



MINISTÈRE  
DE L'ÉDUCATION  
NATIONALE, DE  
L'ENSEIGNEMENT  
SUPÉRIEUR ET DE  
LA RECHERCHE

Secrétariat Général

Direction générale des ressources humaines

Sous-direction du recrutement

## **Concours de second degré – Rapport de jury**

**Session 2015**

**AGRÉGATION**

**PHYSIQUE-CHIMIE**

**OPTION PHYSIQUE**

Concours externe

Rapport de jury présenté par Pierre Desbiolles  
Inspecteur général de l'éducation nationale, président du jury

**Les rapports des jurys des concours sont établis sous la responsabilité des présidents de jury**

## Table des matières

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| <a href="#">Composition du jury</a> .....                                | 2  |
| <a href="#">Avant-propos</a> .....                                       | 3  |
| <a href="#">Réglementation de la session 2015</a> .....                  | 4  |
| <a href="#">Informations statistiques</a> .....                          | 5  |
| <a href="#">Épreuves d'admissibilité</a> .....                           | 7  |
| <a href="#">Rapport sur la composition de physique 2015</a> .....        | 8  |
| <a href="#">Rapport sur la composition de chimie 2015</a> .....          | 12 |
| <a href="#">Rapport sur le problème de physique 2015</a> .....           | 14 |
| <a href="#">Épreuves d'admission</a> .....                               | 18 |
| <a href="#">Rapport sur la leçon de physique</a> .....                   | 19 |
| <a href="#">Rapport sur la leçon de chimie</a> .....                     | 25 |
| <a href="#">Rapport sur le montage de physique</a> .....                 | 32 |
| <a href="#">Sujets des épreuves orales de la session 2015</a> .....      | 42 |
| <a href="#">Leçons de physique 2015</a> .....                            | 43 |
| <a href="#">Leçons de chimie 2015</a> .....                              | 45 |
| <a href="#">Montages 2015</a> .....                                      | 46 |
| <a href="#">Sujets des épreuves orales de la session 2016</a> .....      | 47 |
| <a href="#">Leçons de physique 2016</a> .....                            | 48 |
| <a href="#">Leçons de chimie 2016</a> .....                              | 50 |
| <a href="#">Montages 2016 (liste inchangée par rapport à 2015)</a> ..... | 51 |

## Composition du jury

|                                    |                                                                                   |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>M. Pierre DESBIOLLES</b>        | Inspecteur général de l'éducation nationale<br>Président du jury                  |
| <b>M. Jean-Marc BERROIR</b>        | Professeur des universités<br>Vice-président du jury                              |
| <b>M. Michel VIGNERON</b>          | Inspecteur d'académie - Inspecteur pédagogique régional<br>Vice-président du jury |
| <b>M. Jean-François ALLEMAND</b>   | Professeur des universités                                                        |
| <b>M. Yannick ALMERAS</b>          | Professeur de chaire supérieure                                                   |
| <b>Mme Marie-Christine ANGONIN</b> | Professeure des universités                                                       |
| <b>M. Daniel BAZZALI</b>           | Professeur de chaire supérieure                                                   |
| <b>M. Mehdi BELFREKH</b>           | Professeur agrégé affecté dans le supérieur                                       |
| <b>M. Bertrand BERCHE</b>          | Professeur des universités                                                        |
| <b>M. Frédéric BERNARDOT</b>       | Maître de conférences                                                             |
| <b>M. Christian BRUNEL</b>         | Professeur de chaire supérieure                                                   |
| <b>Mme Catherine CHARDON</b>       | Professeure de chaire supérieure                                                  |
| <b>Mme Émilie GENIN</b>            | Maître de conférences                                                             |
| <b>Mme Saïda GUELLATI</b>          | Professeure des universités                                                       |
| <b>M. Stéphane KOMILIKIS</b>       | Professeur de chaire supérieure                                                   |
| <b>M. Julien LE BERRE</b>          | Professeur agrégé                                                                 |
| <b>Mme. Annie LE GORANDE</b>       | PRAG                                                                              |
| <b>M. Thierry LEVEQUE</b>          | Inspecteur d'académie - Inspecteur pédagogique régional                           |
| <b>Mme Véronique MESNIL</b>        | Professeure agrégée                                                               |
| <b>M. Jean-François PAUL</b>       | Professeur des universités                                                        |
| <b>M. Frédéric RESTAGNO</b>        | Chargé de recherche au CNRS                                                       |
| <b>Mme Audrey THUILLIEZ</b>        | Professeure agrégée                                                               |
| <b>M. François VANDENBROUCK</b>    | Professeur de chaire supérieure                                                   |
| <b>M. Christophe VOISIN</b>        | Professeur des universités                                                        |

## Avant-propos

Le nombre de postes ouverts au concours 2015 de l'agrégation externe de physique-chimie option physique est en sensible augmentation par rapport à celui, constant, des quatre années précédentes (89 postes contre 75). Le jury, après en avoir délibéré, a décidé de pourvoir ces 89 postes. Le nombre de candidats ayant composé aux trois épreuves écrites s'établit en 2015 à 556, il se stabilise après avoir été en légère progression au cours des quatre dernières années. Parmi les 198 candidats admissibles, près d'un tiers sont des étudiants (29,8 % des admissibles en 2015 contre 36,3 % en 2014 et 33,3 % en 2013), plus d'un tiers sont de professeurs certifiés ou de lycées professionnels (35,9 % des admissibles contre 31,6 % en 2014 et 36,3 % en 2013), le nombre d'élèves des Écoles normales supérieures (37 admissibles contre 33 en 2014) demeurant, comme lors des sessions antérieures, significatif. La plupart des normaliens ont été admis au concours et un peu plus d'un étudiant admissible sur deux a été admis, quand seulement 11 % des professeurs déjà en activité et admissibles ont été admis<sup>1</sup>. En définitive, l'agrégation externe de physique-chimie, option physique, reste un concours de recrutement qui distingue les plus jeunes des candidat(e)s, à la (courte) carrière académique (déjà) brillante. À noter que, sans raisons claires, la proportion des femmes est en baisse cette année, parmi les admissibles comme parmi les admis (respectivement 21,7 % et 21,4 % cette année contre 28,6 % et 35 % en 2014).

Rappelons-le cette année encore, le concours d'agrégation a pour objectif de recruter des professeurs de grande qualité qui se destinent à enseigner, pour la plupart, dans le secondaire ou en classe préparatoire aux grandes écoles. On comprend donc que si l'excellence scientifique et la maîtrise disciplinaire restent essentielles, faire montre de qualités didactiques et pédagogiques au cours des épreuves n'est pas moins indispensable aux candidats pour réussir. Certes, les épreuves écrites permettent de s'assurer que les candidats possèdent le bagage scientifique indispensable à un futur enseignant et qu'ils savent mobiliser leurs connaissances pour aborder un problème original, souvent inspiré de travaux de recherche récents. Mais le poids important des épreuves orales dans l'évaluation finale témoigne bien de l'importance donnée à d'autres compétences, dont la maîtrise est essentielle pour exercer le métier d'enseignant. La cohérence d'une leçon, les choix effectués pour aborder ou illustrer un concept, le dialogue entre formalisation et ancrage au réel, la hauteur de vue et le recul qui permettent d'identifier les points les plus délicats d'un exposé et d'y consacrer le temps nécessaire sont autant d'éléments didactiques appréciés du jury. En ce qui concerne la pédagogie, et même si les élèves ne sont pas présents lors des épreuves, les candidats doivent par leur dynamisme, voire leur enthousiasme, témoigner de leur plaisir à communiquer. La clarté alliée à la rigueur du discours, l'utilisation à bon escient des technologies de l'information et de la communication (TIC) en leçon comme durant l'épreuve de montage, sont bien sûr également évaluées par le jury. Enfin, et surtout, la physique et la chimie sont des sciences expérimentales : l'épreuve de montage, ainsi que la leçon de chimie, doivent permettre aux candidats de manifester leurs capacités expérimentales, leur habileté, leur maîtrise de la mesure et leur juste perception de la science comme construction qui toujours s'incline devant le réel.

Un changement notoire des épreuves orales est intervenu pour cette session 2015. L'arrêté du 25 juillet 2014<sup>2</sup>, modifiant l'arrêté du 28 décembre 2009 fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation, a mis fin à l'épreuve orale qui, entre 2011 et 2014, portait sur la compétence « Agir en fonctionnaire de l'État et de façon éthique et responsable ». Pour autant, ce même arrêté 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

<sup>1</sup> Quelques professeurs lauréats de la session 2015 de l'agrégation interne de physique-chimie se trouvaient parmi les candidats admissibles. Comme l'année dernière, aucun d'entre eux n'a été reçu, ce qui n'est guère étonnant, les formats des deux concours étant depuis quelques années très différents.

<sup>2</sup> Arrêté du 25 juillet 2014 paru au J.O. du 12 août 2014.

des métiers du professorat et de l'éducation fixé par l'arrêté du 1<sup>er</sup> juillet 2013<sup>3</sup> ». La possibilité est ainsi laissée au jury d'interroger les candidats sur d'autres compétences que celles relevant de la seule discipline physique-chimie, et en particulier sur la première des compétences du référentiel de juillet 2013 :

« 1. *Faire partager les valeurs de la République*

- *Savoir transmettre et faire partager les principes de la vie démocratique ainsi que les valeurs de la République : la liberté, l'égalité, la fraternité ; la laïcité ; le refus de toutes les discriminations.*

- *Aider les élèves à développer leur esprit critique, à distinguer les savoirs des opinions ou des croyances, à savoir argumenter et à respecter la pensée des autres. »*

Cette possibilité donnée au jury a pris un sens particulier après les événements tragiques qui se sont produits dans notre pays entre le 7 et le 9 janvier 2015, événements à la suite desquels la ministre de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche Najat Vallaud-Belkacem s'est adressée, par courrier daté du 28 janvier 2015, à tous les présidents des jurys des concours de recrutement pour leur demander de veiller à ce que « les thématiques de la laïcité et de la citoyenneté trouvent toute leur place » dans les concours. En tant que président, j'ai demandé au jury de l'épreuve de chimie de s'emparer tout particulièrement de cette demande, en posant systématiquement durant l'entretien une question relevant de ces thématiques, sans bien sûr exclure les autres jurys de cette possibilité puisque l'arrêté de juillet 2014 sus-nommé le leur permet. On trouvera dans ce rapport quelques-unes des questions que le jury a posées aux candidats durant les entretiens qui ont suivi l'épreuve de chimie, ainsi que ces conseils permettant aux futurs candidats de préparer sans appréhension cette partie d'entretien avec le jury, conformément à la demande formulée par la ministre lors d'un second courrier adressé à tous les présidents de jury de concours le 23 juin 2015. **Afin que le jury de chimie puisse consacrer davantage de temps à ces thématiques lors de l'entretien, la durée de l'exposé durant l'épreuve orale de chimie est réduite à 45 minutes pour la session 2016 (contre 50 minutes jusqu'alors), la durée de l'entretien étant portée à 35 minutes.** J'ai également tenu à ce que soit remis à tous les candidats admissibles, au début de leur temps de préparation aux épreuves, un porte-vues qui rassemble des documents qui donnent corps aux valeurs de la République et à la laïcité, en particulier la charte de la laïcité à l'École. Ce porte-vues contient également le référentiel des compétences professionnelles des métiers du professorat et de l'éducation de juillet 2013, afin que tous les candidats puissent pleinement en prendre connaissance.

Le programme de la session 2016, que l'on trouvera sur le site SIAC2 du ministère, s'inscrit dans la continuité de celui de la session 2015. Toutefois, une phrase concernant l'usage des outils numériques lors des épreuves orales a été ajoutée : « Les environnements de programmation (langage) et de calcul scientifique à privilégier lors des épreuves orales et pratiques d'admission sont ceux du programme d'informatique, appliqué à la rentrée scolaire de l'année où est ouvert le concours, des classes préparatoires scientifiques aux grandes écoles ». Pour la session à venir, le langage Python (distribution Pyzo) et l'environnement Scilab seront fournis aux candidats, sans qu'obligation soit faite pour cette session de les utiliser. En complément du programme, les candidats trouveront dans les dernières pages de ce rapport les listes des leçons et montages pour cette session à venir, listes qui restent proches de celles de la session 2015 : la liste des montages est inchangée, celles des leçons de physique et de chimie n'ont été que légèrement modifiées. Comme les deux années précédentes, les titres des leçons et montages sont souvent courts et ouverts, afin d'inciter les candidats à faire des choix raisonnés, car il faut le rappeler : en leçon comme en montage, 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.

Pierre Desbiolles

Inspecteur général de l'éducation nationale, Président du jury

<sup>3</sup> Arrêté du 1<sup>er</sup> juillet 2013 paru au J.O. du 18 juillet 2013 et au B.O. n°30 du 25 juillet 2013.

## **Réglementation de la session 2015**

Les textes officiels régissant les concours du second degré sont consultables sur le site internet du ministère de l'éducation nationale, rubrique SIAC 2.

Les programmes et les modalités de la session 2015 de l'agrégation externe de physique-chimie option physique sont consultables sur ce même site.

## Informations statistiques

89 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.

|                                             | <b>2015</b> | <b>2014</b> | <b>2013</b> | <b>2012</b> |
|---------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Inscrits                                    | 1433        | 1393        | 1494        | 1585        |
| Présents aux trois épreuves                 | 556         | 575         | 560         | 552         |
| <b>Admissibles</b>                          | <b>198</b>  | <b>168</b>  | <b>168</b>  | <b>170</b>  |
| Barre d'admissibilité                       | 43,4/120    | 48,2/120    | 46,8/120    | 56/120      |
| Moyenne générale du candidat classé premier | 18,7/20     | 17,6/20     | 19,0/20     | 17,8/20     |
| Moyenne générale du dernier candidat reçu   | 9,2/20      | 9,3/20      | 9,2/20      | 9,5/20      |
| <b>Admis</b>                                | <b>89</b>   | <b>75</b>   | <b>75</b>   | <b>75</b>   |

### ÉPREUVES ÉCRITES

Moyenne sur 20 du premier candidat admissible : ..... 17,6 /20

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

| Nature de l'épreuve écrite | Moyenne des candidats ayant composé | Moyenne des candidats admissibles |
|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Composition de physique    | 6,5/20                              | 10,5/20                           |
| Composition de chimie      | 7,4/20                              | 11,4/20                           |
| Problème de physique       | 5,6/20                              | 9,4/20                            |

### ÉPREUVES ORALES

| Nature de l'épreuve orale | Moyenne des candidats présents aux épreuves orales | Écart-type |
|---------------------------|----------------------------------------------------|------------|
| Leçon de physique         | 9,0/20                                             | 5,3/20     |
| Leçon de chimie           | 8,3/20                                             | 4,7/20     |
| Montage de physique       | 9,8/20                                             | 4,9/20     |

| Nature de l'épreuve orale | Moyenne des candidats admis | Écart-type |
|---------------------------|-----------------------------|------------|
| Leçon de physique         | 12,9/20                     | 4,3/20     |
| Leçon de chimie           | 10,6/20                     | 4,3/20     |
| Montage de physique       | 13,3/20                     | 4,1/20     |

**Répartition par date de naissance des candidats**

| Année de naissance | Nombre d'admissibles | Nombre d'admis |
|--------------------|----------------------|----------------|
| 1993               | 4                    | 3              |
| 1992               | 36                   | 29             |
| 1991               | 26                   | 18             |
| 1990               | 15                   | 8              |
| 1989               | 12                   | 6              |
| 1988               | 12                   | 3              |
| 1987               | 12                   | 9              |
| 1986               | 8                    | 3              |
| 1985               | 7                    | 2              |
| 1984               | 4                    | 1              |
| 1983               | 6                    | 2              |
| 1982               | 2                    | 0              |
| 1981               | 1                    | 0              |
| 1980               | 7                    | 1              |
| 1979               | 4                    | 1              |
| 1978               | 2                    | 0              |
| 1975 à 1977        | 15                   | 1              |
| antérieure à 1975  | 25                   | 2              |

**Répartition par profession**

| Profession                       | Nombre d'admissibles | Nombre d'admis |
|----------------------------------|----------------------|----------------|
| Étudiant                         | 59                   | 33             |
| Élève d'une ENS                  | 37                   | 35             |
| Certifié et PLP                  | 71                   | 8              |
| Autre enseignant MEN             | 14                   | 2              |
| Hors fonct. publique/sans emploi | 17                   | 11             |

**Répartition par sexe**

|        | Nombre d'admissibles | Nombre d'admis |
|--------|----------------------|----------------|
| Hommes | 155                  | 70             |
| Femmes | 43                   | 19             |



## **Épreuves d'admissibilité**

Les épreuves se sont déroulées du 24 au 26 mars 2015.  
L'intégralité des sujets des épreuves écrites d'admissibilité sont consultables  
sur le site internet du ministère de l'éducation nationale, rubrique SIAC 2.

## Rapport sur la composition de physique 2015

Le sujet de la composition traite de différents types de microscopies et comporte cinq parties relativement indépendantes les unes des autres. La première propose une étude géométrique du microscope optique et de quelques-unes de ses principales caractéristiques parmi lesquelles le grossissement, la latitude de mise au point, la taille du champ visuel ou encore son ouverture numérique. La seconde partie étudie le pouvoir de résolution des microscopes optiques en éclairage incohérent ou cohérent. La troisième partie aborde la microscopie de fluorescence en montrant notamment comment cette microscopie permet actuellement de dépasser la limite de résolution des microscopies conventionnelles, et l'applique à la détermination d'un coefficient de diffusion. La quatrième partie traite de la microscopie électronique et propose une analyse de l'expérience historique de Davisson et Germer. Enfin, la cinquième partie conclut avec la microscopie à effet tunnel.

Ce sujet aborde des notions d'optique géométrique, d'optique ondulatoire, de diffusion particulière, de mécanique des fluides, de mécanique relativiste, de mécanique quantique et de physique de la matière condensée.

Il a pour but d'évaluer :

- la connaissance et la compréhension de l'optique (formation des images, phénomène de diffraction) ;
- des compétences expérimentales (formation des images en optique géométrique, microscope, objectif, oculaire) ;
- la capacité des candidats à comprendre et interpréter des expériences (mesure du coefficient de diffusion en partie 3.3., expérience de Davisson et Germer) ;
- la capacité à analyser des données d'expérience (expérience de Davisson et Germer).

Le jury a pu lire de très bonnes copies. Il déplore néanmoins que de nombreuses copies restent bien en dessous des exigences de l'agrégation, indiquant un manque de préparation de l'épreuve de composition. Beaucoup de candidats se contentent de donner quelques mots clés en réponse à de nombreuses questions, ce qui n'est évidemment pas suffisant. Un futur enseignant doit être capable de mobiliser ses connaissances afin de formuler une explication construite et argumentée en s'appuyant sur des raisonnements scientifiques.

Les constructions graphiques (en optique géométrique) et les courbes (partie 3.3.) doivent être d'autant plus soignées qu'elles possèdent souvent un grand pouvoir explicatif et démonstratif, ce qui est souvent négligé par les candidats.

Un soin particulier doit être apporté aux applications numériques, qui doivent respecter un nombre de chiffres significatifs imposé par les données de l'énoncé et une unité le cas échéant. Les questions doivent être numérotées et les réponses aux questions clairement séparées les unes des autres. On déconseille de manipuler des formules en faisant apparaître un mélange de symboles et de constantes exprimés numériquement.

Le jury rappelle que l'histoire de sa discipline fait évidemment partie des connaissances du futur enseignant en sciences physiques. Il s'agit par exemple de pouvoir décrire brièvement quelques expériences célèbres de l'histoire de la physique (celle de Rutherford en partie 4) ou de connaître quelques jalons de cette histoire (critère de Rayleigh en partie 3 ou microscope à effet tunnel en partie 5, dont l'année 2015 fête le 30<sup>ième</sup> anniversaire et non le 150<sup>ième</sup> ...).

## 1. Étude géométrique du microscope optique

### 1.1. Grossissement et puissance d'un microscope

**Question 1** : il est important de connaître l'intérêt pratique à se placer dans les conditions de Gauss ; leur utilité n'étant pas de simplifier le calcul, même si cela en constitue une conséquence heureuse.

**Question 2** : les noms propres associés aux formules de conjugaison sont connus d'une bonne moitié des candidats.

**Question 3** : question assez bien réussie. De trop nombreux candidats donnent pour réponse que régler un instrument d'optique à l'infini consiste à obtenir un faisceau de rayons parallèles à la sortie de l'instrument. Ceci n'est vrai que si l'objet est ponctuel.

**Questions 4 et 5** : les constructions et tracés de rayons ont, à la grande surprise du jury, posé de très nombreux problèmes. La position des diaphragmes indiquait la position des plans focaux des lentilles et permettait de construire précisément la position de l'image intermédiaire. Il fallait par ailleurs tracer la poursuite des rayons au-delà de cette image intermédiaire et non pas utiliser de nouveaux rayons partant de celle-ci. Beaucoup de constructions utilisent des rayons changeant brusquement de direction dans l'air.

**Questions 6 à 8** : ces questions ont été relativement bien traitées, si ce ne sont les nombreuses erreurs de signes. Les formules de l'optique géométrique utilisent des grandeurs algébriques et il convient d'être très vigilant et rigoureux dans l'établissement des expressions demandées, dont les signes possèdent évidemment une signification physique.

**Question 9** : question très peu abordée. L'œil fait pourtant partie intégrante de l'observation microscopique en tant que dernier système optique.

**Question 10** : question bien traitée. Comme pour les autres questions demandant une expression numérique, il est important de donner un nombre de chiffres significatifs en cohérence avec ceux des données numériques fournies par l'énoncé.

### 1.2. Champ visuel d'un microscope

Latitude de mise au point (ou profondeur de champ en microscopie visuelle)

**Question 11** : les commentaires explicitement demandés dans les questions ne sont pas facultatifs et permettent souvent de réfléchir aux sens physique, théorique ou pratique, de la question posée. La précision du déplacement mécanique ne peut être appréciée qu'à la question suivante.

**Question 12** : question peu traitée.

Les diaphragmes d'un microscope

**Questions 13 à 16** : les candidats ne s'appuient que rarement sur les constructions géométriques précises et soignées pour argumenter leur réponse. La question 14 demandait par erreur d'évaluer  $-F_2C'$  au lieu de  $-F_2C$ . Là encore, une construction géométrique fait clairement apparaître que le cercle oculaire est le plus petit cercle (avec stigmatisme) à travers lequel passent tous les rayons sortant du microscope.

### 1.3. Au-delà de l'optique paraxiale : étude d'un objectif

L'ouverture numérique des objectifs de microscope

**Question 17** : l'observation intéressante réside dans le fait que les angles dépassent le cadre de l'approximation de Gauss.

**Question 18** : un seul type d'aberration était demandé, par contre il s'agissait de le décrire succinctement. La description d'une aberration chromatique est hors sujet ici.

Un exemple d'objectif corrigé des aberrations : l'objectif d'Amici-Lister

**Question 19** : il est assez rare que les candidats donnent les deux propriétés des lentilles à associer ; leurs vergences opposées et leurs dispersions d'intensité différents (les deux lentilles ont une dispersion normale).

**Question 20** : bien traitée.

**Question 21** : il est souvent oublié que l'image du centre d'un dioptre sphérique est ce centre lui-même.

**Question 22** : bien traitée.

**Question 23** : cette question ne nécessitait aucun calcul supplémentaire mais n'a donné lieu qu'à quelques rares bonnes réponses.

La condition d'aplanétisme des objectifs : relation d'Abbe

**Question 24** : une simple manipulation de la relation d'Abbe suffisait à résoudre cette question.

**Questions 25 à 27** : questions peu traitées. La réponse à la question 25 était fournie, ce qui a provoqué la rédaction de pseudo-démonstrations.

## 1. Pouvoir séparateur du microscope optique

### 1.1. Diffraction à l'infini d'une onde plane lumineuse

**Question 28** : cette question, très classique, a pourtant posé de nombreux problèmes d'intégration permettant d'obtenir les fonctions sinus cardinaux.

**Question 29** : la question demandait de déterminer l'expression de l'éclairement en fonction des coordonnées à l'écran et de représenter l'allure de la figure de diffraction, ce qui a donné lieu à de nombreuses erreurs quant aux dimensions relatives des taches secondaires. La lentille ne provoque pas de déphasages supplémentaires entre les chemins de phase parvenant au point M de l'écran.

**Questions 30 à 31** : Les résultats sur la pupille circulaire sont connus d'une grande majorité des candidats.

### 1.2. Diffraction, formation des images et pouvoir séparateur en éclairage incohérent

Lentille et diffraction à l'infini

**Question 32** : une construction géométrique permettait ici encore de résoudre simplement la question.

**Question 33** : la notion de cohérence (et d'incohérence) de sources lumineuses doit pouvoir être présentée concisément.

**Question 34** : bien traitée.

Pouvoir séparateur du microscope en éclairage incohérent : critère de Rayleigh

**Questions 35 et 36** : le critère de Rayleigh est bien connu des candidats, l'époque de son établissement un peu moins. Il est important de comprendre que ce sont les relations d'Abbe qui permettent de remonter à la distance minimale résolue dans l'objet observé.

**Question 37** : cette question est très importante pour illustrer l'importance de l'ouverture numérique des microscopes et des longueurs d'onde utilisées.

**Question 38** : beaucoup de candidats ont répondu que c'était l'œil qui limitait la résolution du microscope visuel et non l'inverse.

### 1.3. Diffraction, formation des images et pouvoir séparateur en éclairage cohérent

**Question 39** : on observe l'image géométrique du réseau formée par l'objectif (et non des taches ponctuelles correspondant aux ordres principaux diffractés, comme trop rapidement répondu).

Les réseaux à transmission

**Question 40** : cette question classique d'optique ondulatoire n'est pas maîtrisée par l'ensemble des candidats et devait être redémontrée.

**Question 41** : il n'a pas toujours été compris que l'observation d'au moins un ordre de diffraction associé au pas  $a$  de l'objet est nécessaire à la détermination de ce pas.

Pouvoir de résolution en éclairage cohérent et filtrage spatial

**Question 42** : de nombreux candidats ont comparé rigoureusement les deux limites de résolution obtenues en lumière incohérente et cohérente, alors qu'il ne s'agit que de critères estimatifs. C'est plutôt le fait qu'ils aient le même ordre de grandeur qui est important.

**Question 43** : bien traitée.

**Question 44** : les fréquences spatiales doivent avoir la dimension de l'inverse d'une longueur.

**Questions 45 à 47** : le plan de Fourier est souvent nommé sans aucune justification, la formation de l'image du réseau dans le plan de  $D_C$  n'est pas comprise par beaucoup de candidats.

**Question 48** : cette question demandait une simple analyse qualitative.

**Question 49** : bien traitée.

**Question 50** : si la strioscopie est très souvent citée, la microscopie à contraste de phase l'est beaucoup moins.

## **2. Microscopie optique de fluorescence**

### **2.1. Une microscopie optique de fluorescence**

**Question 51** : la fluorescence ne consiste pas uniquement en une émission de lumière. Il faut préciser que l'excitation est de nature électromagnétique.

**Question 52** : bien traitée dans l'ensemble.

### **2.2. Imagerie microscopique et localisation d'objets ponctuels**

**Question 53** : cette question a été mal comprise et a très souvent donné lieu à la réponse opposée à celle attendue. La détermination précise du centre de la tache nécessite bien que celle-ci soit étalée sur plusieurs pixels.

**Question 54** : la méthode d'ajustement est connue de la plupart des candidats.

**Question 55** : il ne faut pas oublier de prendre en compte le grandissement pour déterminer la précision du pointé dans le champ objet.

**Question 56** : les grandes dates de l'histoire des sciences physiques doivent être connues, au moins approximativement.

### **2.3. Application à la mesure d'un coefficient de diffusion**

**Question 57** : question bien traitée, même si la loi de Fick est souvent oubliée.

**Question 58** : question technique rarement traitée complètement.

**Question 59** : idem.

**Question 60** : il est souvent oublié que la direction de diffusion ne doit pas être celle de l'axe optique du microscope.

**Questions 61 et 62** : faire attention aux grandeurs caractéristiques utilisées afin de calculer le nombre de Reynolds.

**Questions 63 à 65** : le lien entre l'évolution temporelle et l'allure spatiale a donné lieu à de rares bonnes réponses.

## **3. Microscopie électronique**

### **3.1. Caractère ondulatoire des électrons**

**Question 66** : nombreux sont les candidats qui donnent l'expression de la vitesse sans la démontrer (à partir de la conservation de l'énergie mécanique ou du principe fondamental de la dynamique).

**Question 67** : l'expérience de Rutherford est une expérience historique importante qu'il s'agit de pouvoir décrire au moins succinctement.

**Question 68** : seuls quelques candidats ont donné des réponses justes ou plausibles. L'oxydoréduction, comme tout le reste du programme de chimie, peut être utilisé (et devait l'être ici) dans une composition de physique pour répondre à certaines questions.

**Question 69** : bien traitée.

**Question 70** : cette question a très souvent donné lieu à des réponses qualitatives, parfois accompagnées de calculs et raisonnements en ordre de grandeur alors qu'il était attendu une réponse quantitative précise à la question posée. Les documents apportaient tous les éléments nécessaires à ces calculs.

**Question 71** : question peu traitée.

### **3.2. Pouvoir de résolution d'un microscope électronique**

**Question 72** : cette question nécessitait de travailler dans le cadre de la relativité restreinte.

**Question 73 et 74** : questions correctement traitées.

#### 4. Microscopie à effet tunnel

##### 4.1. Effet tunnel

**Question 75** : question généralement bien traitée.

**Question 76** : la résolution nécessite de travailler séparément dans les différentes zones d'espace. Il s'agit de faire la distinction entre les solutions de type ondulatoire qui se propagent et les solutions de type évanescente qui ne se propagent pas.

**Question 77** : l'établissement du coefficient de transmission nécessite d'utiliser les vecteurs densité de courant. Le coefficient demandé n'est pas seulement le rapport des fonctions d'onde.

**Question 78** : question technique bien résolue par les quelques candidats qui l'ont traitée.

**Question 79** : les cas correspondant à la barrière infiniment haute ou large n'ont pas posé problème mais les cas  $\hbar \rightarrow 0$  (ou  $m \rightarrow \infty$ ) correspondant à la limite classique sont bien moins connus.

##### 4.2. Application aux électrons libres métalliques à 0 K

###### *Gaz d'électrons libres dans un métal*

**Question 80** : ce résultat doit être démontré en utilisant la périodicité des fonctions trigonométriques.

**Question 81** : il est important de rappeler ici que le raisonnement se fait dans l'espace des vecteurs d'ondes. Le caractère fermionique des électrons et le principe de Pauli sont souvent oubliés dans le décompte des états accessibles.

**Question 82** : question bien traitée.

**Question 83** : les valeurs numériques sont correctes.

###### *Description de la jonction tunnel - Courant tunnel à 0 K*

**Question 84** : peu nombreux sont les candidats à avoir fourni une explication claire et concise de ces conditions de traversée de la barrière par effet tunnel.

**Questions 85 à 89** : questions techniques qui ont été peu traitées.

##### 4.3. Résolutions du microscope à effet tunnel

**Question 90** : une majorité des réponses correctes mais certaines témoignent de la méconnaissance totale des grandes dates de la physique par certains candidats, le microscope à effet tunnel ne peut pas précéder l'avènement de la mécanique quantique...

###### *Résolution transversale*

**Questions 91 et 92** : ces questions ont été peu abordées.

###### *Résolution longitudinale (topographique)*

**Question 93** : question très peu traitée.

**Question 94** : question bien traitée.

## Rapport sur la composition de chimie 2015

Le sujet de la composition de chimie de la session 2015 aborde la chimie de l'élément aluminium et de ses dérivés tout en faisant appel à des notions allant de la métallurgie aux applications. Il a été conçu pour permettre d'aborder un grand nombre de domaines différents de la chimie tels que l'atomistique, la cristallographie, la chimie des solutions, l'oxydo-réduction, la thermodynamique chimique, la cinétique chimique ainsi que la chimie organique sous ses aspects de synthèse, purification et caractérisations.

L'épreuve se compose de trois parties indépendantes, elles-mêmes constituées de sections traitant de thèmes variés. La première partie illustre les propriétés du métal aluminium et de l'alumine ainsi que la métallurgie de l'aluminium appliquée à sa production industrielle. La seconde partie s'organise autour de l'étude d'un alliage de l'aluminium : l'alliage aluminium-cuivre. La troisième partie aborde l'utilisation des dérivés de l'aluminium en chimie organique que ce soit en tant que réactif pour la synthèse ou support pour la séparation de mélanges par chromatographie.

Le sujet comporte un grand nombre de questions classiques, s'appuyant sur les connaissances et compétences exigibles en second cycle du lycée ou au niveau de la Licence ou des classes préparatoires aux grandes écoles. Dans l'esprit des nouveaux programmes de lycée et des classes préparatoires aux grandes écoles, plusieurs questions nécessitant l'exploitation de documents ont été introduites. Ce type d'activité pourra occuper une place croissante dans les futures épreuves du concours.

### Remarques générales

Les remarques faites ici reprennent en grande partie celles des rapports précédents, mais il semble utile au jury de rappeler quelques points importants. Il invite à ce propos les candidats, futurs enseignants, à la lecture attentive de ces textes, rédigés à leur attention non pour les décourager, mais pour les aider au mieux dans l'organisation de leur travail de préparation à un concours difficile et exigeant.

Le jury se félicite d'avoir corrigé de très bonnes copies alliant clarté de rédaction et qualité de présentation. Une bonne maîtrise de la langue française est en effet indispensable à un professeur. Une bonne rédaction suppose l'explicitation des lois utilisées et des approximations faites, l'explication du raisonnement effectué et enfin un commentaire du résultat obtenu. Les arguments doivent être choisis avec discernement et être insérés au bon endroit. Le jury a grandement apprécié le soin apporté à la mention des états physiques dans les équations de réaction et à l'écriture des mécanismes en chimie organique, points très souvent soulignés dans les précédents rapports. Il est important que ces améliorations perdurent dans les années futures. Cependant, les candidats manquent encore souvent de justesse dans le vocabulaire utilisé ou de précision dans les définitions données et l'énoncé n'est pas toujours lu avec attention. Il est essentiel qu'une réponse ne se résume pas à un simple chiffre mais qu'il soit accompagné des unités appropriées et d'arguments scientifiques. La chimie est une discipline scientifique à part entière, où les raisonnements sont précis et argumentés, les dispositifs expérimentaux décrits et représentés avec soin, les calculs menés à leur terme et exploités.

### Commentaires spécifiques au sujet

#### Première partie : métallurgie de l'aluminium.

Cette première partie a été abordée par un très grand nombre de candidats et de nombreuses questions ont été traitées correctement. Les parties A.1 et A.2 ont donné lieu à beaucoup de bonnes réponses. Celles s'appuyant sur les documents ont été bien traitées dans l'ensemble. Il est tout de même rappelé aux candidats qu'il s'agit d'extraire et d'exploiter les données pertinentes et non de lister les propriétés trouvées susceptibles d'apporter des éléments de réponse. Certaines questions ont cependant révélé un manque d'attention lors de la lecture de l'énoncé. Par exemple dans la question 4, la valeur du rayon atomique a été

très souvent calculée alors que la question porte sur le calcul du diamètre. De même les équations relatives au diagramme d'Ellingham (questions 26-29) sont trop rarement établies avec la convention correcte  $v(\text{O}_2) = -1$  et l'influence du changement d'état sur les équations est mal prise en compte. Par ailleurs, pour cette même série de questions, un manque de rigueur dans le raisonnement a été constaté avec regret. En particulier, il y a des confusions entre affinité chimique, affinité chimique standard, enthalpie libre de réaction  $\Delta_r G$ , enthalpie libre standard de réaction  $\Delta_r G^\circ$  et le lien avec l'évolution de la réaction. Le quotient de réaction  $Q_r$  n'est presque jamais mentionné dans les différentes relations.

Enfin, le jury a été surpris du nombre de candidats qui ne maîtrisent pas des notions de base comme calculer la coordinence (trop souvent assimilée à la population de la maille) ou distinguer les domaines de prédominance ou d'existence des différentes espèces physico-chimiques. L'introduction de la concentration standard,  $C^\circ$ , dans l'expression des constantes d'équilibre, permettant l'homogénéité de la formule en conformité avec la notion d'activité, est trop souvent oubliée. Bien que les questions portant sur l'étude du diagramme potentiel-pH soient généralement maîtrisées, les unités des pentes des droites frontières (V / unité de pH) sont trop souvent omises.

### **Deuxième partie : les alliages d'aluminium.**

Cette deuxième partie permettait de tester la compréhension des systèmes binaires à travers le tracé de courbes de refroidissement isobare et la construction du diagramme isobare. Cette partie est de loin celle qui a été la moins abordée et semble avoir posé le plus de problèmes aux candidats. Il y a régulièrement confusions entre variance et nombre de degré de liberté du système. La construction du diagramme est souvent partielle et ne tient pas compte de la miscibilité partielle à l'état solide. Les questions 42 et 43 n'ont été que très rarement traitées. Un simple bilan de matière en chacun des deux éléments est adapté pour élucider complètement la nature du système étudié. Malgré tout, quelques excellentes copies ont été remarquées et appréciées par le jury.

### **Troisième partie : utilisations en chimie organique**

Le jury se félicite que la longueur raisonnable du sujet ait permis aux candidats d'aborder sérieusement également cette dernière partie dédiée à la chimie organique. Les explications du principe de la CCM sont cependant trop souvent incomplètes ou imprécises. Il faut déplorer la fréquente confusion entre éther de pétrole (fraction de la distillation du pétrole recueillie entre 40 °C et 65 °C) et éther diéthylique. Les questions relatives au rapport frontal ont donné lieu à de nombreuses bonnes réponses. Les notions de couleur et de spectrophotométrie sont généralement maîtrisées. Les questions de chimie organique sont finalement mieux traitées que les années précédentes. Le jury a apprécié le soin apporté à l'écriture des mécanismes impliquant l'utilisation des flèches courbes. Nous encourageons les candidats à continuer dans cette voie et à approfondir leurs connaissances dans le domaine de la chimie organique. Les questions relatives à la réaction de Diels-Alder ont été cependant peu et moins bien abordées. Enfin, quelques questions relatives à la catalyse par les complexes organométalliques ont été introduites en fin de composition dans la mesure où c'est une notion que l'on retrouve dans les nouveaux programmes de lycée et des classes préparatoires aux grandes écoles. Malheureusement, très peu de candidats ont su répondre correctement et le jury encourage l'ensemble des candidats à approfondir leurs connaissances sur ce point.

### **Conclusion**

Comme il a déjà été dit, l'objectif de ce rapport est d'aider les futurs candidats, professeurs de demain, dans leur préparation au concours. Le jury espère leur avoir été utile et tient aussi à féliciter les candidats qui ont su dans leurs copies faire état de connaissances solides dans les différentes parties de l'épreuve et mettre en œuvre leurs compétences en chimie. Un grand nombre de candidats ont vu leur investissement dans la discipline être ainsi récompensé.



## Rapport sur le problème de physique 2015

Le problème portait sur les nano-résonateurs électro-mécaniques (ou NEMS pour « nano-electro-mechanical systems » en anglais). La recherche sur ces dispositifs s'est considérablement développée dans les laboratoires depuis les années 2000. Ils permettent à la fois des études fondamentales originales (par exemple l'observation des fluctuations quantiques de point zéro d'un système mécanique) et des développements technologiques importants avec, par exemple, la réalisation de capteurs de force ou de masse ultra-miniaturisés et ultra-sensibles. Le problème portait sur un type de nano-résonateur particulier constitué d'un nanotube de carbone suspendu dans une géométrie transistor. Le problème comportait sept parties largement indépendantes qui pouvaient constituer autant de points d'entrée en fonction des préférences des candidats. Il était fait appel à des connaissances en mécanique du point et du solide, en électrostatique, en électrocinétique, en physique des semi-conducteurs et en théorie cinétique des gaz.

La première partie permettait de retrouver les résultats et définitions sur l'oscillateur harmonique unidimensionnel. La deuxième était dédiée à l'étude des modes de vibration du nanotube encastré entre deux électrodes dans les deux limites des modes de tension et des modes de flexion. A cette occasion, des résultats élémentaires d'élasticité étaient utilisés. Dans la troisième partie, on montrait comment générer une force électrostatique périodique sur le nanotube pour exciter ses vibrations. La partie suivante, a contrario, décrivait comment ces vibrations peuvent générer des signaux électriques détectables. La cinquième partie était consacrée à l'exploitation et à l'interprétation de données expérimentales obtenues sur un tel dispositif. La partie suivante envisageait les frottements avec l'air comme source de dissipation et proposait de comparer ces prédictions avec des mesures de facteur de qualité. Enfin, la dernière partie visait à montrer qu'un tel dispositif possède une détectivité en masse suffisante pour déceler l'adsorption d'une molécule individuelle sur la paroi du nanotube.

Il est important de souligner qu'aucune connaissance spécifique sur le thème n'était nécessaire pour aborder ce problème. Comme d'habitude, il s'agissait, en étant guidé par l'énoncé, de mettre en œuvre des concepts et outils classiques dans un contexte original. La longueur du sujet ne doit pas décourager les candidats, mais doit au contraire être vue comme une opportunité pour traiter les parties dans lesquelles le candidat a le plus de facilités. Soulignons cependant, que la technique du « grappillage », qui consiste à n'aborder que les premières questions de chaque partie, ne permet en général pas d'obtenir une note suffisante pour franchir la barre d'admissibilité. En effet, le barème valorisait fortement les candidats faisant l'effort d'approfondir une partie, de sorte qu'il suffisait d'avoir traité deux ou trois parties de façon satisfaisante pour obtenir une excellente note. Les questions nécessitant plus de temps de réflexion ne doivent pas être passées au motif que le sujet est long, ce sont celles qui rapportent le plus de points. À ce propos, il convient d'apporter le soin nécessaire aux questions qualitatives demandant de commenter les résultats et les ordres de grandeurs obtenus ou d'expliquer un phénomène physique ; elles sont au yeux du jury aussi importantes que le fait de savoir établir une formule. Elles sont par ailleurs l'occasion de juger la capacité du candidat à s'exprimer clairement et à expliquer des concepts physiques, qualités essentielles pour un futur enseignant. De nombreux points étaient également prévus pour une comparaison critique et détaillée des résultats avec les courbes expérimentales fournies dans l'énoncé pour valider ou infirmer un modèle, une hypothèse. La qualité de la rédaction et de la présentation font aussi partie des critères évalués par le jury. Même s'il s'agit d'être efficace, il ne faut pas que la concision des réponses nuise à leur clarté et à leur précision. Nous conseillons aux candidats de vérifier systématiquement la cohérence de leurs résultats (homogénéité, rigueur d'écriture -scalaire/vecteur-, ordre de grandeur d'une application numérique) et de faire preuve de plus de sens critique.

Les applications numériques ne sont pas toujours abordées avec le soin nécessaire. Rappelons que la physique est une science quantitative et que la validation d'un modèle par confrontation avec les résultats expérimentaux, comme cela était proposé tout au long de ce sujet, passe par l'évaluation numérique des grandeurs physiques. Pour les grandeurs dimensionnées, un résultat donné sans son unité ne sera pas validé par le jury.

### Commentaires détaillés pour certaines questions

#### Partie I : Rappels sur l'oscillateur harmonique

*Question 1* : Question bien traitée. Certains candidats cependant n'ont pas pris le temps de lire la question et l'ont abordée avec des hypothèses plus compliquées que nécessaire.

*Question 6* : L'utilisation de la notation complexe pour étudier le régime forcé d'un oscillateur harmonique est globalement connue des candidats, mais on déplore que la phase et ses variations de part et d'autre de la résonance soient presque systématiquement fausses.

*Question 7* : Le jury a été surpris de constater que le développement de la susceptibilité d'un oscillateur peu amorti au voisinage sa résonance (qui conduit à la classique courbe Lorentzienne) est très mal connu des candidats.

*Question 9* : Si la largeur de la Lorentzienne est globalement connue, le tracé de l'allure de la courbe de résonance en puissance a réservé bien des surprises. Au regard des approximations indiquées par l'énoncé, il ne pouvait être question de voir l'allure tendre vers une valeur non nulle à basse fréquence.

*Question 10* : Cette question a été rarement traitée, bien que techniquement facile. Les candidats n'ont pas vu l'analogie avec la dispersion dans le modèle de l'électron élastiquement lié. Cette question était par ailleurs importante pour interpréter les mesures présentées dans la partie V.

*Question 11* : Cette question a été abordée, quoique de façon souvent incomplète, par bon nombre de candidats.

#### Partie II : Étude mécanique

*Questions 12 à 16* : Le jury a eu la satisfaction de voir que la recherche d'ordres de grandeur en faisant des hypothèses simplificatrices justifiées est une compétence maîtrisée par un grand nombre de candidats. Il convient néanmoins d'avoir un regard critique sur le résultat obtenu.

*Questions 17 à 20* : Cette partie très classique, qui permettait une analogie complète avec la corde de Melde, a été globalement bien traitée par les candidats même si les démonstrations de l'équation de d'Alembert ont parfois manqué de rigueur. Tous les candidats ou presque ont rectifié d'eux-mêmes la faute de frappe de la question 19.

*Questions 21 à 27* : Cette partie permettait d'établir l'équation de vibration des poutres. Il était nécessaire d'appliquer avec rigueur différents théorèmes de mécanique des solides. Les candidats qui ont tenté d'adapter illicitement leurs calculs pour les rendre compatibles avec les résultats intermédiaires fournis par l'énoncé ont été sanctionnés. Le principe des actions réciproques doit être appliqué avec rigueur.

*Question 28* : Le jury a été très surpris de voir le peu de candidats capables de retrouver les racines quatrièmes de l'unité.

*Question 29* : Peu de candidats ont trouvé les quatre conditions aux limites pour un tube encastré.

*Question 33* : Cette question n'a été abordée que dans les meilleures copies. Elle nécessitait au minimum une justification qualitative.

#### Partie III : Excitation des vibrations

*Question 35* : Cette question n'a été traitée correctement que dans quelques très rares copies. Comme toujours pour les bilans, il est nécessaire de commencer par définir rigoureusement le système d'étude et de ne pas en changer en cours de raisonnement. Il fallait par ailleurs ne pas oublier l'énergie fournie par le générateur pour maintenir la tension constante.

*Question 36* : Gare aux signes...

*Question 37* : Beaucoup de candidats ont oublié  $g$  dans leur application numérique.

*Question 38* : Si le développement limité de la force a été obtenu par beaucoup, la discussion physique de cette formule a été le parent pauvre de cette question. C'est d'autant plus regrettable qu'une bonne compréhension de ce résultat aurait aidé les candidats à aborder les parties suivantes.

#### **Partie IV : Détection électrique des vibrations**

*Questions 39 à 42* : Les connaissances des candidats sur les propriétés élémentaires des semi-conducteurs sont globalement satisfaisantes, même si le niveau de Fermi d'un semi-conducteur dopé est trop souvent placé dans les bandes de conduction ou de valence. En revanche, très peu de candidats ont fait le lien (à la question 42) entre les propriétés rappelées précédemment et l'allure de la courbe présentée Figure 5. Sa compréhension était pourtant au cœur du principe de détection électrique des oscillations.

*Question 43* : Cette question a souvent été bien traitée ; les candidats qui ont fait l'effort de bien justifier leur réponse ont obtenu un nombre de points significatifs.

*Questions 44 et 45* : Traitées seulement dans les meilleures copies.

*Question 47* : Le signe de la tension  $V_{ds}$  était faux dans la quasi-totalité des copies.

*Questions 48 et 49* : Rarement traitées.

*Questions 50 et 51* : Abordées dans les bonnes copies seulement.

#### **Partie V : Étude de la résonance**

*Questions 52 à 58* : Ces questions qui nécessitaient un réel investissement en temps et en réflexion étaient valorisées par le barème de sorte que les copies qui les ont traitées sont souvent parmi les meilleures. Le jury a eu la satisfaction de voir un certain nombre de fois le bon ordre de grandeur pour l'amplitude des oscillations.

*Questions 60 à 66* : Cette partie sur l'accord de la fréquence du résonateur par une tension de grille continue a été très peu abordée, ce qui est surprenant car elle était relativement facile et indépendante des autres.

#### **Partie VI : Dissipation**

*Questions 68 et 69* : On attendait, pour ce grand classique de la théorie cinétique des gaz, des explications précises, claires et rigoureuses et pas seulement des formules.

*Questions 70* : Les candidats auraient gagné à prendre le temps d'explicitier l'expression de  $I_D$ , ce qui leur aurait évité des erreurs manifestes dans les dépendances avec  $P$  et  $T$ . Les ordres de grandeur proposés étaient rarement corrects.

*Questions 71 et 72* : Rarement bien expliqué.

*Questions 73 à 77* : Globalement traitées, même si on a parfois dû déplorer un manque de rigueur.

*Questions 78 et 79* : Questions qualitatives importantes pour la compréhension du phénomène de dissipation. Traitées seulement dans les meilleures copies.

#### **Partie VII : Application : mesure de masses**

Cette partie n'a malheureusement été abordée que de façon marginale.

## **Épreuves d'admission**

Les épreuves se sont déroulées du 15 juin au 4 juillet 2015  
au lycée Marcelin Berthelot (Saint-Maur-des-Fossés).

## Rapport sur la leçon de physique

### Déroulement de l'épreuve

Cette épreuve consiste en la présentation d'une leçon de 50 minutes, dont le sujet est attribué au candidat à partir d'une liste qui figure dans le rapport du jury de l'année précédente. À l'issue de la présentation, et pendant une durée qui ne peut dépasser trente minutes, le jury s'entretient avec le/la candidat(e) afin de sonder l'assise et la profondeur de ses connaissances, ainsi que d'évaluer certaines compétences professionnelles.

Les candidats disposent de quatre heures pour préparer leur leçon. Au cours de cette préparation, l'accès à l'ensemble des documents de la bibliothèque du concours est permis. Cette bibliothèque possède de très nombreux ouvrages, de tous niveaux, dont la liste est disponible en ligne sur le site <http://agregation-physique.org/>. Les candidats bénéficient également durant cette préparation du soutien du personnel technique pour la mise en place du matériel expérimental souhaité pour illustrer la leçon. Les expériences sont préparées et réalisées conformément aux instructions des candidats, cependant leur présentation devant le jury s'effectue sous la seule responsabilité du/de la candidat(e) et en l'absence de technicien.

Un ordinateur et un vidéoprojecteur sont disponibles dans chaque salle. Les candidats peuvent ainsi projeter des documents tirés d'une base de données (schémas descriptifs, animations, photographies, ...) et classés par thèmes. Les logiciels usuels (OpenOffice, Word, Excel, Maple...) sont installés sur les ordinateurs. Les candidats disposent également d'un rétroprojecteur (ils doivent apporter leurs transparents et feutres).

*À partir de la session 2016, le langage Python (distribution Pyzo) et l'environnement Scilab, qui apparaissent explicitement dans les programmes de l'enseignement d'informatique dispensé en CPGE, sont aussi disponibles, ce qui offre en particulier des possibilités supplémentaires de réalisation de simulations.*

### Quelques remarques d'ordre général

#### La leçon à l'oral de l'agrégation

La leçon est une épreuve permettant au jury d'évaluer les capacités des candidats à transmettre un message 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 apprécie la rigueur scientifique, la cohérence de raisonnement, la clarté et le dynamisme de l'exposé, ainsi que le niveau de langage, écrit et oral, des candidats. L'intitulé des leçons en impose bien évidemment le sujet, même si c'est de façon assez large. Tout développement hors sujet, même correctement traité, est mal perçu par le jury, qui considère que le/la candidat(e) n'a pas compris le sujet ou a tenté de le contourner.

Une leçon s'inscrit dans une progression pédagogique. Si certaines leçons sont des introductions de concepts nouveaux, d'autres donnent l'occasion d'un approfondissement. Les candidats doivent donc préciser dès le début le niveau auquel ils se placent (CPGE première ou deuxième année, L1, L2 ou L3), les prérequis nécessaires et les objectifs de la leçon. Concernant le niveau CPGE, les programmes officiels actuels, mis à disposition des candidats, doivent être respectés. Les prérequis doivent évidemment être maîtrisés. Les candidats auront aussi à cœur de faire ressortir clairement quelques messages forts.

Certaines leçons concernent des domaines tellement vastes qu'il est impossible d'être exhaustif : des choix sont à faire, qui doivent être précisés et justifiés, mais il n'y a pas de leçon-type attendue par le jury. Dans tous les cas, les candidats ne doivent pas se limiter à un exposé purement descriptif ; des résultats doivent être établis et commentés.

## Les attentes du jury

La leçon est par essence une épreuve destinée à évaluer les capacités à enseigner. Il est donc préférable d'exposer des concepts simples, bien maîtrisés et bien illustrés, plutôt que de se lancer dans des développements trop complexes, qui ne sauraient de toute façon susciter l'admiration du jury. Les candidats doivent toujours considérer qu'ils se placent de fait dans une situation d'enseignement devant un public d'étudiants.

Le jury est particulièrement sensible à la précision, à la rigueur et à l'honnêteté intellectuelle des candidats.

Des leçons dont la logique de développement est susceptible de captiver les étudiants sont attendues. Il ne s'agit donc pas de proposer un catalogue d'éléments divers, simplement issus d'ouvrages, sans fil directeur ni points saillants. Le recours à la « contextualisation » est impératif. Divers appuis sont utilisables au plus tôt pendant la séquence d'enseignement : observations de la vie courante, expériences réelles ou de pensée, simulations informatiques, systèmes industriels... Bien que l'originalité ne soit pas nécessairement une qualité en soi, le jury sait apprécier une leçon qui sort de l'ordinaire de manière pertinente.

L'épreuve doit rester une leçon de physique : il n'est pas souhaité que le/la candidat(e) commente son approche pédagogique ou évalue lui-même sa leçon pendant l'exposé (le jury peut poser des questions d'ordre pédagogique lors de l'entretien).

La durée de la leçon doit permettre de consacrer la plus grande part du temps imparti au traitement du sujet. Le jury prévient le/la candidat(e) lorsqu'il ne reste plus que cinq minutes d'exposé, ce qui ne signifie pas qu'il est urgent de conclure : ces cinq minutes représentent tout de même 10 % de la durée totale de la séquence et doivent permettre une fin d'exposé « naturelle ». La conclusion ne peut pas être qu'un résumé de la leçon : les points importants peuvent certes être soulignés mais une mise en perspective s'avère nécessaire avec des ouvertures, notamment sur des développements récents (à condition de les maîtriser).

Les différentes grandeurs et notions doivent être présentées avec soin et, le cas échéant, illustrées par des valeurs numériques pertinentes, faisant référence à des conditions expérimentales bien définies. Les limites de validité des modèles présentés doivent toujours être clairement explicitées. Le jury est sensible à l'utilisation de l'analyse dimensionnelle et à la discussion d'ordres de grandeur. Les conventions d'orientation et les signes des différentes grandeurs doivent être discutés avec soin, au besoin grâce à un schéma explicite, qui permet souvent de lever bien des ambiguïtés. De façon plus générale, on comprendra que le jury puisse être contrarié par le manque de rigueur que révèle l'absence de définition des systèmes sur lesquels les candidats sont amenés à raisonner, l'incohérence des notations, les erreurs d'homogénéité, les égalités de grandeurs scalaires et vectorielles, ou encore l'absence d'unités dans l'écriture des valeurs numériques.

Les candidats peuvent avoir recours, pour illustrer leur leçon, à un ensemble de documents numérisés, extraits des ouvrages de la bibliothèque. L'utilisation de ces diapositives permet parfois de gagner du temps. Il faut néanmoins veiller à la concordance des notations de la diapositive et de l'exposé écrit au tableau, ou, à défaut, il convient d'explicitier les correspondances éventuelles. Cependant, si l'utilisation d'une diapositive permet de projeter un schéma complexe, il importe aussi que les candidats révèlent leur aptitude à tracer au tableau un graphe ou un schéma de façon soignée. Cela peut leur donner l'occasion, par exemple, d'analyser le comportement asymptotique de telle ou telle grandeur et, par là même, d'apporter du sens à l'exposé.

Plusieurs leçons exigent de présenter des calculs. Les démonstrations des résultats importants sont attendues. Pour autant, établir une relation particulière ne saurait être une fin en soi. Il est crucial de motiver la nécessité de faire le calcul et d'en présenter l'objectif avant de le mener, puis d'en dégager le sens physique. Les candidats peuvent à cet effet commenter l'influence des différentes grandeurs physiques impliquées, illustrer le résultat par une représentation graphique, une évaluation d'ordre de grandeur, ... Dans de rares cas, la présentation exhaustive de la suite des calculs au tableau peut être trop longue

relativement au temps imparti : le/la candidat(e) peut alors avoir recours à des transparents. Toutefois, le jury souhaite, d'une part, avoir le temps de lire le transparent et, d'autre part, que le gain de temps correspondant soit consacré à une interprétation ou à des commentaires physiques des résultats. Naturellement, il n'est pas raisonnable de mener tous les calculs sous forme de transparents. Quoi qu'il en soit, il n'est pas acceptable pour un physicien d'éluder des calculs au prétexte que ceux-ci n'ont pas d'intérêt.

Le jury invite les candidats, au cours de leur année de préparation, à s'interroger afin de prendre du recul, à apprendre à donner du sens physique aux différentes relations.

### **Les illustrations expérimentales**

Les illustrations expérimentales sont vivement encouragées. Dans la plupart des cas, il est recommandé de présenter un schéma clair et annoté de son expérience soit au tableau, soit sur transparent. Présentée dans une démarche inductive ou déductive, l'expérience doit être interprétée avec soin et exploitée au maximum. Il n'est pas nécessaire de multiplier ces expériences mais il est indispensable de bien les utiliser. Si le choix est fait de mettre en place une expérience pendant le temps de préparation, il faut non seulement la mettre en œuvre effectivement pendant la leçon, mais aussi l'analyser et non pas simplement la considérer comme une illustration de la théorie. Le jury s'attend bien entendu à ce que le/la candidat(e) démontre ses capacités d'expérimentateur. Il faut également être en mesure de répondre aux questions relatives au montage expérimental et sur le matériel utilisé.

### **Quelques remarques sur la forme**

Les prestations dans lesquelles le/la candidat(e), 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'une autonomie raisonnable. Le jury considère qu'aucun livre ne doit constituer un support pour la présentation.

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

Les candidats doivent se soucier de la lisibilité de leur exposé : clarté de l'écriture (au tableau ou sur les transparents), des schémas explicatifs, taille raisonnable des caractères, gestion rationnelle du tableau, choix des couleurs appropriés (la craie rouge et le feutre jaune sont généralement difficilement lisibles et à n'utiliser que très ponctuellement pour l'écriture). Un transparent fugitivement exposé, un tableau trop tôt effacé sont mal perçus. L'usage d'une caméra pour présenter des illustrations du cours ou des calculs conduit rarement à une présentation satisfaisante et devrait être évité.

De nombreux candidats choisissent de laisser le plan au tableau ou de l'écrire à l'avance. Il ne s'agit pas d'une demande du jury ; cela n'est pas du tout indispensable, en particulier lorsque le plan occupe la moitié de l'espace disponible. Cependant, il est essentiel que ce plan apparaisse clairement au cours de la présentation et il faut toujours réécrire le titre ou le label des paragraphes afin de permettre au jury de suivre.

### **L'entretien**

Au cours de l'entretien, le jury pose différents types de questions en lien avec l'exposé réalisé. Une discussion sur les choix de contextualisation effectués, ou ceux qui auraient pu être envisagés, ne doit pas surprendre les candidats. Le jury se réserve le droit de poser des questions sur les prérequis. Il peut être amené à demander des éclaircissements sur certains développements de la leçon ou à prolonger, à un niveau plus avancé, certains points. Les candidats peuvent naturellement appuyer leurs réponses, claires, concises et précises, sur leurs connaissances à tous les niveaux d'enseignement.

## Complément sur l'évolution de la liste des leçons pour la session 2016

La liste des leçons pour la session 2016 ne diffère qu'à la marge de celle de 2015 :

- deux nouvelles leçons ont été ajoutées : une leçon intitulée «Gravitation», pour laquelle les candidats s'attacheront, dans le cadre de la physique classique, à développer quelques caractéristiques de l'interaction gravitationnelle et une leçon intitulée « Microscopies optiques », dans laquelle un développement rigoureux et suffisamment complet d'au moins une technique est souhaité ;
- la leçon « Précession dans les domaines macroscopique et microscopique » remplace la leçon « Approximation gyroscopique. Effets dans les domaines macroscopique et microscopique », dont l'énoncé pouvait conduire les candidats à des confusions ;
- la leçon « Molécules : stabilité, énergie » a été supprimée.

Les intitulés des nouvelles leçons pour la session 2016 sont volontairement « ouverts », comme le sont ceux d'autres leçons de cette même liste. Les candidats ne pourront prétendre à l'exhaustivité ; le jury sera sensible aux choix effectués, aux fils directeurs suivis dans le cadre d'un nécessaire ancrage au réel.

### Remarques particulières sur certaines leçons

Les remarques qui suivent font référence à la liste des questions de la session 2015.

**Leçon 1 :** *Contact entre deux solides. Frottement.* Cette leçon est souvent présentée à un niveau trop élémentaire. La compréhension des aspects microscopiques en jeu est appréciée par le jury.

**Leçon 2 :** *Caractère non galiléen du référentiel terrestre.* Les prérequis de cette leçon, comme les formules de changement de référentiel, doivent être bien maîtrisés afin de permettre une discussion aisée des phénomènes physiques en jeu. Les conditions dans lesquelles le référentiel terrestre peut être assimilé à un référentiel galiléen doivent être clairement énoncées. La présentation d'exemples pertinents récents, et non simplement historiques, est appréciée par le jury.

**Leçon 3 :** *Approximation gyroscopique. Effets dans les domaines macroscopique et microscopique.* L'exposé doit être équilibré entre la description des effets macroscopiques et microscopiques. Il n'est pas souhaitable de faire un catalogue exhaustif des applications mais plutôt d'en traiter quelques-unes de manière complète. Le/la candidat(e) doit être capable de trouver l'orientation et le sens des effets gyroscopiques sur des exemples simples.

**Leçon 4 :** *Lois de conservation en dynamique.* Cette leçon peut être traitée à des niveaux très divers. L'intérêt fondamental des lois de conservation et leur origine doivent être connus et la leçon ne doit pas se limiter à une succession d'applications au cours desquelles les lois de conservation se résument à une propriété anecdotique du problème considéré.

**Leçon 5 :** *Cinématique relativiste.* Le jury rappelle qu'il n'est pas forcément nécessaire de mettre en œuvre des vitesses relativistes pour être capable de détecter et de mesurer des effets relativistes.

**Leçon 6 :** *Dynamique relativiste.* La leçon doit souligner l'intérêt du formalisme quadrivectoriel.

**Leçon 7 :** *Notion de viscosité d'un fluide. Écoulements visqueux.* Afficher un tableau d'ordres de grandeur de viscosité ne suffit pas en soi pour illustrer la leçon. Tout exemple donné d'écoulement visqueux doit être maîtrisé par le/la candidat(e).



**Leçon 8 :** *Modèle de l'écoulement parfait d'un fluide.* Le jury invite les candidats à réfléchir davantage à l'interprétation de la portance et de l'effet Magnus. Les exemples cités doivent être correctement traités, une présentation superficielle de ceux-ci n'étant pas satisfaisante.

**Leçon 10 :** *Gaz parfait, gaz réels.* Les discussions d'ordres de grandeurs sont importantes et l'appui sur des diagrammes thermodynamiques recommandé. La distribution des vitesses de Maxwell-Boltzmann est trop souvent méconnue.

**Leçon 11 :** *Premier principe de la thermodynamique.* La notion d'équilibre thermodynamique n'est pas toujours bien comprise. Des exemples pertinents doivent être utilisés pour mettre en exergue l'intérêt du premier principe, y compris pour l'introduire.

**Leçon 13 :** *Application des deux premiers principes de la thermodynamique au fonctionnement des machines thermiques.* Les diagrammes thermodynamiques, exploités dans les programmes de CPGE, sont trop rarement présentés et utilisés.

**Leçon 14 :** *Transitions de phase.* Il est dommage de réduire cette leçon aux seuls changements d'états solide-liquide-vapeur. La discussion de la transition liquide-vapeur peut être l'occasion de discuter du point critique et de faire des analogies avec la transition ferromagnétique-paramagnétique. La notion d'universalité est rarement connue ou comprise.

**Leçon 15 :** *Étude statistique d'un système en contact avec un thermostat. Probabilité canonique.* Développer une théorie sans illustrations n'est pas acceptable. D'ailleurs, l'application de la probabilité canonique à des situations concrètes et classiques, lors de l'entretien, révèle parfois une culture assez limitée en physique.

**Leçon 16 :** *Rayonnement d'équilibre thermique. Corps noir.* Cette leçon ne doit pas se réduire à énoncer des lois historiques sans aucun élément de démonstration.

**Leçon 17 :** *Phénomènes de transport.* Les liens et les limites des analogies entre divers domaines doivent être connus.

**Leçon 18 :** *Flux conductifs, convectifs, radiatifs, bilans thermiques.* Le traitement d'au moins un exemple mettant en jeu plusieurs mécanismes de transferts thermiques est l'un des objectifs de cette leçon.

**Leçon 19 :** *Conversion de puissance électromécanique.* Il est souhaitable de préciser le rôle de l'énergie magnétique lors de l'étude des convertisseurs électromécaniques constitués de matériaux ferromagnétiques linéaires non saturés.

**Leçon 20 :** *Induction électromagnétique.* L'algébrisation rigoureuse des grandeurs électriques et mécaniques est nécessaire lors de la paramétrisation.

**Leçon 21 :** *Rétroaction et oscillations.* Dans le cas des oscillateurs auto-entretenus, les conditions d'apparition des oscillations et la limitation de leur amplitude doivent être discutées.

**Leçon 22 :** *Traitement d'un signal. Étude spectrale.* Cette leçon ne doit pas se réduire à un catalogue de systèmes de traitement analogique du signal. Elle peut aussi mettre en exergue des méthodes numériques enseignées notamment dans les programmes de CPGE.

**Leçon 23 :** *Ondes progressives, ondes stationnaires.* Les candidats doivent être attentifs à bien équilibrer leur exposé entre ces deux familles d'ondes qui, d'ailleurs, ne s'excluent pas entre elles.

**Leçon 25 :** *Propagation dans un milieu dispersif.* Le jury invite les candidats à réfléchir sur les notions de vitesse de groupe et de vitesse de l'énergie qui ne s'identifient pas forcément.

**Leçon 28 :** *Ondes électromagnétiques dans les milieux conducteurs.* Cette leçon ne doit pas se réduire à la présentation exclusive du modèle de Drude. Les métaux ne sont pas les seuls milieux conducteurs.

**Leçon 29 :** *Rayonnement dipolaire électrique.* Le sens physique des approximations réalisées, ainsi que les propriétés de symétrie des champs électrique et magnétique rayonnés, doivent être discutés. Cette leçon peut également être l'occasion de réfléchir à la stabilité de la matière.

**Leçon 31 :** *Interférences à deux ondes en optique.* L'exposé doit permettre de préciser clairement les contraintes particulières que l'optique impose aux dispositifs interférentiels par rapport à d'autres domaines.

**Leçon 32 :** *Interféromètres à division d'amplitude.* Les notions de cohérence doivent être présentées.

**Leçon 34 :** *Diffraction par des structures périodiques.* Il est important de bien mettre en évidence les différentes longueurs caractéristiques en jeu.

**Leçon 35 :** *Absorption et émission de la lumière.* Cette leçon peut être traitée de façons très variées, mais il est bon que les candidats aient réfléchi aux propriétés des diverses formes de rayonnements émis, aux dispositifs exploitant ces propriétés et au cadre théorique permettant de les comprendre.

**Leçon 36 :** *Aspects corpusculaires du rayonnement. Notion de photon.* Le jury apprécie des illustrations décrivant des mécanismes récents impliquant des interactions lumière-matière.

**Leçon 37 :** *Aspects ondulatoires de la matière. Notion de fonction d'onde.* Les dispositifs interférométriques avec les ondes de matière ne se résument pas aux expériences du type fentes d'Young.

**Leçon 38 :** *Confinement d'une particule et quantification de l'énergie.* Cette leçon peut être l'occasion de développer des arguments qualitatifs et des calculs simples permettant de donner des ordres de grandeur dans des domaines divers de la physique avant d'envisager des applications élaborées.

**Leçon 39 :** *Effet tunnel.* Trop de candidats pensent que l'effet tunnel est spécifique à la physique quantique.

**Leçon 41 :** *Évolution temporelle d'un système quantique à deux niveaux.* Il est étonnant de voir cette leçon s'appuyer sur les états stationnaires sans aucun élément de justification. L'évolution d'un système quantique en régime forcé est trop souvent totalement négligée.

**Leçon 43 :** *Capacités thermiques : description, interprétations microscopiques.* Le lien entre capacité thermique et fluctuations thermiques peut être développé et doit, dans tous les cas, être maîtrisé.

**Leçon 45 :** *Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques.* Le principe de fonctionnement du circuit électrique utilisé pour présenter un cycle d'hystérésis doit être connu.

**Leçon 47 :** *Phénomènes de résonance dans différents domaines de la physique.* Présenter l'exemple célèbre du pont de Tacoma n'est pas pertinent, sauf s'il s'agit d'effectuer une critique d'une interprétation erronée très répandue.

**Leçon 48 :** *Oscillateurs ; portraits de phase et non-linéarités.* L'intérêt de l'utilisation des portraits de phase doit ressortir de la leçon.

## Rapport sur la leçon de chimie

Le présent rapport concerne les épreuves de la session 2015 : les rapports précédents sont toujours disponibles à l'adresse suivante : <http://agregation-physique.org>. Leur lecture est vivement conseillée aux candidats. D'une façon générale, les énoncés des leçons de chimie se rapportent à des niveaux soit lycée (L) (séries générale et technologique), soit classes préparatoires aux grandes écoles (CP) [classes de première année : MPSI, PTSI, TSI1 ; classes de deuxième année : MP, PSI, PT et TSI2].

### La leçon de chimie

Après une préparation d'une durée de quatre heures, les candidats disposent de cinquante minutes pour exposer leur leçon. Un entretien avec les membres du jury, dont la durée ne peut dépasser trente minutes, suit cet exposé, puis chaque candidat doit répondre pendant cinq minutes à une question portant sur les valeurs de la République<sup>4</sup>. En fin de rapport on trouvera quelques-unes des questions posées cette année durant les entretiens sur cette thématique des valeurs de la République, ainsi que quelques recommandations du jury au futurs candidats pour qu'ils puissent préparer sans appréhension cette partie de l'entretien.

### La préparation

Il est essentiel que le candidat prenne le temps de lire attentivement le titre de sa leçon pour mener une réflexion préalable et personnelle. Il peut ainsi définir les contenus et l'équilibre de sa leçon, par rapport au titre. Cela doit permettre d'éviter des parties hors sujet, de restreindre et de cerner l'étude si le sujet est vaste afin de présenter un exposé résultant de choix cohérents. Il est également judicieux de placer certaines notions en prérequis.

Les intitulés des leçons de chimie sont volontairement ouverts, pour inciter les candidats à construire leur propre exposé reposant sur des choix argumentés, en développant une démarche scientifique sur un domaine de la chimie et de ses applications. Le candidat n'est pas obligé de se limiter au programme d'une seule classe, mais peut en explorer plusieurs en lien avec la thématique de la leçon.

Dans sa recherche bibliographique, le candidat n'est donc pas tenu de se limiter à un chapitre d'ouvrages d'une classe donnée mais peut s'inspirer de sources de documentation provenant des différentes séries et niveaux.

Le jury insiste sur le fait que la réalisation d'expériences est un élément incontournable de pratiquement toutes les leçons, qui ne peut se limiter à quelques « manipulations » en tubes à essais. D'autre part, les expériences présentées ne doivent pas être là simplement pour « illustrer la leçon » mais doivent faire partie intégrante de la démarche scientifique mise en œuvre par le candidat, en lien avec le thème de la leçon.

De plus, la mise en place de la réforme du lycée, suivie de celle des programmes de CPGE, s'accompagne de préconisations pédagogiques importantes que ne peuvent ignorer les candidats à un concours de recrutement d'enseignants. Les candidats doivent donc s'approprier ces nouveaux programmes et en particulier les préambules des différents niveaux des diverses filières pour construire une leçon en adéquation avec les principes d'une démarche scientifique. Il est conseillé aux futurs candidats de prendre en compte les six compétences de la démarche scientifique (s'approprier, analyser, réaliser, valider, communiquer à l'écrit et à l'oral, autonomie et initiative) qui sont mises en œuvre dans les classes du secondaire et les classes préparatoires.

<sup>4</sup> Pour la session 2016, la durée de l'exposé de la leçon de chimie est réduite à 45 minutes, afin de laisser davantage de temps à l'entretien, dont la durée maximale est portée à 35 minutes.

### Les ressources documentaires

Pendant la préparation de la leçon, les candidats ont accès à une bibliothèque contenant des ouvrages du secondaire et du supérieur (programmes en cours et anciens programmes), ainsi que des tables de données, quelques articles et revues spécialisées. Ces ouvrages peuvent être transportés dans la salle de préparation et de présentation de la leçon. Il est conseillé aux candidats de privilégier les ouvrages de lycée ou de classe préparatoire correspondant aux programmes en vigueur à la rentrée 2015.

### Les ressources numériques

La salle de présentation est équipée d'un ordinateur et d'un vidéoprojecteur. Les ordinateurs contiennent des logiciels de traitement de données, des logiciels de simulation très utiles par exemple pour les leçons utilisant les spectroscopies UV, IR et RMN. Des transparents (non fournis) peuvent être réalisés **à la main** et utilisés avec un rétroprojecteur mais il faut faire attention à ne pas en abuser.

L'utilisation d'une flexcam est possible mais doit se faire avec parcimonie et doit aboutir à une projection de qualité. Elle peut être intéressante pour visualiser certaines expériences.

### Le rôle de l'équipe technique

Les candidats bénéficient pendant la préparation 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. Compte tenu des contraintes locales, il peut parfois être nécessaire d'adapter un protocole issu de la littérature. L'équipe 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 ne doit pas hésiter à 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.

### La présentation de la leçon (50 min)

**L'exposé** dure au maximum 50 minutes. Le jury avertit lorsque le temps de présentation approche de son terme, 5 minutes avant la fin. Les leçons écourtées significativement sont sanctionnées et les candidats dépassant les 50 minutes réglementaires sont interrompus. La gestion du temps est importante : il convient de ne pas déséquilibrer la leçon en traitant à la hâte et, par conséquent, de manière confuse dans les dernières minutes, un pan entier du sujet proposé. Les dernières minutes de la leçon sont souvent mal utilisées : la conclusion doit être pensée à l'avance et ne pas reprendre mot pour mot une introduction éventuelle ou énumérer les seuls points abordés pendant la leçon. La leçon a permis, en principe, d'avancer dans la compréhension de la chimie et cela doit apparaître naturellement en fin d'exposé.

Lors de l'exposé, les candidats peuvent utiliser plusieurs moyens de communication : tableau, vidéoprojecteur, rétroprojecteur. Souvent, les candidats le font avec dextérité et efficacité. Le jury recommande également de laisser apparent le plan de l'exposé, que ce soit sur le tableau ou sur transparent, selon la configuration de la salle et la taille du tableau disponible. Les schémas de montages doivent être soignés et réalistes. Le vocabulaire utilisé doit être précis et de la rigueur est demandée à de futurs professeurs. Enfin, les candidats doivent se détacher de leurs notes pour donner à la présentation le dynamisme nécessaire. En particulier, le jury apprécie que le candidat écrive une formule chimique d'un composé ou une équation de réaction sans l'aide de ses notes. Les candidats ne doivent pas faire un usage abusif de transparents pour y présenter tous les calculs ou écritures d'équations un peu délicats.

Quel que soit le titre de la leçon, **l'exposé doit être contextualisé et inclus dans une démarche scientifique.** Les choix des notions abordées pendant la leçon doivent être justifiés en regard de cette démarche, qu'il s'agisse de savoirs nouveaux ou d'une mise en perspective par l'expérimentation de savoirs déjà acquis.

L'objectif d'une leçon n'est pas l'exhaustivité dans le domaine proposé. **Il vaut mieux faire des choix et les annoncer, plutôt que de vouloir tout traiter trop rapidement et donc trop superficiellement.** Le jury précise qu'il n'a pas d'idée préconçue sur la leçon, mais celle-ci ne peut pas se réduire à la reproduction d'un chapitre d'un ouvrage.

**Les expériences** permettent aux candidats de mettre en valeur les compétences expérimentales. La description claire, à l'oral, du montage «réel» sur la paillasse est parfois plus efficace et pertinente qu'un schéma peu soigné ou incomplet. Il est également à noter que lors de la présentation d'une expérience, le candidat ne doit pas anticiper les observations expérimentales et la conclusion attendue avant de faire la réalisation expérimentale. Lorsque le candidat présente une expérience, il doit s'efforcer de la commenter en même temps qu'il la réalise pour faire part au jury de ses observations et des résultats obtenus en direct. Les approches expérimentales sont primordiales dans une leçon et sont l'occasion de montrer l'aisance des candidats à manipuler les verreries usuelles : pipettes, burettes etc.

Une leçon dépourvue d'expériences adaptées sera jugée incomplète et évaluée en conséquence

On ne peut que conseiller aux candidats de tester l'ensemble des manipulations présentées devant le jury afin d'éviter toute improvisation au moment de l'épreuve. Le jury recommande également de bien réfléchir pendant la préparation aux parties d'expériences qui seront présentées : le candidat veillera ainsi à disposer en quantités suffisantes du matériel et des produits qui lui seront utiles lors de la présentation. Pré-peser ou mesurer les quantités de réactifs utiles peut permettre de gagner un temps précieux lors de la réalisation de certaines manipulations. Le soin apporté au rangement de la paillasse avant l'exposé permet lui aussi de gagner du temps lors de la présentation. La bonne organisation du candidat est aussi un élément d'appréciation du jury.

La prise en main des logiciels ne saurait être improvisée le jour de l'oral. Le jury regrette que, dans certaines leçons, des candidats échouent dans l'interprétation des données enregistrées, par une méconnaissance du logiciel.

S'agissant de la réalisation des expériences, le jury remarque de façon récurrente que les candidats ne comprennent pas toujours l'expérience menée, ou font souvent preuve de peu de recul par rapport aux protocoles expérimentaux qu'ils mettent en œuvre. Les protocoles types issus de la littérature ne doivent pas être considérés comme faisant foi dans toutes les circonstances et doivent être adaptés aux choix pédagogiques du candidat. Les structures, les noms des espèces chimiques utilisées lors de la présentation doivent être connus ainsi que leurs propriétés physico-chimiques (états physiques, propriétés de solubilité, etc.). Les états de la matière doivent être précisés lors de l'écriture des équations de réaction. Le jury apprécie fortement de la part des candidats qu'ils fassent preuve d'esprit critique et de prise d'initiative dans la mise en œuvre des protocoles, qu'ils diversifient leurs sources, et qu'ils soient capables d'expliquer les conditions opératoires choisies.

On attend que les expériences soient abouties 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. Le jury regrette qu'un candidat évoque des expériences qu'il aurait pu faire, ou qui ont été seulement ébauchées en préparation et qui ne sont finalement pas présentées. Il est tout à fait inutile de commencer pendant la présentation devant le jury une manipulation qui ne sera pas ensuite exploitée.

Le jury note par ailleurs un effort sur les calculs d'incertitudes, mais il déplore parfois la nature des facteurs pris en compte qui ne reflètent pas toujours la réalité expérimentale, notamment lors des dosages. La précision de la verrerie utilisée est en particulier très mal connue. Les confusions entre calculs d'incertitudes et écarts types sont également nombreuses dans ce type d'analyse. De même, le jury rappelle que le nombre de chiffres significatifs donné pour un résultat fait partie intégrante d'une démarche rigoureuse.

Les modèles moléculaires et les outils de simulation sont trop peu utilisés par les candidats alors qu'ils permettent d'illustrer certaines notions théoriques, ou de justifier certains choix de protocoles expérimentaux.

Les expériences doivent être réalisées avec soin en maîtrisant des conditions opératoires et en respectant les consignes élémentaires de sécurité. Le manque de rigueur ou d'honnêteté dans l'exploitation des résultats expérimentaux, ainsi que le manque d'esprit critique ont été sévèrement sanctionnés.

Le jury souhaite également apporter quelques commentaires, suite aux erreurs constatées lors des présentations:

- En ce qui concerne la sécurité, le jury rappelle que le port des lunettes est obligatoire dans une salle où sont réalisées des expériences de chimie. Les gants doivent être utilisés avec lucidité et uniquement lors de prélèvements ou manipulations de substances dangereuses et nocives, puis ils doivent être jetés.
- Les caractéristiques et modes de fonctionnement des appareils utilisés doivent être connus par le candidat : en particulier la constitution et le mode de fonctionnement des électrodes, du conductimètre et du spectrophotomètre.
- Dans un titrage, l'utilisation de la méthode de la dérivée suppose de disposer de suffisamment de mesures au voisinage de l'équivalence.
- La pH-métrie est une potentiométrie et l'électrode de verre est un capteur électrochimique. Il en est de même pour la cellule de conductimétrie.
- Une transformation peut être quantitative quelle que soit la valeur de sa constante d'équilibre (et inversement, ce n'est pas parce que la constante d'équilibre est plus grande que  $10^4$  que la transformation associée sera quantitative) car le plus souvent, l'avancement final ne dépend pas seulement de  $K^\circ(T)$  mais aussi des quantités de matière ou des concentrations initiales des différents constituants du système.
- Les techniques de caractérisation par spectroscopie IR et RMN, même si elles ne sont pas disponibles, restent très peu évoquées et leur théorie très mal connue.
- Certaines notions fondamentales comme la notion d'élément chimique, de corps purs simples ou composés, la variance, les phénomènes de corrosion et les courbes intensité-potentiel posent encore trop souvent beaucoup de problèmes aux candidats.
- Une équation d'oxydoréduction est plus facile à écrire correctement quand on a écrit au préalable les demi-équations relatives aux couples mis en jeu.
- Lors des exposés, il est conseillé d'éviter le plus possible des formules désincarnées (la dissolution de solide  $C_xA_y$ , un acide aminé de type  $RCHNH_2COOH...$ ) ou des équations du type acide-base  $A_1 + B_2 = B_1 + A_2$  ou d'oxydoréduction  $Ox_1 + Red_2 = Red_1 + Ox_2$ , pour être au plus près d'une chimie réelle et contextualisée.
- Dans une équation de réaction, on rappelle la signification des différents symboles écrits entre les réactifs et les produits : double flèche pour une réaction qui se fait dans les deux sens, simple flèche  $\rightarrow$  pour une réaction qui ne se fait que dans le sens direct et  $=$  pour une **relation stœchiométrique** (notation la plus générale, valable en particulier dans les deux cas précédents).
- De même, on rappelle la différence entre les **coefficients** stœchiométriques qui sont toujours positifs et les **nombres** stœchiométriques qui sont algébriques.
- Certaines leçons traitent des applications de concepts. Ceux-ci doivent être mis dans les prérequis et ne doivent pas être développés. C'est le cas des leçons 8, 11, 24, 25 et 26.
- D'autres leçons « très ouvertes » nécessitent de faire des choix et de les justifier. C'est le cas des leçons 14, 17, 19 et 27.

- Les leçons 1, 4, 12, 13 ne doivent pas être des « leçons de choses » ou des catalogues mais demandent à être développées à un niveau scientifique suffisant montrant les qualités de synthèse et de rigueur des candidats.

### **L'entretien (ne peut dépasser 30 minutes)**

**Le candidat ne peut pas consulter ses notes lors de l'entretien.** Les questions du jury ont plusieurs objectifs. Le premier est d'amener les candidats à corriger d'éventuelles erreurs. Le second, essentiel, est de vérifier la capacité des candidats à faire preuve de réflexion, tant dans le domaine théorique que dans le domaine expérimental. Les questions doivent amener la plupart du temps des réponses assez courtes : se lancer dans un développement de plusieurs minutes n'est pas une bonne stratégie. L'étendue des connaissances des candidats est parfois mise en évidence lors de cet entretien, mais le jury tient à faire savoir qu'il 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 là aussi de rigueur. Le jury attend également de la part des candidats une maîtrise des concepts théoriques énoncés. Il n'est pas concevable pour un futur agrégé d'exposer des notions qu'il ne domine pas.

### **Autour des valeurs de la République et des thématiques relevant de la laïcité et de la citoyenneté**

À la suite de l'entretien portant sur la leçon de chimie à l'agrégation externe de physique chimie option chimie ou sur la leçon de chimie à l'agrégation externe de physique chimie option physique, une question relative aux valeurs qui portent le métier d'enseignant, dont celles de la République, a été posée aux candidats, en conformité avec l'arrêté du 25 juillet 2014 modifiant l'arrêté du 28 décembre 2009 fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation 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 ».*

D'autre part, le courrier de madame la ministre de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche en date du 28 janvier 2015, qui s'adresse aux présidents des concours de recrutement des métiers du professorat et de l'éducation, demande que dans le cadre précisé ci-dessus, « les thématiques de la laïcité et de la citoyenneté y trouvent toute leur place ».

Les candidats ont disposé de cinq minutes pour répondre à une question portant sur une situation concrète qu'ils peuvent rencontrer dans l'exercice du métier d'enseignant. 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 ». Ils ne disposent pas d'un temps spécifique pour préparer leur réponse.

Exemples de questions posées :

1. Un élève refuse de travailler avec un élève pour une activité expérimentale ou vice versa. Que faites-vous ?
2. Comment faire des débats scientifiques un outil d'apprentissage de la citoyenneté ?
3. En quoi l'histoire des sciences contribue-t-elle au débat « savoir-croyance » ? Vous pouvez vous appuyer sur un exemple.

4. Pensez-vous que dans une classe, le principe d'égalité impose de proposer de façon systématique la même évaluation à tous les élèves ?

Pendant ce court entretien, le jury reformule la question si besoin. Éventuellement il relance les échanges 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, de la laïcité et du refus de toutes les discriminations.

Le jury recommande aux candidats de prendre le temps de la réflexion avant de répondre à la question. Il apprécie que la réponse s'appuie sur des exemples afin de préciser ou d'illustrer les propos.

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

### **Conclusion**

Le jury félicite les candidats qui ont fait preuve d'une bonne maîtrise des fondamentaux de cette discipline. Il espère que les commentaires de ce rapport aideront les futurs candidats à réussir cette épreuve. La liste des leçons donnée à la fin de ce rapport s'appuie sur les programmes de physique-chimie en cours à la rentrée 2015 au lycée général et technologique et en CPGE.



## Rapport sur le montage de physique

### Introduction

Cette année, le jury a pu assister à d'excellents montages combinant des expériences choisies avec pertinence, des manipulations soignées et des analyses correctes des résultats. En revanche, de nombreuses prestations étaient facilement perfectibles. L'objectif de ce rapport qui reprend de nombreuses remarques des rapports précédents est d'aider les candidats à se préparer à cette épreuve. Il donne des indications générales ainsi que des remarques spécifiques sur différents sujets de montage.

### Déroulement de l'épreuve

Le montage de physique est la seule épreuve pour laquelle le candidat a le choix entre deux sujets. 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. À l'issue de cette préparation, la présentation devant le jury dure quarante 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, le jury n'intervient pas (sauf en cas de mise en danger du candidat ou du jury), mais peuvent être amenés à se déplacer à communiquer entre eux.

Au terme de l'exposé, le jury interroge le candidat au sujet :

- de ses choix concernant les protocoles expérimentaux et le matériel utilisé ;
- de ses mesures et des analyses effectuées ;
- de ses interprétations en lien avec le thème du montage.

Cette séance de questions dure au plus quarante minutes.

### Principe de l'épreuve et principaux critères d'évaluation

Cette épreuve 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 connus des candidats. Le jury évalue le candidat sur différents points.

#### **Sa capacité à se fixer un objectif expérimental pertinent par rapport au sujet.**

La première question à se poser concerne l'intitulé du montage : que signifie cet intitulé et quel(s) objectif(s) peut-on raisonnablement se fixer ? Le jury n'attend pas un objectif particulier ; en revanche, une absence d'objectif pertinent ou une erreur grossière de compréhension de l'intitulé sont pénalisantes pour les candidats. Donnons deux exemples :

1. S'agit-il d'un enjeu métrologique (mesure de longueurs, spectrométrie, mesure de fréquences temporelles...) ? Dans ce cas, plutôt que d'effectuer des mesures redondantes, toutes basées sur le même principe, il est souhaitable de présenter et d'analyser différentes techniques de mesures ; en outre, la précision de ces mesures doit être particulièrement soignée et discutée.
2. S'agit-il de la mise en évidence de phénomènes physiques spécifiques (induction, systèmes bouclés, instabilités et phénomènes non linéaires...) ? Dans ce cas, la présentation de quelques résultats anecdotiques est insuffisante ; il faut au contraire chercher à cerner les propriétés

caractéristiques du phénomène et, autant que possible, diversifier les angles d'approche.

Par ailleurs, chaque mesure proposée doit avoir un sens : on peut s'interroger sur la pertinence d'une mesure de la longueur d'un tuyau qui s'appuie sur l'étude d'un écoulement de Poiseuille dans celui-ci, ou de la mesure d'une longueur d'onde d'un laser qui s'appuie sur l'analyse de la figure de diffraction par une fente dont la largeur est connue à 10 %.

### **Sa capacité à mettre en œuvre un protocole expérimental adapté.**

À ce titre, des expériences susceptibles d'être proposées dans différents montages doivent être exploitées de manière spécifique pour répondre aux enjeux du montage choisi.

Par ailleurs, il est indispensable de connaître le domaine de validité des lois de la physique utilisées et de s'assurer que les conditions de leur application sont assurées ; par exemple, on ne teste pas la loi de Poiseuille à l'entrée d'un tuyau, puisque le profil des vitesses n'y est certainement pas parabolique ; de même, on ne confronte pas la figure de diffraction d'une pupille à la théorie de Fraunhofer lorsque les conditions d'éclairage et d'observation ne le permettent pas avec certitude.

### **Son savoir-faire expérimental et sa connaissance du matériel.**

Il faut 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. Il est par ailleurs *impératif de réaliser des mesures devant le jury* et, le cas échéant, de les confronter à des mesures effectuées en préparation.

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.

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.

### **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 : par exemple, certaines grandeurs physiques dépendent de la température et la température de la salle n'est pas nécessairement de 20 °C. *Nous rappelons aux candidats qu'il est important de penser le jour du montage à prendre des livres contenant des valeurs de référence. 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.*

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 ; à ce titre, parler d'incertitudes pour justifier un écart d'un facteur 100 entre valeurs mesurée et tabulée n'est pas scientifiquement acceptable. Concrètement, une telle attitude conduit à l'attribution de très peu de points sur l'expérience proposée, alors qu'une discussion approfondie permet, si elle explique de manière raisonnable les erreurs commises, d'obtenir le maximum des points accordés à cette expérience.

Enfin, il est *impératif que figure au tableau la totalité des points clés du montage*, du schéma de principe de l'expérience effectuée, aux éléments importants du protocole expérimental, aux valeurs numériques des

composants ou paramètres de contrôle, jusqu'au résultat final de l'expérience. Au-delà de l'aspect pédagogique, cette exigence est fondamentale car une expérience scientifique a vocation à être discutée de façon contradictoire, et il faut pour cela en communiquer clairement les tenants et aboutissants.

### **Remarques générales**

#### **Choisir les expériences**

##### **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. Par ailleurs, la multiplication des dispositifs expérimentaux peut s'avérer dangereuse ; deux expériences pertinentes, bien réalisées et bien exploitées, peuvent conduire à la note maximale et valent mieux que quatre expériences inabouties et mal comprises.

Afin qu'une expérience soit réussie, il est souhaitable, dans la mesure du possible, de faire varier un paramètre expérimental plutôt que de réaliser une mesure unique : selon le cas, cela permet en effet d'obtenir une exploitation quantitative de bonne qualité ou d'illustrer la loi physique correspondant à l'expérience proposée. Le jury est très sensible à la production de courbes de bonne qualité, avec des barres d'erreurs judicieusement estimées, des axes bien indiqués, et un modèle bien compris confronté aux données expérimentales.

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

Des expériences qualitatives permettant de mettre en évidence les phénomènes étudiés et de préciser les ordres de grandeurs peuvent servir d'introduction, 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.

##### **Deux écueils à éviter.**

Bien que certaines expériences préparées lors d'une éventuelle année de préparation dans un centre puissent illustrer des sujets différents, la reproduction intégrale d'un protocole standard n'est, a priori, pas pertinente pour traiter le sujet imposé le jour de l'épreuve ; ainsi, si le candidat réalise une telle expérience, il doit prendre soin de choisir avec discernement les grandeurs physiques mesurées et les interprétations à effectuer en fonction du sujet du montage.

Par ailleurs, il apparaît souvent des « montages types », 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 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.

#### **Visiter les collections avant le jour de l'épreuve**

Les collections de matériel ne se visitent qu'à l'issue du tirage au sort. Il est vivement conseillé aux candidats d'effectuer cette visite.

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

### **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.

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.

### **Valider les résultats.**

Il convient de vérifier la pertinence des résultats (Handbook, estimations...) et de préparer les évaluations d'incertitudes. Les candidats devraient plus souvent consulter les notices ou les spécifications des appareils et des composants utilisés.

### **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 des expériences choisies, les principaux éléments des protocoles expérimentaux proposés, 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.

## **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 les 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. 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.

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.

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. Par ailleurs, lors de ses explications, le candidat veillera à éviter l'emploi excessif d'anglicismes lorsque des mots français consacrés existent (*voltage* se dit tension, *pulse* se dit impulsion, *fit* se dit ajustement etc.).

### **Remarques complémentaires**

#### **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... ?

#### **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 connues les principes physiques de fonctionnement de ces outils, ainsi que l'incidence sur les mesures des divers paramètres, réglables ou non, qui interviennent. D'autre part, il ne faut pas perdre de vue que les expériences « presse-bouton » ne sont pas toujours faciles à exploiter.

#### **À propos des traitements informatiques.**

L'acquisition de données sur ordinateur est un outil extrêmement utile, à condition que le signal existe et 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.

Le jury a constaté des progrès dans l'utilisation des logiciels de traitement des données. Cependant, 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 graphes obtenus en préparation, les points de mesure réalisés devant le jury avec, si possible, une couleur différente.

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. C'est en particulier le cas des expériences de mécanique dans lesquelles on cherche à mesurer une vitesse comme

par exemple la chute d'une bille dans l'huile ou la glycérine. 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 rouvrir lors de la discussion avec le jury.

### **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 prétendent 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 enfin faire attention aux lasers dits « non polarisés », dont la polarisation est en fait partielle et fluctuante, ce qui peut conduire à des signaux très fluctuants en particulier pour des expériences quantitatives.

### **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. Rappelons que la proportionnalité entre deux grandeurs physiques doit être validée en traçant un graphe et non en calculant une succession de rapports. Lors de la réalisation d'un tel graphe, le jury attend :

- que les points de mesure soient bien visibles et qu'on ne voie 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 identifiables ;
- 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 ;
- 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 donc contrôler la façon dont ces points sont dispersés autour de la courbe modèle.

### **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 ; les candidats disposent pour cela, en bibliothèque, d'ouvrages de référence de type Handbook qu'ils doivent utiliser, comme dit plus haut, pour obtenir les valeurs tabulées des grandeurs qu'ils mesurent.
- Rechercher les éventuelles sources de biais systématiques et les discuter.

- Relever toutes les sources d'incertitude, 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.

Nous rappelons que 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 quantitative 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.

### **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~~ pour éviter 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.
- 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.

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 du mesurage 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.
- Un autre point important concerne 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 ; ainsi, lors d'une mesure à la règle graduée, on n'obtiendra pas la longueur d'une table avec une précision bien inférieure au millimètre, même en effectuant de nombreuses fois la mesure.
- Enfin, il ne faut pas confondre incertitudes et erreurs systématiques : on ne peut espérer diminuer ces dernières en faisant une statistique sur plusieurs mesures ou en améliorant la précision de l'instrument de mesure et il faut plutôt, dans ce cas, chercher à réviser le protocole expérimental.

### **À propos de la gestion du temps.**

Si la présentation dure moins longtemps que les 40 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 effectuée trop rapidement lors de la présentation.

### **Remarques particulières sur certains montages**

Les remarques qui suivent font référence à la liste des montages de la session 2015.

#### **Montage 1 : Dynamique newtonienne.**

Contrairement à une idée apparemment répandue chez les candidats, les mesures précises en mécanique ne sont pas nécessairement hors d'atteinte, et il est possible de discuter quantitativement une loi de conservation en prenant en compte les incertitudes expérimentales. Par ailleurs, le jury constate que les mobiles autoporteurs donnent le plus souvent lieu à des expériences trop simples, mal exploitées quantitativement et coûteuses en temps, au détriment d'expériences plus en accord avec le niveau attendu à l'agrégation ; une informatisation de ces expériences serait profitable pour éviter des erreurs de mesures et limiter leurs durées.

#### **Montage 2 : Surfaces et interfaces.**

Le principe de certaines mesures est mal maîtrisé. Par exemple, la mesure de la tension de surface par la balance d'arrachement nécessite d'avoir compris avec précision la nature des forces en jeu lors de la rupture du ménisque pour pouvoir justifier la formule qui est utilisée. Plus généralement, il convient de préciser clairement l'interface étudiée lorsqu'une expérience fait intervenir plus de deux phases. Enfin, il faut veiller à nettoyer le mieux possible les surfaces étudiées plutôt que de justifier de mauvais résultats par une « saleté » sensée excuser des écarts parfois excessifs aux valeurs tabulées. Une alternative à laquelle les candidats pourraient penser serait d'utiliser des fluides de plus basse tension superficielle que l'eau et donc moins sensibles aux pollutions.

#### **Montage 3 : Dynamique des fluides.**

Comme recommandé par les précédents rapports, les candidats pensent à évaluer le nombre de Reynolds mais les conclusions qu'ils en tirent sont souvent incomplètes ou erronées. D'autres limitations des modèles (Stokes et Poiseuille en particulier) sont ignorées. Les viscosités mesurées doivent être comparées aux valeurs tabulées aux températures des expériences réalisées.

#### **Montage 4 : Capteurs de grandeurs mécaniques.**

Les candidats peuvent choisir d'étudier tous types de capteurs qui mesurent des grandeurs mécaniques : accéléromètres, jauges de contrainte, capteurs de position, de vitesse... Lors de l'étude d'un capteur, le candidat doit s'intéresser aux qualités de fidélité, de sensibilité et de justesse qui permettent d'utiliser ce capteur comme un instrument de mesure. Par ailleurs, certaines grandeurs mécaniques varient dans le temps et il n'est pas obligatoire de se limiter aux grandeurs stationnaires.

#### **Montage 5 : Mesure de température.**

De nombreux candidats utilisent à bon escient les échelles secondaires de température (résistance de platine) et ont compris que la notion de point fixe est essentielle pour l'établissement d'une échelle thermométrique. En revanche, certains ignorent encore les mécanismes physiques mis en jeu dans les différents capteurs qu'ils utilisent et ne réfléchissent pas suffisamment à la précision requise lors de l'utilisation d'un thermomètre « de référence ». Enfin, il serait intéressant de faire intervenir des capteurs de température plus modernes, comme des caméras infrarouges.

#### **Montage 6 : Transitions de phase.**

Ce montage doit être quantitatif et il ne faut donc pas se limiter à une série d'expériences qualitatives mettant en évidence des transitions de phases dans différents systèmes. Il faut, lors des mesures, avoir bien réfléchi aux conditions permettant d'atteindre l'équilibre thermodynamique. Dans ce domaine, les mesures « à la volée » sont souvent très imprécises. Une grande attention doit être apportée à la rigueur des



protocoles employés. Enfin, il faut rappeler aux candidats que le diazote n'est pas le seul liquide dont il est possible de mesurer la chaleur latente de vaporisation et que plonger un corps solide dans un liquide conduit à l'existence d'une force appelée poussée d'Archimède.

**Montage 7 : Instruments d'optique.**

Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d'obtention d'images de bonne qualité. L'étude des limitations et de défauts des instruments présentés est attendue. Les candidats doivent comprendre quelles sont les conditions pour que la mesure du grossissement puisse se ramener à la mesure d'un grandissement lorsqu'ils présentent des dispositifs afocaux. Enfin, dans certains cas, les candidats peuvent envisager l'utilisation de lunette de visée afin d'améliorer leurs mesures.

**Montage 8 : Interférences lumineuses.**

Il n'est pas raisonnable d'envisager d'apprendre à régler un interféromètre de Michelson devant le jury. Par ailleurs, les connaissances théoriques sur les cohérences spatiale et temporelle doivent être reliées aux observations expérimentales. Enfin, il est judicieux de réaliser des expériences simples avant de se lancer dans des expériences sur les notions de cohérence.

**Montage 9 : Diffraction des ondes lumineuses.**

La différence entre diffraction de Fraunhofer et diffraction de Fresnel doit être connue, et l'on doit s'assurer que les conditions de Fraunhofer sont remplies si l'on utilise les formules associées. Attention aux expériences de filtrage spatial qui sont souvent mal comprises. La détermination de la taille d'un fil ou d'un cheveu est d'autant plus intéressante que la valeur mesurée peut être comparée à une valeur tabulée ou mesurée par une technique complémentaire.

**Montage 10 : Spectrométrie optique.**

Quel que soit l'appareil de mesure utilisé, notamment le spectromètre à entrée fibrée interfacé avec l'ordinateur, son principe de fonctionnement et ses caractéristiques d'utilisation, en particulier son pouvoir de résolution, doivent être connus. S'il souhaite utiliser un réseau en incidence normale, le candidat doit s'assurer de la réalisation expérimentale correcte de cette incidence particulière.

**Montage 11 : Émission et absorption de la lumière.**

Ce montage ne devrait pas être confondu avec le montage « Spectrométrie optique ». Des expériences quantitatives sur l'absorption sont attendues. En outre, les propriétés d'émission du laser ne sont pas hors sujet.

**Montage 12 : Photorécepteurs.**

Dans ce montage, les questions classiques de métrologie peuvent être abordées : sensibilité, bande-passante et temps de réponse. Il importe de distinguer les détecteurs photoniques et thermiques, notamment du point de vue de leur réponse spectrale. Plus généralement, il faut connaître les principes physiques des photodétecteurs utilisés et pouvoir justifier les liens entre ces principes et les caractéristiques métrologiques. Il faut également, lorsqu'on cherche à effectuer une étude spectrale, faire attention à la réponse spectrale de tous les éléments du montage, y compris celle des éventuels polariseurs et analyseurs. Remarquons pour finir que la notion de point de fonctionnement peut être utile pour bien expliquer et justifier un montage avec photodiode.

**Montage 13 : Biréfringence, pouvoir rotatoire.**

Le candidat doit être capable d'expliquer le principe physique des protocoles utilisés pour l'étude de la biréfringence d'une lame mince. Le jury attend des mesures quantitatives avec confrontation aux valeurs tabulées. Une connaissance minimale des milieux anisotropes est indispensable.

**Montage 14 : Polarisation des ondes électromagnétiques.**

Ce montage permet d'explorer les ondes électromagnétiques au-delà de la gamme spectrale de l'optique. Le jury constate que la loi de Malus est souvent mal réalisée et mal exploitée ; les candidats gagneraient à réfléchir au choix de la source : spectrale, blanche avec filtre, laser polarisé ou non polarisé. Enfin, il faut connaître le principe des polariseurs utilisés, que ce soit des polariseurs dichroïques ou de simples grilles dans le cas des ondes centimétriques.

**Montage 15 : Production et mesure de champs magnétiques.**

La sonde à effet Hall est souvent le seul instrument de mesure présenté dans ce montage. D'autre part, les mesures de champs magnétiques ne sont pas limitées à ceux qui règnent dans l'entrefer d'un électro-aimant.

**Montage 16 : Milieux magnétiques.**

Il n'est pas souhaitable de se limiter aux milieux ferromagnétiques. L'étude du transformateur est marginale dans ce montage.

**Montage 17 : Métaux.**

Ce montage doit mettre en évidence différentes caractéristiques propres aux métaux. L'étude de caractéristiques mécaniques, par exemple, nécessite une mise en perspective par rapport aux propriétés équivalentes d'autres matériaux. Notons que pour les mesures de résistance, le principe et l'intérêt d'un montage quatre fils doivent être connus.

**Montage 18 : Matériaux semi-conducteurs.**

La variété des matériaux semi-conducteurs fait qu'il est parfois difficile de savoir quel est le matériau utilisé dans un composant commercial, ou quel est le dopage dans certaines plaquettes. Les candidats mesurent alors des propriétés sans pouvoir les comparer à quoi que ce soit. Il vaut donc mieux utiliser des composants de caractéristiques connues. Par ailleurs, il est essentiel de connaître quelques ordres de grandeur, en particulier celui de l'énergie de gap et de la densité de porteurs.

**Montage 19 : Effets capacitifs.**

Les modèles de condensateurs et les effets capacitifs sont nombreux et aisément accessibles à l'expérimentation. Le jury constate que l'étude de la propagation d'une impulsion dans un câble coaxial est, à juste titre, souvent proposée dans ce montage, mais que les propriétés physiques de ce phénomène sont souvent mal maîtrisées.

**Montage 20 : Induction, auto-induction.**

Lors de ce montage, trop de candidats abusent des expériences qualitatives et transforment la séance en une série d'expériences de cours sur l'induction et obtiennent de ce fait une note médiocre. Par ailleurs, la notion d'inductance mutuelle est souvent mal dégagée, en particulier à cause de mauvais choix dans les composants utilisés et dans la fréquence d'excitation.

**Montage 21 : Production et conversion d'énergie électrique.**

Le principe de fonctionnement des dispositifs utilisés (moteurs, tachymètres, variateurs...) doit être connu afin que la présentation illustre pleinement le sujet et ne se limite pas à des mesures de rendement. D'autre part, lors de l'étude de dispositifs de production et de conversion d'énergie électrique, la notion de point de fonctionnement nominal est importante ; en particulier, des mesures de puissance de l'ordre du mW ne sont pas réalistes. Enfin, les modèles utilisés pour décrire ces dispositifs ne doivent pas être trop simplifiés, au risque d'obtenir des écarts excessifs entre les modèles et les systèmes réels.

**Montage 22 : Amplification de signaux.**

L'amplificateur opérationnel, comportant de nombreux circuits internes de compensation, n'est pas l'objet idéal pour aborder ce montage. On peut, au contraire, envisager des circuits simples à base de transistor(s). D'autre part, de nombreux aspects des amplificateurs sont éludés, comme la distorsion, les impédances caractéristiques et le rendement.

**Montage 23 : Mise en forme, transport et détection de l'information.**

Ce montage ne se restreint pas à la modulation d'amplitude. Il semble en particulier important d'aborder le cas des signaux numériques modernes. Dans le cas de la démodulation synchrone, le problème de la récupération de la porteuse est systématiquement passé sous silence.

**Montage 24 : Acquisition, analyse et traitement des signaux.**

Les notions d'erreur de quantification et de rapport signal sur bruit ne sont pas bien dégagées. Pour la numérisation d'un signal, il faut mettre en évidence le rôle de l'échantillonnage et ses conséquences.

**Montage 25 : Mesure des fréquences temporelles (domaine de l'optique exclu).**

Le principe de ce montage est de présenter les techniques de mesure de fréquences. Il ne s'agit pas de réaliser différentes expériences faisant intervenir des phénomènes périodiques et de parvenir à une détermination de fréquence moins précise que celle obtenue avec le fréquencemètre présent sur la paillasse.

**Montage 26 : Mesure de longueurs.**

Des mesures de longueurs dans une large gamme sont appréciées et là encore les candidats ne doivent pas

se contenter du réglet comme outil de mesure. Par ailleurs, la mesure d'une longueur de cohérence n'a pas en soi sa place dans ce montage.

**Montage 27 : Systèmes bouclés.**

Ce montage concerne la physique des asservissements et / ou celle des oscillateurs auto-entretenus. Une maîtrise minimale des montages élémentaires est requise. Un oscillateur à quartz serait le bienvenu, compte tenu de son fort facteur de qualité.

**Montage 28 : Instabilités et phénomènes non linéaires.**

Il s'agit de bien d'illustrer quelques caractéristiques des systèmes non linéaires, de préférence dans différents domaines de la physique. Selon le (ou les) système(s) choisi(s) pour illustrer ce montage, on peut penser à la pluralité des positions d'équilibre, au phénomène de bifurcation, à l'enrichissement spectral, au ralentissement critique...

**Montage 29 : Ondes : propagation et conditions aux limites.**

Ce montage est riche, car l'existence de conditions aux limites permet l'apparition de phénomènes aussi variés que la réflexion, la réfraction, la diffraction, les interférences... Dans ce contexte, on veillera à bien distinguer ondes stationnaires et ondes stationnaires résonantes. Notons enfin que la notion d'impédance caractéristique n'est pas limitée au câble coaxial. Enfin, la détermination de la fréquence de résonance de la corde de Melde à l'aide d'un stroboscope n'a pas de sens quand la corde est utilisée avec un générateur basse fréquence muni d'un fréquencemètre avec cinq digits.

**Montage 30 : Acoustique.**

Les phénomènes d'interférences, de réflexion / transmission et d'impédance ont aussi leur place dans ce montage. En outre, le jury apprécie qu'on ne se limite pas à la propagation dans l'air ni à une gamme de fréquences restreinte aux fréquences audibles. En tout état de cause, le montage ne doit pas se limiter à des mesures de la célérité du son. Signalons enfin que les mesures d'atténuation des ondes acoustiques dans l'air qui ont été proposées par les candidats n'ont pas donné de résultats probants.

**Montage 31 : Résonance.**

Le lien qui existe entre la largeur de la résonance d'un oscillateur et la durée du régime transitoire est souvent ignoré par les candidats. Des phénomènes non linéaires ou paramétriques pourraient également être abordés.

**Montage 32 : Couplage des oscillateurs.**

Les pendules utilisés dans le cadre de ce montage sont souvent loin d'être des pendules simples, et les candidats doivent en tirer les conclusions qui s'imposent. Les expériences de couplage inductif sont souvent difficiles à exploiter, car les candidats ne maîtrisent pas la valeur de la constante de couplage. Enfin, il n'est pas interdit d'utiliser plus de deux oscillateurs dans ce montage, ou d'envisager des couplages non linéaires, qui conduisent à des phénomènes nouveaux comme l'accrochage de fréquence, et ont de nombreuses applications.

**Montage 33 : Régimes transitoires.**

Il existe des régimes transitoires dans plusieurs domaines de la physique et pas uniquement en électricité ; de même, l'établissement de régimes forcés peut conduire à une physique bien plus variée que le retour à une situation d'équilibre. Par ailleurs, bien que le régime transitoire des systèmes linéaires, évoluant en régime de réponse indicielle, puisse parfois se ramener à l'étude d'un circuit RC, la simple mesure du temps de réponse d'un tel circuit ne caractérise pas l'ensemble des propriétés des régimes transitoires. Enfin, varier les échelles de temps dans la présentation serait appréciable.

**Montage 34 : Phénomènes de transport.**

Des transports autres que diffusifs peuvent faire l'objet de ce montage. Lors de la mesure du coefficient de diffusion du glycérol, par la déviation d'une nappe laser, les candidats doivent être à même d'expliquer précisément la nature de l'image observée sur l'écran et son origine physique.

**Montage 35 : Moteurs.**

Ce montage a été présenté plusieurs fois lors de cette session et a conduit à plusieurs prestations de bonne qualité. Nous rappelons que les moteurs thermiques font partie des dispositifs qui peuvent être présentés dans ce montage.

## **Sujets des épreuves orales de la session 2015**

## Leçons de physique 2015

*Les leçons sont à traiter au niveau des classes préparatoires scientifiques ou au niveau de la licence de physique.*

1. Contact entre deux solides. Frottement.
2. Caractère non galiléen du référentiel terrestre.
3. Approximation gyroscopique. Effets dans les domaines macroscopique et microscopique.
4. Lois de conservation en dynamique.
5. Cinématique relativiste.
6. Dynamique relativiste.
7. Notion de viscosité d'un fluide. Écoulements visqueux.
8. Modèle de l'écoulement parfait d'un fluide.
9. Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides.
10. Gaz réels, gaz parfait.
11. Premier principe de la thermodynamique.
12. Évolution et condition d'équilibre d'un système thermodynamique fermé.
13. Application des deux premiers principes de la thermodynamique au fonctionnement des machines thermiques.
14. Transitions de phase.
15. Étude statistique d'un système en contact avec un thermostat. Probabilité canonique.
16. Rayonnement d'équilibre thermique. Corps noir.
17. Phénomènes de transport.
18. Bilans thermiques : flux conductifs, convectifs et radiatifs.
19. Conversion de puissance électromécanique.
20. Induction électromagnétique.
21. Rétroaction et oscillations.
22. Traitement d'un signal. Étude spectrale.
23. Ondes progressives, ondes stationnaires.
24. Ondes acoustiques.
25. Propagation avec dispersion.
26. Propagation guidée des ondes.
27. Ondes électromagnétiques dans les milieux diélectriques.
28. Ondes électromagnétiques dans les milieux conducteurs.
29. Rayonnement dipolaire électrique.
30. Présentation de l'optique géométrique à l'aide du principe de Fermat.
31. Interférences à deux ondes en optique.
32. Interférométrie à division d'amplitude.
33. Diffraction de Fraunhofer.
34. Diffraction par des structures périodiques.
35. Absorption et émission de la lumière.
36. Aspects corpusculaires du rayonnement. Notion de photon.
37. Aspects ondulatoires de la matière. Notion de fonction d'onde.
38. Confinement d'une particule et quantification de l'énergie.
39. Effet tunnel.
40. Fusion, fission.
41. Évolution temporelle d'un système quantique à deux niveaux.
42. Molécules : stabilité, énergie.
43. Capacités thermiques : description, interprétations microscopiques.
44. Paramagnétisme, ferromagnétisme : approximation du champ moyen.
45. Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques.

- 46. Mécanismes de la conduction électrique dans les solides.
- 47. Phénomènes de résonance dans différents domaines de la physique.
- 48. Oscillateurs ; portraits de phase et non-linéarités.

## Leçons de chimie 2015

*Les énoncés des leçons de chimie sont suffisamment ouverts pour permettre au candidat de faire des choix argumentés et de développer une démarche scientifique autour des grands domaines de la chimie. Les candidats, lors de leur présentation, doivent s'appuyer à la fois sur les fondements théoriques, les modèles, les expériences et les applications. Le niveau « lycée » (L) fait référence à des notions et contenus des programmes du lycée général et technologique, sans que la leçon soit construite nécessairement sur une seule classe d'une série donnée. La construction de la leçon doit également respecter l'esprit des différents préambules des programmes du lycée général et technologique et des classes préparatoires scientifiques (CP). Ainsi, la démarche scientifique doit y être privilégiée. La nature de l'épreuve doit par ailleurs amener les candidats à mettre en relation les aspects scientifiques, didactiques et pédagogiques. Ces sujets offrent une part d'initiative importante au candidat ; il ne s'agit pas d'être exhaustif mais de faire des choix argumentés et cohérents dans les concepts et expériences présentées.*

1. Chimie et couleur (L)
2. Séparations, purifications, contrôle de pureté (L)
3. Polymères (L)
4. Chimie et développement durable (L)
5. Synthèses inorganiques (L)
6. Stratégies en synthèse organique (L)
7. Dosages (L)
8. Facteurs cinétiques (L)
9. Caractérisations par spectroscopie en synthèse organique (L)
10. Relation structure réactivité en chimie organique (L)
11. Capteurs électrochimiques (L)
12. Molécules de la santé (L)
13. Structures et propriétés de molécules du vivant (L)
14. Réaction chimique par échange de proton (L)
15. Solvants (CP)
16. Classification périodique (CP)
17. Solides cristallins (CP)
18. Corps purs et mélanges binaires (CP)
19. Oxydoréduction (CP)
20. Détermination de constantes d'équilibre (CP)
21. Dosages suivis par potentiométrie (CP)
22. Cinétique homogène (CP)
23. Évolution et équilibre chimique (CP)
24. Optimisation de synthèses industrielles (CP)
25. Diagrammes potentiel-pH (construction exclue) (CP)
26. Corrosion humide des métaux (CP)
27. Stéréochimie (CP)
28. Conversion réciproque d'énergie électrique en énergie chimique (CP)
29. Solubilité (CP)
30. Cinétique électrochimique (CP)

## Montages 2015

1. Dynamique newtonienne.
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. Acquisition, analyse et traitement des signaux.
25. Mesure des fréquences temporelles (domaine de l'optique exclu).
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 2016**

## Leçons de physique 2016

*Les leçons sont à traiter au niveau des classes préparatoires scientifiques ou au niveau de la licence de physique.*

1. Contact entre deux solides. Frottement.
2. Gravitation.
3. Caractère non galiléen du référentiel terrestre.
4. Précession dans les domaines macroscopique et microscopique.
5. Lois de conservation en dynamique.
6. Cinématique relativiste.
7. Dynamique relativiste.
8. Notion de viscosité d'un fluide. Écoulements visqueux.
9. Modèle de l'écoulement parfait d'un fluide.
10. Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides.
11. Gaz réels, gaz parfait.
12. Premier principe de la thermodynamique.
13. Évolution et condition d'équilibre d'un système thermodynamique fermé.
14. Application des deux premiers principes de la thermodynamique au fonctionnement des machines thermiques.
15. Transitions de phase.
16. Étude statistique d'un système en contact avec un thermostat. Probabilité canonique.
17. Rayonnement d'équilibre thermique. Corps noir.
18. Phénomènes de transport.
19. Bilans thermiques : flux conductifs, convectifs et radiatifs.
20. Conversion de puissance électromécanique.
21. Induction électromagnétique.
22. Rétroaction et oscillations.
23. Traitement d'un signal. Étude spectrale.
24. Ondes progressives, ondes stationnaires.
25. Ondes acoustiques.
26. Propagation avec dispersion.
27. Propagation guidée des ondes.
28. Ondes électromagnétiques dans les milieux diélectriques.
29. Ondes électromagnétiques dans les milieux conducteurs.
30. Rayonnement dipolaire électrique.
31. Présentation de l'optique géométrique à l'aide du principe de Fermat.
32. Microscopies optiques.
33. Interférences à deux ondes en optique.
34. Interférométrie à division d'amplitude.
35. Diffraction de Fraunhofer.
36. Diffraction par des structures périodiques.
37. Absorption et émission de la lumière.
38. Aspects corpusculaires du rayonnement. Notion de photon.
39. Aspects ondulatoires de la matière. Notion de fonction d'onde.
40. Confinement d'une particule et quantification de l'énergie.
41. Effet tunnel.
42. Fusion, fission.
43. Évolution temporelle d'un système quantique à deux niveaux.
44. Capacités thermiques : description, interprétations microscopiques.
45. Paramagnétisme, ferromagnétisme : approximation du champ moyen.

- 46. Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques.
- 47. Mécanismes de la conduction électrique dans les solides.
- 48. Phénomènes de résonance dans différents domaines de la physique.
- 49. Oscillateurs ; portraits de phase et non-linéarités.

## Leçons de chimie 2016

*Les énoncés des leçons de chimie sont suffisamment ouverts pour permettre au candidat de faire des choix argumentés et de développer une démarche scientifique autour des grands domaines de la chimie. Les candidats, lors de leur présentation, doivent s'appuyer à la fois sur les fondements théoriques, les modèles, les expériences et les applications. Le niveau L « lycée » fait référence à des notions et contenus des programmes du lycée général et technologique, sans que la leçon soit construite nécessairement sur une seule classe d'une série donnée. La construction de la leçon doit également respecter l'esprit des différents préambules des programmes du lycée général et technologique et des classes préparatoires (CP) scientifiques (MPSI, PTSI, TSI1, MP, PSI, PT et TSI2). Ainsi, la démarche scientifique doit y être privilégiée. La nature de l'épreuve doit par ailleurs amener les candidats à mettre en relation les aspects scientifiques, didactiques et pédagogiques. Ces sujets offrent une part d'initiative importante au candidat ; il ne s'agit pas d'être exhaustif mais de faire des choix argumentés et cohérents dans les concepts et expériences présentées.*

1. Chimie et couleur (L)
2. Séparations, purifications, contrôle de pureté (L)
3. Polymères (L)
4. Chimie durable (L)
5. Synthèses inorganiques (L)
6. Stratégies en synthèse organique (L)
7. Dosages (L)
8. Facteurs cinétiques (L)
9. Caractérisations par spectroscopie en synthèse organique (L)
10. Relation structure réactivité en chimie organique (L)
11. Capteurs électrochimiques (L)
12. Molécules de la santé (L)
13. Structures et propriétés de molécules du vivant (L)
14. Acides et bases (L)
15. Solvants (CP)
16. Classification périodique (CP)
17. Solides cristallins (CP)
18. Corps purs et mélanges binaires (CP)
19. Oxydoréduction (CP)
20. Détermination de constantes d'équilibre (CP)
21. Dosages potentiométriques (CP)
22. Cinétique homogène (CP)
23. Évolution et équilibre chimique (CP)
24. Optimisation de synthèses industrielles (CP)
25. Diagrammes potentiel-pH (construction exclue) (CP)
26. Corrosion humide des métaux (CP)
27. Stéréochimie (CP)
28. Conversion réciproque d'énergie électrique en énergie chimique (CP)
29. Solubilité (CP)
30. Cinétique électrochimique (CP)

**Montages 2016** (liste inchangée par rapport à 2015)

1. Dynamique newtonienne.
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. Acquisition, analyse et traitement des signaux.
25. Mesure des fréquences temporelles (domaine de l'optique exclu).
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.