

**Concours : Agrégation externe**

**Section : Physique-chimie**

**Option : Physique**

**Session 2021**

**Rapport de jury présenté par :  
Laurence Rezeau,  
Présidente du jury**

## Table des matières

Avant-propos .....	3
Réglementation de la session 2022 .....	5
Informations statistiques .....	6
Épreuves d'admissibilité .....	8
Rapport sur la composition de physique 2021 .....	9
Rapport sur la composition de chimie 2021 .....	14
Rapport sur le problème de physique 2021 .....	18
Épreuves d'admission.....	21
Rapport sur la leçon de physique 2021.....	22
Rapport sur la leçon de chimie 2021 .....	26
Rapport sur le montage de physique 2021 .....	29
Sujets des épreuves orales de la session 2021 .....	38
Leçons de physique 2021 .....	39
Leçons de chimie 2021 .....	40
Montages 2021 .....	40
Sujets des épreuves orales de la session 2022 .....	42
Leçons de physique 2022 .....	43
Leçons de chimie 2022 .....	43
Montages 2022.....	45

## Avant-propos

Le concours de l'agrégation a pour objectif de recruter des enseignants possédant une excellente maîtrise à la fois disciplinaire, didactique et pédagogique ainsi que de très bonnes aptitudes à communiquer.

Le nombre de postes ouverts au concours 2021 de l'agrégation externe de physique-chimie option physique, 78, est stable depuis 3 ans. Après délibération le jury a estimé que le niveau des candidats était suffisant pour pourvoir l'ensemble des postes.

Le nombre de candidats ayant composé aux trois épreuves écrites s'établit en 2021 à 463, valeur modérément inférieure à celle de l'année précédente (478). Les 150 candidats admissibles se partagent entre étudiants (54,7% des admissibles) et professeurs stagiaires, certifiés ou professeurs de lycée professionnel (38,7%), environ 6,7% des admissibles étant sans emploi ou hors de la fonction publique. 83% des étudiants admissibles ont été admis alors que c'est le cas de seulement 12 % environ des professeurs déjà en activité et admissibles. A cette session encore, les candidats étudiants réussissent beaucoup mieux que ceux qui sont déjà enseignants. Le concours permet donc bien de recruter de nouveaux enseignants et ne joue un rôle de promotion professionnelle d'enseignants en poste que pour une minorité d'admis (9 %).

La proportion de femmes parmi les admis est de 27 %, légèrement supérieure à la proportion de femmes admissibles (21 %). La proportion de femmes chez les candidats ayant présenté les 3 épreuves d'écrit est de 23 %, chiffre comparable à ceux des années précédentes (23% en 2019 et 27 % en 2020). La proportion de candidates reste donc relativement stable, mais le concours n'induit pas de biais de sélection significatif.

Le jury a eu le plaisir d'évaluer, durant les épreuves écrites et orales, des prestations d'excellente qualité. 23 candidats ont obtenu une moyenne générale supérieure à 15/20.

Une modification importante des épreuves orales était intervenue à la session 2019 : lors de la préparation des trois épreuves, les candidats ont eu la possibilité de consulter, en plus des ouvrages de la bibliothèque, toute ressource disponible sur internet en accès libre (hors sites avec accès restreint). L'impact de cette mesure n'avait pas pleinement été mesuré en 2020, où toute autre ressource était supprimée. En 2021, on a pu constater un recours à l'utilisation d'internet que l'on peut qualifier d'exagéré. En effet le jury a observé que certains candidats n'utilisaient plus aucun livre, ou utilisaient des copies de livres qu'ils avaient déposées sur un site personnel, alors que le livre était présent en bibliothèque. Plus préoccupant encore, l'utilisation de sites personnels, qui est autorisée dans le cas où elle ne nécessite pas d'identification de connexion, a dépassé le raisonnable, certains candidats ayant déposé sur ces sites des informations très spécifiques et détaillées et des contenus directement mobilisables durant les épreuves : plans de leçons, photos de montages avec instructions de câblage ou même vidéos expliquant ce qu'il faut faire dans le cadre d'une expérience donnée. Cette utilisation d'internet est problématique pour plusieurs raisons. Tout d'abord si l'accès à internet a été ouvert c'est pour mettre les candidats dans les conditions dans lesquelles les enseignants travaillent, en leur permettant d'accéder à des ressources photographiques, vidéos ou animations qu'on ne trouve pas ailleurs. L'objectif n'était pas de rendre disponible un espace de stockage pour des plans ou des protocoles prêts à servir le jour de l'épreuve.

Le concours de l'agrégation a pour objectif de recruter les futurs enseignants les meilleurs possibles, mais il n'est pas une fin en soi. Donc bien « préparer » ne signifie pas bien préparer le concours, mais bien se préparer à son futur métier d'enseignant, lequel devra toujours adapter son cours aux changements de programmes, aux variations du public et aux circonstances du moment tout en ayant une vision claire des objectifs pédagogiques qui sont les siens et des priorités du message qu'il veut faire passer à ses élèves. La conséquence de ce constat est qu'il ne suffit pas d'avoir accès à un réservoir encyclopédique de documents prêts à servir en épreuve pour faire une bonne présentation : le jury a pu assister à des prestations catastrophiques préparées de cette façon, comme à des présentations satisfaisantes. La clef du succès est donc de présenter des contenus que l'on maîtrise et que l'on a pu s'approprier pendant la préparation au concours.

L'utilisation, durant le temps de préparation de l'épreuve, de documents personnels préparés à cette unique fin pose un évident problème éthique mais questionne également la nature de la préparation au

concours qui ne saurait mettre les outils du XXI<sup>ème</sup> siècle au service d'un bachotage modernisé. Les compétences « faire partager les valeurs de la République » ou « agir selon des principes éthiques » sont plus que des objets formels d'interrogation posés en fin de leçon de chimie, elles doivent guider le comportement des futurs professeurs que sont les candidats au concours de l'agrégation. Le jury ne peut que les inviter à se poser les bonnes questions pendant leur(s) année(s) de préparation au concours.

En conséquence des observations qui viennent d'être faites, le jury a décidé de modifier de manière significative les modalités de déroulement des épreuves orales. Le détail en est donné dans les rubriques de ce document, mais on peut en préciser ici les grandes lignes. Tout d'abord l'accès à internet sera totalement supprimé pour l'épreuve de montage de physique. L'accès restera ouvert pour les deux épreuves de leçons, mais le jury autorisera aussi les candidats à apporter les documents qu'ils jugent nécessaires à leur préparation (dans la limite d'un volume raisonnable). Comme en 2020, les titres de leçons de physique ne seront pas diffusés à l'avance et la même règle s'appliquera pour les leçons de chimie. Enfin, la physique et la chimie étant des sciences expérimentales, les candidats seront incités très fortement à présenter au moins une expérience en leçon de physique comme en leçon de chimie.

Le programme de la session 2022, que l'on trouvera sur le site [devenirenseignant.gouv.fr](https://devenirenseignant.gouv.fr), s'inscrit dans la continuité de celui de la session 2021. En complément de ce programme, les candidats trouveront dans les dernières pages de ce rapport les évolutions prévues pour les différentes épreuves ainsi que la liste des montages pour la session à venir. Les titres proposés sont souvent courts et ouverts, afin d'inciter les candidats à faire des choix raisonnés, car il faut le rappeler : en montage comme en leçon, il n'existe pas de modèle attendu pour chacun des sujets proposés, et l'originalité est appréciée lorsqu'elle est maîtrisée.

Il reste à recommander aux futurs candidats de lire attentivement ce rapport : il rassemble de précieux conseils donnés par le jury et constitue ainsi un des instruments de leur réussite. La plupart sont repris sur le site internet <https://agregation-physique.org/> qui doit constituer un outil de travail pendant l'année de préparation.

Laurence Rezeau  
Professeure à Sorbonne Université, Présidente du jury

## **Réglementation de la session 2022**

Les textes officiels régissant les concours du second degré sont consultables sur le site internet du ministère de l'éducation nationale, <https://www.devenirenseignant.gouv.fr>.

Les programmes et les modalités de la session 2022 de l'agrégation externe de physique-chimie option physique sont consultables sur ce même site.

## Informations statistiques

### COMPOSITION DU JURY

Le jury compte vingt-cinq membres (douze femmes et treize hommes) et rassemble un inspecteur général de l'éducation nationale, deux professeures des universités, une directrice de recherche CNRS, sept maîtres de conférences des universités, un chargé de recherche CNRS, un inspecteur territorial (IA-IPR), huit professeurs de chaire supérieure et quatre professeurs agrégés.

### POSTES ET CANDIDATS

78 places ont été mises au concours. Le tableau ci-dessous donne des informations générales relatives à la sélection progressive des candidats au cours des épreuves, les valeurs des trois années précédentes étant rappelées à titre de comparaison.

	2021	2020	2019	2018
Inscrits	1073	1069	1129	1352
Présents aux 3 épreuves (compris étrangers <sup>1</sup> )	463	478	515	507
<b>Admissibles</b>	<b>150</b>	<b>151</b>	<b>155</b>	<b>155</b>
Barre d'admissibilité	42,95/120	44,2/120	40,1/120	46,4/120
Moyenne générale du candidat classé premier	19,8/20	19,8/20	20/20	19,3/20
Moyenne générale du dernier candidat reçu	8,5/20	9,4/20	8,7/20	9,5/20
<b>Admis</b>	<b>78</b>	<b>78</b>	<b>78</b>	<b>72</b>

### ÉPREUVES ÉCRITES

Moyenne sur 20 du premier candidat admissible : 20,0 /20

Moyenne sur 20 du dernier candidat admissible : 7,2/20

Nature de l'épreuve écrite	Moyenne des candidats ayant composé	Moyenne des candidats français admissibles
Composition de physique	7,1/20	11,2/20
Composition de chimie	7,2/20	11,7/20
Problème de physique	5,7/20	9,8/20

### ÉPREUVES ORALES

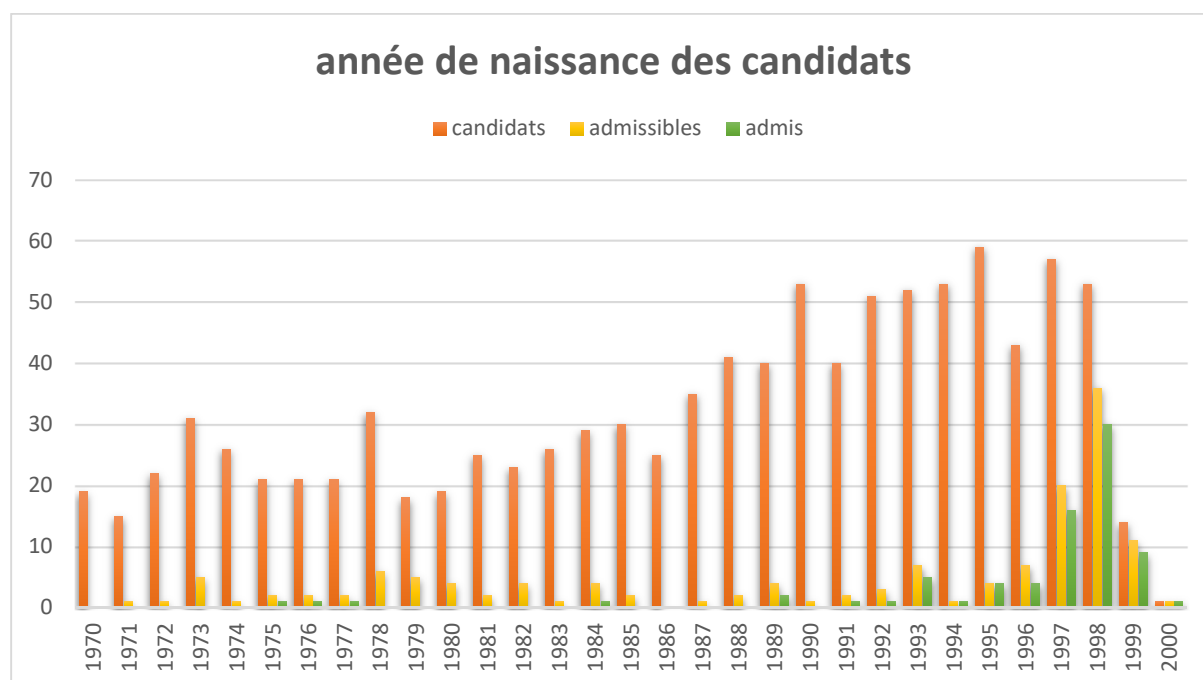
Nature de l'épreuve orale	Moyenne des candidats présents aux épreuves orales	Écart-type
Leçon de physique	9,9/20	5,6
Leçon de chimie	10,2/20	5,0
Montage de physique	9,9/20	4,7

<sup>1</sup> Les candidats à l'agrégation tunisiens et marocains composent le même écrit, ils ont un oral distinct.

Agrégation externe de physique-chimie option physique, session 2021

Nature de l'épreuve orale	Moyenne des candidats admis	Écart-type
Leçon de physique	13,2/20	4,8
Leçon de chimie	12,9/20	4,3
Montage de physique	12,5/20	3,9

**Répartition par date de naissance des candidats**



**Répartition par profession**

Profession	Nombre d'admissibles	Nombre d'admis
Étudiant	22	12
Élève d'une ENS*	60	54
Enseignants titulaires MEN	53	5
Enseignants stagiaires	2	1
Agents non titulaires MEN	3	1
Hors fonct. Publique/sans emploi	10	5

\* Elève d'une ENS doit être compris au sens inscrit dans une préparation à l'agrégation d'une ENS, pas au sens de normalien

**Répartition par sexe**

	Nombre de présents aux trois épreuves	Nombre d'admissibles	Nombre d'admis
Hommes	356 (77 %)	119 (79 %)	57 (73 %)
Femmes	107 (23 %)	31 (21 %)	21 (27 %)

## **Épreuves d'admissibilité**

Les épreuves se sont déroulées du 15 au 17 mars 2021.

L'intégralité des sujets des épreuves écrites d'admissibilité sont consultables sur le site internet du ministère de l'éducation nationale, « [devenirenseignant](#) ».



## Rapport sur la composition de physique 2021

### I. Présentation du sujet

La composition de 2021 portait sur la forme de la Terre.

#### Domaines de la physique abordés

Ce fil directeur permettait d'aborder différents domaines de la physique :

- l'optique géométrique ;
- la mécanique classique ;
- la statique des fluides ;
- la propagation des ondes ;
- l'optique ondulatoire ;
- l'électrostatique ;
- les interactions magnétiques.

#### Typologie des questions

Les questions pouvaient être posées de façon traditionnelle, le candidat étant alors guidé lors d'une réflexion globale au long cours. Mais d'autres interrogations étaient plus ouvertes, demandaient de la prise d'initiative et mettaient le candidat en situation de futur enseignant (ces questions étaient repérées dans le texte de la composition). Ce dernier devait alors mener une réflexion en autonomie, depuis l'analyse du problème jusqu'à la discussion de sa résolution. Une question était même contrefactuelle (il s'agissait de raisonner dans le cadre d'un modèle – la terre plate – afin de mieux le discuter).

#### Compétences mise en jeu

Il a été fait en sorte que le nombre de points attribués soit équitablement réparti entre les compétences de la démarche scientifique telle qu'elle est déclinée dans les programmes officiels de physique :

- *s'approprier* (rechercher, extraire et organiser l'information) ;
- *analyser* (formuler des hypothèses, proposer une stratégie, proposer un modèle, nommer les grandeurs physiques pertinentes, évaluer des ordres de grandeur) ;
- *réaliser* (mettre en œuvre la stratégie de résolution, effectuer des calculs nécessaires) ;
- *valider* (confronter le modèle aux résultats, confirmer ou infirmer une hypothèse, analyser les résultats de manière critique) ;

Bien entendu étaient aussi mobilisées

- la restitution de connaissance (sur laquelle s'appuie le discours scientifique) ;
- la communication écrite (présenter son raisonnement de manière synthétique et claire, organisée, cohérente et compréhensible en utilisant un vocabulaire scientifique adapté).

Le jury a été tout particulièrement attentif à la maîtrise de cette dernière compétence, cardinale pour l'enseignant.

#### Registres activés

La communication se faisait tout au long de la composition en activant, tour à tour, les différents registres qu'un physicien utilise pour communiquer :

- la langue (avec des phrases en français correctes) ;
- la manipulation mathématique littérale (en faisant attention à l'homogénéité des formules et en interrogeant les cas limites) ;
- les valeurs numériques (en prenant soin d'avoir présent à l'esprit la précision des grandeurs

physiques sous-jacentes, en traitant d'ordre de grandeur) ;

- les graphiques (en présentant de façon convenable ces derniers).

### **Outils mathématiques utilisés**

Il est bien évident que l'étude quantitative a nécessité la maîtrise des outils mathématiques habituels du physicien, notamment :

- le tracé des rayons lumineux ;
- l'intégration ;
- la manipulation des opérateurs différentiels ;
- le calcul utilisant les nombres complexes.

## **II. Remarques générales et conseils aux candidats**

### **Qualités et défauts des copies**

Le jury a eu le plaisir de lire un certain nombre de copies montrant une bonne maîtrise de la physique et des qualités pédagogiques remarquables : ce sont des copies bien présentées, bien argumentées, rigoureuses dans les calculs autant que dans la conduite des raisonnements. Mais le jury a également lu des copies dont le niveau, trop faible, ne paraissait pas correspondre à un candidat s'étant préparé à l'agrégation. On a pu noter des déficiences surprenantes dans la connaissance du cours, ainsi que dans la cohérence du propos.

Il est regrettable d'autre part que les compétences d'analyse du problème et surtout de validation des résultats soient si mal maîtrisées par les candidats (quand elles ne sont parfois tout simplement pas activées).

En ce qui concerne les méthodes classiques utilisées en physique, le jury tient à rappeler qu'avant de se lancer dans un bilan (force ou énergie), il est attendu que les candidats précisent, en plus du système étudié, le référentiel d'étude et sa nature galiléenne ou pas.

Du point de vue de la technicité mathématique, des problèmes récurrents de trigonométrie (mauvais triangles considérés, mauvaises relations trigonométriques utilisées, ignorance de la longueur d'un arc de cercle en fonction de l'angle sous-tendu etc.) ont été notés par le jury. Trop de copies comportent des vecteurs égalés à des scalaires. Des expressions non homogènes ne peuvent être tolérées.

Une présentation soignée et claire est une condition nécessaire de réussite d'une épreuve. Une expression correcte en français est également nécessaire (les candidats ne devraient pas utiliser la formulation « on a que » qui est incorrecte et n'apporte aucune information scientifique). Le jury a regretté que les candidats ne produisent pas assez de schémas pour illustrer leur propos ou appuyer leur raisonnement (règle et compas sont attendus, leur usage aussi!). Il s'agit pourtant d'un outil indispensable pour des enseignants de physique afin de visualiser la situation en repérant les grandeurs caractéristiques. Enfin, il faut rappeler que si un candidat ne répond pas explicitement à la question posée, le correcteur ne le fera pas pour lui, même si tous les éléments de la réponse sont sur la copie.

### **Conseils aux candidats**

Pour réussir cette épreuve, le jury conseille aux candidats de :

- bien lire l'énoncé avant de répondre à une question. Il est inutile de développer une longue démonstration si elle n'est pas demandée (par exemple établir des équations admises). À l'inverse, lorsque l'énoncé demande de « justifier » un fait, une simple paraphrase ou reformulation n'est pas une réponse acceptable ;
- éviter les incohérences dans leurs réponses d'une question à l'autre ;
- vérifier systématiquement l'homogénéité des expressions écrites et la cohérence mathématiques (en distinguant en particulier vecteur et scalaire, norme et projection) ;
- soigner les applications numériques (nombre de chiffres significatifs adapté, unités) et les

graphes ;

- s'exprimer dans un français clair et correct ;
- écrire lisiblement et présenter clairement les réponses.

Le jury a systématiquement sanctionné les copies qui n'avaient pas suivi ces conseils déjà donné précédemment. Dans le cas où la discussion scientifique s'appuie sur des documents, il faut donner du sens à l'étude de ces derniers et revenir sur eux dans le cadre de la validation (ou non) d'un résultat trouvé.

### III. Commentaires détaillés question par question

#### Question 1

Recopier la phrase de Platon ne constitue pas une explication suffisante. Il ne faut pas confondre les phases de la Lune et l'ombre de la Terre projetée sur la Lune lors d'une éclipse lunaire. Les copies ne présentaient malheureusement pas toujours des rayons du Soleil parallèles.

#### Question 2

La réponse à cette question était impossible sans schéma. Trop de candidats ont supposé que la Terre était plate pour répondre, contrairement aux consignes de l'énoncé. Il a été très rarement dit que la propagation de la lumière était supposée rectiligne (parfois il était écrit qu'il n'y avait pas d'effet mirage). On a vu – trop souvent – un angle alpha entre une droite et un arc de cercle.

À la fin de la réponse, il s'agissait de remarquer que la rotondité de la Terre imposait que la coque disparaisse avant le mât, afin de valider le raisonnement.

#### Question 3

Il est inutile d'approximer l'arc entre Syène et Alexandrie par un segment (puisqu'on obtient un résultat exact et simple avec la situation plus réaliste qui est mieux approchée par un arc de cercle). Dans ce type de question, une démarche clairement explicitée est attendue et non une recherche à tout prix du résultat!

La validation d'un résultat est impérative et appréciée. À ce sujet, les candidats confondent parfois précision et exactitude : la mesure d'Eratosthène n'est pas précise parce que son résultat est proche de la valeur mesurée aujourd'hui !

Dans le raisonnement contrefactuel (en supposant la Terre plate), il semble difficile de remettre en cause les hypothèses habituelles (mettre le Soleil proche de la Terre) pour la plupart des candidats.

#### Question 4

L'analogie gravitationnel de  $\epsilon_0$  n'est pas  $G$  mais  $-1/(4\pi G)$ . De nombreux problèmes de signe ont été notés: on voit trop souvent une force gravitationnelle répulsive !

#### Question 5

Pour l'application du théorème de Gauss, l'étude des symétries est parfois oubliée. Il faut également prêter attention à l'utilisation des invariances. Le vecteur champ gravitationnel dépend de  $\theta$  et  $\phi$ , c'est sa norme qui n'en dépend pas. Pour éviter cette chausse-trappe, il est préférable de commencer par l'étude des symétries puis des invariances. On rappelle que les plans de symétrie doivent contenir le point M considéré.

#### Question 6

Le jury a vu des forces d'inertie d'entraînement très étranges (tangentielle au sol). Il se demande s'il y a une confusion avec celle de Coriolis. La définition du poids est un incontournable du bagage scientifique, un agrégé ne peut confondre poids et force d'attraction gravitationnelle de la Terre.

Enfin, il faut définir correctement la direction verticale.

Des problèmes récurrents de technicité ont été notés, en particulier pour évaluer la norme de la somme de deux vecteurs non colinéaires. Le calcul de la norme étant rarement juste, certains candidats ne conservent qu'une unique composante!

#### Question 7

Les hypothèses qui fondent le modèle du pendule simple sont mal connues (il y a souvent une confusion avec les petits angles ou avec le modèle de l'oscillateur harmonique).

Certains candidats ne savent pas faire l'étude dynamique du pendule simple. La définition du système, du référentiel, et le bilan des forces ont été valorisés.

Certaines copies évoquent un référentiel galiléen sans dire lequel.

Le bilan des forces est nécessaire aussi quand on applique un théorème énergétique. La tension n'a pas pour norme celle du poids (hors équilibre). L'accélération de la masse ponctuelle n'est pas

seulement orthoradiale. Le jury rappelle qu'un repère est différent d'un référentiel.

**Question 8**

La conversion pulsation - période n'a pas toujours été correctement réalisée.

**Question 9**

L'évaluation des incertitudes n'est pas souvent traitée.

**Question 10**

La relation fondamentale de l'hydrostatique est parfois non connue.

Il était attendu un résultat général et non pas limité à un champ de pesanteur uniforme.

Très peu de candidats ont justifié que la surface libre devait être une isobare (équilibre mécanique).

Le lien entre gradient et différentielle d'une fonction scalaire est mal connu (pourtant essentiel à la démonstration attendue). Que dire des pressions vectorielles qui apparaissent dans certaines copies ?

**Question 11**

Une paraphrase de la question ne saurait être valorisée.

**Question 12**

Question rarement abordée, avec des fortunes variables : des problèmes de signe, l'oubli de la force d'inertie, des erreurs d'intégration, etc, sont apparus.

**Question 14**

La démonstration de la planéité de la trajectoire a été rarement faite correctement.

Attention aux candidats qui ont voulu utiliser la base de Frenet (rien ne dit que  $n$  est  $-u_r$ , sauf si on utilise que le mouvement est circulaire, mais dans ce cas on utilise qu'il est plan pour démontrer qu'il est plan...).

**Question 15**

On voit des applications sans unité!

**Question 16**

On rappelle que la diffraction est un phénomène ondulatoire qui ne concerne pas que la lumière.

Trop peu de candidats ont remarqué que l'ouverture angulaire était limitée par la diffraction (Airy).

Les copies manquent trop souvent de retour sur les données du document.

**Question 17**

Question non comprise par les candidats.

**Question 18**

Le jury a très rarement vu une validation qui était pourtant possible grâce aux données du document.

**Question 19**

L'expression de la densité volumique de courant est trop souvent fausse. La discussion des forces en jeu (certaines négligeables) a été valorisée.

Une loi physique doit toujours être au moins citée avant d'être employée.

**Question 20**

Les équations de Maxwell sont parfois non connues, cela a surpris le jury. La force de Lorentz comme fondement de l'électromagnétisme a été le plus souvent oubliée.

La détermination des équations de propagation a été globalement bien traitée malgré quelques manques d'honnêteté intellectuelle parfois de la part de certains candidats. Il est essentiel de faire preuve d'honnêteté sur des questions du type « montrer que ». Les falsifications de signes sont toujours mal perçues par les correcteurs.

Pour les conditions de propagation, il n'est pas nécessaire que  $k$  soit positif, mais seulement qu'il ait une partie réelle non nulle.

**Question 21**

Certains candidats ne savent pas ce que veut dire « dispersif ».

Il ne suffit pas de mentionner que la vitesse de groupe est inférieure à  $c$ , encore faut-il *a minima* préciser que l'information se déplace à la vitesse de groupe (bien que cela ne soit pas toujours vrai car  $v_g$  est la vitesse du maximum de l'enveloppe du paquet d'onde, pouvant être supérieur à  $c$ ).

**Question 22**

Cette question fut très souvent non comprise.

**Question 23**

La lecture du graphique fut souvent mal faite.

**Question 24**

Quand on évoque la cohérence en optique, il s'agit de spécifier de laquelle on parle.

Certains candidats ont parlé des photodiodes comme de sources lumineuses !

Les candidats n'ont pas toujours les bons ordres de grandeur pour caractériser la "précision" d'une horloge atomique (il vaut mieux s'abstenir de donner un ordre de grandeur si on ne le connaît pas : on trouve dans des copies des microsecondes ou des nanosecondes...). On pouvait invoquer la stabilité

Agrégation externe de physique-chimie option physique, session 2021

de l'horloge atomique.

**Question 25**

La formule de Fresnel des interférences était parfois non connue.

La définition d'une période pour une fonction qui ne dépend pas du temps pose d'énormes problèmes.

**Question 26**

Une détermination expérimentale d'une grandeur ne saurait se contenter de l'utilisation d'un seul couple de valeurs. Les copies présentent trop peu de commentaires : trouver  $g = 9,71 \text{ m/s}^2$  et ne pas comparer cette valeur à  $9,81 \text{ m/s}^2$  à Paris.

**Question 27**

Le jury a vu trop de schémas illisibles. Il faut les réaliser soit à la règle soit au compas !

**Question 28**

Il faut clairement exposer les lois ou propriétés utilisées : ici le principe de superposition.

Trop peu de schémas permettant de voir la géométrie du problème ont été produits.

**Question 29**

Trop peu de calculs menés à terme sur cette question.

## Rapport sur la composition de chimie 2021

Le rapport de jury est rédigé dans l'objectif d'aider les candidats à mieux s'approprier les exigences de l'épreuve de composition de chimie. Sa lecture doit leur permettre d'adapter leur travail de préparation au concours. Le jury recommande aux candidats de consulter les rapports des années précédentes à l'adresse suivante : <http://agregation-physique.org>.

Le sujet s'intitule « Eau propre et assainissement » et est divisé en trois parties. La première partie traite du dessalement de l'eau de mer à travers notamment l'étude du phénomène d'osmose inverse (thermodynamique), des problématiques d'entartrage associées (étude des équilibres en solution aqueuse, solubilité et acide-base notamment) et d'une question concrète présentée sous la forme d'un problème ouvert (bilan thermique pour connaître la température finale d'un verre d'eau après fusion de quatre glaçons). Dans la deuxième partie, le contrôle de la qualité de l'eau est abordé, plus spécifiquement sous l'angle de la pollution aux ions nitrates et nitrites et d'une pathologie associée : la méthémoglobinémie. Cette partie est l'occasion d'aborder des questions portant sur des domaines variés : équilibres d'oxydo-réduction, diagrammes potentiel-pH, spectroscopies (UV-visible, RMN et IR), et structures électroniques des molécules et des complexes. Enfin, la troisième partie se concentre sur la synthèse d'un herbicide, le métolachlore, et montre l'intérêt du recours à la synthèse stéréosélective des isomères de configuration S pour minimiser l'épandage de stéréoisomères R, inactifs, et ainsi contribuer à une chimie plus respectueuse de l'environnement. Elle interroge des notions fondamentales de chimie organique à la fois d'un point de vue théorique (définitions, mécanismes réactionnels, analyse de schémas de synthèse, catalyse organométallique ...) et expérimental (analyse d'une fiche de sécurité, estimation d'une production horaire industrielle...).

Les trois parties sont indépendantes et ne sont pas à traiter obligatoirement dans l'ordre de l'énoncé. Elles permettent d'aborder des domaines variés de la chimie (représentation de Lewis, thermodynamique, oxydoréduction, chimie quantique, chimie organique etc.). Au sein de chacune des parties, les sous-parties et certaines questions sont également indépendantes les unes des autres. Le sujet contient des questions classiques (énoncé de définitions, raisonnements classiques etc.), s'appuyant sur les connaissances exigibles des programmes de lycée et de classes préparatoires aux grandes écoles. Deux questions ouvertes, sont proposées dans ce sujet. Ces questions, fortement valorisées lors de la correction (environ 15 % du barème) sont l'occasion pour le candidat de montrer ses capacités à prendre des initiatives, mobiliser les informations disponibles pour élaborer une démarche de résolution, et la communiquer à l'écrit. Le jury y évalue les compétences de la démarche scientifique définies dans les référentiels de sections de techniciens supérieurs ainsi que le programmes de physique-chimie du lycée général et technologique et des classes préparatoires aux grandes écoles.

### Remarques générales

Le jury a observé de très bonnes copies de candidats qui maîtrisent aussi bien les concepts que les calculs qui accompagnent la résolution de certaines questions ; le jury note également la présence de copies de niveau très inférieur aux exigences du concours.

Le jury note à nouveau la présence de fautes de syntaxe et/ou de grammaire dans de trop nombreuses copies et rappelle que les candidats, futurs enseignants, doivent bien maîtriser la langue française. Ainsi les réponses aux questions doivent être rédigées, non seulement avec rigueur, mais également avec soin et clarté. Les candidats doivent avoir conscience que la capacité à raisonner et argumenter de manière soignée et concise en s'appuyant sur un vocabulaire de chimie rigoureux est une qualité importante pour réussir la composition.

Partie 1 : Dessalement de l'eau de mer

#### A/ Le phénomène d'osmose inverse

**Question 1** : la famille des alcalino-terreux est parfois désignée de manière très approximative. Une justification fondée sur la stabilité de la configuration électronique des cations  $X^{2+}$  est attendue.

**Question 2** : les candidats peuvent pour cette question soit partir de la configuration électronique et



Agrégation externe de physique-chimie option physique, session 2021

faire le lien avec la place de l'élément dans la classification, soit l'inverse. Le jury déplore des explications souvent floues sur cette question.

**Question 3** : question ouverte qui permet d'évaluer le sens pratique des candidats face à la contrainte de précision sur la fraction massique en KCl présentée dans l'énoncé. La détermination de la masse à peser a posé des difficultés aux candidats. Des protocoles variés (par dissolution, par pesée) ont été valorisés.

**Question 4** : le jury tient à préciser la différence entre mesure conductimétrique et potentiométrique et à souligner que c'est un principe et non un objectif qui est demandé dans cette question. Le principe de fonctionnement d'un conductimètre, comme des autres appareils de mesure usuels du laboratoire sont attendus des candidats.

**Question 5** : question relativement mal traitée car peu de candidats posent comme hypothèse l'étude d'une eau de mer de salinité  $35 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ , ce qui permet ensuite de poser  $\sigma_{\text{eau de mer}} = \sigma_{\text{réf}}$ .

**Questions 6 et 7** : l'état standard est mal maîtrisé des candidats. La pression standard est fixée à  $P^\circ = 1 \text{ bar}$ , et non pas  $1 \text{ atm}$ , comme le jury a pu le lire dans de nombreuses copies. Les candidats ajoutent fréquemment des conditions de température ou de concentration.

**Question 8** : le jury déplore quelques démonstrations manquant d'honnêteté scientifique sur cette question. Il convient de préciser explicitement l'état d'équilibre du système pour justifier l'égalité des potentiels chimiques dans chaque compartiment.

**Question 9** : le jury rappelle que le chlorure de sodium est très soluble en solution aqueuse et s'étonne que plusieurs candidats utilisent la notation  $[\text{NaCl}]$ . Des confusions entre fractions molaires et massiques sont fréquemment commises.

**Question 10** : question peu traitée ou aboutissant à des valeurs numériques erronées, souvent par souci d'unités. Seuls les commentaires argumentés (par comparaison à des ordres de grandeurs cohérents par exemple) ont été acceptés.

## B/ Contrôle de l'entartrage

**Questions 11 à 13** : questions souvent traitées avec succès.

**Question 14** : la construction d'un diagramme de prédominance acido-basique permet une argumentation précise et efficace pour cette question.

**Question 15** : le jury déplore des réponses souvent peu claires et des raisonnements parfois difficiles à suivre sur cette question. Le recours à l'écriture des équations de réactions mises en jeu permet de clarifier considérablement les réponses.

**Questions 16 et 17** : le jury rappelle qu'en solution aqueuse, le pH se définit par  $pH = -\log(a(\text{H}_3\text{O}^+)) = -\log\left(\frac{\gamma(\text{H}_3\text{O}^+) \times [\text{H}_3\text{O}^+]}{c^\circ}\right)$ . Le coefficient d'activité des ions est donc inclus dans la définition du pH. La relation présentée dans l'énoncé ne comporte aucune erreur et le jury déplore le manque d'honnêteté scientifique manifeste de certains candidats dans son établissement : certains ont obtenu une expression différente de celle de l'énoncé et ont fait semblant de ne pas voir la différence, d'autres ont bricolé leur calcul (faux) pour obtenir la relation de l'énoncé ou invoqué une erreur d'énoncé.

**Questions 20 et 21** : l'hypothèse d'indépendance des enthalpie et entropie standard de réaction avec la température doit être explicitée pour justifier la modélisation affine utile à la détermination de l'enthalpie standard de dissolution. Une argumentation fondée sur la loi de van't Hoff ou sur l'analyse du graphique fourni dans l'énoncé permet de justifier les conditions de température choisies.

## C/ De la mer jusqu'au verre du consommateur ...

**Question 22** : question ouverte qui demande des prises d'initiatives multiples de la part des candidats : estimation de plusieurs ordres de grandeur (masse du verre, masse des glaçons, température en sortie de congélateur...). La quasi-totalité des candidats ont formulé, de manière plus ou moins explicite, l'hypothèse d'une fonte totale des glaçons à l'état final. Le jury déplore alors que la valeur de la

température finale n'ait été que très rarement confrontée avec un regard critique à cette hypothèse initiale. Par ailleurs, une température de glaçons en sortie de congélateur à 0°C paraît peu réaliste. Dans son évaluation de cette question, le jury a été très bienveillant avec les candidats qui se sont lancés dans la résolution, même s'ils ont commis des erreurs ou n'ont pas abouti : au-delà du résultat lui-même, c'est la démarche et son explicitation qui sont valorisées.

## Partie 2 : Contrôle de la qualité de l'eau

### A/ Diagramme potentiel – pH simplifié de l'élément azote

**Question 23** : les formules de Lewis présentant des lacunes électroniques sur l'atome d'azote ont été sanctionnées. Le nom explicite de la géométrie autour des atomes centraux est exigé ; faire mention uniquement de la formule VSEPR ( $AX_nE_p$ ) ne répond pas aux attentes du jury.

Les **questions 24 à 28**, relativement classiques, ont été abordées par bon nombre de candidats. Le jury s'étonne d'un certain nombre d'incohérences entre les réponses à la question 25 et à la question 26 dans plusieurs copies, preuve d'une mauvaise compréhension du phénomène de dismutation. Pour rappel, tous les résultats doivent être présentés avec une unité (pente, potentiel standard).

### B/ Dosage des ions nitrate dans les eaux de consommation

**Question 29** : la difficulté de cette question ouverte réside davantage dans l'appropriation d'un nombre conséquent d'informations que dans un raisonnement scientifique complexe. Aussi, bon nombre de candidats ayant abordé cette question ont abouti avec succès. Le jury rappelle qu'un raisonnement fondé sur l'exploitation d'un seul étalon ou mettant en œuvre un encadrement de valeur est incomplet. Le tracé manuel ou sur calculatrice de la droite d'étalonnage est attendu. Le jury s'étonne que, dans les copies présentant ces exploitations, l'alignement des points (ou la valeur du coefficient de corrélation  $R^2$ ) soit très peu souvent commenté pour justifier la modélisation des résultats expérimentaux par la loi de Beer Lambert.

### C/ Formation de méthémoglobine en présence d'ions nitrite

**Question 30** : la définition des électrons de valence est très rarement donnée correctement par les candidats alors que souvent les électrons de valence du fer sont bien dénombrés.

**Questions 31 à 33** : le jury félicite les candidats qui ont effectué le travail fastidieux d'écriture rigoureuse des équilibres de tautomérie imine-énamine pour prouver l'équivalence des quatre cycles de la porphine. Une identification explicite des groupes de protons équivalents (code couleur, lettre...) sur la formule de la molécule est attendue.

**Question 36** : des niveaux d'énergies proches et un recouvrement non nul étaient les deux critères attendus. La réponse fréquemment rencontrée par le jury « OA de même symétrie » est vague : les propriétés de symétrie des OA sont à étudier par rapport aux opérations de symétrie de la molécule pour identifier celles qui satisfont le second critère.

**Questions 37 et 38** : le jury constate que bon nombre de candidats connaissent par cœur l'allure du diagramme d'orbitales moléculaires du dioxygène mais ne savent pas en expliquer la construction.

Les **questions 39 à 44** ont été peu traitées.

## Partie 3 : Étude d'un micropolluant organique, le S-métolachlore

### A/ Stéréochimie du métolachlore

**Question 45** : un important manque de rigueur sur le vocabulaire a été constaté par le jury qui tient à rappeler que donner des définitions rigoureuses et explicites est un attendu du métier d'enseignant. La présence d'un atome de carbone asymétrique dans une molécule n'est pas l'unique source de chiralité.

**Question 46** : un schéma indiquant les relations de stéréochimie est apprécié des correcteurs.



Agrégation externe de physique-chimie option physique, session 2021

**Question 47** : une justification du descripteur stéréochimique par classement des substituants d'après les règles de Cahn Ingold et Prelog est attendue.

### **B/ Synthèse du métolachlore racémique**

**Question 49** : le principe de la spectroscopie IR est souvent mal présenté ou confondu avec la mise en œuvre expérimentale de cette méthode d'analyse et/ou la description du spectre.

**Question 50** : confusion fréquente entre époxyde et peracide.

**Question 51 et 54** : le jury félicite les candidats qui ont su présenter ces mécanismes de manière soignée et adaptée aux conditions (départ de flèche du doublet d'électrons, arrivée de flèche sur site électrophile, réaction avec proton labile du méthanol notamment)

**Question 53** : cette question a bien trop souvent été traitée de manière automatique par les candidats, sans argumentation. Manipuler en toute sécurité au laboratoire nécessite d'identifier les risques encourus pour justifier les précautions à prendre. Un lien explicite avec les pictogrammes et les codes H et P de la fiche de sécurité présentée en Figure 14 est attendu pour répondre à cette question.

**Question 55** : cette question amène à analyser le schéma de synthèse dans son ensemble, et les enjeux en termes de stéréochimie. Peu de candidats sont parvenus à identifier l'approche équiprobable sur les deux faces de l'alcène.

### **C/ Application de la catalyse organométallique énantiosélective à la synthèse du S-métolachlore**

**Question 56** : question peu traitée ou peu aboutie alors que la formule de l'excès énantiomérique est explicitement rappelée dans l'énoncé.

**Question 58 et 59** : les candidats ont plutôt bien traité ces questions de fin d'énoncé, concernant le cycle de catalyse organométallique.

**Question 60** : cette dernière question a pu être traitée par un bon nombre de candidats, et plutôt convenablement même si rares sont ceux qui ont réinvesti dans cette question la proportion de stéréoisomère actif déterminé à la question 56.

### **Conclusion**

Comme pour les précédentes années, l'objectif de ce rapport est d'aider les futurs candidats, enseignants de demain, dans leur préparation au concours. S'il souligne les erreurs communes à de nombreuses copies, le jury tient aussi à féliciter les candidats qui ont su mobiliser des connaissances solides dans les différentes parties de l'épreuve et mettre en œuvre les compétences de la démarche scientifique au cours de la composition de chimie. Un grand nombre de candidats ont ainsi vu leur investissement dans cette discipline être récompensé.

## Rapport sur le problème de physique 2021

### Introduction

Ce problème avait pour objet l'étude des ondes non linéaires à l'interface entre le mercure et l'air, et une confrontation systématique avec des études expérimentales récentes. Il était constitué de quatre parties indépendantes et comportait une série d'annexes tirées de publications scientifiques.

### Structure et contenu du sujet

Le but de la première partie était d'établir la relation de dispersion des ondes à la surface libre d'un liquide, dans le régime linéaire, en discutant systématiquement les approximations faites. Le cadre du modèle correspondait au système expérimental décrit dans les annexes, qui détaillaient une étude expérimentale des ondes gravito-capillaires à la surface d'une couche de fluide d'épaisseur finie.

La deuxième partie était consacrée à une définition rigoureuse de la vitesse de groupe dans un milieu dispersif. Dans un premier temps, l'attention des candidats était attirée sur le fait que cette notion n'a de sens que pour un paquet d'onde de longueur d'onde bien définie (donc d'extension spatiale grande devant la longueur d'onde) et dans un milieu où la relation de dispersion ne présente pas de singularité. Sous ces hypothèses, on démontrait que le paquet d'onde se propage sans déformation à la vitesse de groupe. Ensuite, on établissait la densité linéique d'énergie des ondes de surface, ainsi que le courant d'énergie, et on montrait que la vitesse de groupe s'identifie avec la vitesse de propagation de l'énergie. La troisième partie était focalisée sur les aspects expérimentaux, et permettait par ailleurs d'aborder d'autres aspects du programme que l'hydrodynamique. Dans une première section il était attendu des candidats qu'ils décrivent les méthodes utilisées pour mesurer l'amplitude des ondes. La seconde section était consacrée à une étude, extrêmement simplifiée, des capteurs inductifs utilisés expérimentalement et faisait essentiellement appel aux connaissances en électromagnétisme et électrocinétique. Enfin, une mesure précise de la vitesse de phase des ondes linéaires est essentielle à l'étude expérimentale des ondes non linéaires. La troisième section était donc consacrée à la définition et au traitement de données nécessaire pour mesurer une différence de phase entre deux capteurs.

La quatrième partie était consacrée aux ondes non linéaires, dans le cadre spécifique de l'équation de Korteweg-de Vries (KdV). Plutôt que d'obtenir cette équation par un développement asymptotique des équations de l'hydrodynamique, on la justifiait heuristiquement dans une première section en montrant que KdV inclut à la fois la première correction dispersive et la première correction non linéaire à la propagation des ondes de surface. Dans une deuxième section, on préparait le calcul de la solution « onde solitaire » de KdV par une analogie avec un problème simple de mécanique du point. Dans une troisième section, l'analogie avec la recherche d'une solution exacte de KdV était explicitée, pour des ondes non linéaires d'élevation et de déplétion. Dans la quatrième section, les caractéristiques de la solution calculée étaient systématiquement confrontées aux résultats expérimentaux donnés en annexe. Enfin, la dernière section revenait sur les aspects dissipatifs, totalement négligés dans tout le problème, mais qui apparaissent nécessairement dans les observations expérimentales.

### Commentaires question par question

**Q1** Rappelons aux candidats de lire l'énoncé ! Toute référence aux ondes à la surface d'un fluide était exclue.

**Q3** Il était attendu des candidats qu'ils précisent que les équations (E-1) et (E-2) ont pour cadre la description eulérienne du fluide.

**Q5** De trop nombreux candidats ignorent la définition d'un fluide newtonien.

**Q6** De même, l'hypothèse simplificatrice d'incompressibilité d'un écoulement n'est pas maîtrisée. Il s'agit pourtant simplement de comparer les vitesses typiques de l'écoulement à la vitesse du son.

**Q7** Cette question a souvent été traitée correctement. Néanmoins, l'échelle de longueur pertinente est davantage la profondeur de la couche de fluide que la longueur d'onde, puisque la viscosité change la condition aux limites sur la vitesse au fond du canal.

**Q9** Peu de candidats savent démontrer que l'écoulement est irrotationnel.

**Q11** La condition à la limite entre un fluide parfait et une surface solide, qui consiste à exprimer l'imperméabilité de celle-ci et ne donne donc une condition que sur la vitesse normale du fluide est trop souvent ignorée.

**Q12** Peu de candidats ont traité rigoureusement cette question, en pensant à introduire la dérivée convective.

**Q13** Question sans difficulté à partir d'une réponse correcte à **Q11**.

**Q14** Question traitée souvent correctement.

**Q16 et Q17** Ces questions ont la plupart du temps été traitées simultanément. La relation (E-10) était

Agrégation externe de physique-chimie option physique, session 2021

donnée pour assurer l'indépendance entre les parties I et IV, et sa démonstration nécessitait un calcul valorisé dans le barème. C'est l'occasion de rappeler que le jury est très attaché à ce que les candidats fassent preuve d'une absolue honnêteté scientifique. Les candidats s'étant trompé en **Q13** et prétendant obtenir le résultat final ont été sanctionnés.

**Q18** Cette question a été en général assez bien traitée, mais un certain soin était attendu dans les tracés. Trop de candidats ne représentent que la modulation du signal temporel.

**Q19** Un minimum d'explications sur la singularité de la relation de dispersion était attendu, pas juste l'invocation des plasmas.

**Q20** Peu de candidats ont su mener une démonstration complète et rigoureuse.

**Q22-29** L'étude est proposée dans un fluide de profondeur infinie car la relation de dispersion et le potentiel des vitesses ont une expression plus simple. Il semble que ce choix ait cependant arrêté certains candidats.

**Q23** Trop de candidats ne calculent qu'une seule composante du champ de vitesse.

**Q24** Trop de candidats ne sursautent pas en trouvant une densité d'énergie potentielle linéaire en déformation de surface, qui d'une part n'est pas homogène et d'autre part donne zéro en moyenne temporelle.

**Q25** Trop de candidats ne savent pas estimer la variation de surface, et ne sont pas surpris de trouver une énergie linéaire en gradient de déformation de la surface, qui présente les mêmes défauts qu'à la question précédente.

**Q26** Même remarque qu'à la question **Q17**, les candidats s'étant trompé auparavant et établissant néanmoins la relation demandée ont été sanctionnés.

**Q27** Les candidats ayant abordé cette question ont souvent retrouvé le résultat demandé (E-19), mais plusieurs ont été gênés par l'intégration sur toute l'épaisseur (infinie, mais l'exponentielle rendait l'intégrale évidemment finie) du fluide.

**Q28** Quelques candidats ont su traiter cette question, assez difficile.

**Q29** Plusieurs candidats connaissent le résultat demandé, même s'ils n'ont pu exprimer la puissance transportée par l'onde.

**Q30** Un nombre surprenant de candidats semble ignorer l'éclat métallique du mercure liquide, utilisé dans les mesures optiques. Et une remarque sur la neurotoxicité du mercure était attendue.

**Q31** Cette question très simple était valorisée, compte tenu de l'effort de lecture des annexes qu'elle entraînait.

**Q32** Les schémas attendus devaient au minimum être cohérents avec les lois de la réflexion.

**Q33** La méthode optique n'étant pas interférentielle, ce n'est certainement pas la longueur d'onde du laser qui devait être invoquée.

**Q35** Des lignes de champ magnétique doivent être orientées.

**Q36** Très nombreuses fautes d'homogénéité.

**Q37** Assez bien traitée dans l'ensemble

**Q38** Il était surtout important de relever la dépendance non linéaire en la distance entre le capteur et sa cible.

**Q39** Même si la réponse à la question précédente était fautive, les candidats auraient du pouvoir expliquer le principe d'une méthode de calibration, pourtant fortement suggérée par l'énoncé.

**Q40** Un peu de bon sens ne nuit pas. Répondre péremptoirement par la négative à cette question n'en témoigne guère.

**Q41** De même la précision des termes est importante. « Alternatif » n'est pas synonyme de « sinusoïdal ».

**Q42** Les notions de champ proche et champ lointain, si importantes expérimentalement en acoustique, et qu'il est si facile d'aborder dans le calcul classique de l'émission du dipôle électromagnétique, sont très mal connues de la plupart des candidats.

**Q45 & Q46** Ces questions n'étaient pas difficiles, et leur résolution fortement guidée par l'énoncé, mais demandaient de bien comprendre la démarche des auteurs de l'étude citée en annexe.

**Q47** Plusieurs candidats calculent une erreur de 17 % entre la valeur mesurée et la valeur tabulée de la tension superficielle mercure-air. Il est d'autant plus surprenant que si peu d'entre eux s'interrogent sur cet écart important.

**Q50** Trop de candidats se trompent dans ce développement limité pourtant élémentaire.

**Q51** Le terme non linéaire de KdV est en général bien identifié. Cependant ne pas retrouver le résultat de la question précédente aurait dû surprendre les candidats.

**Q52** Question bien traitée en général.

**Q53** Cette question était plus délicate. Les candidats ont des difficultés à raisonner en ordre de grandeur.

**Q54** Il est attendu d'un candidat à l'Agrégation qu'il ait du recul par rapport à son travail. Se tromper

dans des calculs est une chose, mais affirmer sans sourciller que KdV n'est absolument pas pertinente pour décrire des ondes de surfaces dispersives et non linéaires témoigne d'une absence de recul certaine sur cette première section de la partie IV.

**Q55** Question très simple, qui a reçu un nombre trop important de réponses fausses.

**Q56** Bien traitée dans l'ensemble.

**Q57** Bien traitée dans l'ensemble, malgré parfois un manque de soin dans le graphique.

**Q58** Beaucoup de candidats savent montrer que le mouvement est oscillant, mais peu savent exprimer la période sous forme d'une intégrale, ni même vérifier que leur expression est bien homogène à un temps.

**Q59 & Q60** L'isochronisme des petites oscillations est trop souvent mal défini. Cela conduit dans la question **Q60** à des graphes auxquels manque la tangente à l'origine. Rappelons que l'origine d'un graphe est à préciser, particulièrement dans ce cas où la période à amplitude tendant vers zéro est strictement positive.

**Q61** Question en général bien traitée par les candidats l'ayant abordée.

**Q62** Tracer un portrait de phase semble difficile à la plupart des candidats. Certains se souviennent du pendule pesant, mais peinent à adapter le résultat à un autre système physique pourtant très proche.

**Q63 & Q64** Ces questions qualitatives ont en général été bien traitées.

**Q65** Question rarement traitée, mais correctement la plupart du temps.

**Q67** La nullité de la constante d'intégration devait être justifiée.

**Q68 & Q69** Les candidats ayant abordé ces questions ont en général repéré les analogies avec le problème mécanique.

**Q70 à Q72** Ces questions ont été peu abordées.

**Q73** Question peu abordée, et la nécessité d'une « masse » positive dans l'analogie mécanique n'est pas toujours explicitée.

**Q75** Les candidats s'étant trompé dans leurs applications numériques auraient pu avoir le réflexe de noter l'incohérence de leur résultat avec l'analyse précédente.

**Q76 & Q77** Rarement abordées.

**Q78** Les candidats ayant traitée cette question ont souvent pensé à un effet transitoire.

**Q79** Rarement abordée.

**Q80** Souvent abordée et bien traitée.

**Q81** Rarement abordée.

**Q82** Peu de candidats ont su déduire de l'insert en échelle logarithmique la décroissance exponentielle de l'amplitude de l'onde (résultat pourtant classique).

**Q83** Rarement abordée.

## **Épreuves d'admission**

Les épreuves se sont déroulées du 14 juin au 3 juillet 2021  
au lycée Marcelin Berthelot (Saint-Maur-des-Fossés).

## Rapport sur la leçon de physique 2021

### Présentation de l'épreuve

#### 1. Déroulement

Le candidat découvre le titre de la leçon le jour de l'épreuve orale. Cette leçon entre dans le cadre du programme de l'agrégation de physique-chimie, option physique. Les sujets donnés lors de la session 2021 sont publiés ci-après. Cette dernière liste ne présume en rien des titres des sujets de leçons de physique de la session 2022.

Le candidat prépare sa leçon pendant 4 heures. À la suite de cette préparation, le candidat dispose de 40 minutes pour exposer sa leçon au jury. Cet exposé est suivi d'un entretien avec les trois membres du jury pour une durée qui n'excède pas 40 minutes.

#### 2. Evaluation

La leçon est une épreuve permettant au jury d'évaluer les capacités des candidats à transmettre un message scientifique clair et cohérent qui s'appuie sur des connaissances maîtrisées. Il s'agit de se placer dans une situation d'enseignement devant un public d'étudiants qui découvrirait pour la première fois le sujet de la leçon. Le jury attend du candidat rigueur et honnêteté scientifique, cohérence des raisonnements, maîtrise des outils mathématiques, illustration des concepts en prise avec le réel et clarté du propos.

Le candidat doit faire la preuve de ses qualités pédagogiques. En aucun cas la leçon ne peut se réduire à des déclarations d'intention ni à une « leçon de choses » floue et qualitative.

L'entretien permet au jury de lever des ambiguïtés, d'obtenir des précisions et dans le même temps, donne l'occasion au candidat de se corriger, le cas échéant, ou d'approfondir un aspect qu'il n'a pas été possible de traiter dans le détail lors de l'exposé. L'entretien donne aussi la possibilité au jury de s'assurer, en partant du thème abordé dans la leçon, de la profondeur des connaissances scientifiques du candidat et des capacités pédagogiques et didactiques de ce dernier.

### Préparation

#### 1. Déroulement de la préparation

Le candidat effectue sa préparation dans la salle où il fera son exposé. Il dispose de l'ensemble des documents de la bibliothèque et d'un accès à internet limité aux sites qui ne nécessitent pas d'identification de connexion. La bibliothèque du concours possède de très nombreux ouvrages, de tous niveaux, dont la liste est disponible en ligne sur le site <http://www.agregation-physique.org>.

Le candidat bénéficie également durant cette préparation du soutien du personnel technique pour la mise en place du matériel expérimental souhaité dans le cadre de la leçon. Les expériences sont préparées et réalisées conformément aux instructions du candidat.

Un ordinateur relié à internet, une flexcam et un vidéoprojecteur sont disponibles dans la salle d'exposé. Le candidat peut ainsi projeter des documents divers issus d'une base de données ou d'internet (schémas descriptifs, vidéos, animations, photographies, simulations, ...). Les logiciels usuels (OpenOffice, Word, Excel, Python, Scilab...) sont installés sur l'ordinateur dont dispose le candidat dans sa salle d'exposé. Le candidat a également accès à un rétroprojecteur. Pour utiliser ce dernier, il convient d'apporter ses transparents et feutres.

#### 2. Conseils aux candidats concernant la préparation

Le titre de la leçon en impose bien évidemment le sujet, même si c'est de façon assez large. Le candidat doit lire l'intitulé avec soin : ainsi, si le terme « applications » apparaît au pluriel, le jury en attend plusieurs. De même, il ne faut pas confondre « facteur de Boltzmann » et « constante de Boltzmann ».



Agrégation externe de physique-chimie option physique, session 2021

Si l'intitulé mentionne plusieurs notions, celles-ci doivent toutes être abordées en cours de présentation. En revanche, tout développement hors sujet est à proscrire.

D'autre part, le jury souhaite fait remarquer aux futurs candidats que les titres de leçon évoluent chaque année. Certes, les différents domaines de la physique abordés ne changent pas mais il est impératif qu'au cours de l'épreuve, le candidat mobilise ses connaissances afin de construire une leçon originale en relation explicite avec le titre (par exemple : « Hystérésis et bistabilité » est différent de « milieux ferromagnétiques » même si l'intersection entre les deux est non nulle).

Il n'y a pas de leçon-type attendue par le jury. La plupart des leçons concernent des domaines tellement vastes qu'il est impossible d'être exhaustif : des choix sont à faire, qui doivent être précisés et justifiés. Par exemple, dans la leçon « Ondes stationnaires. Exemples dans la vie quotidienne », si le candidat choisit (et c'est tout à fait possible) de traiter le cours en s'appuyant uniquement sur la corde de Melde, il est vivement recommandé qu'il prenne une application autre que la corde de guitare. Le candidat veillera à gérer au mieux son temps, et, pour reprendre l'exemple de la leçon pré-citée, il serait dommageable qu'un candidat traite majoritairement de généralités sur les ondes stationnaires pour ne parler que durant 5 minutes des exemples de la vie quotidienne. Dans tous les cas, le candidat ne doit pas se limiter à un exposé purement descriptif ; des résultats doivent être établis et commentés.

Une leçon débute par une présentation rapide du cadre de l'exposé, qui précise les prérequis sur lesquels il s'appuie et le niveau académique auquel il traite la leçon.

Le jury apprécie que l'introduction repose sur une contextualisation, qui n'est pas nécessairement une introduction historique : la mise en place de la problématique peut également s'appuyer sur une expérience, un exemple issu de la vie courante, une application technologique. Il est essentiel dans tous les cas que le candidat adopte un plan précis dans lequel il est facile de se repérer à chaque étape de la présentation.

En cours de présentation, le candidat doit, chaque fois que cela est possible, souligner le lien entre les concepts exposés et le réel, en contextualisant son propos par des illustrations, des expériences, des animations. Lorsque le thème de la leçon s'y prête, la présentation et l'analyse détaillée d'expériences de pensée bien choisies est également possible.

Dans la plupart des leçons, des illustrations expérimentales sont possibles et sont vivement encouragées. Lorsque c'est le cas, ne présenter aucune expérience entraîne une minoration significative de la note.

L'épreuve de la leçon ne doit cependant pas être confondue avec celle du montage : l'intégration de l'expérience dans la logique de la leçon est essentielle. Il est notamment recommandé de présenter un schéma clair et annoté de son expérience, soit au tableau, soit au vidéoprojecteur. Toute expérience présentée doit être interprétée avec soin. Le jury conseille au candidat de prendre en main la manipulation avant de la présenter en leçon. Il doit également être en mesure de répondre aux questions relatives au montage expérimental et au choix du matériel utilisé.

Tous les documents que le candidat peut se procurer en respectant les contraintes imposées par le concours peuvent être utilisés et présentés (par exemple photos, schémas annotés, animations ou vidéo d'expériences difficilement réalisables dans le temps imparti). Dans la mesure où le candidat s'est bien approprié ces éléments et où il les intègre de façon cohérente à sa présentation, le jury valorise leur usage.

Les programmes en python peuvent être présentés s'ils apportent une plus-value. Le candidat devra savoir adapter le code en particulier en changeant les valeurs des paramètres physiques pertinents.

La conclusion de l'exposé n'est pas uniquement un résumé de la leçon : les points importants peuvent certes être soulignés mais une mise en perspective est nécessaire, avec des ouvertures, éventuellement sur des développements récents (à condition de les maîtriser).

## **Exposé**

### **1. Déroulement de l'exposé**

Le candidat dispose de 40 minutes de présentation qui débutent à l'entrée du jury dans la salle. Le candidat gère son temps comme il l'entend. Un membre du jury le prévient lorsqu'il reste 5 minutes et précise s'il est temps de conclure. Le jury n'intervient pas pendant l'exposé (et ne répond donc pas aux questions comme le feraient des étudiants interrogés). Le candidat peut cependant, lorsque cela est indispensable, faire appel à l'aide d'un ou plusieurs membres du jury pour la réalisation d'une expérience.

Le candidat a le droit d'effacer le tableau. Il s'assure que le jury visualise clairement ce qui est montré

(tableau, projection, objet scientifique, expérience).

## 2. Conseils aux candidats concernant l'exposé

La leçon de physique de l'agrégation externe de physique doit se positionner à un niveau post baccalauréat et le rythme de la leçon doit être soutenu et les notions abordées maîtrisées. Cependant, il est préférable d'exposer des concepts bien maîtrisés et bien illustrés, plutôt que de se lancer dans des développements trop complexes ou trop calculatoires.

Il va sans dire que le jury est sensible au dynamisme et à l'enthousiasme avec lesquels un candidat délivre son message, ce qui traduit son goût pour la physique et pour l'enseignement.

Le registre de langage, écrit et oral, d'un futur enseignant se doit d'être soigné. Aussi le candidat prendra soin de la qualité de son expression, aussi bien écrite qu'orale.

Les prestations dans lesquelles le candidat, le dos trop souvent tourné vers le jury, recopie ses notes au tableau ne sont pas acceptables ; il faut se référer à ses notes de façon modérée et faire preuve d'autonomie.

Le candidat doit se soucier de la lisibilité de l'exposé : clarté de l'écriture (au tableau ou sur les transparents), gestion rationnelle du tableau. Un transparent fugitivement exposé est mal perçu.

Les leçons trop formelles, manquant d'exemples et d'applications numériques judicieuses, sont à proscrire. Le jury tient à rappeler que les qualités pédagogiques et didactiques sont valorisées mais il est également impératif que le candidat présente une leçon avec au moins un développement de niveau académique post baccalauréat.

Présenter des calculs un peu lourds au vidéoprojecteur est encouragé si cela permet une meilleure gestion du temps. Ces calculs doivent néanmoins être maîtrisés par le candidat : hypothèses, méthodes de calcul, approximations éventuelles doivent être comprises, et l'entretien permet au jury de le vérifier. Enfin, toute formule (issue ou non d'un calcul effectué au tableau) doit s'accompagner de commentaires qui permettent d'en dégager le sens physique.

Le candidat doit être attentif à la cohérence des notations entre les différentes parties et les différentes ressources utilisées. Les notations, conventions et orientations introduites lors de l'exposé doivent être explicitées et cohérentes. Il en va ainsi des orientations des circuits électriques, des contours orientés et des surfaces qui s'appuient sur ces derniers.

Toutes les parties du titre de la leçon doivent être traitées de façon détaillée et équilibrée. Par exemple, dans la leçon « Dipôles magnétiques - expérience de Stern-Gerlach », la partie sur l'expérience de Stern-Gerlach doit être suffisamment développée et mise en perspective avec la première partie. Elle ne saurait se résumer à une description lapidaire présentée en toute fin de leçon. Il en est de même de la leçon « Interféromètre de Michelson - expérience de Michelson-Morley », dans laquelle il est attendu de discuter suffisamment l'expérience de Michelson-Morley et ses conséquences.

Avant de quitter la salle, le candidat laisse ouverts et accessibles les sites web sur lesquels se trouvent, le cas échéant, les ressources présentées durant l'exposé, pour que le jury puisse y accéder pendant la délibération.

## Entretien avec le jury

### 1. Déroulement de l'entretien

À l'issue de la présentation et pendant une durée maximale de 40 minutes, le jury s'entretient avec le candidat afin d'évaluer ses capacités pédagogiques et didactiques en sondant les connaissances disciplinaires sur lesquelles le discours s'appuie.

Le candidat peut alors être appelé à revenir sur des calculs, revoir ses notes, exposer oralement ou au tableau des compléments demandés. Le candidat peut également être interrogé sur les expériences, simulations, transparents ou codes présentés lors de l'exposé.

### 2. Conseils aux candidats concernant l'entretien

Cet entretien ne doit pas être perçu comme une remise en cause de ce qui a été présenté par le candidat mais comme un moment pendant lequel le candidat peut expliquer ses choix et ouvrir sa leçon pour la placer dans un contexte plus large.

L'entretien peut également être l'occasion de vérifier que les prérequis annoncés sont maîtrisés par le candidat (par exemple, si dans la leçon « Effet Doppler » un candidat choisit de mettre la relativité



Agrégation externe de physique-chimie option physique, session 2021

restreinte en prérequis, alors l'entretien pourra porter en partie sur cet aspect).

Lors de l'entretien, il est attendu de la part du candidat qu'il réponde de façon concise et précise aux questions, en utilisant au besoin le tableau. C'est l'occasion encore pour lui de mobiliser sa réflexion et ses connaissances. Lors de l'entretien aussi, il est attendu précision dans le vocabulaire et clarté pédagogique.

Certaines interrogations posées par le jury attendent une réponse évidente (vérifier une expression littérale, l'homogénéité, une valeur numérique...), d'autres sont plus ouvertes : le candidat peut être amené à justifier ses choix pédagogiques. Certaines questions mettent le candidat dans une situation où il aurait à répondre comme s'il se trouvait devant des étudiants : la réponse peut alors demander au candidat de faire au tableau un schéma, un calcul...

## Rapport sur la leçon de chimie 2021

*Le présent rapport concerne l'épreuve de la session 2021. Les évolutions de la session 2022 sont présentées à la fin du rapport de jury. Le jury recommande chaque année aux candidats la lecture des rapports des années précédentes (disponibles à l'adresse suivante : <http://agregation-physique.org>). Les énoncés des leçons de chimie se rapportent à des niveaux lycée (filière générale et séries technologiques STI2D, STL et ST2S) ou classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) [classes de première année : MPSI, PTSI, TSI1 ; classes de deuxième année : MP, PSI, PT et TSI2].*

Après une **préparation de 4 heures**, la candidate ou le candidat dispose de **40 minutes au plus pour exposer sa leçon**. L'épreuve se poursuit par un **entretien avec le jury** puis un **échange** sur une question portant sur la compétence « Faire partager les valeurs de la République », le tout sur une durée maximale de 40 minutes.

### *La préparation (4 heures)*

Pendant la préparation de la leçon, les candidats disposent d'un vaste ensemble d'ouvrages de tous niveaux en bibliothèque (ainsi que des tables de données, quelques articles et revues spécialisées) sur lesquels ils peuvent s'appuyer pour préparer leur leçon. Ces ouvrages peuvent être transportés dans la salle de préparation et de présentation de la leçon. On rappelle que des ressources pour la filière STL-SPCL sont disponibles en ligne à l'adresse <http://sciences-physiques-et-chimiques-de-laboratoire.org/>. Le candidat peut également consulter en ligne les programmes publiés dans le Bulletin Officiel de l'éducation nationale (BO).

**L'accès à internet** est possible pendant la préparation et pendant l'exposé mais l'accès à des sites de messagerie ou des sites protégés par un mot de passe demeure interdit. Les candidats peuvent apporter leur **calculatrice**. **Le jury est globalement déçu** de l'utilisation d'internet, souvent limité à la consultation de sites contenant des plans clés en main, des listes d'expériences voire des leçons toutes faites et annotées parfois utilisées à l'identique par plusieurs candidats.

Pendant la préparation, les candidats bénéficient de l'aide **d'une équipe technique**. Ils doivent, après avoir pris connaissance de leur sujet, fournir à cette équipe une fiche comportant la liste détaillée du matériel et des produits demandés. Pour les solutions, les valeurs des concentrations doivent être données avec une indication claire de la précision souhaitée. Compte tenu des contraintes locales, il peut parfois être nécessaire d'adapter un protocole issu de la littérature. L'équipe technique offre son aide notamment pour la prise en main de logiciels ou l'acquisition de mesures répétitives et apporte son assistance à la demande du candidat en respectant ses indications pour la mise en place et la réalisation de certaines expériences. Le candidat peut demander cette assistance durant tout le temps de la préparation. La mise en œuvre effective des expériences devant le jury et leur exploitation sont naturellement sous la responsabilité du candidat.

### *L'exposé*

La salle de préparation et de présentation de la leçon est équipée d'un ordinateur, d'une flexcam et d'un vidéoprojecteur. Par ailleurs, les ordinateurs contiennent des logiciels de présentation et de traitement de données, des logiciels de simulation très utiles par exemple pour les leçons utilisant les spectroscopies UV, IR et de RMN ou nécessitant une visualisation tridimensionnelle des molécules ou des mailles cristallines, ainsi que des programmes informatiques comme Python et Scilab (voir la liste de ces ressources à l'adresse <http://agregation-physique.org>).

Agrégation externe de physique-chimie option physique, session 2021

**L'exposé est limité à 40 minutes.** Les leçons écourtées significativement sont sanctionnées et les candidats dépassant les 40 minutes réglementaires sont interrompus. **La gestion du temps est importante** : il convient de ne pas déséquilibrer la leçon en traitant à la hâte, en fin d'exposé, et souvent de manière confuse, une partie importante du sujet proposé.

**Les candidats doivent se détacher au maximum de leurs notes** pour une présentation plus fluide, en maintenant une posture correspondant à celle d'un futur enseignant.

L'utilisation d'un **vocabulaire scientifique rigoureux**, et utilisé à bon escient, améliore grandement la qualité d'une leçon. Le jury est attentif à la qualité du lexique scientifique qui est étroitement associé à la maîtrise des notions et des concepts mis en œuvre dans les programmes de lycée ou d'enseignement supérieur. Dans ce cadre, il convient de développer au maximum les notions abordées dans le thème principal de la leçon et de ne pas se contenter de survoler un grand nombre de concepts sans en détailler aucun.

Le jury attire l'attention des candidats sur **la place et le rôle des expériences** au sein d'une leçon. Le jury s'attend à la réalisation et l'exploitation d'expériences judicieusement choisies. **Il est essentiel que le candidat réalise tout ou partie des expériences et qu'il en exploite et valide les résultats durant la présentation devant le jury. Inscrire** les expériences choisies dans une **démarche didactique** pour valider ou construire un modèle permet de leur donner tout leur sens. Le jury attend donc que les expériences soient menées à leur terme, avec soin et en respectant les règles de sécurité au laboratoire de chimie et qu'elles conduisent, au cours de l'exposé, lorsqu'elles sont qualitatives, à des conclusions et, lorsqu'elles sont quantitatives, à des exploitations rigoureuses. L'analyse des sources de dispersion des mesures et une évaluation de l'incertitude sur le résultat sont également attendues. **Une leçon dépourvue d'expériences adaptées est jugée incomplète et est évaluée en conséquence.** Le jury voit encore nombre de candidats décrire ce qui a été fait en préparation ou pourrait être fait expérimentalement, ce qui ne saurait remplacer l'expérimentation authentique.

À l'inverse, une **succession d'expériences décousues** et/ou non totalement exploitées ne constitue pas une leçon, qui doit par essence faire acquérir des notions aux élèves ou étudiants. Ainsi, les candidats ne doivent pas chercher à accumuler le maximum de manipulations mais **choisir de façon réfléchie** des expériences pertinentes, illustratives de leur propos, et s'intégrant dans le fil conducteur de leur exposé.

#### *L'entretien*

L'entretien permet au jury de vérifier la maîtrise des savoirs disciplinaires et d'échanger avec le candidat sur la pertinence de ses choix didactiques, de structuration, de présentation et d'illustrations de la leçon (expériences, vidéos, simulations, utilisation de modèles, etc.). Pendant l'entretien, le jury peut également s'assurer de la maîtrise des gestes techniques.

Les questions du jury ont plusieurs objectifs : le premier est d'amener les candidats à corriger d'éventuelles erreurs, le second est de vérifier la capacité des candidats à faire preuve de réflexion dans les domaines théorique, expérimental et pédagogique. Le jury est sensible à la pertinence de la réflexion mise en jeu et à la capacité du candidat à proposer des hypothèses raisonnables face à une situation parfois inattendue. L'honnêteté intellectuelle est de rigueur.

Ainsi, le jury peut interroger le candidat sur le choix de ses manipulations et leur apport à son exposé, ainsi que sur l'intégration de la leçon dans une progression plus vaste : la cohérence du choix du public visé et des prérequis au contenu de la présentation est un critère d'évaluation important. Il est également attendu que les candidats puissent justifier de la construction et du déroulé de la leçon.

Le jury souhaite attirer l'attention des candidats sur le fait que le principe de fonctionnement des montages expérimentaux ou appareils utilisés peut être demandé lors de l'entretien.

*Échange autour des valeurs de la République et des thématiques relevant de la laïcité et de la citoyenneté*

À la suite de l'entretien, une question relative aux valeurs qui portent le métier d'enseignant, dont celles de la République, est posée aux candidats, en conformité avec l'arrêté du 25 juillet 2014 fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation qui précise que :

*« Lors des épreuves d'admission du concours externe, outre les interrogations relatives aux sujets et à la discipline, le jury pose les questions qu'il juge utiles lui permettant d'apprécier la capacité du candidat, en qualité de futur agent du service public d'éducation, à prendre en compte dans le cadre de son enseignement la construction des apprentissages des élèves et leurs besoins, à se représenter la diversité des conditions d'exercice du métier, à en connaître de façon réfléchie le contexte, les différentes dimensions (classe, équipe éducative, établissement, institution scolaire, société) et les valeurs qui le portent, dont celles de la République. Le jury peut, à cet effet, prendre appui sur le référentiel des compétences professionnelles des métiers du professorat et de l'éducation. »*

Les candidats disposent de cinq minutes au plus pour répondre à une question portant sur une situation concrète qu'ils peuvent rencontrer dans l'exercice du métier d'enseignant de physique-chimie. Ils ont à leur disposition le « référentiel des compétences professionnelles des métiers du professorat et de l'éducation » et la « charte de la laïcité à l'École ». **Il n'y a pas de durée spécifique de préparation de la réponse.**

Pendant ce court échange (qui se veut dynamique), le jury peut éventuellement reformuler la question ou relancer la discussion par d'autres questions pour faire préciser les propos du candidat.

Le jury attend du candidat qu'il montre que sa réflexion s'inscrit dans les valeurs qui portent le métier d'enseignant, et en particulier dans le cadre des valeurs de la République, la liberté, l'égalité, la fraternité, mais également la laïcité et le refus de toutes les discriminations.

Le jury a eu la satisfaction de voir un certain nombre de candidats faire preuve d'une bonne qualité de réflexion et montrer comment ils envisagent de faire partager les valeurs de la République à leurs futurs élèves à travers leurs pratiques pédagogiques.

*Conclusion*

La leçon de chimie est une épreuve d'admission qui permet au jury d'évaluer **la maîtrise des savoirs** des candidats en chimie (vocabulaire adapté, rigueur scientifique, cohérence du plan, justesse des réponses...), **leur réflexion pédagogique et didactique** (cohérence des pré-requis, choix des exemples, d'intégration des manipulations...), **la qualité de leur communication** (dynamisme, supports utilisés, tenue du tableau, capacité à interagir avec le jury lors de l'entretien...) ainsi que la capacité à mettre en œuvre une **démarche expérimentale** (choix des expériences, compréhension des principes, réalisation et exploitation, analyse des sources d'erreurs, sécurité...).

Cette année encore le jury a eu l'occasion d'observer des candidats **maîtrisant les fondamentaux de la chimie, à l'aise à l'oral et capables de mener une démarche scientifique pertinente et convaincante, il les en félicite** et espère que les commentaires de ce rapport aideront les futurs candidats à acquérir ces compétences essentielles pour entrer dans le métier d'enseignant.

## Rapport sur le montage de physique 2021

### Introduction

La session 2019 a introduit deux évolutions importantes du format de l'épreuve de montage. La première a consisté en l'ouverture à Internet pendant la préparation et la présentation devant le jury. La seconde a introduit la possibilité pour le jury, lors de l'entretien, de proposer une activité d'ordre expérimental, non préparée, au candidat. En raison de l'épidémie de COVID-19, l'épreuve de montage a été annulée pour la session 2020. La session 2021 est ainsi dans la continuité des évolutions introduites en 2019. Au cours de cette nouvelle session, le jury a pu assister à des montages de bonne tenue mettant en avant les qualités d'expérimentateurs des physiciens candidats au concours, tant dans la première que dans la seconde phase de l'épreuve (notamment, lors de l'entretien, dans l'appropriation d'une problématique scientifique et la définition d'un protocole expérimental visant à répondre à cette dernière).

### Déroulement de l'épreuve

Pour l'épreuve de montage, le candidat dispose de quatre heures de préparation suivies d'une présentation et d'un échange avec le jury d'une durée maximale d'une heure et vingt minutes. L'épreuve se déroule en deux parties :

- une première partie de trente minutes maximum consiste en une présentation expérimentale à l'initiative du candidat sur un sujet de la liste des montages en annexe de ce rapport (déjà publiée dans le rapport de 2020). Au début de l'épreuve, le candidat choisit entre deux sujets et dispose de quatre heures de préparation, au cours de laquelle il est assisté d'une équipe technique, pour monter des dispositifs expérimentaux et réaliser des mesures illustrant le thème choisi,
- une seconde partie consiste en un entretien pendant lequel le jury peut revenir sur la présentation du candidat mais peut également proposer au candidat une activité d'ordre expérimental simple, non préparée et découverte par le candidat lors de cette seconde partie.

A – Présentation devant le jury de la partie réalisée en préparation.

La partie A du montage de physique est la seule partie d'épreuve pour laquelle le candidat a le choix entre deux sujets au début du temps de préparation. Une fois ce choix effectué, il n'est pas possible de revenir en arrière. Le candidat dispose de quatre heures pour monter des dispositifs expérimentaux et réaliser des mesures illustrant le thème choisi. Durant sa préparation, le candidat a la possibilité de consulter, en plus des ouvrages de la bibliothèque, toute ressource disponible sur internet en accès libre, hormis les forums de discussion, messageries, sites avec accès restreint (login et/ou mot de passe).

À l'issue de cette préparation, la présentation devant le jury dure trente minutes. Ce temps doit être utilisé à réaliser des mesures quantitatives et à analyser la pertinence des résultats obtenus dans le cadre du thème choisi. Durant la présentation, les membres du jury n'interviennent pas (sauf en cas de mise en danger du candidat ou du jury), mais peuvent être amenés à se déplacer et à communiquer entre eux.

B – Entretien avec le jury avec une activité expérimentale sans préparation.

Lors de l'entretien, le jury revient avec le candidat sur les manipulations exposées lors de la première partie (motivation du montage, choix du protocole, exploitation des résultats...) L'entretien porte principalement sur les points suivants :

- ✓ la cohérence des expériences proposées avec le sujet du montage ;
- ✓ les protocoles expérimentaux et le matériel utilisé ;
- ✓ les mesures et leurs exploitations ;
- ✓ la confrontation des résultats obtenus avec un modèle ou une valeur attendue, leur validation

éventuelle et leur interprétation physique.

Le jury peut également demander au candidat de reprendre des points de mesures sur les expériences présentées ou de modifier le réglage de certains instruments.

Une activité expérimentale peut également être proposée par le jury, afin de valider en direct les compétences expérimentales du candidat. Cette activité peut être corrélée ou non au thème de la première partie et est réalisée en interaction avec le jury. Le jury peut proposer du matériel nouveau, fourni lors de l'entretien : ce matériel n'a pas pour vocation d'être utilisé en intégralité et le candidat ne doit utiliser que ce qui lui paraît nécessaire sans préjuger de l'utilisation ou non de l'ensemble du matériel disponible. Le candidat peut utiliser du matériel déjà présent dans la pièce, notamment du matériel utilisé en partie A. Si le matériel fourni et utilisé est rudimentaire, les mesures ne pourront avoir la précision de celles effectuées en partie A. Cette activité n'est pas destinée à évaluer le candidat sur des développements théoriques, il s'agit encore une fois de tester les capacités expérimentales du candidat.

## **Principaux critères d'évaluation**

Un futur enseignant de physique-chimie se doit de maîtriser les compétences expérimentales fondamentales inhérentes à sa discipline, mais également d'être en capacité de les transmettre à ses futurs élèves. L'épreuve de montage nécessite une approche expérimentale des phénomènes étudiés. En conséquence, les lois physiques n'ont pas à être démontrées, même si bien sûr les principes physiques sur lesquels reposent les expériences proposées doivent être clairement maîtrisés par les candidats et peuvent faire l'objet de questions de la part du jury. Celui-ci rappelle que l'épreuve de montage n'est pas une leçon, et qu'en aucun cas une présentation de type leçon n'est attendue.

Une expérience de physique n'est ni un acte technique isolé, ni une fin en soi. Elle doit être l'aboutissement d'une démarche expérimentale : définir un objectif expérimental, mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'atteindre ce dernier et exploiter les résultats obtenus.

Au-delà du triptyque connaissances, capacités et compétences expérimentales évaluées par le jury, ce dernier est particulièrement attentif aux attitudes du candidat, notamment l'honnêteté et l'intégrité scientifique, ainsi que sa capacité à se remettre en cause et échanger avec le jury. Les candidats qui ont fait preuve de malhonnêteté scientifique afin d'obtenir des résultats fictifs ont été lourdement sanctionnés par le jury.

Le jury a évalué le candidat sur les capacités suivantes :

### **1. La capacité à communiquer**

Le jury est particulièrement sensible à la clarté de la présentation orale et écrite, qualité fondamentale pour un futur enseignant. L'utilisation d'un vocabulaire précis et adapté, la présentation du tableau avec des schémas adaptés et annotés, de graphiques avec des axes et unités précisés sont des critères d'évaluation. Le jury exige également qu'une ou plusieurs mesures en direct soit reportées au tableau, de façon à faciliter la vérification et la discussion des mesures indirectes qui en découlent. Lorsque le candidat intègre sa ou ses mesures dans un tableau réalisé en préparation, il doit indiquer oralement où se situent les nouveaux points sur le graphique qu'il réalise ensuite. Le candidat doit garder à l'esprit qu'il est évalué sur la base de sa présentation et non uniquement de sa préparation.

L'activité expérimentale proposée lors de la partie B est également l'occasion pour le candidat de mettre en valeur sa capacité à communiquer : c'est un moment de discussion avec le jury au cours duquel il doit mettre en valeur ses talents d'écoute et de pédagogie.

### **2. La capacité à réaliser des expériences**

Le jury apprécie la réalisation d'expériences quantitatives et la capacité des candidats à les mener à terme. Ces expériences doivent être en adéquation avec le sujet, réalisées avec soin et avec un protocole que le candidat doit pouvoir justifier, notamment au niveau du choix du matériel. Le jury attend du candidat, une parfaite maîtrise du matériel utilisé ainsi que des protocoles proposés. Il est important, à chaque fois que cela est possible, de réaliser plusieurs points de mesure et de présenter sur un graphique les résultats en utilisant l'outil informatique.

### **3. La capacité à exploiter les mesures effectuées**

La réalisation de mesures n'est jamais un but en soi pour un physicien et un futur enseignant ; les



mesures sans incertitudes sont souvent peu intéressantes. Le jury apprécie que le candidat définisse clairement les objectifs expérimentaux des expériences proposées. Il est attendu du candidat de confronter les résultats expérimentaux obtenus à une valeur attendue et/ou une modélisation. Dans cette démarche, l'évaluation des incertitudes est un point central, ainsi que les différents outils numériques pour la validation d'un modèle théorique tenant compte des incertitudes expérimentales (ajustement, test du moindre carré (« chi 2 »), résidus, etc...). Dans le cas de l'utilisation d'un outil numérique pour ajuster les données expérimentales, le jury évalue la capacité du candidat à discuter de la qualité de son ajustement. Le cas échéant, il est attendu du candidat un regard critique si le modèle n'est pas vérifié et/ou la valeur obtenue incohérente avec celle qui est attendue, notamment en discutant les sources d'erreurs potentiel à l'origine de cet écart.

Le candidat doit saisir cependant l'enjeu de l'expérience proposée afin de mener correctement cette discussion :

- ✓ s'agit-il d'un enjeu métrologique (mesure d'un paramètre physique caractéristique par exemple) ? Dans ce cas, la comparaison entre grandeur mesurée et grandeur tabulée/théorique est impérative.
- ✓ s'agit-il de vérifier une loi physique et les dépendances entre grandeurs qu'elle implique afin de mettre en évidence un phénomène physique spécifique ? Dans ce cas, la validation du modèle est alors un point essentiel.

Le jury tient à souligner la différence entre ces deux approches et notamment que la validation d'une loi physique ne passe pas obligatoirement par la mesure d'une grandeur physique.

#### **4. La capacité à échanger**

L'évaluation des capacités précédentes est affinée lors de l'entretien. Celui-ci n'a pas pour but de piéger le candidat, mais bien de lui permettre de valoriser sa compréhension des expériences, de préciser la limite des modèles utilisés, de justifier son choix de matériel et le cas échéant d'expliquer un éventuel désaccord dans la validation ou un éventuel échec dans la réalisation. Cet entretien est un échange au cours duquel le candidat peut démontrer sa capacité à écouter, à faire évoluer sa pensée et à prouver son honnêteté intellectuelle, qualité à laquelle le jury est particulièrement sensible.

L'activité expérimentale proposée lors de la partie B est également l'occasion pour le candidat de mettre en valeur sa capacité à échanger : le candidat doit, en direct, présenter les étapes de sa démarche, les expliquer clairement et analyser les résultats obtenus.

#### **Remarques spécifiques à la partie B**

Lorsque que le jury propose une activité expérimentale non préparée en entretien, il évalue la capacité du candidat à s'approprier une problématique scientifique expérimentale, définir un objectif expérimental, proposer un protocole expérimental adapté pour répondre à cette dernière ainsi qu'à choisir le matériel adapté et les valeurs de composants pertinentes pour réaliser l'objectif qu'il s'est fixé. Contrairement à la partie A, le candidat réalise son activité expérimentale en interaction avec le jury : le candidat ne doit pas hésiter à échanger avec le jury, expliquer oralement ses choix et/ou ses questionnements. Le jury interroge le candidat tout au long de la partie B, ce dernier doit être en capacité de répondre tout en continuant à manipuler.

Le jury a été amené à voir des présentations en partie A avec des expériences élaborées, de niveau élevé, mais pour autant a eu le regret de constater que ces mêmes candidats ne sont parfois pas capables de régler correctement un instrument de base comme l'oscilloscope en partie B. Le jury apprécie certes ces expériences élaborées, mais privilégiera la maîtrise des compétences expérimentales de base, indispensables à tout futur enseignant de physique-chimie. La partie B permet également au jury d'évaluer les qualités du candidat pour cerner une problématique scientifique, définir un objectif expérimental et établir un protocole permettant d'atteindre ce dernier.

#### **Les attendus du jury**

##### **1. Questions de base : comment et pourquoi ?**

Quel que soit le montage, le candidat doit pouvoir justifier ses divers choix, tant du point de vue du matériel que du modèle, et des conditions expérimentales : quels composants, quels appareils de mesures, quels détecteurs, quelles approximations, quelles relations, quelles lois, quelles relations

affines, quelles relations linéaires, pourquoi avoir tracé telle variable en fonction de telle combinaison d'autres variables... ? Ainsi, si le candidat trouve un protocole sur internet, il doit s'assurer de le maîtriser parfaitement avant de décider de l'intégrer dans son montage.

## 2. Manipulations et mesures

Une connaissance des principes de fonctionnement des appareils utilisés est attendue dans l'épreuve de montage. Par exemple l'utilisation d'un capteur plutôt qu'un autre, pour une mesure donnée, ne peut se faire qu'en connaissant leurs caractéristiques : linéarité, temps de réponse, bande passante, saturation éventuelle... De même, les candidats doivent connaître les unités utilisées et leur conversion dans le système international. L'utilisation de « boîtes noires », telles que diverses plaquettes de montages électroniques, ou encore un spectrophotomètre interfacé sur ordinateur, n'est pas à recommander aux candidats qui les découvrent lors de l'épreuve. En effet, on attend que soient connus les principes physiques de fonctionnement de ces outils, ainsi que l'incidence sur les mesures des divers paramètres, réglables ou non, qui interviennent.

## 3. À propos des traitements informatiques

L'acquisition de données sur ordinateur est un outil extrêmement utile, à condition que le signal ait été identifié à l'aide d'appareils traditionnels (oscilloscope ou autre) ; on risque sinon de faire de nombreux essais « à l'aveugle » avant d'obtenir un résultat satisfaisant.

Lors de l'utilisation de logiciels de traitement des données, certaines lacunes subsistent : si une FFT est obtenue d'un simple clic, la résolution spectrale est bien souvent confondue avec le déplacement des curseurs « de part et d'autre du pic » et les paramètres d'obtention sont ignorés. Les candidats doivent, en outre, connaître les propriétés élémentaires de la transformée de Fourier discrète pour pouvoir interpréter correctement leurs résultats. Il faut par ailleurs être conscient que, même si le critère de Shannon est respecté, la représentation du signal peut paraître singulièrement déformée si la période d'échantillonnage est mal choisie. Enfin, il faut penser à choisir convenablement la durée d'acquisition et la période d'échantillonnage.

Lors de l'exposition des résultats obtenus et de leur traitement, l'utilisation de logiciels est souhaitable, à condition qu'elle ne se substitue pas – en termes d'effort et de temps passé – à la physique ; toutefois, elle devient contre-productive quand le candidat connaît mal les logiciels qu'il utilise. Le candidat doit veiller à préparer le fichier contenant les grandeurs numériques de l'expérience et leur exploitation de manière à ne pas y passer trop de temps lors de la présentation. La plupart des candidats savent désormais faire apparaître, sur les graphiques obtenus en préparation, les points de mesure réalisés devant le jury avec, si possible, une couleur différente.

Certains candidats téléchargent en préparation des scripts leur permettant de traiter leurs résultats. Ces scripts, dont l'utilisation n'est pas toujours judicieuse, doivent être parfaitement maîtrisés par le candidat et doivent pouvoir être modifiés par le candidat au cours de l'épreuve.

Certains candidats utilisent des tableurs bureautiques pour effectuer les différents calculs d'incertitudes de l'expérience proposé. Dans ce cas, le candidat doit pouvoir expliquer le principe du calcul, et justifier l'expression de la formule utilisée.

Il faut rappeler aux candidats qu'il convient de se méfier des dérivées numériques qui introduisent du bruit, alors que dans de nombreux cas, un ajustement global de la fonction non dérivée est plus précis. Il faut aussi se méfier des dérivées toutes faites dans certains logiciels qui font un lissage sans le dire. Signalons enfin qu'il est impératif d'enregistrer les fichiers de résultats obtenus afin de pouvoir les ouvrir lors de la discussion avec le jury.

## 4. À propos des expériences d'optique

Le jury voit encore souvent des dispositifs mal alignés, avec des images présentant des aberrations, ainsi que des éléments optiques prétendument éclairés en incidence normale mais qui ne le sont pas en réalité ; rappelons que de nombreux bancs d'optique peuvent être trouvés dans la collection et que l'éclairage d'un réseau en incidence normale ne s'effectue pas « à l'œil »... Ces remarques s'appliquent à tous les montages dans lesquels l'optique est utilisée et pas seulement à ceux qui ont spécifiquement trait à l'optique.

D'autre part, il convient de savoir tirer parti des propriétés spécifiques des diodes laser : longueur de cohérence plus petite que celle des lasers He-Ne, accordabilité, ouverture numérique, effet de seuil (fonctionnement en LED, fonctionnement en laser). Il faut également faire attention aux lasers dits « non polarisés », dont la polarisation est en fait partielle et fluctuante, ce qui peut conduire à des signaux



Agrégation externe de physique-chimie option physique, session 2021

très fluctuants en particulier pour des expériences quantitatives.

Concernant les montages d'interférences, le candidat doit pouvoir justifier non seulement des dispositifs interférentiels choisis, mais aussi du fonctionnement des appareils choisis ainsi que des distances caractéristiques choisis.

Enfin, concernant l'interféromètre de Michelson, le candidat doit savoir expliquer les étapes qui ont mené à son réglage et doit pouvoir modifier ce réglage à la demande du jury.

Lors de la partie B, le jury a constaté les difficultés rencontrées par un nombre significatif de candidats pour former correctement une image en optique.

## 5. À propos des expériences en mécanique

Les expériences de mécanique sont souvent bien menées par les candidats. Le jury regrette cependant que de nombreux candidats réduisent le pendule pesant au pendule simple.

Concernant les expériences de mécanique des fluides, le jury rappelle que l'estimation des nombres de Reynolds pour les différentes expériences présentées est attendue.

## 6. À propos des expériences en électricité

Il est important que le schéma du montage étudié figure au tableau, que la valeur des composants utilisés soit indiquée, que les tensions et courants utilisés soient représentés dans les bonnes conventions et que le branchement des voies des oscilloscopes et la position de la masse soient bien visualisés. Si des plaquettes électroniques précâblées sont utilisées, les différents étages de la plaquette doivent être décrits.

Enfin, le candidat doit pouvoir justifier du choix des valeurs des composants utilisés dans ses montages ainsi que des fréquences de travail.

Lors de la partie B, le jury a regretté les grandes difficultés que rencontraient de nombreux candidats dans la prise en main d'un oscilloscope, notamment ses réglages de base comme le déclenchement. De même, l'utilisation du mode « single » est à privilégier par rapport au simple « run/stop ».

## 7. À propos de la présentation graphique des mesures

Le tracé d'un graphique est récurrent en physique, que ce soit pour illustrer une loi ou pour déterminer une grandeur à partir d'une série de mesures.

Lors de la réalisation d'un tel graphique, le jury attend :

- ✓ que les points de mesure soient bien visibles et qu'on ne voit pas seulement les lignes qui les joignent. Penser à représenter les barres d'erreurs dans les deux directions si cela est pertinent ;
- ✓ que les points résultant des mesures réalisées devant le jury et ceux obtenus en préparation soient clairement identifiés oralement par le candidat ;
- ✓ que les grandeurs associées aux axes soient clairement indiquées, avec leurs unités ;
- ✓ que les pentes dans les modélisations affines ou linéaires soient données avec leurs unités. Bien souvent une loi linéaire peut être ajustée par une loi affine pour prendre en compte certaines erreurs systématiques. Il est alors indispensable de discuter la valeur de l'ordonnée à l'origine ; le jury rappelle cependant que vous valider un modèle considéré comme linéaire, un ajustement linéaire est attendu et non un ajustement affine.
- ✓ que des lois manifestement non linéaires ne soient pas modélisées par une droite en attribuant les écarts entre les points expérimentaux et la droite modèle à du bruit ; il faut contrôler la façon dont ces points sont dispersés autour de la courbe modèle.

## 8. Validation des mesures

Cette validation suppose quatre étapes :

- vérifier rapidement, avant de se lancer dans un calcul d'incertitude, la pertinence des résultats en contrôlant les ordres de grandeur trouvés et en comparant aux valeurs attendues ;
- rechercher les éventuelles sources de biais systématiques et les discuter ;
- relever toutes les sources d'incertitudes, évaluer les plus importantes, de façon à ne pas

s'encombrer des parties négligeables ;

- une fois la pertinence de la mesure vérifiée, et les incertitudes significatives identifiées, terminer par l'encadrement quantitatif du résultat ; le jury rappelle que l'incertitude type et l'incertitude type élargie sont deux notions distinctes.

Calculer l'écart en pourcentage entre la valeur mesurée et la valeur attendue et le comparer à 10 % ne constitue pas une validation d'une mesure. La physique est une science expérimentale qui donne lieu à des prédictions quantitatives qui peuvent conduire à des mesures de grande précision. La comparaison doit se faire avec des valeurs tabulées ou des valeurs théoriques, c'est-à-dire issues d'un calcul. De telles valeurs peuvent donc elles-mêmes présenter des incertitudes. Les candidats sont encouragés à s'appuyer sur la notion d'écart normalisé pour comparer la valeur d'une mesure à une valeur de référence.

Le jury rappelle que des données tabulées ou constructeurs sont généralement données avec des incertitudes également.

## 9. Discussion des incertitudes

Concernant la discussion des erreurs, le jury rappelle que :

- ✓ les notions de barres d'erreurs, d'incertitudes, d'intervalle de confiance et les hypothèses (indépendance des variables, nature statistique des erreurs, absence de biais) qui permettent d'établir les formules utilisées dans l'évaluation de ces quantités, doivent être maîtrisées, au risque de conduire à des évaluations d'incertitudes non pertinentes ;
- ✓ de même, les discussions sur les intervalles de confiance obtenus par régression à l'aide de calculs sur ordinateur sont les bienvenues ; en revanche, l'interprétation des grandeurs statistiques issues des logiciels utilisés doit alors être correctement effectuée. Plus précisément le jury rappelle que la donnée du coefficient de corrélation ne peut servir de validation et que l'interprétation de la valeur du « chi 2 » ou la méthode des résidus sont attendues.
- ✓ enfin, en cas de traitement statistique d'une série de mesures, l'écart type d'une mesure doit être bien distingué de l'écart type de la moyenne des mesures.

Le jury encourage les candidats à discuter les sources d'erreurs dans les expériences présentées pour en identifier les sources dominantes avant de se lancer dans leurs calculs, en éliminant les contributions négligeables, et ainsi d'éviter d'y passer un temps disproportionné.

Concernant l'évaluation des incertitudes, le jury aimerait attirer l'attention sur les points suivants :

- ✓ les candidats associent trop souvent incertitude et limite de précision de l'appareil de mesure. Pourtant, dans de nombreuses situations, l'erreur lors d'une mesure provient davantage de l'appréciation du phénomène par l'expérimentateur que des limites de l'appareil de mesure, et l'incertitude est largement sous-évaluée par le candidat (résonance de la corde de Melde, brouillage des franges d'une figure d'interférence, position d'une image en optique géométrique...). Il faut alors ajuster le protocole afin de diminuer cette source d'erreur puis effectuer, avec réalisme, l'évaluation de l'intervalle de confiance de la mesure ;
- ✓ a contrario, les candidats ne doivent pas surestimer leurs erreurs pour tenter de retrouver une valeur tabulée dans l'intervalle de confiance. Cette stratégie, mal appréciée du jury, ne correspond pas à la démarche scientifique attendue ;
- ✓ concernant le traitement statistique des mesures, il faut bien distinguer les situations où une telle étude permet de diminuer significativement l'incertitude sur la mesure, des situations où le traitement statistique ne présente pas d'intérêt ;
- ✓ il ne faut pas confondre incertitudes et erreurs systématiques : on ne peut espérer diminuer ces dernières en faisant une statistique sur plusieurs mesures.

## Remarques générales

### 1. Comment choisir les expériences ?

Les candidats sont libres de choisir les expériences en relation avec le sujet choisi : il n'existe pas d'expérience « incontournable ». Il est en particulier peu raisonnable d'envisager d'apprendre le jour de

l'épreuve à régler un dispositif interférentiel que l'on n'a jamais vu, ou à utiliser certains appareils numériques complexes que l'on ne connaît pas. Notamment, il semble inadéquat au jury d'utiliser le protocole d'une expérience trouvée sur internet sans s'assurer au préalable de sa parfaite compréhension.

Le candidat disposant de seulement trente minutes de présentation, il doit prendre garde à éviter la multiplication des dispositifs expérimentaux. Il n'est pas attendu du candidat d'être exhaustif sur le sujet choisi : privilégier un nombre raisonnable d'expériences, correctement présentées et exploitées, peut conduire à la note maximale. De nombreux candidats se pénalisent à vouloir présenter beaucoup d'expériences, qui au final ne sont pas ou peu exploitées : présenter des exposés constitués de quatre à cinq expériences est-il réaliste pour une présentation de 30 minutes seulement, sans nuire à la qualité de leur exploitation ?

Le candidat doit en outre s'attacher à ne pas faire de « hors-sujet » et à s'assurer que les expériences proposées répondent bien à la question posée par le titre du montage. Le fait de réaliser plusieurs expériences permet d'apporter des réponses variées à cette question, d'en aborder plusieurs aspects, en impliquant si possible plusieurs domaines de la physique.

## **2. Peut-on introduire une expérience qualitative ?**

Une expérience qualitative, permettant de mettre en évidence les phénomènes étudiés et de préciser les ordres de grandeurs, est souvent bienvenue. Elle peut servir d'introduction, de transition ou éventuellement de conclusion. Il ne faut cependant pas les multiplier sous peine de se ramener à une succession « d'expériences de cours ». Il est contre-productif de conserver du temps pour réaliser une expérience qualitative en fin de montage, lorsque l'exploitation quantitative des expériences précédentes n'a pas pleinement abouti et que des résultats inattendus restent à expliquer.

## **3. Quels sont les écueils à éviter ?**

Il apparaît souvent des « montages types », notamment depuis l'ouverture à Internet en préparation, parfaitement adaptés au sujet posé mais identiques d'un candidat à l'autre, quant à leur déroulement et au choix des expériences. Le jury est alors particulièrement attentif aux capacités propres du candidat lors de l'évaluation car il attend légitimement d'un futur agrégé que celui-ci maîtrise parfaitement les montages sélectionnés et présentés et qu'il sache donner une coloration personnelle à son enseignement. En outre, le jury constate que le choix d'un « montage type » trop ambitieux peut s'avérer difficile à assumer pour certains candidats, ce qui conduit à des résultats très faibles.

## **4. Comment montrer son savoir-faire expérimental et sa connaissance du matériel ?**

Rappelons que la prise de mesure en cours de présentation est impérative : elle permet au jury de vérifier que le candidat maîtrise la technique de mesure, que les résultats obtenus en préparation ne sont pas simulés, mais aussi d'observer le futur enseignant dans la transmission d'un savoir-faire expérimental : c'est une difficulté mais aussi une des singularités de la physique ! L'absence de mesure devant le jury serait clairement sanctionnée lors de l'évaluation du montage. Il appartient au candidat de permettre au jury de s'assurer que le point de mesure réalisé devant lui a correctement été intégré dans les données de préparation et comment il s'insère (notamment dans les représentations graphiques).

Si le candidat réalise une mesure pendant la présentation, le jury peut lui demander de reprendre des mesures durant l'entretien, afin d'affiner son jugement quant aux capacités expérimentales évaluées. Dans ce cas, il est regrettable que le candidat "dérègle" des dispositifs expérimentaux de sa présentation, sans que la suite de l'exposé le nécessite, ne permettant pas au jury de revenir sur certaines mesures. Cependant, il est légitime de modifier un dispositif si cela est nécessaire dans le protocole proposé, afin de satisfaire des objectifs expérimentaux évidents.

Il faut de plus éviter l'utilisation d'appareils ou de logiciels dont le principe de fonctionnement est inconnu, ainsi que de « boîtes noires » dont on ne connaît pas la constitution. Le jury regrette également un certain abus de plaquettes électroniques précâblées, dont les différents éléments ne sont parfois pas spécifiés au jury et qui parfois réduisent la présentation à une seule manipulation.

Il faut enfin manipuler soigneusement, ce qui permet d'éviter les erreurs systématiques grossières et

d'aboutir à des résultats affectés d'une incertitude contrôlée et raisonnable.

## **5. Comment montrer sa capacité à exploiter des mesures, à interpréter des résultats et à faire preuve d'esprit critique ?**

Le candidat doit être capable de vérifier l'homogénéité des relations utilisées, de contrôler les ordres de grandeur obtenus (en contrôlant rapidement les puissances de 10) et, bien entendu, de confronter ses mesures à des valeurs tabulées dès que cela est possible. En outre, ces valeurs tabulées doivent être choisies en cohérence avec les conditions de l'expérience réalisée. Nous rappelons aux candidats qu'il est possible le jour du montage de prendre des livres contenant des valeurs de référence, mais qu'ils peuvent désormais les retrouver sur Internet, pour peu qu'ils utilisent des sites appropriés. Trop de candidats affirment à l'issue d'une mesure qu'ils n'ont pas avec eux les valeurs tabulées dans les conditions de l'expérience.

Le candidat doit comprendre que l'évaluation des incertitudes n'est pas uniquement un passage obligé pour l'épreuve de montage, mais que cette évaluation doit être abordée avec discernement : par exemple, il n'est pas raisonnable de passer du temps à évaluer l'incertitude sur une première mesure presque qualitative, pour traiter cet aspect de manière incomplète dans les expériences suivantes où les enjeux de précision sont plus cruciaux ; de même, certaines grandeurs n'ont pas vocation à être mesurées avec une précision métrologique (taux de modulation, facteur de qualité...) et il n'est donc pas nécessaire de passer trop de temps à l'évaluation des incertitudes dans ce cas. En cas d'erreur manifeste, le candidat ne doit pas se contenter d'une remarque lapidaire et poursuivre le montage, mais chercher avec discernement où se trouve le biais ; une discussion approfondie et argumentée raisonnablement sera valorisée par le jury.

## **6. De l'utilisation raisonnée des incertitudes**

L'épreuve de montage vise à évaluer les compétences expérimentales des candidats. Si l'évaluation des incertitudes est un aspect important de cette épreuve, ce n'est pour autant pas le centre du sujet. L'évaluation des incertitudes est un outil au service d'une démarche expérimentale ; elle ne se justifie que lorsqu'elle porte un enjeu (comparaison entre une valeur mesurée et une valeur de référence, validation ou non d'une loi...). Une expérience présentée en montage doit avoir pour but de présenter un phénomène physique ou une loi physique avant tout ; ainsi l'évaluation des incertitudes permet d'avoir un regard critique dans une démarche de validation des résultats obtenus (comparaison à une valeur tabulée, validation d'un modèle théorique, ...). Les candidats ne doivent pas perdre de vue que l'objectif principal d'une expérience n'est pas le calcul d'une incertitude (sauf cas particulier).

## **Conduire les quatre heures de préparation**

### **1. Préparer les expériences**

La préparation s'effectue avec l'assistance de l'équipe technique. C'est au candidat, et non aux techniciens, de choisir les composants et d'utiliser les logiciels de traitement de données. Les techniciens peuvent, si nécessaire, réaliser des mesures répétitives pour le candidat, en suivant strictement le protocole expérimental (même erroné) établi par celui-ci, et éventuellement saisir les valeurs mesurées. Le candidat réalise lui-même le réglage des différents matériels demandés. De nombreuses notices sont disponibles. Les candidats devraient plus souvent consulter ces notices ou les spécifications des appareils et des composants utilisés.

Dans la mesure du possible, les candidats doivent organiser leurs dispositifs sur les paillasses disponibles de façon que les expériences soient visibles par les membres du jury depuis leur table de travail, même si ceux-ci seront amenés à se déplacer au cours de la présentation. En outre, les salles sont équipées d'ordinateurs reliés à des vidéoprojecteurs qu'il est souhaitable d'utiliser afin de faciliter la présentation des résultats devant le jury.

Il convient de vérifier la pertinence des résultats (Handbook, estimations...) et de préparer à l'avance les évaluations d'incertitudes.

### **2. Préparer le tableau**

Afin d'éviter de perdre du temps durant la présentation, une partie de la préparation doit être consacrée à l'organisation du tableau. Il est absolument nécessaire qu'à son arrivée, le jury puisse y lire le titre du montage, les schémas de la totalité des expériences choisies, les principaux éléments des protocoles

expérimentaux proposés, les valeurs numériques des composants ou paramètres de contrôle, les modélisations utilisées lors de l'exploitation des mesures, les valeurs numériques obtenues en préparation ainsi que les valeurs tabulées utiles. Le tableau devra ensuite être complété lors de la présentation, suite aux mesures et exploitations effectuées directement devant le jury. Le jury a regretté que pour de trop nombreux candidats, le tableau contienne dès le départ, des erreurs (formules erronées, inhomogénéités ...)

### **3. Présenter le montage devant le jury**

Il est conseillé aux candidats de réserver quelques minutes avant l'arrivée du jury pour reprendre en main le début de la présentation, de manière à débiter celle-ci dans de bonnes conditions.

Bien qu'une courte introduction soit appréciable, les considérations théoriques générales et de trop longues introductions sont à proscrire car, si elles permettent au candidat de prendre confiance au début de l'exposé, elles n'entrent pas en considération dans la note finale et constituent, de ce fait, une perte de temps.

Le candidat doit ensuite expliquer clairement, mais sans digression, le but et le protocole de chaque expérience, puis effectuer des mesures devant le jury. Lors d'une mesure, il explique au jury comment il procède et indique la valeur obtenue. Le tableau doit alors être complété, en mettant bien en valeur ces résultats de mesures accompagnés de leurs incertitudes, le tout présenté avec un nombre cohérent de chiffres significatifs. Le tableau ne doit pas être effacé par la suite, ni en cours de présentation, ni au moment des questions.

Enfin, il va de soi que le montage est une épreuve orale et que, par conséquent, rester de longues minutes dans le silence n'est pas conseillé ; toutefois, lorsque certains imprévus expérimentaux se présentent, le jury conçoit que le candidat puisse devoir se concentrer et rester silencieux quelques minutes.

Si la présentation de la partie A dure moins longtemps que les trente minutes imposées, il est souhaitable de revenir sur les difficultés rencontrées au cours du montage, et ne pas hésiter à reprendre des mesures et à refaire des applications numériques, plutôt que d'énoncer des généralités en guise de conclusion. Il est également possible de revenir sur une explication qui aurait été présentée trop rapidement lors de l'exposé.

## **Sujets des épreuves orales de la session 2021**

## Leçons de physique 2021

1. Phénomènes de diffusion.
2. Oscillateurs.
3. Effet tunnel. Applications à la microscopie.
4. Evolution temporelle d'un système à deux niveaux. Exemple d'application.
5. Effet Doppler. Exemple d'application.
6. Système Terre-Lune.
7. Ondes acoustiques dans les fluides. Applications médicales.
8. Exemples d'effets relativistes. Applications.
9. Radioactivité alpha. Principe et applications.
10. Résonance Magnétique Nucléaire. Principe et applications.
11. Filtrage optique. Applications.
12. Filtrage en électronique analogique et numérique.
13. Utilisation des diagrammes enthalpiques pour les machines thermiques.
14. Bilans de grandeurs physiques dans les fluides en écoulement. Applications.
15. Facteur de Boltzmann. Exemples.
16. Entropie. Aspects macroscopiques et statistiques.
17. Modèle du fluide parfait. Applications.
18. Viscosité.
19. Frottements.
20. Phénomènes interfaciaux.
21. Bilan radiatif de la Terre.
22. Ondes stationnaires. Exemples dans la vie quotidienne.
23. Modèles de l'atome.
24. Exemples de principes variationnels. Applications.
25. Transport de l'énergie électrique.
26. Cellules photo-voltaïques.
27. Production d'énergie électrique décarbonée.
28. Transducteurs électro-mécaniques. Exemple d'un type de moteur électrique.
29. Mesure du temps. Exemples de dispositifs.
30. Lasers.
31. Interféromètre de Michelson. Expérience de Michelson. Morley.
32. Expérience des fentes de Young. Dualité onde-corpuscule.
33. Dipôles magnétiques. Expérience de Stern-Gerlach.
34. Télescopes.
35. Atmosphère terrestre.
36. Lois de conservation en mécanique. Applications.
37. Collisionneurs de particules.
38. Modèles de diffusion de la lumière.
39. Exemples de phénomènes non linéaires. Applications.
40. Mouvement Brownien.
41. Transitions de phase. Applications.
42. Hystérésis et bistabilité.
43. Spectroscopies.
44. Systèmes couplés.
45. Résonances. Applications.
46. Obtention de basses températures.
47. Dispersion et absorption. Application aux fibres optiques.
48. Phénomènes de diffraction. Utilisations.
49. Induction électromagnétique. Applications dans la vie quotidienne.
50. Aspects macroscopiques et microscopiques de la conduction électrique.
51. Approches macroscopique et microscopique de propriétés magnétiques de la matière.
52. Ondes évanescentes. Réflexion totale. Application.
53. Production, analyse et utilisation de la polarisation des ondes électromagnétiques.
54. Adaptations d'impédances. Exemples d'applications.



## Leçons de chimie 2021

1. Liaisons chimiques (Lycée)
2. Énergie chimique (Lycée)
3. Structure spatiale des molécules (Lycée)
4. Acides et bases (Lycée)
5. Oxydants et réducteurs (Lycée)
6. Chimie analytique quantitative et fiabilité (Lycée)
7. Évolution spontanée d'un système chimique (Lycée)
8. Cinétique et catalyse (Lycée)
9. Synthèse chimique : aspect macroscopique et mécanisme réactionnel (Lycée)
10. Séparations, purifications, contrôles de pureté (Lycée)
11. Distillation et diagrammes binaires (Lycée)
12. Caractérisations par spectroscopie en synthèse organique (Lycée)
13. Stratégie de synthèse (Lycée)
14. Molécules d'intérêt biologique (Lycée)
15. Solvants (CPGE)
16. Classification périodique (CPGE)
17. Solides cristallins (CPGE)
18. Corps purs et mélanges binaires (CPGE)
19. Application du premier principe de la thermodynamique à la réaction chimique (CPGE)
20. Détermination de constantes d'équilibre (CPGE)
21. Cinétique homogène (CPGE)
22. Évolution et équilibre chimique (CPGE)
23. Diagrammes potentiel-pH (construction exclue) (CPGE)
24. Optimisation d'un procédé chimique (CPGE)
25. Corrosion humide des métaux (CPGE)
26. Conversion réciproque d'énergie électrique en énergie chimique (CPGE)
27. Solubilité (CPGE)
28. Cinétique électrochimique (CPGE)

## Montages 2021

1. Dynamique du point et du solide.
2. Surfaces et interfaces.
3. Dynamique des fluides.
4. Capteurs de grandeurs mécaniques.
5. Mesure de température.
6. Transitions de phase.
7. Instruments d'optique.
8. Interférences lumineuses.
9. Diffraction des ondes lumineuses.
10. Spectrométrie optique.
11. Émission et absorption de la lumière.
12. Photorécepteurs.
13. Biréfringence, pouvoir rotatoire.
14. Polarisation des ondes électromagnétiques.
15. Production et mesure de champs magnétiques.
16. Milieux magnétiques.
17. Métaux.
18. Matériaux semi-conducteurs.
19. Effets capacitifs.
20. Induction, auto-induction.
21. Production et conversion d'énergie électrique.
22. Amplification de signaux.
23. Mise en forme, transport et détection de l'information.
24. Signal et bruit.
25. Mesure des fréquences temporelles (domaine de l'optique exclu).



Agrégation externe de physique-chimie option physique, session 2021

26. Mesure de longueurs.
27. Systèmes bouclés.
28. Instabilités et phénomènes non-linéaires.
29. Ondes : propagation et conditions aux limites.
30. Acoustique.
31. Résonance.
32. Couplage des oscillateurs.
33. Régimes transitoires.
34. Phénomènes de transport.
35. Moteurs.

## **Sujets des épreuves orales de la session 2022**

## Leçons de physique 2022

Au cours de la session 2022, plusieurs adaptations, dans le format de l'épreuve et dans le déroulement de la préparation seront apportées.

- Comme pour la session 2021, la liste des titres de leçons ne sera pas publiée à l'avance. Le titre de la leçon est communiqué au candidat au moment de l'épreuve. La leçon de physique porte sur le programme défini pour les première et troisième épreuves écrites d'admissibilité. Elle est à traiter au niveau des classes préparatoires scientifiques ou au niveau de la licence de physique. Le programme de première et troisième épreuves écrites d'admissibilité est publié sur le site du Ministère sur le site « Devenir enseignant » ou téléchargé à l'adresse suivante : [http://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg\\_externe/69/2/p2020\\_agreg\\_ext\\_physchim\\_p\\_hysique\\_1107692.pdf](http://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg_externe/69/2/p2020_agreg_ext_physchim_p_hysique_1107692.pdf)
- Les titres de certaines leçons pourront être complétés par un court paragraphe précisant certains aspects de ce qui est attendu du candidat. Par exemple, il pourra être demandé d'aborder de façon obligatoire un point précis en relation avec la thématique de la leçon. Ce « passage obligé » pourra consister en la réalisation d'une expérience de cours, l'analyse et la présentation d'un exercice, un développement historique court, la présentation d'une démonstration... Il devra être traité en cours d'exposé, en bonne cohérence avec le reste de la présentation. Le candidat en prendra connaissance au moment de la remise du sujet. La liste de ces passages obligés ne sera pas connue à l'avance.
- L'usage d'internet répondra aux mêmes contraintes que celles qui ont prévalu durant la session 2021. L'accès à tout site internet ne nécessitant pas d'identification reste possible. Tout autre accès est interdit. Il est rappelé que le concours dispose à la fin de l'épreuve de la liste de l'ensemble des sites consultés par le candidat au cours de sa préparation. Il est ainsi en mesure de vérifier la bonne application de cette règle et d'appliquer des sanctions – pouvant aller jusqu'à l'exclusion du concours - en cas de non-respect de celle-ci.
- Les candidats pourront disposer durant la présentation de documents papier personnels en quantité raisonnable (un ou deux classeurs ou cahiers sont raisonnables, un cartable entier ne l'est pas). L'usage de dispositifs électroniques personnels de stockage clefs USB, disques amovibles, ou calculatrices personnelles restera interdit.
- La bibliothèque restera accessible selon les mêmes modalités qu'en 2021.

## Leçons de chimie 2022

En 2022, le format de la leçon de chimie reste le même qu'en 2021 : une préparation de 4 heures, un exposé d'une durée de 40 minutes et un entretien avec les membres du jury d'une durée maximale de 40 minutes, comprenant 5 minutes pour aborder une question relative aux valeurs qui portent le métier d'enseignant, dont celles de la République.

Les sujets des leçons de chimie s'appuient sur les mêmes programmes des mêmes classes qu'en 2021 : les classes du lycée (filière générale et séries technologiques STI2D, STL et ST2S) (*BO spécial n°1 du 22 janvier 2019 et BO spécial n°8 du 25 juillet 2019*) et les classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) : classes de première année MPSI, PTSI, TSI1 (*BO spécial n°1 du 11 février 2021*) et classes de seconde année MP, PSI, PT et TSI2 (*BO spécial n°1 du 23 janvier 2014*).

À compter de la session 2022, il n'y aura plus de liste de sujets des leçons de chimie publiée à l'avance. Les titres des sujets de leçons seront choisis pour illustrer un point de programme en vigueur dans les classes concernées et seront communiqués au candidat en début de d'épreuve.

En plus du sujet, le candidat découvrira un « **élément imposé** » qui prendra la forme d'une **capacité expérimentale** (au sens large) essentielle pour l'enseignement de la chimie en lycée ou CPGE, identifiée par le jury au regard des notions ou compétences exigibles du programme. Cet « élément imposé » est à intégrer **impérativement au déroulé de la leçon, à réaliser et à exploiter devant le jury** par le candidat. L'illustration expérimentale de la leçon n'est pas restreinte à l'élément imposé.

Tous les conseils donnés aux candidats en 2021 pour la préparation de l'épreuve, l'exposé et l'entretien avec le jury restent valables. Cette épreuve vise à évaluer les compétences du candidat sur différents points :

- ses capacités à **maîtriser les savoirs disciplinaires en chimie** : maîtrise scientifique du sujet, mise en œuvre d'une démarche scientifique, rigueur scientifique, utilisation du vocabulaire adapté, domaine de validité des modèles utilisés, capacité à corriger ses erreurs, capacité à réinvestir ses connaissances dans d'autres champs disciplinaires
- ses capacités à effectuer une **transposition didactique** : contextualisation, structuration et cohérence de l'exposé, rigueur du formalisme, pertinence des exemples choisis, capacité à réutiliser les concepts abordés à d'autres niveaux d'enseignement, début de réflexion sur les difficultés de compréhension que peut rencontrer un élève ou un étudiant
- ses capacités à mettre en œuvre une **démarche expérimentale** : appropriation du titre, choix des expériences, réalisation des expériences en prenant en compte la sécurité, maîtrise des gestes techniques, exploitation et interprétation des résultats
- ses capacités à **communiquer** : clarté du discours, posture, capacité à gérer son temps, utilisation soignée de différents supports (tableau, diaporama, vidéos...), écoute et réactivité, capacité à présenter un raisonnement logique, honnêteté intellectuelle

En 2022, l'exposé commencera par une courte **introduction didactique** (3 minutes maximum) destinée à des professionnels de l'éducation qui comprend *a minima*, les pré-requis, les objectifs disciplinaires et la place dans la progression. Le jury apprécie que les sources des ressources utilisées soient indiquées lors de leur utilisation pendant la leçon. Le reste du temps est dévolu à la présentation et l'illustration expérimentale de la leçon destinée à des élèves ou étudiants. Le jury attend un **exposé continu, contextualisé et inclus dans une démarche scientifique**. Cette épreuve n'est pas, à l'instar d'autres concours de recrutement, la présentation d'une construction de séquence ou d'activités possibles en classe, mais l'exposé d'une véritable leçon telle qu'elle pourrait avoir lieu devant des élèves ou étudiants, avec des développements concrets.

#### **Exemples de sujets de leçon et « éléments imposés » associés :**

- *titre* : synthèse, purification et contrôle de pureté d'une espèce chimique organique liquide (Première STL – spécialité SPCL) ; *élément imposé* : réaliser une CCM
- *titre* : acides et bases faibles (Terminale générale, enseignement de spécialité) ; *élément imposé* : déterminer une constante d'acidité
- *titre* : structure et propriétés des solides ioniques (CPGE, MPSI) ; *élément imposé* : utiliser un logiciel pour visualiser des mailles et déterminer des paramètres géométriques

## Montages 2022

Le jury a constaté la multiplication du nombre de candidats qui n'utilisent internet que pour accéder à des documents préparés à l'avance dans ce seul but (plans de présentation, descriptions écrites ou même filmées de protocoles, tableaux de mesures prêtes à l'emploi...). Ce type d'utilisation qui est formellement compatible avec les règles d'utilisation d'internet fixées par le jury, en trahissent l'esprit et conduit à des présentations très standardisées. Pour cette raison, le jury a décidé de supprimer tout accès à internet durant la préparation de l'épreuve de montage pour la session 2022. Tout document ou équipement personnel sera également proscrit durant la préparation de cette épreuve

La liste des montages a également été revue. L'épreuve de montage a pour objectif d'évaluer les compétences expérimentales des candidats. Sur un sujet donné, il ne s'agit pas donner un « plan-type » qui serait « attendu par le jury ». Il s'agit plutôt de s'appropriier le sujet et de l'illustrer par quelques expériences choisies par le candidat parce qu'il en connaît le principe, sait les mettre en œuvre et les exploiter correctement. Le jury attend donc des candidats qui se préparent au concours en travaillant des expériences qui seront ensuite utilisables dans un montage (ou plus souvent dans plusieurs).

La liste des titres de montages de la session 2022 est significativement plus longue que lors des sessions précédentes. Cependant, les thématiques abordées étant, pour la plupart, inchangées, le travail de préparation à cette épreuve ne devrait pas être augmenté.

Pour l'épreuve de montage, le candidat choisit entre deux sujets. Assisté d'une équipe technique, il dispose de quatre heures de préparation pour monter des dispositifs expérimentaux et réaliser des mesures illustrant le thème choisi. La durée maximale de l'épreuve est d'une heure et vingt minutes, elle consiste en une présentation des expériences préparée et un échange avec le jury :

- une première partie de trente minutes maximum consiste en une présentation expérimentale à l'initiative du candidat sur un sujet de la liste des montages en annexe du rapport.
- une seconde partie consiste en un entretien pendant lequel le jury peut revenir sur la présentation du candidat mais peut également proposer au candidat une activité d'ordre expérimental **simple, non préparée et découverte par le candidat lors de cette seconde partie.**

### Titres des montages 2022

1. Illustration de quelques lois de la dynamique newtonienne
2. Dynamique du solide en rotation
3. Référentiels non Galiléens
4. Mesure de longueurs
5. Mesure de vitesses
6. Mesure d'accélération
7. Frottements
8. Tension superficielle
9. Viscosité
10. Caractérisation d'un écoulement
11. Ondes dans les liquides
12. Mesure de pressions
13. Mesure de températures
14. Transitions de phase
15. Transferts thermiques
16. Phénomènes de transport
17. Rayonnement thermique
18. Instruments d'optique
19. Interférences lumineuses
20. Diffraction des ondes lumineuses – Filtrage
21. Acquisition et analyse d'image
22. Spectrométrie optique
23. Interférences à ondes multiples
24. Émission et absorption de la lumière

25. Photorécepteurs
26. Biréfringence, pouvoir rotatoire
27. Polarisation des ondes électromagnétiques
28. Production de champs magnétiques
29. Mesure de champs magnétiques
30. Milieux magnétiques
31. Métaux
32. Matériaux semi-conducteurs
33. Mesure de capacités
34. Capteurs à effets capacitifs
35. Mesure de coefficients d'induction
36. Phénomènes d'induction - applications
37. Conversion électromécanique
38. Machine à courant continu
39. Machines synchrone et asynchrone
40. Production et conversion d'énergie électrique
41. Transducteurs
42. Amplification de signaux
43. Mise en forme, transport et détection de l'information
44. Signal et bruit
45. Numérisation du signal
46. Mesures physiques par analyse d'image
47. Microcontrôleurs : applications et limites
48. Détection synchrone
49. Systèmes bouclés
50. Instabilités
51. Phénomènes non-linéaires
52. Ondes : propagation et conditions aux limites
53. Propagation guidée
54. Ondes acoustiques
55. Haut-parleur
56. Résonances
57. Modes propres
58. Oscillateurs couplés
59. Régimes transitoires
60. Mesures par opposition (ou mesure à l'équilibre)
61. Perturbation par la mesure
62. Mesure de rendements