

Banque PC inter-ENS – Session 2025

Rapport du jury relatif à l'épreuve de travaux pratiques de physique

• **Écoles partageant cette épreuve** : ENS PARIS, ENS PARIS-SACLAY, ENS DE LYON

• **Coefficients** (en pourcentage du total d'admission de chaque concours) :

– ENS PARIS

Option Physique : 10,3 %

Option Chimie : 0 %

– ENS PARIS-SACLAY

Option Physique : 10,2 %

Option Chimie : 5,1 %

– ENS DE LYON : 7 %

• **Membres du jury** :

Brice Bakkali-Hassani, Delphine Chareyron, Camille Eloy, Jérémy Ferrand, Sébastien Garcia, Léa Lachaud, Arnaud Le Diffon, François Marquier, Hugo Roussille, Benoît Semin, Virgile Thiévenaz, Christophe Winisdoerffer.

Sommaire

I. Bilan de l'épreuve 2025	3
II. Déroulement de l'épreuve	3
II. 1. Énoncés	4
II. 2. Outils informatiques	5
II. 3. Pannes de matériel ou incidents	5
III. Critères de notations.....	6
III. 1. Une épreuve expérimentale	6
III. 2. Choix et mise en œuvre des protocoles expérimentaux.....	6
III. 3. Soins et précisions des mesures	7
III. 4. Évaluation des incertitudes.....	7
III. 5. Tracés de graphe.....	8
III. 6. Ajustement des données expérimentales.....	8
III. 7. Interprétation qualitative et quantitative des résultats obtenus	9
III. 8. Communication des résultats obtenus	9
IV. Aspects scientifiques.....	10
IV. 1. Électricité - Électronique.....	10
IV. 2. Optique	12
IV. 3. Électromagnétisme	13
IV. 4. Mécanique et mécanique des fluides	13
IV. 5. Thermodynamique	13
IV. 6. Ondes	14
V. Exemples d'énoncés	14

I. Bilan de l'épreuve 2025

L'épreuve de travaux pratiques est une épreuve commune aux trois ENS, d'une durée de 4h. La session 2025 s'est déroulée dans les locaux du département de physique de l'ENS Paris Saclay.

309 candidats ont passé l'épreuve de TP de physique. La moyenne de l'épreuve sur l'ensemble des ENS est de 11,67 avec un écart-type de 3,46. Les notes s'étalent de 2 à 20, 30,74 % des candidats ont obtenu une note supérieure ou égale à 14.

Le niveau expérimental des meilleurs candidats est équivalent à celui des meilleurs de la session 2024. Plus généralement, le niveau expérimental de l'ensemble des candidats est nettement en retrait par rapport à celui des années précédant la crise sanitaire. En particulier, les candidats sont plus lents et manquent de sens pratique. De nombreux candidats passent le tiers voire la moitié du temps sur la première question du sujet.

II. Déroulement de l'épreuve

Les candidats sont accueillis ensemble pour recevoir les consignes relatives au bon déroulement de l'épreuve. Ils sont également informés des critères de notation, et en particulier que l'essentiel de la note est lié aux aspects expérimentaux.

Ils tirent ensuite au sort le numéro du sujet sur lequel ils seront examinés, puis sont amenés dans les salles de travaux pratiques. Ils y découvrent l'énoncé du sujet, et l'épreuve commence. Les candidats sont invités à lire l'énoncé en entier et à identifier le matériel à leur disposition sur la paillasse. Dès le début de l'épreuve, les examinateurs s'entretiennent avec les candidats pour présenter succinctement le sujet et le matériel mis à leur disposition. Si cela est pertinent, les consignes de sécurité sont énoncées et l'utilisation du matériel spécifique est expliquée. Le fonctionnement du matériel courant d'instrumentation est également présenté.

Pendant les 4h d'épreuve, les **examinateurs passent régulièrement** pour discuter de la progression des candidats, de leurs résultats et pour leur poser des questions afin de tester leur compréhension et leur démarche expérimentale. **Les examinateurs observent les candidats manipuler.** Ils peuvent, en particulier, demander au candidat de répéter une mesure qui n'aurait pas été faite devant eux. Ils posent également des questions pour tester sa compréhension du protocole réalisé, l'interroger sur les choix réalisés (de matériel, de calibre, etc.) pour mener à bien l'expérience ou encore sur les résultats obtenus et les conclusions qu'il en tire. **Les réponses apportées par le candidat et son attitude lors de ces entretiens sont déterminantes pour son évaluation.** Lors des passages, les questions des examinateurs peuvent porter sur le protocole proposé par le candidat, sur les questions posées dans l'énoncé, ou sur des aspects théoriques plus avancés en lien avec les observations expérimentales. Il est indispensable que le candidat **rectifie**, le cas échéant, son compte-rendu suite à la discussion avec les examinateurs.

En dehors de ces passages réguliers, **les candidats travaillent en autonomie.** En cas de besoin, ils peuvent à tout moment appeler ou faire appeler leur binôme d'examinateurs, notamment si une question se pose sur l'utilisation ou le fonctionnement d'un des appareils à leur disposition. Toutefois pour des raisons évidentes d'équité, les candidats ne peuvent présenter leur avancement dans le sujet que lors des passages.

Les candidats disposent des 4h d'épreuve pour réaliser les expériences, les mesures, interpréter les résultats et écrire un compte-rendu de leur travail.

À l'issue des 4h d'épreuve, les candidats sont invités à ranger le matériel utilisé et remettre la paillasse dans l'état dans lequel ils l'ont trouvée en arrivant dans la salle. Des paillasses mal tenues ont été sanctionnées.

II. 1. Énoncés

Les sujets proposés **couvrent l'ensemble du programme** de physique des deux années de classes préparatoires aux grandes écoles PCSI et PC : électronique, optique, thermodynamique, électromagnétisme, mécanique, hydrodynamique, etc.

Une grande partie des **questions**, notamment celles du début des sujets, correspondent directement aux **items identifiés en caractères gras dans le programme** parce qu'ils « se prêtent particulièrement à une approche expérimentale » et qu'ils « doivent être abordés en priorité lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant doivent être privilégiées ».

Les éventuelles parties qui ne feraient pas appel explicitement au programme sont présentées dans le sujet de manière à donner aux candidats toutes les informations et les bases nécessaires pour effectuer les mesures expérimentales et leurs analyses.

Les énoncés comptent le plus souvent entre une à quatre pages, avec des questions volontairement rédigées de manière ouverte pour laisser au candidat une autonomie dans le choix des composants, du protocole, etc. Ils contiennent des indications essentielles pour mener à bien les expériences ainsi que des rappels de règles de sécurité ou des précautions d'emploi de certains matériels. Il est **très fortement conseillé au candidat de lire le sujet en entier** avant de commencer les expériences. Le jury doit trop souvent demander aux candidats de relire une question ou l'introduction du sujet pour qu'il puisse avancer dans son raisonnement. **Une lecture attentive de l'énoncé est indispensable ! Il est attendu une réponse aux questions de l'énoncé**, or beaucoup de candidats répondent à des questions certes voisines mais différentes de ce qui est demandé.

Dans certains cas, l'énoncé est complété par des annexes (succinctes) ou des notices simplifiées des appareils et des capteurs. Les candidats doivent pouvoir en **extraire les informations** nécessaires à la réalisation des expériences ou à leur analyse, lors de l'estimation des barres d'erreur par exemple. En particulier, des notices simplifiées sont souvent fournies pour les capteurs : il est vivement conseillé de les lire avant d'utiliser le capteur en question. Il est regrettable que de nombreux candidats restent bloqués en manque d'une donnée qui figure pourtant dans la notice fournie.

Notons enfin que les sujets proposés ne requièrent jamais d'analyse théorique poussée de la part du candidat, d'autant plus que celle-ci est parfois hors de leur portée. En revanche, le jury attend du candidat qu'il soit capable d'effectuer une modélisation simple de l'expérience en justifiant les approximations effectuées et les limites du modèle utilisé. Le candidat doit être capable de faire un calcul rapide de quelques lignes lorsque cela s'avère nécessaire pour appréhender le problème étudié ou interpréter les résultats obtenus (calcul d'un nombre de Reynolds, par exemple).

II. 2. Outils informatiques

Lors de cette session, les candidats disposaient d'ordinateurs individuels, sur lesquels ont été installés :

- Le logiciel de tracé scientifique **Regressi**
- La suite Libre Office et notamment son tableur (type Excel)
- La distribution **Python** Anaconda. Les candidats disposaient d'**exemples de programmes Python**, qui permettent notamment d'importer des données, de tracer des courbes avec des barres d'erreur et d'ajuster les données de manière linéaire ou non-linéaire. Malgré la mise à disposition de ces programmes Python qu'il suffit de modifier, certains candidats écrivent ou tentent d'écrire des programmes à partir d'un fichier vierge, ce qui leur fait généralement perdre beaucoup de temps.

Les candidats étaient encouragés à utiliser l'un de ces logiciels pour analyser leurs données, tracer les graphes nécessaires ou réaliser les ajustements numériques. Il était demandé aux candidats d'imprimer leurs graphes. Pour cela, ils disposaient d'une clé USB fournie qui leur permettait de transmettre les données de l'ordinateur vers les imprimantes.

Le jury aidait les candidats pour l'utilisation de ces logiciels, notamment pour importer les données, mettre les barres d'erreur et exporter les graphes en pdf en vue de l'impression.

Pour certains sujets, des logiciels spécifiques étaient utilisés, leur fonctionnement étant systématiquement expliqué aux candidats.

Certains sujets demandaient l'utilisation de routines Python fournies au candidat, par exemple pour interfacé des cartes Arduino. Le candidat était amené à comprendre le fonctionnement global du script, puis à modifier les données en fonction de ses mesures.

Les calculatrices personnelles étaient interdites. Les candidats disposaient de la calculatrice Windows, de Python, Regressi et LibreOffice. Un exemple de programme Python avec les fonctions de bases était fourni.

Il est vivement conseillé aux candidats de sauvegarder régulièrement leurs données. Plusieurs candidats ont perdu leurs données en cours d'épreuve, ce qui les a pénalisés.

II. 3. Pannes de matériel ou incidents

Le matériel est vérifié par les examinateurs avant le début des épreuves, mais il est toujours possible qu'une panne survienne au cours des 4h. De même, les logiciels fournis peuvent présenter des bugs. Une panne qui n'est pas imputable à un mauvais respect des consignes ou à une erreur de manipulation du candidat n'affecte pas sa note. Les examinateurs prennent en compte cette panne dans la notation, notamment si cela a fait perdre du temps au candidat pour réaliser ses expériences.

III. Critères de notations

III. 1. Une épreuve expérimentale

L'épreuve de travaux pratiques est une épreuve expérimentale. Certains candidats rechignent presque à faire les mesures dont ils pensent connaître le résultat théorique. Cette attitude est fortement pénalisée. D'ailleurs, il arrive souvent que les résultats expérimentaux ne correspondent pas ou correspondent seulement partiellement aux hypothèses initiales des candidats (par exemple observer des oscillations amorties ne garantit pas qu'elles le sont exponentiellement).

Certains candidats hésitent aussi à commencer des expériences sans avoir une modélisation théorique préalable. Cette attitude leur fait perdre beaucoup de temps alors qu'une approche de tests expérimentaux permet souvent d'avancer plus rapidement sur la compréhension des phénomènes étudiés et sur la mise en place d'un protocole rigoureux.

L'évaluation de l'épreuve de TP porte essentiellement sur les **compétences** et les connaissances en physique **expérimentale**, à savoir :

- choix et mise en œuvre des protocoles expérimentaux,
- soin et précisions des mesures,
- évaluation des incertitudes,
- tracé des graphes,
- ajustement des données expérimentales par un modèle,
- interprétation qualitative et quantitative des résultats obtenus,
- communication des résultats obtenus.

Ces différents points sont discutés ci-dessous.

III. 2. Choix et mise en œuvre des protocoles expérimentaux

Le **candidat** doit être capable de **justifier ses choix expérimentaux** : choix des composants (valeur des résistances, capacités, focales, etc.), choix de la position des différents éléments (notamment en optique), choix des réglages des différents appareils (oscilloscope, multimètre, etc.), choix du protocole (temps d'attente avant de faire la mesure s'il existe un régime transitoire indésirable, repères choisis pour mesurer une distance, etc.). Le candidat doit être capable de choisir l'appareil de mesure le plus adapté à l'expérience qu'il est en train de mener, parmi le matériel mis à sa disposition. De nombreux candidats semblent étonnés que le jury pose des questions sur les choix expérimentaux : cette compétence est à travailler davantage.

Le candidat doit effectuer suffisamment de points de mesures, et choisir ces points de manière pertinente, en couvrant toute la gamme et en resserrant les points là où cela est pertinent, par exemple au voisinage d'une résonance. Si un point semble aberrant, il est souhaitable de refaire la mesure. En aucun cas un point aberrant ne doit être supprimé sans raison valable.

III. 3. Soin et précisions des mesures

La longueur de certains sujets ne doit pas amener les candidats à bâcler leurs mesures pour avancer plus rapidement et traiter le plus de questions possibles : le **soin** dans la réalisation des protocoles expérimentaux et dans la prise de mesure est un **élément clé de la notation**. Des mesures faites à la va-vite sont systématiquement sanctionnées, alors même que le candidat pense avoir bien avancé dans le sujet. Des notes très largement différentes ont ainsi pu être attribuées à des candidats ayant atteint le même niveau du sujet. Le jury tient notamment à insister sur le fait qu'une trop forte imprécision des résultats peut faire manquer au candidat certains aspects importants du problème permettant, par exemple, de faire le choix entre deux modèles.

Lorsque cela s'est produit, le jury n'a su que trop conseiller au candidat de reprendre des mesures en améliorant leur précision. Les candidats qui n'ont pas su remettre en cause leurs précédents résultats, révélant un manque de compréhension de l'importance des incertitudes en physique expérimentale ou une absence d'écoute des conseils du jury, ont été fortement pénalisés.

III. 4. Évaluation des incertitudes

Une mesure physique ne se conçoit qu'avec une estimation de l'incertitude qui l'entache. Aussi, **l'absence d'incertitudes** sur les courbes expérimentales et dans le rapport est **fortement pénalisée**. Lors de cette session encore, le jury a trop souvent constaté des mesures prises sans incertitudes lors de son premier passage, alors qu'il en est clairement fait mention dans l'explication commune des attendus de l'épreuve.

Le jury insiste sur le fait que l'évaluation de l'incertitude n'est pas une fin en soi, mais permet de commenter la mesure obtenue, par exemple en regard d'une valeur tabulée ou théorique. Dans le cas où la valeur tabulée ne correspond pas à l'intervalle de confiance, le candidat est amené à proposer une explication (protocole expérimental en cause, valeur numérique surestimée ou sous-estimée, etc).

Le candidat doit attacher un soin particulier à identifier les sources d'incertitudes **qui sont dominantes** (très souvent une seule source d'incertitude domine toutes les autres).

Le jury n'attend **aucun développement métrologique technique** mais une **estimation honnête de l'incertitude sur la mesure réalisée par le candidat**. Il est inutile de discuter de subtils facteurs de correction (facteurs d'élargissement), le plus souvent hors de propos ou mal utilisés. Si un candidat utilise des notions métrologiques élaborées comme la division par $\sqrt{3}$ de la valeur graduation, il doit en connaître les hypothèses et les limites ce qui en pratique a rarement été le cas. Très peu de candidats sont capables en pratique de réaliser correctement une mesure de longueur avec une estimation de l'incertitude à l'aide d'un réglet. Il est irréaliste d'estimer l'incertitude à $1/(2\sqrt{3})$ graduation (quelques centaines de microns) liée à la graduation de la règle lorsque l'incertitude de repérage de l'opérateur est prédominante.

Lorsqu'une quantité est mesurée de manière répétitive à l'aide d'un protocole qui présente une variabilité aléatoire, le jury attend du candidat qu'il évalue correctement l'incertitude de type A (incertitude de répétabilité). Cette configuration est de plus en plus fréquente, notamment lors de la prise de mesure via des cartes d'acquisition ou des microcontrôleurs. Il est cependant regrettable que certains (rares) candidats appliquent cette démarche dans le cas d'un processus de mesure qui n'est soumis à aucune fluctuation, comme la mesure au réglet d'une distance fixe.

Le jury valorise particulièrement les candidats qui ont consulté les notices fournies (par exemple la notice d'un multimètre) pour évaluer les incertitudes de type B. Cette incertitude liée à l'instrument doit être comparée aux autres sources d'incertitudes, ce que peu de candidats prennent en compte. En effet, beaucoup de candidats se raccrochent à la précision de l'instrument même quand celle-ci n'est clairement pas pertinente (par exemple prendre la valeur fabricant pour un voltmètre alors que la valeur affichée fluctue).

L'estimation des incertitudes se fait en général en même temps que la mesure expérimentale. Trop de candidats qui présentent une courbe sans barres d'erreur lors du premier passage prétendent vouloir estimer les incertitudes associées *a posteriori*, parfois même une fois le dispositif démonté.

La mesure doit être effectuée dans les meilleures conditions possibles. Par exemple, lorsque différents appareils de mesure sont présents sur la paillasse, il est judicieux de choisir le plus précis. Augmenter une distance permet de diminuer l'incertitude relative sur la mesure de celle-ci. Il en est de même pour la taille d'une image optique, ou d'une figure d'interférence.

Le nombre de chiffres significatifs d'un résultat doit être cohérent avec l'estimation des incertitudes.

III. 5. Tracés de graphe

Lorsque plusieurs mesures similaires ont été réalisées, **une représentation graphique des données est indispensable**. En particulier, lorsqu'il est demandé au candidat de vérifier une loi, le jury attend que le candidat trace une courbe plutôt que de vérifier la validité de la loi pour un unique point expérimental.

Préciser les grandeurs portées sur les axes, avec leurs unités, fait partie des compétences élémentaires attendues par le jury. Le candidat doit choisir judicieusement les échelles et combinaisons de paramètres à placer en abscisse et en ordonnée pour confronter les données à un modèle.

En outre, afficher les incertitudes sur un graphe est très simple avec les logiciels à disposition du candidat. Il est attendu que les **barres d'erreur correspondantes aux incertitudes liées à chaque point soient affichées sur les courbes**. Sur ce point, le jury est venu en aide aux candidats qui en ont eu besoin le cas échéant.

III. 6. Ajustement des données expérimentales

Très souvent, l'exploitation des données passe par la confrontation à un modèle, que le candidat peut être amené à proposer. Le candidat doit dans un premier temps choisir judicieusement les échelles et combinaisons de paramètres à placer en abscisse et en ordonnée pour confronter les données au modèle. Il réalise ensuite l'ajustement des données, par une loi affine si cela est pertinent (cas le plus fréquent) ou par une autre loi (auquel cas les fonctionnalités correspondantes des logiciels de traitement de données pourront être rappelées). Il est indispensable de **superposer l'ajustement aux données expérimentales**.

Il est toujours pertinent d'analyser de façon **qualitative** le résultat des mesures avant de se lancer dans l'ajustement quantitatif des paramètres : compte tenu des incertitudes de mesure, le comportement observé correspond-il qualitativement à celui qui était attendu ? Sont en cause ici la

taille des barres d'erreur, la répartition des points autour de la courbe modèle, la présence d'une ordonnée à l'origine, d'une éventuelle tendance dans les résidus, etc.

Lorsque le modèle proposé est une loi de puissance, il est attendu du candidat d'utiliser de lui-même une échelle logarithmique et avoir autant que possible des données qui s'étalent sur plus d'une décade.

Le jury regrette que certains candidats utilisent encore le seul coefficient de corrélation linéaire r^2 pour caractériser un ajustement.

Les incertitudes sur les paramètres d'ajustement doivent être évaluées, par une méthode de Monte-Carlo ou à l'aide de fonctionnalités existantes des logiciels de traitement de données utilisés. Ces fonctionnalités peuvent être expliquées par le jury si un candidat ne les connaît pas. Il est recommandé de n'utiliser les simulations Monte-Carlo pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle que dans les très rares cas où ces dernières ne donnent pas de résultat satisfaisant.

III. 7. Interprétation qualitative et quantitative des résultats obtenus

Une fois les mesures faites, et leur ajustement éventuel réalisé, le candidat doit mener une analyse critique des résultats obtenus. Leurs ordres de grandeur sont-ils « réalistes » ? Les résultats permettent-ils de répondre à la question posée ? Le modèle proposé est-il validé, étant donné notamment les incertitudes de mesure ? Dans le cas où les résultats obtenus ne coïncident pas avec ceux attendus, le jury attend du candidat qu'il s'interroge, voire identifie les éventuels défauts du protocole, erreurs de manipulation ou de mesure qui expliquent l'écart observé, ou encore qu'il remette en cause les hypothèses du modèle. Une telle analyse relevant de **l'esprit critique du candidat** est particulièrement valorisée.

Pour pouvoir interpréter ses résultats, il est ainsi attendu que le candidat connaisse les valeurs ou les ordres de grandeur des grandeurs physiques courantes : champ de pesanteur terrestre, longueurs d'onde optiques, valeurs typiques de grandeurs électriques (courant, tension, impédance) dans les circuits usuels, vitesse des ondes sonores dans l'air, viscosité de l'eau, etc.

III. 8. Communication des résultats obtenus

Il est obligatoire de rendre un **compte-rendu** à la fin de l'épreuve. Il fait partie de l'épreuve et est indispensable à la notation. Il doit être concis (3 à 6 pages typiquement) mais contenir toutes les informations importantes. Celui-ci doit notamment **inclure** les différentes **courbes** demandées. Il doit comporter les réponses aux questions de l'énoncé, les descriptions des protocoles expérimentaux utilisés, les résultats des ajustements, les raisonnements scientifiques ainsi que le détail des mesures et des calculs. Un soin tout particulier doit notamment être apporté dans le choix des unités, du nombre de chiffres significatifs et dans l'estimation des barres d'erreur. Les résultats des ajustements doivent impérativement apparaître dans le compte-rendu, aussi bien sur le graphe que dans le corps du texte lui-même, où les valeurs des paramètres ajustés doivent être données.

Le jury est sensible à **l'effort pédagogique** d'explication et de démonstration des résultats expérimentaux tant à l'oral qu'à l'écrit. Le compte-rendu doit être propre et rédigé de façon claire. Les comptes-rendus trop lapidaires ont été sanctionnés. A contrario, il ne faut pas trop rédiger

(notamment sur les questions théoriques), mais être concis. De trop nombreux candidats perdent un temps considérable durant l'épreuve à mener par écrit des développements théoriques superflus, au détriment des manipulations et de l'avancée dans le sujet.

Il faut en outre veiller à l'organisation et la présentation des résultats (les valeurs numériques importantes sont parfois difficiles à trouver au milieu des paragraphes).

Le jury tient enfin à préciser que les discussions qu'il mène avec les candidats au cours de l'épreuve ne dispensent en aucun cas le candidat de reproduire sur son compte-rendu les raisonnements, analyses de résultats ou justifications d'approximation, même si ceux-ci ont été explicitement abordés à l'oral.

La **discussion avec le jury** est particulièrement importante dans l'évaluation du candidat. Une nonchalance ou un manque d'implication dans la discussion est systématiquement pénalisé : il est attendu de scientifiques qu'ils puissent communiquer des résultats ou protocoles de mesure et en faire une analyse critique. Les candidats qui ont su prendre en compte les remarques du jury, par exemple en reprenant des mesures après qu'un défaut manifeste dans le protocole choisi a été identifié, ont été valorisés.

Certains candidats n'ont commencé à rédiger leur compte-rendu qu'en toute fin d'épreuve, alors qu'il est indiqué, lors de la présentation, de le rédiger tout au long de l'épreuve. Les comptes-rendus sont alors presque systématiquement bâclés.

IV. Aspects scientifiques

IV. 1. Électricité - Électronique

Généralités

Il est vivement conseillé aux candidats de faire un schéma des circuits électriques avant de les réaliser. Trop de candidats se sont perdus dans leurs expériences parce qu'ils n'avaient pas réalisé le circuit auquel ils songeaient.

Pour un nombre important d'expériences, il est indispensable de savoir brancher un câble coaxial dont une extrémité possède une connectique BNC et dont l'autre extrémité possède une connectique avec 2 fiches bananes dont la masse est identifiée par la couleur noire.

Avant de câbler une résistance ou une bobine dans un circuit, il faut s'assurer que l'on ne risque pas de l'endommager.

Les **notions de terre et de masse** sont très souvent sujettes à confusion. De nombreux courts-circuits classiques de masse sont observés. Les candidats doivent savoir que la borne de masse de certains appareils est reliée à la terre (cas fréquent pour les oscilloscopes et les générateurs basses fréquences), et que celle d'autres appareils ne l'est pas (cas fréquent pour les alimentations continues et les multimètres). Ils peuvent demander aux examinateurs ce qu'il en est pour le matériel qu'ils ont à leur disposition. Un circuit fermé n'a qu'une seule masse, mais si plusieurs circuits sont utilisés, les masses ne sont pas forcément confondues. Par exemple, si un capteur à effet Hall est utilisé pour mesurer le champ magnétique dans une bobine, il n'y a aucune raison de relier la masse du capteur à la masse de l'alimentation de la bobine.

Le multimètre

Le multimètre est un instrument de base de l'électronique, son utilisation doit être parfaitement maîtrisée. Pourtant, elle pose encore trop souvent problème. Pour beaucoup de candidats, la notion de calibre elle-même est floue, son choix est donc souvent incertain voire aléatoire.

De même, la différence entre les modes AC et DC est souvent peu comprise. Le candidat doit être capable de faire le choix entre les deux modes de façon raisonnée.

Les candidats doivent savoir qu'il est préférable d'utiliser un multimètre plutôt que de lire les valeurs des tensions et des intensités sur les alimentations. De même, l'utilisation d'un multimètre est à privilégier devant un oscilloscope pour lire des tensions continues.

Si un candidat souhaite mesurer la valeur d'une résistance avec un multimètre, ou bien d'un condensateur ou d'une bobine avec un RLCmètre, il est indispensable que le composant soit déconnecté de tout autre circuit électronique.

Les candidats pensent peu souvent à utiliser le multimètre pour mesurer une résistance.

L'oscilloscope

L'utilisation d'un oscilloscope était nécessaire dans la majorité des sujets donnés cette année : la maîtrise de cet appareil est cruciale pour réussir l'épreuve de TP.

Une partie significative des candidats a encore des difficultés importantes pour utiliser un oscilloscope numérique. Le jury considère que **les candidats devraient connaître parfaitement le principe des réglages de base** : réglage des bases de temps et de tension, choix du couplage continu ou alternatif (modes <DC> et <AC>), réglage du déclenchement (<trigger>). Il est par ailleurs nécessaire de connaître le principe d'utilisation des modes marche/arrêt (<Run/Stop>), addition ou soustraction de deux signaux, mode XY, mesures avec des curseurs ou affichage de mesures (tension, fréquence, phase, etc.) effectuées par l'oscilloscope. Le jury attend du candidat qu'il connaisse le principe de ces réglages, et qu'il pense à les utiliser lorsque cela est pertinent. Si le signal n'apparaît pas facilement après des réglages rapides, il est indispensable de se poser et de réfléchir à ce que l'on souhaite observer : sur quelle plage de temps, à quelle fréquence, quelle amplitude du signal, etc.

Le principe des fonctions plus évoluées : mode <Single> (ou <monocoup>), mode de défilement <Roll>, calcul de la transformée de Fourier <FFT>) doit également être connu des candidats. En particulier, pour la FFT, les candidats doivent savoir régler le signal principal et la gamme de représentation de la FFT pour obtenir des fréquences précises. Quand il n'est pas connu du candidat, l'accès à ces fonctions évoluées sur les oscilloscopes mis à disposition est expliqué par les examinateurs, ou encore via une notice simplifiée de l'oscilloscope.

Composants réels

Les candidats doivent être conscients que les composants réels (bobines, condensateurs, ...) et les appareils électroniques (générateurs de basses fréquences, oscilloscopes, ...) ont un comportement plus complexe que celui des modèles idéaux. En particulier, les entrées des oscilloscopes sont

souvent associées à des capacités parasites, les bobines réelles ont une résistance qui n'est pas forcément négligeable, ...

Il est indispensable de savoir tracer la caractéristique intensité-tension d'un dipôle en courant continu.

La mise en œuvre d'un circuit avec amplificateur opérationnel donne presque systématiquement lieu à des problèmes de masse, alors même que les règles de connexion sont clairement précisées dans le sujet et rappelées à l'oral.

Diagramme de Bode

Il faut savoir tracer le diagramme de Bode, qui contient le diagramme en gain et en phase, avec les bonnes unités et les bons axes.

Câble coaxial

La propagation d'une onde électrique dans un câble coaxial est mal maîtrisée. De trop nombreux candidats semblent s'étonner qu'un GBF relié à un dipôle par un simple câble coaxial puisse constituer un circuit fermé.

Sécurité électrique

Malgré l'insistance des nouveaux programmes sur la prévention des risques et notamment du risque électrique, de nombreux candidats n'ont aucune idée des gammes de courant et de tension pour lesquelles existe un risque électrique.

IV. 2. Optique

Le jury rappelle que pour réaliser une expérience d'optique satisfaisante, qu'il s'agisse d'optique géométrique ou ondulatoire, il est essentiel de **soigner l'alignement** et le centrage des différents éléments. Tous les éléments doivent être fixés de manière correcte. Il faut notamment faire passer les faisceaux lumineux par le centre des lentilles pour respecter les conditions de Gauss. Afin de limiter les aberrations, celles-ci doivent être orientées perpendiculairement au faisceau incident.

Par ailleurs, le jury a noté que de nombreux candidats ne maîtrisaient pas les principes de collimation des faisceaux. Un candidat doit savoir vérifier rapidement si le faisceau est convergent, divergent ou semble collimaté.

La réalisation de montages d'optique géométrique simples pose de nombreux problèmes. Le jury regrette le manque d'entraînement manifeste de nombreux candidats pour lesquels la formation des images se limite à la réalisation du montage dit 4f. Le jury attend des candidats qu'ils puissent choisir la focale d'une lentille ou la position de l'écran et de la lentille pour, par exemple, augmenter ou diminuer la taille de l'image, **sans se référer à un calcul**. De même, le grandissement devrait être systématiquement **mesuré** plutôt que calculé à partir des distances lentille—objet—écran et de la focale, par exemple, en supposant la lentille idéale.

Peu de candidats pensent à utiliser une lentille ou à changer un grandissement pour augmenter le flux lumineux sur un capteur et donc son signal.

Les candidats doivent également connaître les caractéristiques principales des lasers et des diodes électroluminescentes, et savoir les utiliser en toute sécurité.

Les expériences de polarisation de la lumière ont été sources de nombreuses confusions.

Le protocole de réglage d'un interféromètre de Michelson en lame d'air éclairé par une source étendue est exigible et il est donc attendu des candidats que celui-ci puisse être effectué en toute autonomie.

L'usage d'un miroir pour dévier un faisceau (par exemple pour le projeter à l'infini et vérifier qu'il est collimaté) n'est pas connu.

IV. 3. Électromagnétisme

Le phénomène d'induction est souvent source de confusion pour les candidats, notamment entre les lois de Lenz et de Faraday.

Les notions d'inductance propre et mutuelle sont trop souvent des concepts flous pour les candidats. Il est indispensable de connaître leur définition, comment les modéliser dans un circuit électrique et comment déterminer leur valeur expérimentalement.

IV. 4. Mécanique et mécanique des fluides

Les mesures à la règle ou au dynamomètre ne sont pas maîtrisés par un tiers des candidats.

Évaluer le nombre de Reynolds est toujours utile pour interpréter les résultats en mécanique des fluides.

IV. 5. Thermodynamique

Les candidats doivent savoir se poser la question de l'étendue spatiale d'un capteur de température et développer leur protocole expérimental en conséquence.

Une majorité de candidats a été incapable d'obtenir la pression à partir d'un capteur de pression qui délivre une tension, et de la sensibilité du capteur, malgré la simplicité du calcul. La notion de décalage du zéro (« offset ») est largement ignorée.

IV. 6. Ondes

Les notions des champs (surpression, vitesse, densité) associés à une onde sonore et les liens entre ces grandeurs sont mal maîtrisées par une partie significative des candidats.

La majorité des candidats n'arrive pas à expliquer si la vitesse de l'onde qu'ils mesurent est une mesure de vitesse de phase ou de groupe.

Il est essentiel de s'interroger sur la nature d'une onde avant d'en donner la célérité. De fréquentes confusions entre célérité du son et de la lumière ont été observées.

V. Exemples d'énoncés

Deux énoncés sont donnés dans les pages suivantes.

Sujet n°09

Ce sujet porte sur le bruit en électronique, c'est-à-dire à un signal aléatoire.

Les caractéristiques du matériel disponible sont données en partie II.

Le (la) candidat(e) devra décrire le protocole expérimental choisi et présenter ses résultats de manière claire, en les interprétant. Il (elle) discutera les incertitudes de mesure.

I. Mesures

I.1. Générateur de bruit

1. Caractéristique de la diode Zener.

En appliquant une tension comprise entre -20 V et $+20\text{ V}$ à la diode Zener en série avec une résistance $R = 1\text{ k}\Omega$, déterminer et tracer la caractéristique courant-tension de la diode Zener. On utilisera des tensions continues.

Définir et déterminer deux tensions seuils. La tension seuil négative est appelée «tension Zener».

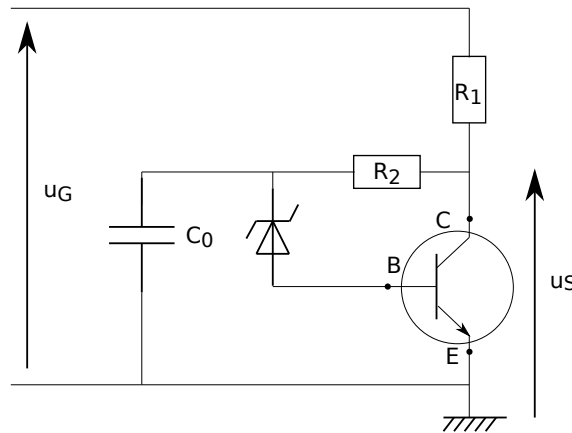


FIGURE 1 – Schéma électrique du générateur de bruit. Les valeurs des composants sont $R_1 = 10\text{ k}\Omega$, $R_2 = 100\text{ k}\Omega$ et $C_0 = 1\text{ }\mu\text{F}$. Le point C du transistor est le collecteur, B la base et E l'émetteur.

2. Générateur de bruit. Mettre en place le circuit électrique de la figure 1.

Appliquer une tension continue $u_G = 25\text{ V}$. Visualiser le signal à l'oscilloscope, sauvegarder l'écran en `.png` et l'imprimer.

Appliquer une tension continue u_G entre 0 et 35 V. Mesurer la valeur moyenne de u_S notée $\langle u_S \rangle$, ainsi que l'écart-type de u_S , c'est-à-dire $\sqrt{\langle (u_S - \langle u_S \rangle)^2 \rangle}$, où $\langle . \rangle$

désigne la valeur moyenne. Tracer ces valeurs en fonction de u_G , et proposer des ajustements pour certaines parties des courbes.

I.2. Circuit RLC

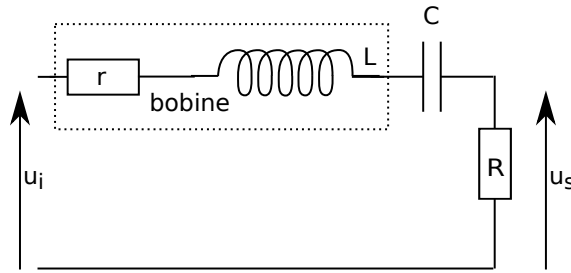


FIGURE 2 – Les valeurs des composants sont $R = 50 \, \Omega$ et $C = 1 \, \mu\text{F}$. Le barreau de fer doit être placé au centre de la bobine (cette bobine avec barreau de fer peut être modélisée par une inductance L en série avec une résistance r). u_i est la tension d'entrée, à imposer, et u_s est la tension de sortie.

3. Diagramme de Bode. Mettre en place le circuit de la figure 2. Tracer le diagramme de Bode en amplitude et en phase.

En déduire la fréquence de résonance f_0 , ainsi que la bande passante à $-3 \, \text{dB}$ (c'est-à-dire l'intervalle Δf dans lequel l'amplitude est supérieure à $1/\sqrt{2}$ fois l'amplitude maximale).

Déterminer l'inductance L et la résistance interne r de la bobine avec barreau de fer, à partir du diagramme de Bode. Vérifier l'accord entre le diagramme de Bode mesuré (en amplitude et en phase) et les courbes théoriques attendues avec ces valeurs de L et r .

4. Mesure de la résonance avec du bruit.

Imposer en entrée (u_i) une tension qui est un bruit de bande passante $5 \, \text{kHz}$, sans décalage du zéro et de valeur pic à pic $V_{pp} = 10 \, \text{V}$. Tracer la transformée de Fourier à l'oscilloscope, et vérifier la fréquence de coupure. Enregistrer et imprimer l'écran de l'oscilloscope

Tracer (et imprimer) la transformée de Fourier du signal de sortie u_s . En déduire la fréquence de résonance f_0 , ainsi que la bande passante à $-3 \, \text{dB}$ Δf .

Tracer f_0 et Δf en fonction de V_{pp} , pour $V_{pp} \in [1; 10] \, \text{V}$

I.3. Circuit excitable

5. Réponse à une impulsion.

Monter le circuit de la figure 3. Bien relier les masses entre elles, en particulier celle de l'amplificateur opérationnel (A.O.).

Appliquer en entrée u_i des impulsions de fréquence $10 \, \text{Hz}$, de largeur $100 \, \mu\text{s}$. La tension varie entre $0 \, \text{V}$ et V_{pp} . Déterminer la valeur minimale de V_{pp} pour laquelle u_s devient non-nulle. Déterminer les caractéristiques de la tension u_s (lorsqu'elle devient non-nulle). Faire une copie de l'écran de l'oscilloscope (en .png), et l'imprimer.

Que se passe-t-il si on augmente u_i au-delà de cette valeur minimale? Justifier votre réponse avec des données expérimentales.

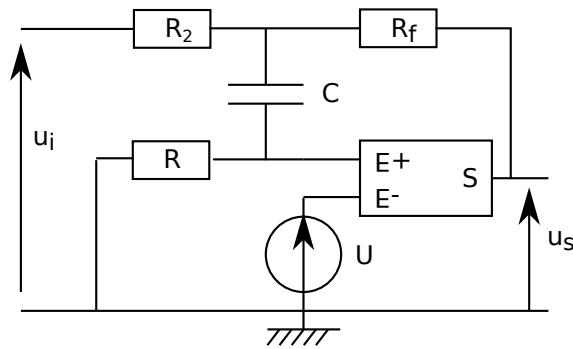


FIGURE 3 – Les valeurs des composants sont $R = 50 \text{ k}\Omega$, $R_f = 50 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 15 \text{ k}\Omega$, $C = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$ et $U = 0,45 \text{ V}$. u_i est la tension d'entrée, à imposer, et u_s est la tension de sortie.

6. Résonance cohérente.

Imposer en entrée (u_i) une tension qui est un bruit de bande passante 5 kHz, sans décalage du zéro et de valeur pic à pic $V_{pp} = 3 \text{ V}$.

Tracer la transformée de Fourier du signal de sortie u_s . En déduire la fréquence de résonance f_0 , ainsi que la largeur à mi-hauteur Δf .

Faire de même pour $V_{pp} \in [1; 7] \text{ V}$.

Tracer f_0 , Δf et $\Delta f/f_0$ en fonction de V_{pp} .

II. Caractéristiques du matériel utilisé

Oscilloscope.

L'oscilloscope fourni possède notamment les fonctions suivantes :

- Mode monocoup (*Single*)
- Transformée de Fourier (*Math*)
- Curseurs de mesure (*Cursors*)
- Possibilité de mesures automatiques (*Meas*), dont amplitude, phase, fréquence
- Sauvegarde de l'écran sur clé USB, notamment sous forme de tableau de données .csv et d'image .png (*Save/Recall*)

Ces fonctions et beaucoup d'autres sont décrites dans la notice, fournie.

Générateur de basse fréquence. Keysight, ENSP 4499

Il faut appuyer sur le numéro de la voie puis sur "output on" pour obtenir un signal. Le choix de la forme du signal se fait grâce au bouton "Waveforms", et les caractéristiques se règlent grâce au bouton "Parameters".

Traduction en anglais. Impulsion : pulse, noise : bruit, bande passante : bandwidth, décalage du zéro : offset, largeur : width, voie : channel, sortie : output.

Plaque d'essai.

Les trous déjà connectés sur les plaques d'essai sont représentés par des droites épaisses en figure 4. Il faut que les pattes des composants soient suffisamment enfoncés pour que ceux-ci soient connectés.

Résistances. Les valeurs des résistances sont indiquées par des étiquettes bleues. La tolérance, c'est-à-dire l'incertitude sur la valeur affichée, est de 1% pour les résistances fournies.

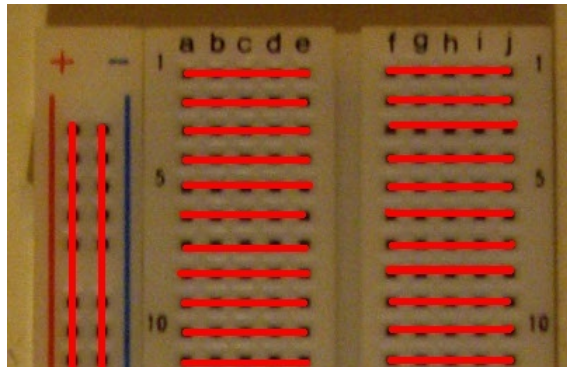


FIGURE 4 – Connexions d’une plaque d’essai. Les trous connectés sont reliés par une droite épaisse. Source : <http://www.elektronique.fr/montages/diviseur-tension/utiliser-plaque-essai.php>

Diode Zener. Le schéma et la convention d’orientation de la diode Zener sont données en figure 5a. Sur le composant, la cathode est indiquée par l’anneau noir (figure 5b).

Bobine. Les données écrites sur la bobine correspondent à la bobine sans le barreau de fer.

Amplificateur opérationnel. Voir figure 5d.

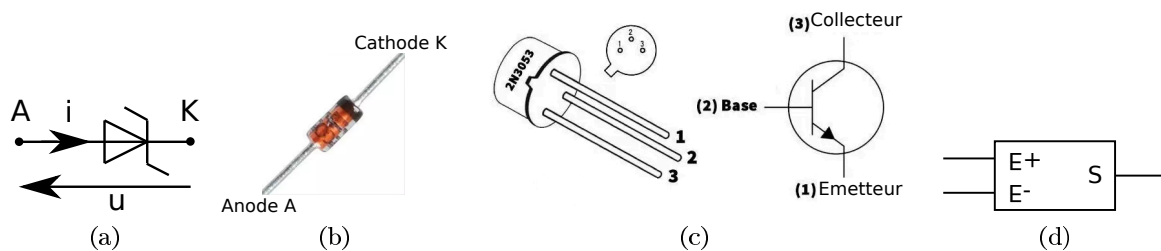


FIGURE 5 – (a) : symbole et convention d’orientation de la diode Zener. A est l’anode, et K la cathode (b) : photo d’une diode Zener. L’anneau noir indique la cathode. (c) : transistor 2N3053 : connections et schéma. L’émetteur est le connecteur le plus proche du picot, la base est au milieu. Adapté de <https://makerselectronics.com/product/2n3053-general-purpose-npn-transistor-to-39>. (d) : schéma d’un amplificateur opérationnel (AO). Les entrées E+ et E-, ainsi que la sortie S sont représentés. **Avant tout branchement, il faut alimenter l’AO en ± 12 V sur les bornes non indiquées sur ce schéma, mais indiquées sur la plaque.**

Câbles BNC. L’utilisation de câbles BNC diminue souvent le bruit dans un circuit.

Notices. Une notice est fournie pour l’oscilloscope, les multimètres, le générateur de basses fréquences et les alimentations stabilisées.

III. Matériel

- alimentation stabilisée ENSP 1977
- alimentation stabilisée ENSP 4378
- alimentation symétrique ENSP 3661
- boîte à décade de résistance ENSP 4250
- oscillo DSOX2002 ENSP 3760
- GBF Keysight ENSP 4499
- multimètres ENSP 4339 et 4340
- condensateurs banane 1 μF et 0,1 μF
- 1 boîte AOIP 10 Ω 2 boîtes 10 k Ω
- amplificateur opérationnel TL081 ENSP 3474
- bobine avec noyau de fer ENSP 4433
- diode Zener
- 1 condensateur 1 μF
- résistances de 1 k Ω à 10 M Ω
- 1 transistor 2N3053
- plaque d'essai
- câbles pour plaque d'essai
- 12 câbles bananes
- câbles plaque d'essai vers banane
- 2 T BNC, 1 raccord droit
- 3 câble BNC/BNC
- 4 câbles BNC/banane
- 1 thermomètre ENSP 1257

Sujet 2

Dans ce TP, nous allons nous intéresser à une cellule photovoltaïque.

Pour chacune des questions, il est demandé de dessiner un schéma du circuit réalisé, ainsi qu'un graphe expérimental relatif à vos mesures.

1— Dans un premier temps, on s'intéresse à la source de lumière. Mesurez la puissance lumineuse par unité de surface en fonction de la distance à la lampe dans sa direction d'émission. Que peut-on en déduire ?

2— On souhaite maintenant caractériser la cellule photovoltaïque. Proposez un protocole expérimental pour tracer la caractéristique courant-tension de la cellule. Tracez les courbes correspondantes lorsque la cellule se trouve au point où elle reçoit une puissance lumineuse de $P_r \approx 1\,000\text{W/m}^2$ et au point où elle reçoit $P_r/2$. Commentez les courbes obtenues.

3— Tracez la caractéristique puissance-charge de la cellule lorsqu'elle débite dans une charge résistive. On placera la cellule au point où elle reçoit une puissance lumineuse de $P_r \approx 1\,000\text{W/m}^2$ et au point où elle reçoit $P_r/2$. Commentez les courbes obtenues.

4— Le rendement d'une cellule est généralement donné pour une puissance lumineuse de $P_r \approx 1\,000\text{W/m}^2$. Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente. Évaluez le rendement de la cellule photovoltaïque. On donne une estimation de la surface efficace pour la conversion photovoltaïque de cette cellule d'environ $8 \times 7\text{ cm}^2$.

5— On souhaite maintenant utiliser l'énergie produite par la cellule solaire pour la stocker dans un condensateur. Sur la plaquette à disposition, le support du condensateur possède un interrupteur, qui lui permet soit de se charger sur la cellule solaire soit de se décharger dans un moteur.

Réaliser le câblage pour charger et décharger le condensateur comme décrit au-dessus **EN FAISANT ATTENTION À LA POLARITÉ DES BORNES DU CONDENSATEUR CHIMIQUE**. Mesurer le rendement énergétique du moteur pour le levage d'une masse de 20g.

6— Quelle est la puissance mécanique fournie par le moteur ?

Thermopile d'après Moll 1000824

Instructions d'utilisation

01/24 SP/UD



- 1 Orifice d'entrée (entonnoir de mesure)
- 2 Manche
- 3 Boîtier métallique
- 4 Sortie de mesure (douilles de sécurité de 4 mm)

1. Description

La pile thermoélectrique est un appareil ultra-sensible de mesure de rayonnement (par ex. rayonnement thermique d'un corps noir, réflexion du rayonnement thermique de grande longueur d'onde).

Dans un boîtier métallique avec entonnoir poli, la pile thermoélectrique contient une surface noire de 15 mm de diamètre à laquelle sont reliés 17 thermocouples. Le rayonnement thermique incident produit sur les thermocouples une tension thermique U proportionnelle à l'intensité du rayonnement thermique.

2. Caractéristiques techniques

Sensibilité :	env. 0,14 $\mu\text{V}/\mu\text{W}$
Durée de réglage :	40 s pour 95% de la valeur mesurée
Surface noire :	15 mm $\varnothing$
Résistance interne :	1 Ω
Connexions :	deux douilles de sécurité de 4 mm
Dimensions :	94 mm x 40 mm $\varnothing$
Manche :	10 mm $\varnothing$
Masse :	env. 200 g