74,14	0,44
11	676	3162	189	473	5	70,19	0,50
12	235	3206	909	151	4	71,17	0,41
13	226	2635	719	913	12	58,49	0,58
14	254	539	2604	1096	12	24,33	0,11
15	27	36	3932	507	3	87,28	0,19
16	2004	1169	415	906	11	44,48	0,57
17	2137	574	1586	200	8	35,21	0,27
18	130	554	3699	114	8	82,11	0,34
19	850	1892	1420	330	13	31,52	0,33
20	837	138	202	3316	12	73,61	0,35
21	115	3610	519	248	13	80,13	0,32
22	362	3177	500	457	9	70,52	0,48
23	746	109	3536	107	7	78,49	0,22
24	1664	418	228	2187	8	48,55	0,54
25	1214	2049	624	599	19	45,48	0,54
26	598	3290	489	111	17	73,03	0,29
27	2541	806	454	686	18	56,40	0,36
28	3586	213	365	319	22	79,60	0,33
29	142	1779	1460	1111	13	64,14	0,35
30	119	676	3526	174	10	78,27	0,21

Nombre de candidats: 4505

Commentaires sur l'analyse

Difficulté

L'index de difficulté est compris entre environ 24% au NS et 22% au NM (questions relativement « difficiles ») et environ 93% au NS et 87% au NM (questions relativement « faciles »). Environ la moitié des items se situaient dans l'intervalle de 50% à 80%. Cela indique que les candidats ont trouvé l'épreuve plus facile en comparaison de celles des

années antérieures. En conséquence, les épreuves ont donné amplement l'occasion à tous les candidats d'être crédités et, dans le même temps, elles ont assuré une dispersion adéquate des points.

Discrimination

Toutes les questions, à une exception près, présentaient un index de discrimination positif. Idéalement, l'index devrait être supérieur à environ 0,2. Cette situation a été réalisée pour la majorité des questions. Toutefois, un index de discrimination faible peut ne pas être imputable à une question non fiable. Il pourrait indiquer une conception erronée généralisée parmi les candidats ou une question dotée d'un index de difficulté élevé.

Absence de réponse

Dans les deux épreuves, le nombre de questions restées sans réponses tend à augmenter à la fin de l'examen. Cela peut indiquer que les candidats n'ont pas eu assez de temps pour terminer leurs réponses, bien que les professeurs n'aient pas formulé de remarques à ce propos. Quoi qu'il en soit, cette explication ne vaut pas pour les questions restées sans réponses au début des épreuves. Il serait opportun de rappeler aux candidats que les réponses incorrectes ne sont pas pénalisées. Pour cette raison, les candidats devraient faire une proposition sensée s'ils ne connaissent pas la réponse correcte. En général, certains « distracteurs » devraient être éliminés, ce qui réduirait la part de la conjecture.

Commentaires sur certaines questions

La performance des candidats dans les questions individuelles est reprise dans les tableaux statistiques qui précèdent, de même que les valeurs des index. Pour la plupart des questions, ces données fournissent une information en retour suffisante à propos d'une question particulière. L'information en retour sera limitée à des questions spécifiques, c'est-à-dire celles qui illustrent un problème particulier ou qui ont suscité un commentaire sur les formulaires G2.

Questions communes aux épreuves du NM et du NS

NM Q4 et NS Q3

La plupart des candidats ont sélectionné la réponse incorrecte C. La seule différence entre C et D est la longueur relative des flèches verticales et comme une composante de F contribue à la force dirigée vers le haut, la réponse correcte doit être D. Il est indispensable que les candidats lisent **toutes** les réponses proposées, puisqu'ils doivent sélectionner la meilleure proposition et qu'en l'occurrence, dans le cas présent, la réponse D est meilleure que la réponse C.

NM Q6 et NS Q4

Quelques professeurs ont estimé que cette question était trop verbeuse. Pourtant, les données statistiques montrent que la plupart des candidats ont compris qu'aucun travail n'est

effectué sur un corps si la force qui agit sur lui est dirigée à 90° **de sa trajectoire**, ce qui est le cas pour le mouvement circulaire.

NM Q10 et NS Q9

Quelques commentaires formulés par des professeurs mentionnaient que cette question était en dehors du programme. Néanmoins, le point 3.2.6 du programme suppose que les candidats comprennent que l'évaporation se produit à la surface du liquide, de sorte que cette question a été considérée comme valide. Une très large majorité des candidats a fourni la réponse correcte.

NM Q14 et NS Q15

Assurément, il s'agissait d'une question inhabituelle, bien que tout-à-fait appropriée comme application du point 4.5.1 du programme. La plupart des candidats n'ont pas réalisé qu'en se réfléchissant à l'interface d'un milieu moins dense, une onde ne subit pas de changement de phase. En conséquence, l'onde ne sera pas inversée — contrairement à ce qui se produit si la réflexion a lieu à l'interface d'un milieu plus dense.

NM Q23 et NS Q26

L'échelle de temps nécessaire pour constituer la ressource (uranium) est énorme comparativement au taux courant de sa consommation. Pour cette raison, il est considéré comme non renouvelable.

NM Q24 et NS Q27

Il est clair que beaucoup de candidats ne comprenaient pas le rôle du modérateur dans une centrale nucléaire.

NM Q30 et NS Q37

La combustion des combustibles fossiles représente la contribution principale à la production de gaz à effet de serre dans l'environnement. Une très large majorité l'a bien compris et les candidats n'ont pas été embarrassés par le « distracteur » B (déforestation).

Question du NS

Q7

Beaucoup de candidats ont choisi la proposition D, en dépit de l'utilisation de Vm^{-1} comme **unités d'intensité du champ électrique**.

Q12

Cette question a donné lieu à de nombreux commentaires de la part des professeurs, certains la jugeant inéquitable, d'autres estimant qu'elle était impossible. Pourtant, la physique de la situation est claire. Le processus est adiabatique, puisqu'aucun transfert d'énergie thermique n'a lieu. C'est aussi un processus réversible. En conséquence, il n'y a aucune variation d'entropie, que ce soit pour le gaz ou pour l'environnement (variation d'entropie = $\Delta Q/T$). Par ailleurs, on peut présenter comme argument le fait que l'entropie totale ne peut diminuer, de sorte que par élimination, la proposition D devait être la meilleure réponse. Cette question relève du point 10.3.3 du programme et a été considérée comme équitable.

Q18

L'expérience de Young avec deux fentes ne figure pas explicitement dans le programme. Toutefois, les candidats sont censés étudier la condition de formation d'une interférence constructive en termes de différence de parcours (4.5.6). Cette question a été considérée comme équitable et on a constaté avec satisfaction que beaucoup de candidats ont choisi la réponse correcte.

Q20

Il paraît raisonnable d'attendre de candidats du niveau supérieur en physique qu'ils connaissent la valeur de $\cos 30^\circ$ et, à défaut, qu'ils puissent toujours dessiner le triangle approprié. Les données statistiques semblent montrer que la majorité des candidats soit ont omis de tenir compte de l'effet du passage de la lumière au travers du premier polariseur, soit ont pensé que l'intensité était réduite d'un facteur $\cos 60^\circ$ (au lieu de $\cos^2 60^\circ$) lors du passage à travers le second polariseur.

Q24

Trop de candidats, dans cette question et dans d'autres, négligent de lire les axes lorsqu'ils interprètent un graphique. Dans le cas présent, ils n'ont pas tenu compte de la puissance de dix.

Q32

Comme l'ont fait remarquer beaucoup de professeurs, cette question était hors programme ; elle a été supprimée.

Q33

À la lumière de leurs réponses, il semble que beaucoup de candidats n'étaient pas familiarisés avec la structure de base et la fonction du spectromètre de masse.

Question du NM**Q2**

Les propositions B et C ont été les « distracteurs » les plus communément choisis. Une stratégie pédagogique simple à appliquer dans de telles situations consiste à inviter les candidats à envisager ce qui se passe si l'angle est nul. Clairement, dans ce cas, la composante recherchée est aussi nulle, de sorte que ni B ni C ne peuvent être des propositions correctes.

Q7

La masse du ressort est négligeable ; en conséquence, il ne peut posséder une énergie cinétique, ce qui élimine automatiquement les propositions C et D.

Q8

Comme l'ont fait remarquer beaucoup de professeurs, cette question aurait dû se référer à la tension dans la corde plutôt qu'à la force centripète. Beaucoup de candidats ont aussi été perturbés et la question a été supprimée.

Q16

La grande majorité des candidats a compris correctement que le rayon devait être supérieur. Néanmoins, beaucoup de candidats ont choisi la proposition B, pensant à tort que le rayon, plutôt que l'aire de la section, varie proportionnellement à la longueur des deux fils ayant la même résistance.

Q17

Beaucoup de candidats ont choisi A, un choix intuitif mais incorrect. Quand le filament de la lampe X se rompt, la résistance du circuit *augmente* et Z brillera moins fort. En conséquence, seules les propositions C et D pouvaient être correctes. Puisque la lampe Y subit une différence de potentiel qui vaut la moitié de la tension de la batterie au lieu du tiers, comme initialement, elle brillera plus fort.

Q19

La proposition B a été le choix le plus populaire, bien qu'elle représente clairement une *force*, plutôt que l'intensité du champ. L'intensité du champ en un point est l'accélération que subit une masse placée en ce point, d'où il résulte clairement que C était la réponse correcte

Q27

Pour que la fusion puisse se produire dans un réacteur, la température du plasma doit se situer aux environs de 25 millions de degrés, ce qui représente deux fois la température qui règne au cœur du soleil. Maintenir des températures de cet ordre est l'obstacle majeur à la production durable d'énergie de fusion. La réponse correcte était clairement la proposition A.

Recommandations et conseils pour la préparation de futurs candidats

Les candidats devraient essayer de répondre à chaque question. Lorsqu'ils ne peuvent fournir la bonne réponse, ils devraient toujours choisir la proposition qui leur paraît la plus probable. Il conviendrait d'insister sur le fait que des points ne sont pas retranchés pour une réponse incorrecte.

L'énoncé devrait être lu attentivement. Il apparaît que certains candidats ne lisent pas l'entièreté de l'énoncé, mais qu'ayant saisi le sens général de la question, ils examinent les propositions de réponses. Les questions à choix multiples sont formulées de la manière la plus courte possible. De ce fait, chaque terme est significatif et important.

Certaines réponses sont discutables, mais le candidat doit sélectionner la *meilleure* réponse ; il doit donc lire toutes les propositions avant de prendre une décision. Une fois qu'ils ont opéré leur choix, les candidats devraient s'assurer que toutes les autres propositions sont moins pertinentes ou manifestement incorrectes.

Les questions à choix multiple devraient faire partie intégrante du cours de physique. Elles constituent un excellent moyen d'évaluer rapidement la compréhension et les progrès des candidats ; elles fournissent un support motivant pour une discussion collégiale. À titre de travaux à domicile, elles contribuent à stimuler la réflexion sans demander trop de temps.

Les candidats peuvent s'attendre à ce que la proportion des questions couvrant un sujet donné soit proportionnelle au temps qui lui est consacré au cours, comme spécifié dans le programme. Un temps suffisant devrait être consacré à l'enseignement de thèmes, tels que le réchauffement climatique et l'effet de serre. La connaissance de base qu'ont de ces sujets du programme la plupart des gens n'est pas toujours suffisante pour pouvoir répondre aux questions dans ces domaines non dénués d'intérêt.

Épreuve 2

Seuils d'attribution des notes finales par composante

Niveau supérieur

Note finale :	1	2	3	4	5	6	7
Gamme de notes :	0 - 11	12 - 22	23 - 31	32 - 41	42 - 52	53 - 62	63 - 95

Niveau moyen

Note finale :	1	2	3	4	5	6	7
Gamme de notes :	0 - 5	6 - 10	11 - 14	15 - 19	20 - 24	25 - 29	30 - 50

161 professeurs du NM et 159 professeurs du NS ont renvoyé des formulaires G2, ce qui représente environ un quart des écoles. Les commentaires figurant dans les rapports indiquent qu'environ 90% des répondants ont trouvé que les épreuves étaient d'un niveau de difficulté approprié pour chacune des épreuves au NS et au NM. Personne n'a trouvé que l'épreuve du NM était trop facile, mais 2% des répondants ont émis cette appréciation pour l'épreuve du NS.

Au NM, 64% des répondants ont estimé que le niveau de difficulté était comparable à celui de mai 2011, 12% et 15% des répondants ayant jugé les épreuves de cette année respectivement un peu plus facile ou un peu plus difficile. Les rapports relatifs au NS sont globalement similaires, 56% des répondants trouvant le niveau de l'épreuve comparable à celui de 2011. 11% des répondants l'ont jugée un peu plus facile, tandis que 21% l'ont trouvée un peu plus difficile. Seule une très faible minorité des répondants a estimé que les épreuves étaient beaucoup plus faciles ou beaucoup plus difficiles.

En ce qui concerne la clarté de la formulation et la présentation de l'épreuve, le sentiment général est la satisfaction. L'épreuve du NS a été considérée comme satisfaisante ou bonne par 98% des écoles. Pour ce qui concerne le NM, le pourcentage correspondant est de 97%.

Les commentaires écrits suggéraient que le fait que les candidats se souviennent de l'aire de la surface d'une sphère, ainsi que des volumes et des aires de figures courantes est hors programme. Toutefois, cette connaissance est clairement attendue en termes de compétences mathématiques requises (*Programme de physique, p. 130*).

Commentaires généraux

Les examinateurs ont mentionné la présentation déplorable de l'épreuve par certains candidats. Des exemples de cette mauvaise pratique peuvent être constatés tant dans les copies bien notées que dans celles créditées d'une note faible.

Certaines explications sont encore formulées de manière illisible. Si la copie ne peut être lue, la réponse est considérée comme incorrecte. C'est au candidat qu'incombe la responsabilité d'écrire lisiblement et non à l'examineur de déchiffrer une copie rédigée sans soin. Cette remarque concerne aussi bien les mots que les chiffres et les unités.

Des définitions figurent toujours dans des questions (elles constituent un exemple de tâches relevant de l'objectif d'évaluation n° 1). Cette année, beaucoup de candidats ont été incapables de se souvenir ou d'évoquer les définitions adéquates de termes communs ; ils n'avaient pas étudié la définition ou l'idée sous-jacente, de sorte qu'ils n'ont pu construire une formulation appropriée au moment de l'examen. Il s'agit d'une compétence essentielle pour présenter des examens. Les candidats devraient apprendre à donner des définitions concises et rigoureuses.

Des candidats continuent à présenter des explications qui manquent de clarté et de consistance et qui ont manifestement été formulées d'une manière irréfléchie. Il s'agit d'un domaine que les candidats peuvent aborder lorsqu'ils s'entraînent en résolvant des examens des années antérieures.

Parties du programme et de l'examen qui se sont avérées difficiles pour les candidats

- les définitions du champ et de l'intensité du champ dans les domaines de l'électricité, de la gravitation et du magnétisme ;
- les exercices sur la relation de proportionnalité inverse ;
- le modèle cinétique d'un gaz parfait ;
- les raisons de la stabilité ou de l'instabilité d'un noyau atomique ;
- les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène.

Parties du programme et de l'examen pour lesquelles les candidats semblaient être bien préparés

- le volet mathématique du mouvement harmonique simple ;
- les explications relatives à l'effet Doppler ;
- la cinématique.

Points forts et points faibles des candidats dans le traitement des questions individuelles

A1 NS & NM Analyse des données

(a) On demandait aux candidats de tracer une droite de meilleur ajustement d'une série de points. Peu de candidats ont pu le faire de manière appropriée et il était rare de voir une construction graphique valable. Les lignes joignaient en général les points, déformées de diverses façons et composées de traits multiples (indiquant que le candidat avait fait plusieurs tentatives pour tracer la ligne). De toute évidence, tous les candidats ne possèdent pas cette compétence.

Une idée fausse est encore fort répandue : lorsqu'une question demande au candidat de « tracer la droite de meilleure ajustement », cela implique qu'il s'agisse effectivement d'une droite. Cette erreur est constatée dans les productions émanant de toutes les sections linguistiques et constitue un élément ponctuel qui piège les candidats d'année en année.

(b) La question comportait un exercice sur la proportionnalité inverse. Les examinateurs attendaient des candidats qu'ils montrent que le produit fh n'était pas constant pour deux points bien séparés. Seuls environ 75% des candidats ont pu résoudre cette partie de la question. Beaucoup de candidats ont essayé de montrer que le rapport f/h était constant et ont gagné quelques points, indépendamment de ceux qui étaient attribués pour le choix de deux points de données bien séparés.

(c) Cette partie de la question nécessitait le tracé d'une droite *traversant toutes les barres d'erreur*. Des candidats ont fait des tentatives fructueuses. L'erreur la plus fréquente était de ne pas faire passer la droite par l'origine des axes.

(c)(ii) Comme la droite passait par l'origine des axes, il aurait dû être facile de déterminer la pente (le gradient) de la droite. Beaucoup de candidats ont négligé le facteur 10^{-3} sur l'échelle de l'axe des x et ont omis l'unité dans leur réponse. L'incapacité de fixer des unités pour le résultat du calcul d'un gradient est une caractéristique récente, observée fréquemment dans plusieurs copies de l'épreuve 2.

(d) Les candidats ont bien compris les dangers de l'extrapolation mais ne les ont pas bien exprimés.

A2 NS & NM Cinématique

(a) Comme dans la question précédente, il semble que les candidats aient compris la différence entre vitesse moyenne et vitesse instantanée, sans toutefois arriver à la formuler de manière concise ou même (parfois) sensée. Quelques bonnes réponses ont été enregistrées ; elles comportaient des considérations sur les calculs, ce qui n'était pas demandé par les examinateurs.

(b) Les candidats devaient reconnaître que l'aire située sous la courbe du graphique donnant l'accélération en fonction du temps représente la variation de vitesse d'une particule. Ils étaient aussi censés utiliser un nombre réaliste de chiffres significatifs dans leur réponse. Cette question fut un piège pour de très nombreux candidats.

(c) Pour répondre à cette partie de la question, une très large majorité de candidats a pu correctement esquisser une parabole. Les mauvaises réponses comportaient une ligne droite passant par l'origine ou une ligne droite parallèle à l'axe des abscisses.

A3 NS & NM Les réactions nucléaires

(a)(i) Les bonnes formulations de la signification de *nucléide* ont été rares. Le terme *isotope* a été bien mieux compris et expliqué.

(a)(ii) La majorité a identifié la particule alpha comme étant l'autre particule formée au cours de la réaction. Les erreurs courantes incluaient le neutron, diverses formes de neutrino et la particule encore inconnue jusque là, le photon alpha

(b) Des candidats ont éprouvé des difficultés pour expliquer pourquoi U-235 est plus instable qu'un isotope stable de plomb. On a rarement noté des formulations claires du caractère répulsif de la force de Coulomb et du fait qu'elle s'exerçait entre les protons, tandis que l'interaction nucléaire forte est attractive, de sorte que l'équilibre proton : neutron est modifié en faveur de l'isotope plus stable de plomb. Les explications en termes d'énergie de liaison par nucléon ont aussi été acceptées. Les explications basées sur la seule énergie de liaison étaient généralement incorrectes.

(c) **Uniquement au NM** Les calculs de l'énergie cinétique des produits de la fission, lors d'une réaction nucléaire, ont été effectués correctement par beaucoup de candidats. Toutefois, certains n'ont pas été capables de montrer clairement la conversion des unités de masse atomiques en électronvolts et ont été partiellement pénalisés pour ce motif.

A4 NS ; B1 Partie 1 NM Les gaz parfaits et la chaleur massique

Beaucoup de candidats n'ont pu formuler qu'une hypothèse sensée concernant le modèle cinétique du gaz parfait. La mention laconique du fait qu'il n'y a pas de forces interatomiques entre les molécules était fréquente dans les copies. Les candidats ont omis de préciser que cela n'est pas vrai lors des collisions entre molécules ou avec les parois du récipient. Quelques candidats ont tenté sans succès de convaincre les examinateurs que les lois empiriques des gaz étaient elles-mêmes des suppositions.

(b)(i) Beaucoup de candidats ont pu définir la mole d'argon en termes de 12 g de carbone-12 ou en termes du nombre d'Avogadro correctement formulé. Les deux réponses ont été acceptées si elles étaient clairement exposées.

(b)(ii) Bien que presque tous les candidats aient été capables d'identifier le point de départ du calcul de la chaleur massique de l'argon, une erreur très fréquente a été l'oubli que la masse molaire est exprimée en grammes et pas en kilogrammes. Dès lors, il a été courant de voir des réponses qui étaient 1000 fois trop petites.

(c) **Uniquement au NM** Les explications de la diminution de température du gaz en expansion étaient médiocres. La clé de l'explication est qu'au niveau moléculaire, la température est une mesure de l'énergie cinétique moyenne des particules. Cette mention faisait souvent défaut dans les réponses.

A5 NS Le potentiel électrique

(a) Trois points étaient attribués à cette question et la majorité des candidats ont obtenu 1 ou 2 points. La définition complète du potentiel électrique en un point n'était tout simplement pas connue suffisamment. Beaucoup de candidats ont oublié que c'est (i) le travail effectué par unité de charge sur (ii) une charge pilote positive (iii) lorsque la charge est amenée de l'infini au point considéré.

(b)(i) La plupart des candidats n'ont pas bien lu la question et ne se sont pas rendu compte que la question demandait de déterminer la direction par rapport à une surface équipotentielle. La majorité a indiqué la direction en se référant au schéma figurant dans la question.

(b)(ii) Cette question a été bien résolue par la majorité des candidats. Les examinateurs s'attendaient néanmoins à voir qu'une substitution avait été faite dans le calcul, car il n'était pas admissible de laisser la permittivité du vide comme symbole dans cette question qui demandait de « montrer que ».

(b)(iii) Même si les candidats pouvaient négocier une démarche pour résoudre cette question de calcul, les solutions ont été rarement formulées clairement.

A6 NS f.é.m. induite

Une fois de plus, on constate que cette partie du programme est perçue comme difficile par les candidats. Cette matière requiert une compréhension claire et bien ancrée des concepts.

(a)(i) Un bon nombre des candidats n'ont pas considéré les forces agissant sur les électrons, comme il était demandé, et, de ce fait, ont obtenu peu, voire pas de points. Parmi les autres candidats, certains ont été capables de discuter du mouvement induit des électrons dans le champ et de la manière dont cela imposait le sens des forces agissant sur les électrons dans

la tige. On a rarement observé une considération sur relation entre le travail effectué sur les électrons et la f.é.m. elle-même.

(a)(ii) Seul un petit nombre de candidats a pu expliquer de manière appropriée la signification d'une vitesse de variation de flux. L'aspect « vitesse de variation » faisait habituellement défaut.

(b)(i) Le calcul de l'intensité du champ magnétique découlait directement d'une substitution dans une équation du Recueil de données ; il a donc été souvent correctement effectué, à l'exception des inévitables erreurs sur les puissances de dix, commises par les candidats qui ont oublié le « m » de « mV ».

(b)(ii) Cette question a été très mal résolue. Beaucoup de candidats n'ont même pas été capables d'énoncer correctement la loi de Lenz et n'ont rien pu répondre. On a rarement observé un bon lien entre la loi elle-même et le courant induit dans le circuit.

B1 Partie 1 NS ; B2 Partie 2 NM Les champs et la différence de potentiel

(a) **Uniquement au NS** Dans cette partie de la question, des candidats ont été complètement dépassés et n'ont pu donner la signification des symboles figurant dans les définitions de l'intensité du champ gravitationnel et du champ électrique. Cet échec a été décevant, car cette question était considérée comme une bonne entrée en matière pour la suite de la question.

(b) **NS** Lorsqu'ils n'avaient pas bien résolu la partie (a), les candidats ont aussi largement échoué à cette partie de la question. Souvent, ils n'avaient qu'une faible idée des données à utiliser (la charge et la masse ont été fréquemment confondues) et parfois, la signification des constantes figurant dans les équations leur échappait aussi. À cela s'ajoutaient des erreurs arithmétiques, de sorte que la réalisation d'un calcul complet s'est avérée très difficile pour beaucoup.

(c) **NS ; (a) NM** Cette partie fut toutefois bien résolue.

(d)(i) **NS ; (b)(i) NM** Beaucoup de candidats ont maintenant appris la définition de la résistance requise par le programme. Pourtant, certains continuent encore à donner des explications (fausses) de la manière dont une résistance apparaît.

(b)(ii) **Uniquement au NM** Il s'agissait d'une description pour laquelle beaucoup de candidats ont été crédités d'un point. Toutefois, le second point attribué pour l'analyse de la dissipation d'énergie interne d'une pile faisait universellement défaut.

(d)(ii) **NS** Ce fut un plaisir de constater un bon nombre de tentatives pertinentes et couronnées de succès pour déterminer la valeur de la résistance dans le circuit. Toutefois, ceux qui n'ont pas réussi à répondre à la question ont généralement pu montrer que la différence de potentiel résultante aux bornes de la pile valait 3 V, mais parfois ils n'ont pu aller au delà.

(d)(iii) **NS** Presque tous les candidats ont formulé une équation qui pouvait, en principe, conduire à la détermination de la puissance fournie par la pile, l'échec majeur résultant d'une utilisation de données incorrectes (il y avait le choix entre trois valeurs possibles de la différence de potentiel ou de la f.é.m.) pour opérer le calcul.

B1 Partie 2 NS Thermodynamique

(a)(i) Certains candidats ont simplement répété les informations qu'ils avaient déjà données dans la question A4(a), sans envisager le problème sous un angle neuf. Les idées correctes concernant la basse pression et la température élevée ont généralement été trouvées dans les copies.

(a)(ii) Beaucoup de candidats ont remarqué que les transformations adiabatiques impliquent l'absence de transfert d'énergie. Ceux qui ont évoqué l'absence d'échange de chaleur ont été pénalisés. L'utilisation du simple terme « chaleur » n'a pas été créditée de points dans cette question.

(b) Cette question a généralement été bien résolue, un tiers des candidats environ obtenant le maximum ou presque des points pour avoir identifié le travail effectué et pour en avoir déduit le signe de ΔU et W .

(c) Bien que la moitié des candidats environ aient pu s'approcher d'une estimation du travail effectué au cours du cycle, les explications étaient parfois laconiques et confuses. Une suite de nombres sans explication n'est pas appréciée par les examinateurs qui peuvent rarement accorder du crédit à des résolutions partielles, si les idées inhérentes et l'origine des données n'apparaissent pas clairement dans la réponse.

B2 Partie 1 NS ; B3 Partie 1 NM L'énergie solaire

(a) À titre d'accès facile à la suite de la question, on demandait aux candidats les variations d'énergie intervenant dans les panneaux solaires de chauffage et dans les cellules photovoltaïques. Parfois, le terme « énergie » n'apparaissait pas dans la réponse. Il est essentiel que les candidats mentionnent de manière claire et dans un langage scientifique la forme initiale et la forme finale de l'énergie.

(b)(i) & (ii) Une grande diversité de bonnes réponses a été observée pour cette question. Néanmoins, certains candidats confondent les utilisations des panneaux solaires de chauffage et des cellules photovoltaïques.

(c) Cette question a été bien résolue, beaucoup de candidats ont correctement montré l'intensité du rayonnement solaire et ont bien tenu compte de l'effet d'albédo.

(d) Cette question n'a pas été aussi bien réussie que (c), le facteur 4 étant introduit sans explication de son origine. Cette réponse n'était pas acceptable.

(e) Cette question était facile mais elle nécessitait une transformation claire de la loi de Stefan. Idéalement, le calcul devait inclure un nombre de chiffres significatifs supérieur à celui qui figurait dans la réponse proposée. Beaucoup ont échoué sur ce point, car ils ont opéré une substitution initiale et rien de plus. Les examinateurs n'ont accordé le crédit maximum des points que si la racine quatrième avait été extraite correctement.

B2 Partie 2 NS Le stockage numérique

(a) Comme souvent, cette question se caractérisait par le fait que les candidats disaient deux fois la même chose. Dans ce type de question, il est important d'identifier deux exemples différents ou deux situations distinctes, de manière à être sûr de ne pas se répéter.

(b)(i) De nombreux candidats n'ont pu se rappeler de la capacitance ou dispositif de stockage des charges d'un pixel et on parlé en termes généraux de la réponse à la couleur ou, de manière très vague, de l'effet photoélectrique.

(b)(ii) Il a été courant de trouver une discussion sur la production d'une différence de potentiel à travers un pixel, mais les descriptions de la digitalisation étaient, au mieux, très schématiques et souvent inexistantes.

(c) Comme dans d'autres parties de l'examen, les calculs et les réponses relatives à la résolution ou à d'autres caractéristiques ont rarement été bien expliquées. Les candidats n'ont pas fait un bon usage de l'espace dont ils disposaient pour répondre, de sorte qu'il était parfois difficile de déchiffrer le fouillis de nombres et de symboles auxquels les examinateurs se sont trouvés confrontés. Les candidats ne doivent s'en prendre qu'à eux-mêmes s'ils ont perdu des points parce que leur travail n'a pu être interprété.

B3 Partie 1 NS ; Partie 1 NM Cinématique

(a) La quantité de mouvement a été définie correctement. Un petit nombre de candidats a utilisé le vocable vitesse plutôt que vecteur vitesse dans la définition.

(b) La deuxième loi de Newton est bien maîtrisée, mais certains candidats ont été incapables de la citer dans le contexte de la quantité de mouvement et ont donné la relation plus simple $F=ma$.

(c) Beaucoup de candidats ont pu montrer que l'impulsion était égale à la variation de la quantité de mouvement.

(d)(i) Il s'agit aussi d'une question où les candidats se sont distingués par la mauvaise qualité de leur explication et de leur présentation. Bien que beaucoup d'entre eux aient obtenu la bonne réponse, il n'apparaissait pas clairement qu'ils avaient pleinement conscience des suppositions faites. Pour attribuer la note maximum, les examinateurs ont recherché des explications formulées en termes d'aire de la surface comprise sous la courbe du *graphique* $F-t$ – ce qui était rare – avec une prise en compte complète des triangles isocèles. Beaucoup de candidats ont obtenu un point pour avoir évalué la variation de la quantité de mouvement (généralement par inférence plutôt que par un raisonnement personnel) et un point pour la réponse.

(d)(ii) Cette application directe des équations de la cinématique a souvent été bien réussie, mais certains candidats n'ont pas lu la question attentivement et n'ont pas pu identifier les valeurs correctes de la vitesse du chariot.

(d)(iii) Une erreur commune a consisté à calculer $(4,8 - 2,3)^2$ au lieu de l'expression correcte $(4,2^2 - 2,8^2)$ dans le calcul de la variation d'énergie cinétique. Toutefois, que la valeur obtenue ait été correcte ou non, la plupart des candidats ont bien divisé la valeur trouvée par le temps, calculé à la question (d)(ii), pour déterminer la vitesse moyenne de dissipation de l'énergie cinétique.

(d)(iv) Les candidats devaient indiquer la base de leur calcul (conservation de la quantité de mouvement) et identifier la méthode algébrique ou numérique utilisée. Bien que beaucoup de candidats aient obtenu la note maximale, une fois encore, certains candidats ont compliqué la tâche des examinateurs pour établir le principe de la méthode qu'ils avaient utilisée. Des énoncés clairs de la conservation de la quantité de mouvement ont été rares et les

examineurs ont dû souvent inférer la méthode à partir d'une série de symboles non définis et parfois sans rapport avec le problème traité.

(d)(v) La majorité des candidats a obtenu un point pour cette question en exposant brièvement le transfert d'énergie cinétique du premier chariot au second. Peu de candidats ont considéré le rôle du système de couplage des chariots, préférant mettre l'accent sur le rôle général et mineur de la production de chaleur et de son au cours de la collision. C'est une réponse fréquente dans les questions de transfert d'énergie comme celle-ci ; les candidats devraient traiter des exemples propres à la question, plutôt que de faire référence à des aspects plus généraux de transfert d'énergie.

B3 Partie 2 NS La résolution

(a)(i) Beaucoup de candidats ont identifié qu'il s'agissait du phénomène de diffraction. Les réponses incorrectes courantes incluaient « le critère de Rayleigh » et « l'interférence ».

(a)(ii) Les candidats ont souvent été incapables de montrer clairement que leur réponse se référait aux figures de diffraction de G_1 et de G_2 et il était courant de voir des candidats évoquer « le premier maximum de G_1 », etc.

(a)(iii) Beaucoup de candidats ont pu négocier aisément ce calcul en deux étapes.

(b)(i) Les descriptions du décalage vers le rouge en termes d'effet Doppler ont été bien réussies et beaucoup de notes maximales ont été enregistrées.

(b)(ii) Les candidats se sont souvent trouvés en difficulté dans ce calcul quant à la signification des symboles figurant dans le Recueil de données. Les examinateurs ont souvent vu des réponses de l'ordre de $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ (ou plus), le candidat ne se rendant pas compte du fait qu'une telle valeur était aberrante.

B3 Partie 2 NM Les champs

(a) Dans cette partie de la question, des candidats ont été complètement dépassés et n'ont pu donner la signification des symboles figurant dans les définitions de l'intensité du champ gravitationnel et du champ électrique. Cet échec a été décevant, car cette question était considérée comme une bonne entrée en matière pour la suite de la question.

(b)(i) Les schémas présentés aux examinateurs donnaient fréquemment une indication claire du sens et de la forme des lignes de champ électrique (du proton). Cette question a été bien résolue.

(b)(ii) Lorsqu'ils n'avaient pas bien résolu la partie (a), les candidats ont aussi largement échoué à cette partie de la question. Souvent, ils n'avaient qu'une faible idée des données à utiliser (la charge et la masse ont été fréquemment confondues) et parfois, la signification des constantes figurant dans les équations leur échappait aussi. À cela s'ajoutaient des erreurs arithmétiques, de sorte que la réalisation d'un calcul complet s'est avérée très difficile pour beaucoup.

B4 Partie 1 NS ; B1 Partie 2 NM Le mouvement harmonique simple

Quelques formulaires G2 comportaient des commentaires suggérant que cette question était hors programme, car elle impliquait le recours à la loi de Hooke (selon les formulaires G2). En fait, k était défini comme une force par unité d'allongement plutôt que comme la constante du

ressort et toute la question pouvait être résolue sur base des connaissances relatives à la théorie du mouvement harmonique simple.

(a)(i) Beaucoup de candidats ont remarqué que pour deux points ils devaient énoncer la relation entre l'accélération et le déplacement et donner le sens de l'accélération.

(a)(ii) & (iii) Beaucoup de candidats du NS ont correctement déterminé l'accélération maximale et la période d'oscillation. Pour la partie (iii), plusieurs démarches étaient possibles et toutes étaient créditées du même nombre de points. Les réponses fournies par les candidats du NM étaient plus inégales, car les exercices de ce type sont plus difficiles pour eux que pour les candidats du NS.

(a)(iv) **Uniquement au NM** La performance a été aussi très inégale. Certains candidats du NM ne semblent pas à l'aise avec les idées et les équations inhérentes à la théorie du mouvement harmonique simple.

(b) En dépit des deux points attribués à cette question, des candidats n'ont émis qu'une des deux idées relatives à l'amortissement critique, soit qu'il n'y a pas d'oscillations, soit que le système retourne à l'état de repos dans un temps très court. Il a été rare de voir les deux propositions.

(c)(i) Les examinateurs ont été déçus de constater que des candidats étaient rarement capables de donner une description complète d'une onde longitudinale. Les descriptions étaient vagues et indiquaient rarement de manière claire et univoque le sens relatif de propagation de l'énergie et du déplacement de la particule.

(c)(ii) Bien que beaucoup de candidats aient obtenu la réponse correcte, la méthode utilisée est souvent restée inexplicite, sans lien évident avec le graphique, via la mention de la fréquence ou de la période. Ce manque de clarté a été pénalisé.

(c)(iii) La plupart des candidats se sont avérés incapables de résoudre cette question, laquelle n'a fréquemment reçu aucune tentative de réponse. Pour répondre à la question, il fallait reconnaître qu'une distance de 1,8 cm correspondait à un déplacement valant $\frac{3}{4} \lambda$ et donc au déplacement correspondant sur le graphique.

B4 Partie 2 NS Les niveaux d'énergie dans l'atome

(a)(i) Bien qu'une bonne série d'arguments ait été fournie par beaucoup de candidats, certains ont éprouvé de grandes difficultés pour opérer le lien entre le schéma proposé et les niveaux d'énergie. Parfois, cela a conduit à une description, par ailleurs correcte, de l'émission de photons, mais qui était sans rapport avec la question posée.

(a)(ii) Des conceptions algébriques erronées ont empêché beaucoup de candidats d'arriver à la bonne réponse. On a couramment observé la soustraction des deux longueurs d'onde au lieu de la soustraction de leurs inverses. Les candidats qui ont d'abord déterminé séparément les deux valeurs de l'énergie ont obtenu une meilleure note que ceux qui ont opéré d'emblée la soustraction.

(b)(i) Cette question est souvent posée et, comme d'habitude, a été mal résolue par les candidats qui ont omis de définir la signification des symboles utilisés dans leur réponse.

(b)(ii) La plupart des candidats qui ont essayé de répondre à cette question ont convaincu les examinateurs du caractère complet et correct de leur démonstration.

(c) Cette dernière question de l'épreuve, gratifiée d'un point, ne nécessitait qu'une simple substitution dans l'équation de (b)(ii). La plupart des candidats n'ont pu résoudre cette question correctement.

Recommandations et conseils pour la préparation de futurs candidats

- Encourager les candidats à présenter leurs calculs de manière logique et soignée.
- Encourager les candidats à écrire lisiblement et à exprimer leurs idées clairement.
- Encourager les candidats à étudier les définitions en guise d'aide à la compréhension des concepts.
- Conseiller aux candidats de lire les questions soigneusement et complètement avant de commencer à répondre.

Épreuve 3

Seuils d'attribution des notes finales par matière

Niveau supérieur

Note finale :	1	2	3	4	5	6	7
Gamme de notes :	0 - 7	8 - 14	15 - 22	23 - 28	29 - 33	34 - 39	40 - 60

Niveau moyen

Note finale :	1	2	3	4	5	6	7
Gamme de notes :	0 - 3	4 - 7	8 - 13	14 - 17	18 - 21	22 - 25	26 - 40

Commentaires généraux

Ces épreuves ont bien opéré la discrimination. Il y a eu beaucoup de très bonnes copies d'examen, mais aussi beaucoup de copies dans lesquelles apparaissait une nettement moins bonne compréhension des options choisies par les candidats. Aucun élément n'indique que les candidats aient éprouvé des difficultés à terminer les épreuves dans le temps imparti.

Dans les deux épreuves, au NM et au NS, la question E1 (a)(iii) donnait erronément une valeur de luminosité exprimée en $W\ m^{-2}$ au lieu de l'unité correcte (W). Rien n'indique que les candidats aient été perturbés par cette erreur et ceux d'entre eux qui ont défini la luminosité comme une puissance par unité de surface dans la partie (a)(ii) ont été crédités du maximum des points pour leurs réponses.

Parties du programme et de l'examen qui se sont avérées difficiles pour les candidats

Les différentes options ont connu une popularité très variable : au NM, les options A (la vue et les phénomènes ondulatoires), E (astrophysique) et G (les ondes électromagnétiques) sont celles qui ont connu le plus grand nombre de réponses ; au NS, la gamme des options populaires a été plus étendue, les options E (astrophysique), G (les ondes électromagnétiques) et H (la relativité) ayant souvent été choisies ; les options I (physique médicale) et J (physique des particules) ont aussi été très populaires. Ces options ont fréquemment été à l'origine de notes élevées, mais beaucoup de candidats ont été confrontés à un défi dans certains aspects de ces sujets, de même que dans les domaines plus rarement choisis.

Les domaines dans lesquels les candidats ont souvent éprouvé des difficultés sont :

- La compréhension du terme « profondeur de vision ».
- L'utilisation correcte des termes soustraction et addition de couleurs.
- L'utilisation de la géométrie et des équations de la diffraction dans le problème portant sur la résolution (lors de la diffusion inélastique).
- L'explication de l'incapacité de la théorie ondulatoire à rendre compte de l'effet photoélectrique.
- La brève description des raisons pour lesquelles les spectres alpha et gamma apportent la preuve de l'existence des niveaux d'énergie nucléaires.
- L'utilisation de l'équation de la désintégration radioactive.
- L'explication du concept de mise à la terre virtuelle dans le cas d'un amplificateur opérationnel non inverseur.
- La brève description de l'utilisation d'un central téléphonique cellulaire dans un réseau de téléphonie mobile.
- La compréhension du fait qu'il y a une grande tolérance sur la valeur de la constante de Hubble.
- L'explication du multiplexage temporel.
- La suggestion des raisons pour lesquelles les franges claires et les franges sombres ne contreviennent pas au principe de conservation de l'énergie.
- L'établissement de la formule des interférences par des lames minces.
- L'explication de l'observation relativiste en termes de simultanéité.
- L'application du principe d'équivalence.

- L'explication des rôles des champs magnétiques dans l'imagerie par RMN.
- L'interprétation du diagramme de Feynman.
- La brève description de l'existence du gluon à partir de la diffusion profondément inélastique des électrons.

Parties du programme et de l'examen pour lesquelles les candidats semblaient être bien préparés

En général, les questions impliquant l'usage des mathématiques ont été mieux réussies que celles qui demandaient de faire une description. La majorité des candidats avait une bonne compréhension de l'équation la plus appropriée qu'il fallait utiliser, des substitutions et du (des) calcul(s) à effectuer. Une nette majorité des candidats a apporté la preuve de la compréhension de l'utilisation du nombre approprié de chiffres significatifs et des unités adéquates.

Points forts et points faibles des candidats dans le traitement des questions individuelles

Uniquement au NM

Option A – L'œil, la vue et les phénomènes ondulatoires

A1 La vision

Peu de candidats ont été capables d'opérer la distinction entre la profondeur de la vision et l'accommodation. Les meilleures réponses étaient formulées en termes de domaine de formation d'une image claire, entre le punctum proximum et le punctum remotum. La plupart des candidats ont compris de quelle manière un filtre des couleurs secondaires transmet la lumière par addition et soustraction des couleurs primaires composantes.

A2 Les ondes stationnaires

La majorité des candidats a pu établir une distinction pertinente entre une onde stationnaire et une onde progressive, donner une représentation, dans le tube, d'un quart de longueur d'onde correspondant au mode fondamental et effectuer le calcul de la vitesse du son. Beaucoup de candidats ont trouvé la question suivante plus difficile ; ils ont souvent confondu la longueur d'onde avec la longueur du tube et utilisé une valeur de longueur d'onde égale aux $\frac{3}{4}$ de la longueur du tube.

A3 La résolution

La plupart des candidats connaissaient la signification du terme « résolues » dans ce contexte, mais ils ont rarement reconnu que lorsque le maximum principal d'une image se confond au premier minimum de l'autre image, l'angle θ vaut 0,008 rad. Beaucoup de candidats ont pu calculer le diamètre de l'ouverture, compte tenu du report des erreurs.

A4 La polarisation

Le fait que les vibrations du **champ électrique** étaient réduites à un plan n'a pas été souvent mentionné. Bien que beaucoup de candidats aient montré que la lumière polarisée horizontalement présentait un pic d'intensité à 90° et une intensité nulle à 0 et à 180° , les courbes ne s'identifiaient pas souvent à un graphique en \cos^2 . Le graphique de la lumière non polarisée était en général bien connu.

Option B – L'atome, physique quantique et physique nucléaire

B1 L'effet photoélectrique

Presque tous les candidats ont été capables d'écrire quelque chose de pertinent à propos des photons, bien que quelques-uns n'aient pu résumer l'incapacité de la théorie ondulatoire de la lumière à rendre compte de la fréquence-seuil. La plupart des réponses ont été trop vagues, n'expliquant pas que l'énergie d'une onde est liée à son amplitude ; en conséquence, moyennant un temps suffisamment long, la théorie ondulatoire suggère qu'une lumière, quelle que soit sa fréquence, est susceptible de provoquer l'émission d'électrons par la surface de n'importe quel métal. L'explication impliquant le photon a été beaucoup mieux appréciée. Dans la partie (c)(i), beaucoup de candidats ont tenté de calculer la fréquence-seuil en utilisant l'équation de l'effet photoélectrique ; la question (c)(iii) a donné lieu à une grande confusion en raison de l'utilisation de l'électronvolt.

B2 Les niveaux d'énergie nucléaire et la désintégration nucléaire

Peu de candidats ont reconnu que les spectres alpha et gamma sont l'un et l'autre discontinus et qu'ils résultent de processus nucléaires, ce qui suggère que le noyau présente des niveaux d'énergie discrets. Beaucoup de candidats semblaient savoir que le spectre bêta est continu, mais trop souvent ils ont proposé des arguments en faveur des neutrinos en termes de conservation de la quantité de mouvement plutôt qu'en référence à la nécessaire différence entre l'énergie maximum du positron et celle de tous les autres positrons émis. Les candidats qui étaient familiarisés avec l'utilisation de l'équation de désintégration exponentielle ont bien résolu la question (b), mais beaucoup de candidats n'avaient pas la moindre idée sur la façon d'utiliser cette équation, la substitution de « e » par la charge élémentaire étant assez commune.

Option C – Technologie numérique

C1 Les dispositifs numériques

Les différences entre un CD et un LP étaient bien comprises, même si la fonction des sillons sur le LP a été rarement bien expliquée. La plupart des candidats ont réalisé que la profondeur d'une alvéole est égale au quart d'une longueur d'onde, mais pour beaucoup d'entre eux, l'argumentation s'est arrêtée là ; ils n'ont pu expliquer de quelle manière une différence de trajet équivalente à une demi-longueur d'onde cause une interférence destructive. Les définitions formelles de la capacité ont été rares, «la capacité de stocker une charge » étant la formulation la plus commune. Peu de candidats ont pu mener à bien le

calcul de la question (c)(iii), l'inverse du rendement quantique étant souvent utilisé et une confusion générale lors de l'utilisation des picofarads et des millivolts ayant conduit à des erreurs fréquentes sur les puissances de dix.

C2 L'amplificateur opérationnel

Cette question était identique à la question F3 de l'option F ; le lecteur est donc invité à se référer aux commentaires de cette question.

C3 Le central téléphonique cellulaire

Cette question était identique à la question F4 de l'option F ; le lecteur est donc invité à se référer aux commentaires de cette question.

Option D – Relativité et physique des particules

D1 La simultanéité

Cette question était identique à la question H1 de l'option H ; le lecteur est donc invité à se référer aux commentaires de cette question.

D2 La cinématique relativiste

Cette question était identique à la question H2 de l'option H ; le lecteur est donc invité à se référer aux commentaires de cette question.

D3 La décomposition d'un kaon

Cette question était identique à la question J1 de l'option J ; le lecteur est donc invité à se référer aux commentaires de cette question.

NM & NS combinés

Option E - Astrophysique

E1 Les propriétés d'Aldébaran et les distances galactiques

La plupart des candidats ont pu donner des réponses cohérentes à propos des différences entre une constellation et un amas stellaire et ont pu définir correctement la luminosité. Bien que virtuellement tous les candidats aient « montré » qu'Aldébaran est située à 19 pc de la Terre, peu de réponses ont été créditées du maximum des points, beaucoup d'exemples d'étapes intermédiaires ayant été omises dans le calcul. Peu de candidats ont mentionné que la magnitude apparente est une **mesure** de l'éclat d'une étoile **au niveau de la Terre**. Une erreur commune commise lors de la détermination de la magnitude absolue d'Aldébaran a consisté à ne pas pouvoir opérer la conversion, la distance d étant exprimée en parsec. Bien que la majorité des candidats ait compris que les Céphéides variables subissaient une

variation périodique de luminosité, peu d'entre eux ont pu expliquer comment cette propriété pouvait être exploitée pour mesurer une distance galactique. Il a été courant de constater que des candidats déclaraient qu'il y avait une proportionnalité entre la fréquence ou la période des Céphéides variables et leur luminosité. [Uniquement au NS] La plupart des candidats ont mentionné que le destin d'Aldébaran est celui d'une naine blanche et le destin de Bételgeuse, celui d'une étoile à neutrons, d'un trou noir ou d'un pulsar ; peu de candidats ont cité la phase intermédiaire de nébuleuse planétaire et de supernova, respectivement. La majorité des candidats a été perturbée par le fait que Bételgeuse puisse connaître le même destin qu'Aldébaran, perdant de vue qu'au stade de supernova elle pourrait perdre suffisamment de masse pour passer sous la limite de Chandrasekhar.

E2 L'évolution de l'univers

Peu de candidats ont exprimé qu'un univers ayant une densité critique arrêterait son expansion mais que ce processus prendrait un temps infini. La plupart des candidats ont obtenu une partie des 3 points attribués à cette question en ajoutant une légende et en complétant le schéma. Quelques candidats ont fait débiter leurs courbes à un moment antérieur à l'époque actuelle mais n'ont pas été pénalisés pour autant.

E3 [Uniquement au NS] La loi de Hubble

Les énoncés de la loi de Hubble ont souvent été vagues, sans référence aux galaxies ou en attribuant une signification imprécise à d , figurant dans l'équation. Peu de candidats ont reconnu que le large éventail de valeurs attribuées à la constante de Hubble est dû à l'importance des incertitudes liées à l'estimation des distances intergalactiques. Le calcul de la distance entre la galaxie et la Terre était souvent correct.

Option F – La communication

F1 La transmission radio

Peu de candidats ont été capables d'expliquer sans ambiguïté la manière dont l'amplitude du signal est utilisée pour modifier la fréquence de l'onde porteuse. Alors que beaucoup de candidats ont reconnu que les bandes latérales auraient une fréquence de 185 et de 195 kHz, une majorité d'entre eux a omis d'inclure la fréquence de l'onde porteuse. La plupart ont divisé l'intervalle de fréquence par la largeur de bande et ont ensuite correctement arrondi leurs réponses à 13. Le schéma fonctionnel du récepteur radio s'est avéré bien connu, mais l'antenne aérienne représentait une erreur commune dans le circuit d'accord ; peu de candidats ont reconnu que le récepteur choisirait une gamme de fréquences et devait donc être réglé sur la fréquence correcte d'une station. La plupart des candidats ont identifié C comme étant le démodulateur, mais les explications sur son rôle consistant à séparer le signal de l'onde porteuse étaient souvent confuses.

F2 La transmission de signaux numériques dans une fibre optique

Peu de réponses étaient claires pour expliquer que dans l'échantillonnage d'un signal il y a en général (comparativement) de longs intervalles de temps entre les signaux, ce qui peut être mis à profit pour envoyer d'autres échantillons de manière séquentielle. Le calcul de la

distance maximum entre les amplificateurs a été souvent bien effectué mais il y a eu plus de confusion dans les réponses visant à déterminer le nombre de canaux séparés qui pouvaient être transmis.

F3 [uniquement au NS] L'amplificateur opérationnel

La majorité des candidats ont correctement calculé le gain, égal à 9 ; une minorité a utilisé la formule de l'amplificateur inverseur. Quasiment aucun candidat n'a pu expliquer pourquoi le gain très élevé de l'amplificateur opérationnel signifiait que la différence de potentiel entre les entrées inverseuse et non inverseuse devait être fondamentalement nulle pour que l'amplificateur fonctionne correctement. L'absence d'un courant significatif dans l'entrée inverseuse résultant du gain élevé était mieux comprise.

F4 [uniquement au NS] Le central téléphonique cellulaire

Les réponses à cette question étaient médiocres, la plupart des réponses se limitant à dire que les téléphones portables sont interconnectés via un central téléphonique cellulaire. Alors que la question demandait de citer un effet environnemental lié à l'utilisation de centraux téléphoniques cellulaires, beaucoup de candidats ont insisté sur les effets potentiels sur la santé.

Option G – Les ondes électromagnétiques

G1 La nature des ondes électromagnétiques

Beaucoup de candidats ont dessiné un schéma à l'appui de leur explication, mais plusieurs d'entre eux ont omis de le légendé et ont présenté des schémas de mauvaise qualité. Sans référence au champ magnétique et au champ électrique, il était difficile de décrire brièvement ce que sont les ondes électromagnétiques. Les exemples de situations dans lesquelles les électrons peuvent produire des ondes électromagnétiques étaient souvent assez vagues, comme par exemple « dans un laser » - ce qui est juste mais nécessite une clarification supplémentaire.

G2 Le télescope astronomique

Peu de candidats ont remarqué qu'un télescope au réglage normal forme une image finale à l'infini ; ainsi, les foyers principaux étaient souvent indiqués à des positions autres que P, à égale distance, mais de l'autre côté de l'oculaire. Il est impossible d'attribuer des points pour des dessins réalisés à main levée, comme c'était souvent le cas. Pour déterminer le diamètre de l'image de la Lune formée par l'objectif, beaucoup de candidats n'ont pas réalisé la simplicité de la géométrie de la situation et n'ont pas remarqué que θ était un angle opposé, ce qui donnait $\text{tg } \theta = d/f_0$. En dépit du fait qu'ils n'aient pu déterminer d , beaucoup de candidats ont réussi à trouver la valeur correcte de θ_E .

G3 L'interférence produite par deux sources

Une grande majorité de candidats a reconnu que la diffraction joue un rôle essentiel lors des interférences produites par deux fentes. La représentation de la variation d'intensité en

fonction de l'angle était très confuse ; beaucoup de candidats ont erronément représenté la variation d'intensité observée dans le cas d'une fente unique, au lieu de dessiner le graphique où l'amplitude est constante. Le maximum des points a été attribué aux candidats qui ont correctement montré la modulation de l'intensité dans le cas d'une seule fente. La plupart des candidats ont correctement utilisé la formule des interférences produites par deux fentes, mais une erreur commune a été d'omettre de diviser par deux la distance séparant les franges par rapport à la distance entre la frange centrale claire et la première frange sombre. Peu de candidats se sont montrés convaincants dans leur assertion selon laquelle l'énergie perdue dans les franges sombres a été transférée aux franges claires par superposition.

G4 [uniquement au NS] La diffraction des rayons X

Très peu de candidats ont obtenu plus d'un point en essayant d'expliquer pourquoi un faisceau intense est observé pour certaines valeurs de θ . L'omission du facteur 2 dans l'équation de diffraction des rayons X a été une erreur courante, mais le calcul de d a généralement été bien effectué.

G5 [uniquement au NS] Les interférences par des lames minces

Souvent, il a semblé que les candidats voulaient montrer la forme de l'équation des lames minces. Peu d'entre eux ont expliqué qu'un déphasage se produit aux deux surfaces et que de ce fait il s'annule. Souvent il n'apparaissait pas clairement que les candidats aient compris que la longueur d'onde de la lumière diminue lorsqu'elle passe dans le fluorure de magnésium, même si la plupart d'entre eux ont manipulé les chiffres pour s'assurer de diviser 640 par 1,38. Beaucoup de candidats ont pu effectuer le dernier calcul en réalisant que pour qu'il y ait une interférence destructive, l'épaisseur de la lame devait valoir le quart de la valeur de la longueur d'onde dans le fluorure de magnésium ; une minorité de candidats a opéré la substitution $m=0$ dans l'équation.

Uniquement au NS

Option H – La relativité

H1 La simultanéité

Moins de candidats qu'attendu ont obtenu des points pour l'énoncé du postulat de la relativité restreinte en relation avec la vitesse de la lumière ; ils ont omis les termes essentiels « dans le vide » ou encore « inertiels » pour qualifier les observateurs. De nombreuses explications ont été gâchées par la confusion à propos des observateurs : comme l'observateur terrestre et les arbres se trouvent dans le même référentiel, l'observateur terrestre mesure un intervalle de temps propre nul (tel qu'il est dit dans l'énoncé) ; en conséquence les arrivées doivent aussi être simultanées pour l'observateur placé dans la fusée et pour tout observateur inertiel. En outre, pour l'observateur se trouvant dans la fusée, l'observateur terrestre se déplace vers la lumière de l'éclair qui a frappé l'arbre L et s'éloigne de la lumière provenant de l'éclair qui a frappé l'arbre R, mais la vitesse de la lumière est constante pour les deux observateurs et les signaux arrivent simultanément, de sorte que l'éclair a dû frapper l'arbre R avant l'arbre L.

H2 La cinématique relativiste

Cette question a généralement été bien résolue. La majorité des candidats a correctement calculé le temps mis par l'impulsion pour parcourir la distance SD selon la position des deux observateurs (certains candidats ont inversé le facteur gamma). La plupart des candidats ont aussi calculé la distance SD selon l'observateur Q. Une minorité n'a pas été capable de calculer la vitesse de l'électron. Une fois encore, c'est la description des raisons pour lesquelles les deux observateurs étaient d'accord sur le nombre de noyaux désintégrés qui a été le point d'achoppement : l'observateur Q se trouve dans le même référentiel (que l'impulsion) et mesure l'intervalle de temps propre, tandis que l'observateur placé dans le laboratoire trouve que le déplacement de l'impulsion a été plus long que celui de Q ; donc, la dilatation du temps est requise pour éviter que l'observateur du laboratoire n'observe que plus de la moitié du nombre de noyaux se sont désintégrés.

H3 [uniquement au NS] La masse et l'énergie

Beaucoup de bonnes réponses ont été enregistrées pour cette question, mais une certaine confusion a régné à propos des unités dans la partie (b). La plupart des candidats ont correctement relevé que v valait $0,96c$ et calculé le facteur gamma et la masse. La plupart des candidats ont correctement calculé la variation d'énergie cinétique, soit 320 MeV, mais ils n'ont pas réalisé qu'une particule portant une charge $+e$ nécessiterait une différence de potentiel de 320 V pour atteindre cette énergie.

H4 [uniquement au NS] La mécanique relativiste

Une majorité des candidats a essayé de manipuler l'équation $p = \gamma mv$ et $E = \gamma mc^2$ pour obtenir l'équation souhaitée ; toutefois, toutes les réponses obtenues n'étaient pas suffisamment claires pour mériter les deux points attribués à cette question. Beaucoup de candidats ont simplement mentionné que pour une masse nulle, la vitesse devait être égale à c . Cette réponse était insuffisante et ce qui était attendu était la substitution $E=pc$ dans l'équation donnant v .

H5 [uniquement au NS] Le principe d'équivalence

Pour ce qui est de l'énoncé du principe d'équivalence, les bonnes réponses ont été assez courantes et beaucoup de candidats ont appliqué avec succès ce principe à la situation de la boîte en chute libre. Peu de candidats ont bien expliqué que la boîte qui accélère en dehors d'un champ gravitationnel est équivalente à un référentiel stationnaire dans un champ de gravitation, ce qui provoquerait un décalage vers le rouge de la lumière, de sorte que la fréquence observée serait inférieure à f_0 . La majorité des candidats a donné des réponses acceptables quant aux heures d'arrivée des signaux émis par les deux satellites.

Option I – Physique médicale

I1 Les niveaux d'intensité acoustique

La majorité des candidats a pu définir le niveau d'intensité acoustique et donner une unité appropriée. Une minorité significative a été embarrassée de devoir déterminer une intensité,

mais le calcul a , en général, été bien effectué. La majorité a compris les effets à court terme et à long terme d'un son de forte d'intensité.

I2 La résonance magnétique nucléaire

Peu de candidats ont montré qu'ils avaient réellement compris le rôle du champ magnétique uniforme et du gradient de champ. Beaucoup de candidats ont parlé de protons émettant un rayonnement sans évoquer le stimulus du signal de radiofréquence appliqué.

I3 L'absorption des rayons X

La plupart des candidats ont représenté une courbe appropriée passant par les points-clés et ont calculé la valeur correcte du coefficient d'atténuation. Les arguments relatifs à la comparaison des coefficients d'atténuation étaient d'une qualité inégale, mais beaucoup ont adopté un argument logique en mentionnant que la décroissance plus rapide d'une courbe correspondait à un exposant (négatif) plus élevé et qu'en conséquence, pour une valeur donnée de x , le coefficient μ devait aussi être plus élevé.

I4 Les radio-isotopes utilisés en médecine

Bien qu'il semble que le terme demi-vie effective était compris, la plupart des candidats n'ont pu donner la définition de la demi-vie ; pour ce motif, ils n'ont été crédités que d'un point sur les deux points attribués à cette question. Beaucoup de candidats ont obtenu presque tous les points pour le calcul en (b). La majorité des candidats a formulé des commentaires pertinents à propos de la réduction du risque par l'utilisation d'un nucléide doté d'une demi-vie physique plus courte. La majorité des candidats a observé que l'écran de plomb constituait une bonne forme de protection pour les travailleurs du secteur médical ; peu de candidats ont aussi mentionné que la sécurité pouvait aussi être assurée par l'éloignement physique.

Option J – Physique des particules

J1 La désintégration d'un kaon

Beaucoup de candidats ont identifié le boson comme une particule a spin entier ; peu ont expliqué que sa valeur pouvait être 0 ou 1, du fait qu'il est constitué de deux quarks de spin $\pm 1/2$. Un nombre significatif de candidats n'a pu identifier X et Y (la flèche donnait le signe de la charge, le quark anti-étrange étant positif, il se déplace dans le sens inverse du temps et est donc X ; l'anti-muon étant aussi positif, il se déplace également dans le sens inverse du temps et est Y). La plupart des candidats ont remarqué que la conservation de l'étrangeté était violée, ce qui ne peut se produire qu'avec une interaction faible (ou, sous une autre forme, que les neutrinos ne participent qu'à des interactions faibles). La plupart des candidats ont reconnu que la particule d'échange devait être un boson W ou Z, mais le choix a été très aléatoire (plusieurs candidats citant les deux particules) et seule une légère majorité d'entre eux a été en faveur d'une charge positive. La plupart des candidats ont calculé correctement la portée de l'interaction faible, mais peu d'entre eux se sont montrés suffisamment précis pour dire que le nombre leptonique du **muon** devait être conservé.

J2 Les accélérateurs linéaires

La plupart des candidats n'ont pu clairement expliquer que les protons sont accélérés par le champ électrique qui règne entre les tubes de l'accélérateur et qu'ils se déplacent à vitesse constante dans les tubes. La majorité a remarqué que comme les protons ont été accélérés entre les tubes, ils vont se déplacer plus vite dans chacun des tubes successifs ; la fréquence et la période (du potentiel alternatif) sont maintenues constantes et chaque tube doit être plus long que le précédent. Il n'était pas courant de trouver une formulation claire. La collision proton-pion a généralement été très bien traitée ; la plupart des candidats ont identifié les règles de conservation adéquates et ont entrepris d'utiliser l'équation d'énergie disponible (toutefois, la confusion entre la particule-cible et la particule accélérée était assez fréquente). Dans la partie (c), la longueur d'onde de de Broglie a en général été bien calculée (bien que des erreurs sur les puissances de 10 aient été courantes) et beaucoup de candidat ont remarqué qu'il s'agissait du facteur déterminant dans la résolution ; le noyau étant plus grand que cette longueur d'onde, les nucléons peuvent être résolus, mais que les quarks étant plus petits, ils ne peuvent pas l'être. Peu de candidats ont été capables de résumer que les quantités de mouvement des quarks, mesurées par diffusion profondément inélastique, étaient supérieures aux valeurs attendues, ce qui implique la présence d'autres particules (dépourvues de masse).

J3 L'univers primitif et le boson de Higgs

Les candidats qui ont exploité la relation donnant l'énergie $= \frac{3}{2} kT$, ont pu calculer la valeur de la température, soit $1,4 \times 10^{12}$ K ; la plupart des candidats ont correctement pris le logarithme pour calculer $\log t$ et t . Bien que la plupart des candidats aient reconnu que le boson de Higgs puisse être responsable de la masse des particules, peu d'entre eux ont signalé qu'il s'agissait de la seule particule du modèle standard qui n'avait pas encore été découverte ou fait remarquer que qu'en cas d'échec de sa découverte le modèle standard devrait être modifié.

Recommandations et conseils pour la préparation de futurs candidats

- Il faudrait conseiller aux candidats de tenir compte des verbes d'action utilisés dans les examens – en particulier, « déterminer » nécessitera habituellement une réponse plus détaillée que « calculer ».
- Ajouter une légende aux schémas aidera souvent à gagner des points, car elle aidera à clarifier ce que le candidat essaie de montrer ou d'expliquer.
- La présentation des étapes dans les calculs, plutôt que la seule réponse finale, permettra de gagner des points lorsqu'il y a report d'une erreur et que la démarche est correcte.
- Dans la relativité, la simultanéité est encore totalement incomprise.
- La RMN n'est pas bien comprise.
- La preuve de l'existence des gluons n'est pas bien comprise.