

Physique

Présentation des épreuves

Épreuve de physique

Précisons en préambule que l'épreuve de physique filière PC est une épreuve de **30 minutes sans préparation** qui porte sur **l'intégralité des programmes de physique de PCSI et de PC**. Le sujet posé dans un cadre identifié ne propose pas a priori de démarche à conduire, laquelle est essentiellement du ressort des candidats. Ceux-ci auront à cœur de conduire une résolution dynamique et autonome, tout en se tenant prêts à interagir de manière constructive avec l'examinateur. **La calculatrice est bien sûr autorisée** ; certains le découvrent hélas au dernier moment.

Les candidats, munis de leur convocation, d'une pièce d'identité valide et de leur calculatrice en état de marche, patientent dans une salle d'attente avant d'être appelés par l'examinateur et conduits en salle d'interrogation. Après le contrôle des documents mentionnés et l'émargement, les candidats se voient proposés un exercice. Au bout des trois ou quatre minutes de découverte de l'énoncé, les candidats développent leur résolution au tableau. Les téléphones portables demeurent éteints et rangés dans les sacs.

Les principales compétences évaluées par cet oral sont : l'analyse des informations, la réalisation de consignes, la mise en place et la validation d'une démarche, l'autonomie et la capacité à communiquer.

Le respect des horaires par les candidats a été parfait cette année.

Épreuve de physique-informatique

Les candidats disposent d'environ 30 minutes de préparation suivies de 30 minutes d'interrogation.

La calculatrice est autorisée aussi bien pendant la préparation et la présentation. **Un ordinateur muni d'une distribution Python est également à la disposition des candidats pendant la préparation et la présentation.**

Les candidats sont jugés sur leur capacité à **mettre en œuvre une démarche scientifique** pour répondre à un problème posé fortement contextualisé. Ils sont ainsi évalués sur leur **assimilation opérationnelle** des notions, leur **autonomie** dans la mise en œuvre d'une démarche, la **rigueur** et l'**aisance** dans leur raisonnement, la **réflexion** et la **prise de recul** sur la situation et les résultats obtenus, leur bonne maîtrise des **outils mathématiques et informatiques** et, enfin, leur **capacité à interagir** de façon constructive avec l'examinateur.

Les sujets sont tous contextualisés et peuvent aborder plusieurs thèmes (optique et thermodynamique, traitement du signal et physique des ondes ...) des programmes de première et de deuxième année.

Les sujets mettent en jeu des **supports variés** afin d'une part d'introduire le problème proposé et d'autre part de contribuer à la démarche de modélisation : programmes Python, vidéos, animations, graphes, photographies, documents...

Une très grande majorité des sujets fait appel à un script Python qui permet de compléter l'étude analytique. Celui-ci peut permettre de :

- tracer des courbes théoriques ou des jeux de points expérimentaux ;
- résoudre numériquement des équations différentielles ou aux dérivées partielles ;

- ajuster des données par une loi théorique ;
- aider à la réalisation des applications numériques...

Dans tous les cas, les scripts sont commentés et les passages à modifier sont clairement indiqués.

La préparation est ainsi proposée pour laisser aux candidats le temps de faire le point sur leurs connaissances, de s'approprier le contexte et d'utiliser des outils numériques de résolution.

Analyse globale des résultats

Épreuve de physique

Avant toute chose, le jury de physique salue l'immense mérite des candidats et de ceux qui leur dispensent une formation aussi riche qu'exigeante.

Le jury a constaté avec bonheur cette année **une hausse très significative du niveau général** des prestations fournies. Les capacités de résolution, la maîtrise des principales notions du programme et l'engagement des candidats ont véritablement progressé cette année par rapport aux années précédentes. La raison pourrait peut-être se trouver dans le solde des années covid qui n'ont affecté les étudiants qu'au niveau de leur classe de seconde : en ayant suivi un cursus normal de première et de terminale, ils ont pu profiter pleinement de leurs années de classes préparatoires. À de très rares exceptions, le filtre de l'écrit a également très bien fonctionné.

Il demeure bien sûr un certain nombre de points à améliorer qui sont détaillés dans les parties thématiques qui suivent dont le fil conducteur se trouve être un défaut de maîtrise du formalisme et de l'outil mathématique. On ne note pas, cette année, de domaine particulièrement problématique.

Si quelques candidats découvrent au moment du passage de l'épreuve son format, l'immense majorité semble avoir profité de la lecture des précédents rapports et fait montre d'un engagement remarquable. Tous en tout cas sont surpris par la brièveté de l'oral, sans doute en raison de l'intensité remarquable de leur engagement.

Épreuve de physique-informatique

Le jury de physique-informatique tient à saluer l'implication et le sérieux des candidats lors de l'épreuve.

Comme lors de la session précédente, certains candidats réalisent d'excellentes prestations : ils possèdent une solide culture scientifique, maîtrisent parfaitement tous les aspects techniques (calcul mathématique, programmation Python) et font preuve d'un excellent sens physique.

Enfin, l'utilisation de l'outil informatique est de plus en plus courante et aisée.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Remarques générales

Épreuve de physique

Rappelons encore que les candidats doivent conduire une **démarche autonome et dynamique** sans attendre de l'examineur des relances et des confirmations continuelles mais en se tenant prêts à rebondir

aux interventions de ce dernier : le moteur doit toujours être le candidat et jouer la montre n'est pas une option pour une épreuve aussi courte. Une certaine tenue est bien évidemment attendue au niveau du langage et de sa fluidité. Il en va de même pour la gestion du tableau qui laisse parfois à désirer en raison de schémas inexploitable et/ou d'une écriture illisible ou foisonnante. Le jury a toutefois particulièrement apprécié cette année la combativité des candidats, leur meilleure efficacité et la précision du vocabulaire employé. **Les échanges avec l'examinateur sont valorisés** quand ils permettent d'avancer dans la résolution et ne doivent pas être pris en mauvaise part par le candidat.

Une fois le sujet lu **dans son intégralité** (notamment les données et courbes annexes), les candidats doivent impérativement commencer par une véritable **analyse physique** du problème posé : c'est elle seule qui va leur permettre de construire une démarche opérationnelle. Les résultats intermédiaires seront également analysés pour contrôler leur pertinence, la légitimité des hypothèses effectuées et l'avancement de la résolution. **Les applications numériques ne sont pas à dédaigner** et leur analyse est souvent importante dans la résolution. On n'oubliera pas d'apporter une calculatrice en état de marche... Il faut être capable de jongler rapidement avec les unités et leurs multiples. On peut penser à regrouper certains résultats dans des tableaux si besoin. On ne néglige rien dans l'absolu : il faut un élément de comparaison pour le faire et éventuellement chiffrer l'approximation effectuée.

L'oral de physique nécessite de la part des candidats un recul et une vraie capacité de modélisation qui impose des allers-retours continus entre les résultats obtenus, les hypothèses effectuées et la contextualisation proposée. De nombreux candidats y parviennent et réussissent alors leur oral. Certains candidats toutefois ont pour réflexe de mitrailler des phrases sans aucun recul ni efficacité et ce malgré les interventions de l'examinateur. La notation ne se fait pas au nombre de mots lancés en 30 minutes.

Le formalisme mathématique est parfois (et heureusement de moins en moins) malmené. Le jury constate des difficultés relatives à l'intégration (absence remarquée d'élément différentiel, confusion entre une intégration et une multiplication à croire que tous les champs sont constants, difficulté à résoudre des équations différentielles classiques), à la dérivation (notamment au niveau des notations du type dF/d^2x et ses nombreuses variantes), au mélange des écritures scalaires et vectorielles et aux outils d'analyse vectorielle. Les coordonnées sphériques et cylindriques posent encore des difficultés à certains candidats, notamment quand il s'agit de calculer une accélération. Notons également des faiblesses dans le tracé de graphes de fonctions élémentaires. La lecture d'un graphe donné avec des échelles logarithmiques ne doit pas être problématique.

La maîtrise des différents opérateurs dans le système des coordonnées cartésiennes est indispensable et pourtant parfois problématique. Rappelons que, dans ce système, les coordonnées du laplacien vectoriel sont les laplaciens scalaires des coordonnées.

Certains essaient de contourner le calcul d'un produit vectoriel pour la seule raison qu'ils ne savent pas le faire : ce problème peut être réglé facilement avant l'oral. La notion de moment est parfois également problématique, sans doute pour la même raison.

La définition du système étudié et du référentiel d'étude est un préalable indispensable à toute démarche, même si ces derniers peuvent paraître évidents. Certains abordent un exercice de mécanique sans définir l'un ou l'autre ; la suite se devine alors.

Il faut vérifier les conditions d'applications avant d'utiliser des relations ou des théorèmes physiques. On donnera leur nom au moins une fois avant d'utiliser leurs acronymes.

Un schéma de situation bien réalisé permet de gagner énormément en temps, en clarté et en justesse.

Connaitre (ou retrouver très vite) les surfaces et volumes élémentaires est souvent précieux.

Les candidats peuvent être interrogés sur l'intégralité des programmes de PCSI et de PC (y compris les travaux pratiques).

Épreuve de physique-informatique

L'oral débute dès l'appel dans la salle d'attente ; entre la signature de la feuille d'émargement et la présentation du sujet, du script et des supports sur l'ordinateur, la phase de présentation n'excède donc que rarement les 27 minutes.

La calculatrice est autorisée, mais il est aussi tout à fait possible d'utiliser une console `Python` sur l'ordinateur pour y effectuer les applications numériques.

Notons de plus qu'il est important de se munir d'une règle pour exploiter pleinement certains supports graphiques.

Depuis quelques années, un formulaire est mis à disposition des candidats sur l'ordinateur en PDF. Il est présenté par l'examineur et laissé ouvert sur le sommaire, cliquable ; une recherche par mots clés est également possible. Il contient les éléments suivants :

- des données numériques, valeurs des constantes fondamentales, tableau périodique, données diverses (système solaire, ordres de grandeur divers de capacités thermiques massiques, viscosités...)
- quelques formules mathématiques, opérateurs d'analyse vectorielle, trigonométrie, primitives diverses... ;
- les formules de physique à rappeler dans le cadre du programme, par exemple les relations de conjugaison, l'équation de Schrödinger, l'équation de Navier-Stokes...

Certains sujets rappellent l'existence du formulaire lorsqu'ils y font référence, mais tout candidat peut s'y référer s'il le pense utile.

La spécificité de l'épreuve tient dans ses 30 minutes de préparation. Or la gestion de ce temps est très souvent inefficace.

La préparation doit servir à :

- **s'approprier** le contexte, se remémorer le cours afférent, comprendre les hypothèses (et ne pas passer à côté de certaines d'entre elles souvent fondamentales, ou comprendre de travers la première question) ;
- **prendre en main le script Python**, la lecture du script est un minimum qui permet de ne pas se retrouver dépourvu lors de la présentation. La phrase « je n'ai pas eu le temps de regarder le code » est plus que dommageable mais heureusement de plus en plus rare ;
- **réfléchir aux pistes de résolution**, sans forcément les mettre en œuvre. Les candidats ne peuvent pas passer l'intégralité de leur préparation sur la première question sans réfléchir à la suite du sujet ;
- enfin, commencer à **mettre en place les démonstrations** de cours, calculs, applications numériques, écriture de code.

Le jury tient à rappeler qu'il n'est pas attendu lors de la présentation qu'un candidat saute les questions comme il pourrait le faire pour un écrit : il n'est pas possible de passer des questions sans y être invité par l'examineur.

Les problèmes proposés ont une structure qui se veut la plus proche possible d'un problème réel à analyser, et les candidats doivent montrer **leur capacité à construire un raisonnement logique** pour les résoudre. Il faut donc avoir pris le temps de réfléchir à des pistes pour chacune des questions, car elles seront abordées linéairement pendant le passage.

Conformément à cette idée, il est très important de prendre conscience que la note ne dépend absolument pas de la quantité de résultats trouvés pendant la préparation ou du nombre de questions traitées, mais bien de la qualité – et non de la quantité – de ce qui est présenté et échangé oralement avec l'examineur pendant la présentation.

La préparation reste bien cela : une préparation au passage à l'oral. Le jury valorise ainsi principalement une bonne prestation orale, améliorée – on l'espère – par la phase de préparation.

Une connaissance précise du cours est évidemment nécessaire mais, plus qu'une retranscription automatique de certaines démonstrations vues en cours (équation de la diffusion thermique, équation de propagation des ondes acoustiques dans un gaz...), le jury évalue une appropriation de ces concepts et leur adaptation à une situation nouvelle.

Au titre d'une bonne prestation orale, le jury attend ainsi des candidats qu'ils présentent en premier lieu la situation physique étudiée, la démarche de résolution envisagée, pour qu'une discussion qualitative s'engage éventuellement avec l'examineur. **La réalisation de schémas est bien trop souvent négligée par certains candidats.**

La description soignée de la démarche, la justification rigoureuse des relations utilisées et l'analyse physique des résultats obtenus sont des critères d'appréciation essentiels pour le jury.

Enfin, le jury apporte une très grande importance aux applications numériques. Elles sont incontournables et il n'est pas possible d'ignorer ces étapes sans dénaturer complètement la démarche de résolution : elles permettent d'ancrer la démarche dans le réel, d'exercer un regard critique sur l'ordre de grandeur obtenu. Ainsi, chaque application numérique doit être commentée.

Le jury tient d'ailleurs à rappeler que la majorité des scripts `Python` définissent numériquement les variables rencontrées dans le sujet, ce qui peut souvent faciliter la réalisation des applications numériques.

Pour les candidats qui préfèrent utiliser leur calculatrice, le jury attend une aisance minimale dans l'usage des fonctions trigonométriques (conversion des degrés en radians) ou de la notation scientifique affichée par leur calculatrice (combien comptent les zéros de leur calculatrice pour proposer une puissance de 10...).

Des exemples de sujets avec les supports associés sont mis à disposition des futurs candidats sur le site du concours.

Remarques générales communes aux deux épreuves

Mécanique

Les sujets de mécanique restent problématiques pour certains candidats le plus souvent à cause d'un manque de méthode et de rigueur (vecteur/scalaire, schémas, définitions du système et du référentiel, dérivées, intégrales, conditions aux limites, bases de projections, représentations 3D ou en coupe...). Le simple calcul d'une accélération ou d'un moment cinétique prend parfois beaucoup de temps. La notion de moment (de toute nature) demeure un concept délicat pour un certain nombre de candidats. Il faut absolument creuser ce point.

Redisons qu'il vaut mieux éviter d'appeler PFD ou RFD le théorème de la résultante cinétique (TRC) pour un solide (en rotation par exemple) car cela donne lieu à des confusions irrattrapables du style « accélération du solide ». Dans la même veine : certains candidats donnent un « point d'application » au TRC...

L'obtention de la 3^e loi de Képler doit être assez rapide.

Les théorèmes énergétiques posent parfois problème quant aux forces à prendre en compte.

Concernant les ondes mécaniques, il serait bon de reprendre l'écriture des conditions aux limites ainsi que la différence entre ondes transverse et longitudinale.

Mécanique des fluides

Comme l'an passé, la mise en place d'un bilan (de matière, de quantité de mouvement ou d'énergie) est parfois compliquée : il faut impérativement revoir ce point en commençant par la définition du système ET du référentiel, ce dernier étant souvent oublié.

L'utilité du nombre de Reynolds n'est pas toujours évidente notamment dans la simplification de l'équation de Navier-Stokes.

La force surfacique de cisaillement, rappelée dans l'énoncé, est parfois mal comprise et sa manipulation est alors très délicate. Il faut reprendre ce point.

Le calcul de $(\mathbf{V} \cdot \mathbf{grad})\mathbf{V}$ pose des problèmes à certains candidats.

Thermodynamique

La définition du système étudié est encore problématique alors que ce devrait être une seconde nature chez le physicien. Combien de difficultés seraient levées avec ce simple réflexe ! En physique il faut commencer par définir le système ET le référentiel.

Le premier principe ne se limite pas à $dU = CdT$ qui implique que seule une variation de température peut causer une variation d'énergie interne. Dans le même registre, les notions de changements d'état sont à travailler car mal assimilées par certains candidats.

L'utilisation du premier principe industriel est parfois peu spontanée et dès lors problématique. Il faut prendre conscience que le delta porte sur l'espace et pas sur le temps... Son analyse dimensionnelle est délicate pour certains dès lors qu'un débit massique apparaît.

Même si l'on note de nets progrès, l'utilisation des résistances thermiques n'est pas toujours proposée naturellement et leur définition même pose problème (la définition de la résistance thermique n'est pas $1/l e/S$). Toute description plus élaborée est alors difficile. Les lois phénoménologiques sont en revanche bien connues, ainsi que les analogies avec le régime électrique permanent.

Si l'équation de la diffusion thermique est correctement restituée, son établissement pose parfois de sérieux problèmes. Il serait bon de réfléchir à la notion d'ARQS thermique, notamment quant aux temps caractéristiques à prendre en compte. Les lois de Fick et de Fourier sont plutôt bien maîtrisées. Il est bon d'exploiter, le cas échéant, la conservation du flux : la résolution est alors plus rapide.

On pourrait retenir de la définition de l'enthalpie que la pression a la dimension d'une énergie volumique. Ce serait précieux en mécanique des fluides, notamment avec la relation de Bernoulli.

Électromagnétisme

Les surfaces de Gauss doivent être fermées et le théorème d'Ampère s'applique sur un contour fermé. Il est bon de savoir passer d'une équation locale à sa formulation intégrale, les deux écritures apportant des résultats complémentaires.

Le minimum que l'on attend d'un champ électromagnétique est de satisfaire aux équations de Maxwell. Le champ électrique a pour unité V/m et le vecteur de Poynting le W/m^2 ; certains le découvrent le jour de l'oral. De même $[B] = [E]/[vitesse]$. Il y a une dérivée temporelle dans les équations de conservation. La relation de structure nécessite de valider certaines hypothèses. La définition d'une OPPM est parfois délicate pour certains, chacun des termes demandant à être compris et justifié. De même, la notion de phase n'est pas toujours comprise. Une réflexion sur les dimensions des différentes grandeurs pourrait s'avérer payante.

La force de Laplace n'est pas consubstantielle au phénomène d'induction. Le coefficient de couplage est parfois mal compris.

Les symétries et invariances sont invoquées sans plus de précisions et leurs conséquences également. Quand on cherche le vecteur qui porte un champ en un point M , on s'intéresse aux plans de symétrie ou d'antisymétrie passant par ce point.

Il existe un certain nombre de situations dans le programme à identifier rapidement (plasma neutre, zone vide de charge et de courant, métal ...). L'application du théorème d'Ampère de la magnétostatique hors du régime permanent doit être validée, ne serait-ce que par un calcul d'ordre de grandeur sur les fréquences par exemple.

Certaines notions d'électrocinétique sont à reprendre : algébrisation des tensions et intensités, impédances des dipôles de base, pont diviseur de tension.

Multiplier une grandeur volumique par le volume du système pour obtenir la grandeur extensive cherchée ne fonctionne que si la première est uniforme. On rencontre très souvent cette erreur : ce point est à travailler.

Mécanique quantique

Les sujets s'articulent souvent autour de l'équation de Schrödinger rappelée dans les énoncés. Ils passent généralement par une phase de calculs qui doit être maîtrisée et ne pas occuper toute la séance d'interrogation, mais laisser place à une analyse du phénomène étudié. Il importe de sortir de la réalisation de calculs rituels sans vrai recul. Un minimum d'analyse et de compréhension est souhaitable.

Le passage de l'équation de Schrödinger générale à sa version stationnaire n'est pas toujours très clair et certaines situations de base sont mal maîtrisées (cas où le vecteur d'onde est réel ou pas et phénomènes associés dans le cadre du programme).

La parité du potentiel $V(x)$ n'implique pas celle de la partie spatiale des fonctions d'onde des états stationnaires. Les conséquences et l'intérêt du choix d'un potentiel symétrique sont parfois mal comprises.

Optique

Il subsiste encore des difficultés dans les constructions géométriques menant au calcul d'une différence de marche. Le vocabulaire est parfois mal maîtrisé. On rencontre des confusions entre différence de marche, de phase et de chemin optique. Les conditions d'interférences sont rarement bien énoncées et traduisent un manque de compréhension des bases de l'optique ondulatoire. Il importe de comprendre la physique qui permet de passer de $d = kl$ entre deux rayons diffractés par deux traits consécutifs d'un réseau à la formule des réseaux à N ondes.

Même si le diptyque retour inverse de la lumière et théorème de Malus est plus souvent évoqué que par le passé, l'énoncé de ce dernier est parfois incomplet et ses conséquences alors mal exploitées. Il faut le reprendre pour bien l'exposer.

Certains fondamentaux de l'optique géométrique font parfois défaut : défaut d'algébrisation des grandeurs et tracés approximatifs notamment.

Conclusion

Au-delà de ces remarques qui se veulent constructives, les jurys tiennent vraiment à saluer une fois encore le très grand mérite des candidats et de leurs formateurs. Le jury de physique insiste sur les progrès remarquables constatés cette année et forme le vœu de les voir consolidés l'an prochain.

Le succès d'un oral tient dans la capacité à mener sa résolution de façon dynamique et autonome tout en interagissant de façon constructive avec l'examinateur. Le préambule demeure toujours une véritable analyse physique du problème. Jamais les candidats ne doivent s'en départir tout au long de ce court exposé, c'est véritablement leur boussole.

Il importe de respecter le formalisme mathématique indispensable à toute démonstration. La maîtrise des points essentiels du cours et une vraie approche physique des problèmes posés sont également nécessaires.

Comme chaque année, les jurys de physique et physique-informatique forment le vœu que les remarques et conseils formulés dans ce rapport soient utiles aux futurs candidats et aux équipes qui les forment si brillamment.