

Épreuve orale de Physique, Filière MP

Lors de la session 2019, l'épreuve orale de physique a été passée par 431 candidates et candidats, dont 382 de nationalité française. La note moyenne obtenue par les candidats français est 11,92/20 avec un écart-type égal à 3,04.

$0 \leq N < 4$	1	0,26%
$4 \leq N < 8$	32	8,38%
$8 \leq N < 12$	138	36,13%
$12 \leq N < 16$	172	45,03%
$16 \leq N \leq 20$	39	10,21%
Total :	382	100%
Nombre de candidats :	382	
Note moyenne :	11,92	
Ecart-type :	3,04	

L'épreuve orale de physique, d'une durée de 50 minutes, commence par l'énoncé d'un exercice au tableau, parfois accompagné d'un document présentant des résultats de mesures ou décrivant un montage expérimental. Une brève question préliminaire est parfois posée afin d'évaluer la connaissance du cours et la culture scientifique du candidat sur les thèmes du programme. Un second exercice peut être proposé pour permettre à l'examinateur d'affiner son évaluation, ce qui ne présume absolument pas de la résolution complète et correcte du premier exercice, qui peut être interrompu sans que toutes les questions aient été posées.

L'exercice posé en premier peut quelquefois s'avérer relativement classique et proche du cours, car il apparaît nécessaire de nous assurer régulièrement de la pleine maîtrise des notions de base du programme : cela reste un écueil inattendu pour trop de candidats. S'il s'avère que le candidat maîtrise ces notions essentielles, un exercice plus original est rapidement proposé. A l'inverse, certains exercices sont de résolution complexe et une bonne note peut être obtenue sans avoir nécessairement traité l'intégralité des questions. Dans tous les cas, les exercices proposés permettent aux examinateurs d'évaluer aussi bien la maîtrise du programme que la construction de raisonnements élaborés. Globalement, l'évaluation se veut plus qualitative que quantitative : la pertinence de la démarche, la construction d'un raisonnement, la maîtrise des concepts physiques utilisés, sont des qualités prises en compte indépendamment du nombre de questions traitées.

Les examinateurs s'efforcent d'aborder, au moins en deuxième sujet, des problèmes mélangeant différentes parties du programme ou faisant appel à des phénomènes concrets. La dernière session du concours révèle de fortes disparités entre candidats sur les sujets faisant appel à plusieurs parties du programme, par exemple, mécanique et thermodynamique, ou à des notions de culture scientifique liées au programme, par exemple, le fait que la vapeur d'eau contenue dans l'air puisse se condenser en cas de refroidissement. Certains candidats font preuve d'une réelle maîtrise des éléments abordés et d'une riche culture scientifique, leur permettant d'initier un dialogue scientifique constructif. Malheureusement d'autres peinent à appliquer des raisonnements, pourtant connus, dans des contextes nouveaux et inhabituels, et limitent les

discussions physiques à une simple paraphrase de l'énoncé. Aussi, une prise de recul par rapport aux différentes parties du programme, considérées séparément, est vivement encouragée.

Les examinateurs ne posent en aucun cas d'exercice fermé que seule la connaissance d'une astuce peut débloquer. Il ne faut pas négliger les capacités à mener un raisonnement qualitatif, à justifier des approximations ou à établir des ordres de grandeur. Ces facultés sont valorisées au même titre que la capacité à poser et résoudre efficacement des équations. La calculatrice peut être utilisée pour des tracés de courbes ou des résolutions graphiques complexes. Néanmoins, ceci n'est nullement un encouragement à baisser les bras face à un calcul, ni à recourir à la calculatrice pour des représentations graphiques de fonctions simples – un tracé « à la main » offre souvent l'occasion de réfléchir à la signification physique des différents termes d'une fonction mathématique. Trop d'erreurs sont encore relevées sur les tracés de fonctions. Pour conclure un exercice, le calcul de l'ordre de grandeur du résultat fait directement au tableau est apprécié, en utilisant les valeurs approchées des constantes fondamentales et en manipulant les puissances de 10.

Ce cadre étant posé, les examinateurs évaluent essentiellement la capacité du candidat à construire un raisonnement physique rigoureux et précis à partir de ses connaissances et d'éventuelles indications fournies, puis à mettre en œuvre ce raisonnement pour aboutir à une solution. La résolution de l'exercice doit être menée par le candidat de manière propice à l'établissement d'un dialogue avec l'examinateur, en exposant la démarche adoptée et en justifiant les étapes du raisonnement et les hypothèses sous-jacentes. Le candidat ne doit pas hésiter à demander à l'examinateur de clarifier tout point de l'énoncé qui lui paraîtrait confus, à discuter la pertinence des hypothèses données, ni même à introduire de nouvelles hypothèses en les justifiant si possible. Construire avec rigueur et exposer de manière claire un raisonnement physique cohérent, même si celui-ci aboutit à une impasse, est plus valorisant pour le candidat que de résoudre un exercice sans explication et le plus rapidement possible, en essayant une à une toutes les méthodes connues sans réfléchir à leur utilité pour résoudre la question posée, ou sans réaliser qu'elles sont parfois redondantes entre elles. Ce dernier point constitue un écueil pour de nombreux candidats, leur donnant par ailleurs la fausse impression de réussir leur épreuve.

S'il est attendu que le candidat expose son raisonnement et son choix de méthode, la forme reste libre. Certains candidats exposent leurs tentatives au fur et à mesure de leur raisonnement, d'autres prennent le temps de la réflexion silencieuse avant de formuler une explication : ces formes et tout intermédiaire sont parfaitement appropriées, tant que la démarche est exposée et que l'oral ne se limite pas à un « écrit au tableau » dans lequel un calcul serait écrit et un résultat encadré sans commentaire sur la démarche. A l'inverse, il n'est en aucun cas nécessaire de parler tout le temps et dès le début de l'épreuve, les sujets possibles sont assez complexes et il est pertinent de prendre le temps de la réflexion.

Trop de candidats adoptent une attitude qui limite les interventions de l'examinateur en reprenant au plus vite leurs calculs au tableau – cette année encore, et bien que cela ait été mentionné dans le précédent rapport, trop de candidats regardent même leur montre lorsque l'examinateur demande une précision sur une hypothèse posée ou sur l'interprétation physique d'un résultat analytique. Certains candidats interrompent même de manière répétée l'examinateur pour reprendre encore plus vite leur propre raisonnement. Ce type de réaction déplacée est peu apprécié : en effet, les interventions de l'examinateur ne sont pas synonymes

de réduction de la note finale, ne se limitent pas à fournir des « indices », et ne font pas « perdre de temps » au candidat. Il peut s'agir, face à un candidat sachant visiblement aborder la question posée, de sonder plus à fond ses connaissances et son sens physique en discutant les principes physiques utilisés, les hypothèses faites ou les analogies avec d'autres systèmes physiques. L'examineur peut aussi faire réagir le candidat face à une éventuelle erreur ou étourderie, et évaluer si cette réaction est positive ; il ne faut pas que le candidat ou la candidate se dévalorise, et encore moins qu'il le verbalise. A l'inverse, ce dialogue avec l'examineur ne doit pas servir au candidat de prétexte pour tenter d'obtenir des éléments de réponse : bien que l'examineur puisse se montrer plus entreprenant face à des exercices complexes ou atypiques, le candidat ne peut en aucun cas attendre de lui la solution du problème posé. Certains candidats ayant exploité une première indication de l'examineur attendent passivement l'indication suivante, voire parfois la demandent explicitement. Nous avons même relevé que quelques candidats, heureusement très minoritaires, demandent à l'examineur dès l'énoncé posé : « souhaitez-vous que j'adopte un raisonnement énergétique ou non ? ». On ne peut reprocher à un candidat de ne pas forcément trouver du premier coup le bon raisonnement face à un problème difficile, en revanche ne pas tenter au moins d'élaborer des pistes viables et d'analyser si elles rapprochent de la solution du problème est une attitude des plus négatives. Nous félicitons les candidats qui prennent des risques et osent se lancer dans des raisonnements non-conventionnels. Cette démarche est toujours appréciée car elle permet, à la différence des fréquentes résolutions stéréotypées, d'apprécier la qualité de raisonnement du candidat.

De manière générale, le jury recommande à tous les candidats de consacrer quelques minutes pour analyser le problème posé et définir une stratégie de résolution, avant de se lancer dans la résolution analytique. Il n'est pas attendu que les candidats réfléchissent nécessairement à haute voix dès le début de leur planche, et encore moins qu'ils écrivent immédiatement des équations au tableau, fussent-elles correctes, sans même avoir analysé leur utilité dans le raisonnement adopté. Le fait de prendre quelques brèves minutes de réflexion silencieuse, une fois l'énoncé donné, n'est absolument pas malvenu. Quelques planches de très haut niveau ont été remarquées par les examinateurs : la plupart ont débuté par une analyse fine du raisonnement à construire, avant d'élaborer les seuls calculs nécessaires. L'épreuve n'est pas une course contre la montre où il s'agirait de reproduire une résolution déjà vue en classe. D'autres se complaisent au contraire dans des digressions justes mais inutiles sur les questions simples qu'ils maîtrisent le mieux, ralentissant de fait la progression dans la difficulté de l'exercice, ce qui s'avère préjudiciable dans l'évaluation. La recrudescence de ce type de comportement, auquel certains candidats semblent s'être consciencieusement préparés, a encore été constatée cette année. L'examineur cherche alors à faire accélérer le candidat pour l'évaluer sur des questions plus pointues. L'attitude d'un candidat persistant à passer beaucoup de temps sur des questions simples, est naturellement sanctionnée, puisqu'il ne peut être évalué sur des questions plus ardues auxquelles d'autres candidats auront pu se mesurer.

A noter enfin que certains ne répondent pas directement aux questions posées mais les détournent ou n'y répondent que partiellement ou en ne terminant pas les calculs. Cette technique d'évitement, qui est malheureusement assez fréquente, est sanctionnée : « Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée » est une compétence générale du programme de physique de MP. Nous ne pouvons qu'encourager les candidats à plus de spontanéité, de fraîcheur et de communication avec l'examineur. Rien n'est plus troublant qu'un candidat muet cherchant silencieusement un résultat pour l'écrire, l'encadrer et annoncer « je trouve cela » : ces compétences sont évaluées lors des épreuves écrites, à l'oral le candidat doit aussi exposer le cheminement suivi et les raisons des choix qu'il fait, des hypothèses introduites, le repère et les paramètres choisis, etc.

Si la résolution calculatoire n'est pas un aspect essentiel de l'épreuve, la mise en équation des principes physiques utilisés en est un. La maîtrise *conjointe* des lois fondamentales de la physique et de leur expression mathématique est un prérequis incontournable à cette épreuve. Trop souvent, après une analyse physique correcte du problème et des principes à mettre en œuvre pour sa résolution, des candidates et des candidats se retrouvent en grande difficulté dans la mise en forme analytique de ces mêmes principes : surfaces, flux, angles, vecteurs unitaires d'un repère mal ou pas orientés, confusions entre inégalités et égalités, entre quantités infinitésimales ou non infinitésimales, entre grandeurs volumiques ou totales, entre expression d'une force et d'une énergie, entre les formes analytiques d'onde stationnaires ou progressives, etc. Un calcul lourd peut être sauté ou allégé à l'initiative de l'examineur, mais il n'appartient pas au candidat d'expliquer que le calcul « risque d'être long » ou que l'expression obtenue est « moche » (sic) et qu'on ne va peut-être pas le faire. « Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique » est une compétence figurant explicitement au programme de physique de MPSI et de MP. Inutile donc de préciser à l'examineur que le calcul demandé semble difficile, inutile également de lui demander s'il valide le résultat. En général les candidats qui rechignent à se lancer dans un calcul s'avèrent bien mal à l'aise dans les calculs pourtant simples qu'ils ont cherché à esquiver. A l'inverse, d'autres candidats bénéficient d'initiatives judicieuses telles que l'introduction de quantités pertinentes pour simplifier un calcul.

La résolution des exercices posés ne repose en aucun cas sur la connaissance par le candidat d'un résultat hors programme. Quelques questions établissent parfois des résultats ne faisant pas partie explicitement du programme, mais ces questions peuvent toujours être traités avec les notions figurant au programme : dans ce cas, la notion introduite est définie par l'examineur, les éventuelles équations associées sont données, et l'analogie utilisée est explicitée. A l'inverse, il est courant que des candidats utilisent ou mentionnent des éléments hors programme, le plus souvent en connaissance de cause. Un tel recours à des éléments hors programme à l'initiative du candidat n'est pas pénalisant tant qu'il ne constitue pas une technique plus complexe que l'utilisation des seuls outils du programme, mais le candidat doit savoir qu'il peut lui être demandé d'expliquer, de justifier, voire de redémontrer le résultat utilisé. Nous rappelons enfin, une fois de plus, que l'épreuve porte sur l'intégralité du programme de Physique des deux années de Classes Préparatoires aux Grandes Écoles. Certaines parties du programme de première année ne sont pas ré-abordées par le programme seconde année, et posent régulièrement un problème aux candidats : électrocinétique, mécanique du point, équilibres liquide-vapeur, par exemple.

Mécanique quantique – Cette discipline est de mieux en mieux maîtrisée. Il est regrettable que certaines situations de base, puits ou barrières de potentiels constants par morceaux par exemple, fassent l'objet de traitements laborieux et/ou approximatifs. La géométrie des potentiels et des conditions aux limites mérite d'être exploitées de manière complète et rigoureuse, sans confusion entre les propriétés attendues de la fonction d'onde et celles de son seul module. La résolution graphique des niveaux d'énergie d'une particule dans un puits de potentiel pose souvent problème, ce que le candidat tente de masquer en redémontrant l'équation de Schrödinger indépendante du temps.

Mécanique – Une majorité de candidats continue de se lancer tête baissée dans les calculs avant même de mener une analyse qualitative du problème, d’avoir identifié un nombre suffisant d’équations indépendantes, et d’avoir choisi une démarche judicieuse (énergétique ou autre). Les premiers calculs sont souvent écrits avant d’avoir choisi un système de coordonnées adéquat et défini le système étudié. Cette année, il est apparu que beaucoup de candidats utilisent plusieurs systèmes de coordonnées simultanément, écrivant par exemple certaines expressions en coordonnées cartésiennes et exprimant d’autres grandeurs en coordonnées polaires. Si cette démarche permet quelquefois de résoudre des questions subtiles, elle mène le plus souvent à utiliser un nombre exagéré d’inconnues « apparentes » en oubliant qu’elles ne sont pas indépendantes les unes des autres, et en oubliant d’exprimer les liens entre elles. Beaucoup de candidats cherchent alors à trouver d’autres équations physiques que celles dont ils disposent, quand d’autres se lancent dans la résolution d’un système d’équations comportant trop d’inconnues. De même l’introduction d’une variable complexe $z=x+iy$ pour réduire la dimension d’un système d’équations différentielles est souvent superflue et conduit à des calculs plus complexes voire à des erreurs et des confusions – il est de bon ton de prendre quelques instants pour choisir la technique de résolution adaptée et anticiper les résultats qu’elle pourra apporter, plutôt que de se précipiter sur l’emploi d’une technique complexe. Des lacunes parfois importantes en trigonométrie, notamment sur l’orientation des angles, ou sur les propriétés élémentaires des coniques ont été relevées.

Nous rappelons cette année encore que la vitesse d’un mouvement circulaire dans un champ de force centrale devrait être trouvée presque immédiatement : une telle question se veut généralement introductive à un exercice plus complexe et il n’est pas admissible qu’elle occupe encore plus de la moitié de l’épreuve pour certains candidats. Lorsque la question introductive d’un exercice met en jeu la force électrostatique ou gravitationnelle entre deux particules chargées ou deux masses ponctuelles, il n’est pas nécessaire de ré-établir la valeur de telles forces avec le théorème de Gauss, voire de réciter scolairement un chapitre du cours. Nous renvoyons aux commentaires généraux sur les techniques de gain de temps et d’évitement des questions difficiles.

Le théorème du moment cinétique et les considérations énergétiques aboutissent souvent à la même équation. Lorsque les considérations énergétiques ne suffisent pas à étudier les positions d’équilibre d’un système, les bilans de forces sont souvent effectués de manière trop peu rigoureuse. Il n’est pas acceptable de voir des candidats orienter des flux ou des forces « au hasard » (et le dire) pour « vérifier à la fin si c’est bon » (et souvent oublier de le faire). Trop de candidats oublient de s’assurer que le résultat est physique : si on calcule le profil de pression d’une atmosphère, il est bon de vérifier qu’on ne trouve pas une pression qui diverge avec l’altitude avant de poursuivre le calcul.

Lorsque la durée d’un mouvement entre deux points d’une trajectoire est demandée, explicité l’intégralité de l’équation de la trajectoire est souvent une complication importante et non nécessaire. La majorité des candidats use d’une telle complication, menant parfois à des calculs insurmontables pour eux, à défaut d’avoir pris le temps d’analyser la démarche nécessaire pour répondre à la question posée. Nous encourageons les candidats à maîtriser le calcul de la durée d’un mouvement dans des cas classiques tels que la durée d’une chute libre avec frottement fluide, en isolant une différentielle du temps puis en l’intégrant. A l’inverse lorsqu’une étude de trajectoire est explicitement demandée, certains candidats hésitent encore sur la notion de trajectoire bornée ou non bornée. Les trajectoires bornées peuvent être différentes du cercle et

de l'ellipse, voire même être non-fermées. A part pour la chute libre, une trajectoire parabolique n'est souvent qu'un cas limite et les trajectoires sont le plus souvent de type elliptique ou hyperbolique.

Considérer qu'un système évolue de manière naturelle vers son minimum d'énergie potentielle permet souvent de corriger une erreur de signe dans l'expression de l'énergie potentielle, en vérifiant par exemple que deux charges opposées s'attirent naturellement, et non le contraire. Malheureusement, cette notion d'évolution vers un minimum d'énergie potentielle reste mal appréhendée par nombre de candidats, qui expriment qu'une position d'équilibre correspond à une annulation de la dérivée temporelle de l'énergie potentielle, quand il ne s'agit pas d'une dérivée de l'énergie totale.

Les forces d'inertie sont trop souvent oubliées même par des candidats ayant noté que le référentiel d'étude n'était pas Galiléen. Il y a parfois confusion entre le référentiel d'étude, dans lequel on applique les théorèmes de mécanique, et le référentiel de projection dans lequel on exprime les équations vectorielles qui en découlent.

Les candidats sont globalement plus à l'aise que par le passé pour l'utilisation des portraits de phase. Toutefois certains n'hésitent pas à faire intersecter des trajectoires dans l'espace des phases, et quelques-uns ignorent jusqu'à la notion de « portrait de phase », alors que le programme de première année met explicitement l'accent sur ce point.

Électromagnétisme – Cette partie du cours est plutôt bien assimilée par la majorité des candidats. Les équations de Maxwell sont en général appliquées à bon escient, même si l'on pourrait ici encore conseiller aux candidats de réfléchir aux équations qui seront les plus utiles pour le problème posé plutôt que de chercher précipitamment à résoudre l'ensemble du système d'équations. Trop souvent les candidats résolvent formellement des équations redondantes entre elles si bien que certains calculs, parfois longs, aboutissent à « $0=0$ ». Les problèmes d'induction sont qualitativement bien abordés, mais une partie des candidats peine à orienter le système et les flux rigoureusement, et peine tout autant à vérifier a posteriori le résultat obtenu par exemple à l'aide de la loi de Lenz. Trop souvent cette loi est utilisée pour aborder la résolution du problème alors qu'elle ne mène qu'à paraphraser l'énoncé sans pouvoir réellement décrire et orienter les courants induits et les actions mécaniques, alors qu'elle devrait surtout être utilisée pour valider les résultats établis. Des confusions répétées entre loi de Lenz et de Faraday ont été notées, il s'agit parfois de simples confusions terminologiques mais parfois elles révèlent de profondes incompréhensions de la distinction entre les phénomènes d'induction eux-mêmes, et les actions mécaniques qui résultent de la présence de courants induits.

Le maniement des densités volumiques ou surfaciques de courant ou de charge est bien souvent laborieux, et l'orientation de courants ou densités associées est trop souvent hasardeuse.

Thermodynamique et physique statistique – Dans les problèmes d'échange de chaleur et d'énergie, le signe des flux est trop souvent fixé de manière aléatoire. Cela ne correspond évidemment pas à la démarche rigoureuse attendue. Cette année encore, les examinateurs ont relevé nombre de confusions entre continuité du flux et continuité du profil de température, la

première n'impliquant absolument pas la seconde – plus généralement, des candidats évoquent une quantité continue mais écrivent formellement qu'elle est constante sans le réaliser.

Les problèmes d'hydrostatique ont été abordés de manière très hétérogène. Rappelons qu'ils peuvent généralement être résolus par des bilans de forces sur un volume élémentaire de fluide, sans nécessairement recourir à l'expression d'une densité volumique des forces. Cette dernière expression, formellement hors programme, est connue par la majorité des candidats pour les forces de pression, mais est utilisée à leurs risques et périls, car trop souvent comparée à des expressions non volumiques pour d'autres forces.

Les cycles thermodynamiques posent désormais moins de difficultés, mais trop peu de candidats semblent avoir déjà réfléchi à la signification physique des transformations en cours de cycle et des grandeurs (travail et chaleur) associées.

Il semble nécessaire de rappeler que le travail élémentaire implique la pression extérieure, celle-ci ne pouvant être prise égale à la pression du système que dans le cas d'une transformation réversible. Lorsque le système est soumis à des forces extérieures découlant d'une énergie potentielle, ou que son énergie cinétique est susceptible de varier, ces énergies entrent en jeu dans le premier principe.

Les hypothèses conduisant au modèle du gaz parfait devraient être parfaitement comprises. Le modèle cinétique des gaz parfaits, et ses divers analogues rencontrés dans des exercices pourtant classiques, n'est pas maîtrisé par bon nombre de candidats. Les conditions précises d'application de « lois de Laplace » restent floues pour bien des candidats.

En transferts thermiques, rappelons une nouvelle fois que parler du régime de température « T petit » ou « T grand » n'a pas de sens physique si n'a pas été définie au préalable une température de référence caractéristique du système étudié. Il a été entendu de trop nombreuses fois que si les échanges thermiques étaient nuls ou pouvaient être négligés lors de la transformation, alors la température du système pouvait être considérée constante.

Optique – Les calculs d'interférences à ondes multiples sont mieux maîtrisés que lors des sessions précédentes même si certaines difficultés subsistent dans l'appréciation de la cohérence de sources secondaires. Des confusions fondamentales en sommation des amplitudes et des intensités, heureusement en nombre limité, ont été constatées. En optique géométrique, les constructions trigonométriques usuelles sont mieux maîtrisées par la majorité des candidats, même si l'orientation des angles reste parfois un écueil. Certains candidats négligent toujours cette partie du cours au point de ne pas savoir placer les angles mis en jeu dans la loi de Snell-Descartes sur un schéma fourni par l'examineur.

Électrocinétique – En électricité, une analyse qualitative du circuit est souvent possible sans pour autant recourir à l'analyse mathématique d'une impédance complexe, en particulier dans les régimes limites de basses et hautes fréquences. Beaucoup de candidats gagneraient à identifier des « blocs connus » et utiliser le théorème de superposition avant d'écrire le maximum de lois de mailles et de nœuds.

Outils mathématiques – La manipulation de quantités infinitésimales reste un écueil insurmontable pour trop de candidats, qui les mélangent avec des quantités non-infinitésimales, ou peinent à évaluer leurs dimensions. De même la manipulation de grandeurs volumiques et surfaciques mène à de trop nombreuses erreurs. Le flux d'une quantité volumique s'exprime à travers une surface, le flux d'une quantité surfacique à travers un contour unidimensionnel. La signification d'un gradient, voire même son orientation, pose trop souvent problème et il n'est pas exceptionnel de voir un gradient représenté parallèle à une iso-surface.

Le fait qu'une équation différentielle soit linéaire est une propriété importante qu'il convient de souligner et d'exploiter. Pour les équations différentielles linéaires d'ordre 2 à coefficients constants, certains candidats oublient qu'il y a deux solutions linéairement indépendantes, ou ne s'en souviennent que lorsqu'ils bloquent sur une incompatibilité entre leur unique solution et les deux conditions initiales. Pour les équations différentielles d'ordre 1, certains candidats n'osent pas utiliser la méthode de séparation des variables dès qu'ils aperçoivent l'ombre d'une non-linéarité. Dans un calcul intégral, les bornes d'intégration doivent être précisées et les variables d'intégration ne doivent pas être oubliées : des erreurs sont relevées régulièrement lorsque les variables d'intégrations sont oubliées et que l'examineur les demande. Les constantes d'intégration ne doivent pas être oubliées, mais ne doivent pas non plus être ajoutées à tort lorsque les deux bornes d'intégration sont déterminées.

La trigonométrie et l'orientation des angles posent encore des problèmes qui semblent indiquer un manque d'entraînement des candidats sur les constructions géométriques et trigonométriques usuelles. Les flux et les courants ne sont pas toujours orientés de manière cohérente avec les angles et plus généralement l'orientation des angles est souvent traitée de manière hasardeuse, voire incohérente au sein d'un même exercice.

Concernant l'analyse dimensionnelle : l'utiliser est bien, en abuser l'est moins, surtout si c'est pour gagner du temps. Pour des résultats intermédiaires, cette étape de vérification peut être faite rapidement par le candidat sans rentrer oralement dans les détails. La mise sous forme adimensionnée d'un intégrant peut permettre de conclure une planche par une discussion physique sur l'influence des différents paramètres du problème sur le résultat demandé plutôt que sur un résultat plus tout à fait juste après une tentative de calcul complet de l'intégrale.

Enfin, la discussion d'un résultat mathématique formel se résume souvent à une paraphrase de la formule obtenue, sans explication ni mise en perspective du résultat dans un contexte physique plus général. Nous encourageons les candidats à commenter et justifier les signes, les exposants, la dépendance aux paramètres du problème. Par exemple : est-il logique que tel paramètre apparaisse au numérateur plutôt qu'au dénominateur, avec tel signe et tel exposant, et que tel autre paramètre du problème n'apparaisse pas dans le résultat final ?