



Concours de recrutement du second degré

Rapport de jury

Concours : Agrégation externe

Section : Physique-chimie

Option : Physique

Session 2017

Rapport de jury présenté par :
Jean-Marc Berroir,
Président du jury

Table des matières

Avant-propos	2
Réglementation de la session 2017	4
Informations statistiques	5
Épreuves d'admissibilité.....	7
Rapport sur la composition de physique 2017	8
Rapport sur la composition de chimie 2017	11
Rapport sur le problème de physique 2017	14
Épreuves d'admission.....	16
Rapport sur la leçon de physique	17
Rapport sur la leçon de chimie.....	24
Rapport sur le montage de physique.....	29
Sujets des épreuves orales de la session 2017	41
Leçons de physique 2017	42
Leçons de chimie 2017	44
Montages 2017	45
Sujets des épreuves orales de la session 2018	46
Leçons de physique 2018	47
Leçons de chimie 2018	49
Montages 2018	50

Avant-propos

Le nombre de postes ouverts au concours 2017 de l'agrégation externe de physique-chimie option physique est en baisse par rapport à celui ouvert en 2016 (87 contre 92). Notons cependant que cette baisse est largement compensée par les 10 postes ouverts au concours spécial de l'agrégation externe réservé aux docteurs, mis en place pour la première fois en 2017. Le jury, après en avoir mûrement délibéré, a décidé de pourvoir ces 87 postes. Le nombre de candidats ayant composé aux trois épreuves écrites s'établit en 2017 à 533, en recul sensible par rapport à l'année précédente. La création du concours spécial explique certainement ce recul. Les 162 candidats admissibles se partagent entre étudiants (51,8 % des admissibles) et professeurs stagiaires, certifiés ou professeurs de lycée professionnel (41,4%), moins de 7 % des admissibles étant sans emploi ou hors de la fonction publique. 83 % des étudiants admissibles ont été admis alors que c'est le cas de seulement 15 % des professeurs déjà en activité et admissibles¹. La proportion de femmes parmi les admis reste encore très faible cette année (19,8 % des admissibles et 20,7 % des admis, contre respectivement 22,6 % et 17,4 % en 2015). Elle reflète cependant assez bien la proportion de femmes parmi les candidats présents aux épreuves écrites (25%).

Le concours de l'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.

Comme l'indiquait le rapport de jury 2015, un arrêté daté du 25 juillet 2014² donne la possibilité 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 : « *Faire partager les valeurs de la République* ». Le jury de l'épreuve de chimie s'est systématiquement emparé de cette possibilité, en posant durant l'entretien une question relevant de cette compétence. 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 de l'entretien. Afin que le jury de chimie puisse consacrer le temps qu'il estime nécessaire à cette partie de l'entretien, la durée de l'exposé de l'épreuve orale de chimie a été portée, depuis la session 2016, à 45 minutes (contre 50 minutes pour les sessions antérieures), la durée de l'entretien étant portée à 35 minutes. Cette année comme les années précédentes, un porte-vues rassemblant des documents qui

1 Quelques professeurs lauréats de la session 2017 de l'agrégation interne de physique-chimie se trouvaient parmi les candidats admissibles. La plupart ne se sont pas présentés aux épreuves orales et, comme cela est le cas depuis plusieurs années, aucun des candidats présents aux épreuves orales n'a été reçu.

2 Arrêté du 25 juillet 2014 paru au J.O. du 12 août 2014.

donnent corps aux valeurs de la République et à la laïcité, en particulier la charte de la laïcité à l'École, a été remis à chaque candidat admissible au début du temps de préparation aux épreuves. Ce porte-vues contient également le référentiel des compétences professionnelles des métiers du professorat et de l'éducation de juillet 2013, afin que les candidats puissent pleinement en prendre connaissance.

Le programme de la session 2016 comportait de nouvelles indications concernant l'usage des outils numériques lors des épreuves orales : « 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 ». En conséquence, depuis la session 2016, la distribution Pyzo du langage Python et le logiciel Scilab sont à disposition des candidats admissibles sur des postes informatiques présents dans chaque salle de préparation et de présentation aux épreuves. Les centres de préparation à l'agrégation externe de physique-chimie option physique ont élaboré une cinquantaine de programmes aisément modifiables et susceptibles d'être utilisés pour illustrer certaines des leçons de physique ou des montages. Ces programmes ont été mis à disposition de tous les candidats admissibles et pourront prochainement être téléchargés sur le site : <http://agregation-physique.org>. On trouvera également à cette adresse une liste de sites internet destinés à favoriser la manipulation du langage Python, accessibles aux candidats durant les épreuves orales. Cette année, davantage de candidats se sont emparés de cette nouvelle possibilité et ceux qui l'ont fait au cours d'une leçon ou d'un montage ont souvent vu leur initiative valorisée par le jury. Le maniement de tels programmes lors des épreuves orales, particulièrement lorsque les candidats les modifient pour les adapter au contexte de leur exposé, est l'occasion de montrer des compétences en informatique, compétences dont on sait qu'elles seront de plus en plus recherchées dans les années à venir.

Depuis la session 2016, des ressources documentaires numériques sont également disponibles par l'intermédiaire de certains sites internet institutionnels. La liste de ces sites est disponible sur le site de l'agrégation : <http://agregation-physique.org>. Un ordinateur connecté à internet est mis à disposition de chaque candidat dans la salle de préparation et de présentation des épreuves, ce qui permet aux candidats d'accéder en particulier à d'autres types de supports (vidéos, animations, etc.). Comme l'an passé, le jury a regretté que ces nouvelles ressources ne soient pas davantage utilisées, les candidats sont donc invités à s'emparer des opportunités offertes par une offre numérique, dont on sait qu'elle est appelée à se développer et à jouer un rôle toujours plus grand dans l'enseignement.

Le programme de la session 2017, que l'on trouvera sur le site SIAC2 du ministère, s'inscrit dans la continuité de celui de la session 2016. En complément de ce programme, les candidats trouveront dans les dernières pages de ce rapport les listes des leçons et montages pour la session à venir, listes identiques à celles de la session 2016. Les titres proposés 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.

Jean-Marc Berroir
Professeur à l'École normale supérieure, Président du jury

Réglementation de la session 2017

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 2017 de l'agrégation externe de physique-chimie option physique sont consultables sur ce même site.

Informations statistiques

87 places ont été mises au concours.

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

	2017	2016	2015	2014
Inscrits	1515	1510	1433	1393
Présents aux trois épreuves	529	598	556	575
Admissibles	162	199	198	168
Barre d'admissibilité	50,0/20	45,0/120	43,4/120	48,2/120
Moyenne générale du candidat classé premier	19,9	16,8/20	18,7/20	17,6/20
Moyenne générale du dernier candidat reçu	9,1	9,0/20	9,2/20	9,3/20
Admis	87	92	89	75

ÉPREUVES ÉCRITES

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

Moyenne sur 20 du dernier candidat admissible : 8,35 /20

Nature de l'épreuve écrite	Moyenne des candidats ayant composé	Moyenne des candidats admissibles
Composition de physique	6,8/20	11,6/20
Composition de chimie	7,5/20	12,1/20
Problème de physique	6,5/20	11,2/20

ÉPREUVES ORALES

Nature de l'épreuve orale	Moyenne des candidats présents aux épreuves orales	Écart-type
Leçon de physique	8,9/20	4,7/20
Leçon de chimie	8,4/20	4,6/20
Montage de physique	10,9/20	4,9/20

Nature de l'épreuve orale	Moyenne des candidats admis	Écart-type
Leçon de physique	11,4/20	4,1/20
Leçon de chimie	10,5/20	4,4/20
Montage de physique	13,5/20	3,9/20

Répartition par âge

Année de naissance	Nombre d'admissibles	Nombre d'admis
1997	1	0
1996	1	1
1995	6	6
1994	31	29
1993	22	20
1992	12	6
1991	7	2
1990	8	6
1989	4	2
1988	3	1
1987	6	3
1986	2	2
1985	2	1
1984	5	1
1983	3	1
1982	4	2
1980	5	0
1979	6	0
1978	2	0
1972 à 1977	21	2
Antérieure à 1972	11	2

Répartition par profession

Profession	Nombre d'admissibles	Nombre d'admis
Étudiant	38	27
Élève d'une ENS	46	43
Enseignants titulaires MEN	60	9
Enseignants stagiaires	2	0
Agents non titulaires MEN	2	0
Fonction publique	3	1
Hors fonct. publique/sans emploi	11	7

Répartition par sexe

	Nombre de présents aux trois épreuves	Nombre d'admissibles	Nombre d'admis
Hommes	408	130	69
Femmes	138	32	18

Épreuves d'admissibilité

Les épreuves se sont déroulées du 13 au 15 mars 2017.
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 2017

Le sujet de la composition de physique porte sur l'étude des phénomènes de diffusion, il est constitué de quatre parties largement indépendantes. L'objectif est d'établir des liens et des analogies entre les différents processus de diffusion (quantité de mouvement, chaleur et particules), tant au niveau macroscopique que microscopique.

Dans la première partie de la composition, il est demandé aux candidats d'identifier le moteur microscopique de tous les phénomènes de diffusion puis d'établir des résultats généraux sur l'équation de diffusion.

La deuxième partie porte plus spécifiquement sur l'étude de la diffusion de la chaleur. En partant de la loi de Fourier, on décrit avec précision quelques dispositifs expérimentaux de mesure de la conductivité thermique en régime permanent ou non. Il s'agit pour le candidat de s'approprier les diverses informations données sur les dispositifs, afin d'avoir un regard critique sur ces derniers (avantages et inconvénients) et d'analyser et exploiter une courbe expérimentale à l'aide de modèles théoriques. Le candidat doit être capable d'estimer quantitativement le transfert thermique par diffusion dans différents milieux (ordres de grandeur et différences).

La troisième partie s'intéresse à la diffusion de la quantité de mouvement dans les fluides. Après une description microscopique de la viscosité dans les gaz dilués, le candidat étudie différents dispositifs dans lesquels la viscosité joue un rôle important. Les ordres de grandeur et les analogies ont également une place importante dans cette partie.

Enfin la quatrième partie constitue une approche de la diffusion de la matière en étudiant plus particulièrement l'évaporation d'une goutte en suspension, le modèle utilisé est ensuite confronté à des résultats expérimentaux. Enfin, une approche statistique du mouvement brownien est proposée pour rendre compte de la diffusion de particules au niveau microscopique.

Cette composition aborde différents domaines de la physique : thermodynamique ; mécanique des fluides, physique statistique, diffusion de la matière, propagation d'ondes.

De nombreuses compétences scientifiques sont sollicitées au cours de cette composition. Le jury souhaite en signaler tout particulièrement quelques-unes :

- donner des explications qualitatives, claires et précises de différentes expériences sans avoir recours à des formulations mathématiques
- développer un modèle théorique afin de le valider ou l'exploiter dans une expérience
- analyser et exploiter des courbes expérimentales
- mener des applications numériques, avec le bon nombre de chiffres significatifs, évaluer des incertitudes, puis les commenter
- maîtriser les ordres de grandeur
- développer des analogies formelles.
-

Le jury a eu le plaisir cette année de lire d'excellentes copies mais il constate aussi que certains candidats ont encore des lacunes dans certains domaines de la physique-chimie, lacunes qui compromettent la réussite au concours, en particulier quand s'ajoutent des problèmes de rédaction.

Le jury tient à souligner, comme cela a déjà été fait dans les rapports précédents, l'importance d'une rédaction soignée et concise. Le jury attend d'un futur enseignant qu'il utilise un vocabulaire adapté et précis et qu'il formule correctement une explication.

Le jury rappelle également qu'une application numérique doit posséder une unité et qu'un candidat doit savoir commenter ou discuter une valeur numérique obtenue.

Commentaires spécifiques au sujet :

Question 1 - De nombreux candidats répondent à côté de la question en évoquant un gradient de température ou de concentration et oublient que l'agitation thermique est à l'origine de ce phénomène.

Questions 2, 3, 4, 5 - Ces questions, relevant du cours, ont été bien réussies dans l'ensemble. Certains candidats ont du mal à conduire une analyse dimensionnelle avec un laplacien.

Question 6 - Des candidats ont des connaissances fragiles sur le phénomène de dispersion. Ils confondent dispersion et propagation.

Question 10 - Trop de candidats donnent des réponses au hasard. On ne saurait insister sur l'importance de connaître des ordres de grandeur pour un professeur de physique.

Question 11 - Le jury attend que les candidats conduisent une analyse précise de l'expérience.

Question 12 - Cette question a souvent été traitée de manière incorrecte : le système est mal défini, le premier principe exploité de manière incorrecte, les erreurs d'algébrisation sont nombreuses. Certains candidats confondent l'hypothèse d'absence de production de chaleur avec l'hypothèse d'une transformation adiabatique pour le matériau.

Question 13 - Il ne s'agissait pas ici de paraphraser le texte. Mettre un capteur le long de la direction centrale parallèle à (Ox) ne suffit pas à justifier un modèle unidimensionnel ; les candidats ne semblent pas avoir l'habitude d'être confrontés à la modélisation d'une expérience concrète.

Question 14, 15 - Les réponses données ont souvent été satisfaisantes. De nombreux candidats ont conduit une analogie avec l'électricité pour retrouver l'expression de la résistance thermique. Dans ce cas, le jury attendait également ici une démonstration de cette expression.

Question 16 - La plupart des candidats ont bien perçu l'intérêt de la double mesure pour diminuer l'incertitude sur la mesure de la conductivité thermique.

Question 17 - Peu de candidats comprennent pourquoi un tel dispositif fonctionne principalement pour des matériaux isolants.

Question 18 - Attention aux chiffres significatifs. Peu de candidat comparent la valeur trouvée à la conductivité thermique de l'air.

Question 19 - Il s'agissait ici de donner un ordre de grandeur et il est donc inutile de donner un résultat avec trop de chiffres significatifs. Les candidats n'ont pas évoqué la thermalisation de l'ensemble du dispositif.

Question 23 - Quelques candidats conduisent des raisonnements de symétrie pour le champ de température comme si il s'agissait d'un champ vectoriel.

Questions 24, 25 - Peu de candidats justifient correctement que le flux radial $\varphi(r)$ est indépendant de r . D'autres confondent flux de chaleur et vecteur densité de courant thermique. Certains candidats utilisent le fait que le laplacien de la température est nul mais en exploitant une mauvaise expression pour cet opérateur mathématique en coordonnées cylindriques. La réponse à la question posée ne nécessitait pourtant pas l'utilisation de cette expression. De nombreux candidats ont également utilisé l'expression de la résistance thermique établie en géométrie unidimensionnelle à une question précédente, alors qu'elle n'était *a priori* plus valable en symétrie cylindrique ; lorsque cette modélisation était retenue, elle devait être justifiée.

Questions 26, 27 - Les meilleures copies ont donné une réponse aboutie. On pouvait noter que l'incertitude sur la température était prépondérante.

Questions 28, 29 - Ces questions n'ont pas posé de difficultés. La justification du signe de la constante permettant à la solution temporelle de ne pas diverger est souvent oubliée par les candidats.

Question 30 - Peu de candidats ont traité cette question de manière satisfaisante. Il était attendu que les candidats expliquent pourquoi la fonction h est $2L$ périodique et paire

Questions 31, 32, 33 - Ces réponses découlent naturellement de la réponse à la question 30.

Question 34 - Commenter une courbe ne consiste pas à uniquement décrire cette dernière. Le jury attend une confrontation entre le modèle utilisé et les résultats expérimentaux.

Questions 36, 37 - Ces questions ont été abordées indépendamment des questions précédentes.

Question 38 - L'interprétation microscopique du caractère non newtonien d'un fluide a été rarement satisfaisante. Un fluide non newtonien est parfois confondu avec un fluide visqueux.

Questions 39, 40 - Ces questions assez proches du cours ont été globalement assez bien traitées. Peu de candidats ont su décrire avec clarté le processus de diffusion de quantité de mouvement et l'analogie de la loi de Fourier n'a pas été présentée avec assez de précision.

Questions 45, 46, 47 - La plupart des candidats ont bien abordé ces questions. Il s'agissait ici de vérifier que les candidats connaissaient l'équation de Navier Stokes. La discussion sur le nombre de Reynolds n'est pas toujours bien conduite.

Question 48 - Il fallait veiller à ne pas oublier la dépendance temporelle des champs considérés.

Question 49 - Toutes les forces intervenant dans l'équation de Navier Stokes devaient être considérées ici puis projetées suivant l'axe (Ox).

Questions 50, 51 - Ces questions ont été bien abordées par quelques candidats, le jury attend une analyse des résultats théoriques obtenus.

Question 54 - Lors de la description d'un dispositif expérimentale, le jury attend des éléments précis.

Questions 55, 56 - Les explications n'ont pas toujours été formulées avec précision et clarté.

Questions 57, 58 - Pour résoudre cette question, il est nécessaire d'effectuer un bilan soigné des forces afin d'établir l'expression du moment résultant des forces de viscosité.

Question 63 - Des candidats ont proposé des expériences qualitatives, alors que dans le sujet on demandait une expérience quantitative.

Question 64 - Le jury attend un traitement rigoureux des analogies, dans ce cas il était nécessaire de faire appel à des arguments de symétrie.

Questions 65, 66, 67, 68 - Ces questions sont peu traitées. Il fallait remarquer que la courbe de la figure 11 était en échelle logarithmique.

Question 69 - Cette question, bien que souvent abordée, a été souvent été traitée sans assez de rigueur. Le jury attendait que les candidats explicitent l'origine de la tension superficielle.

Question 71 - Il était nécessaire d'utiliser le caractère incompressible de l'eau liquide.

Question 82, 83 - Ces questions pouvaient être traitées indépendamment des questions précédentes. Le jury a noté des difficultés pour tracer un graphe correct de la fonction considérée. Certains candidats ont obtenu un ordre de grandeur convenable pour le coefficient de diffusion.

Rapport sur la composition de chimie 2017

Le rapport de jury est rédigé dans l'objectif d'aider les candidats à mieux s'approprier les exigences de l'épreuve de composition de chimie. Sa lecture attentive doit leur permettre d'adapter leur travail de préparation à ce concours difficile.

Le jury recommande vivement aux candidats de consulter les rapports des années précédentes à l'adresse suivante : <http://agregation-physique.org>.

Le thème retenu pour le sujet de la composition de chimie de la session 2017 est « la chimie et la mer ». Plus précisément, le sujet s'intéresse aux richesses des mers et des océans. Une première partie concerne l'étude de certaines ressources inorganiques de la mer (indium, nodules polymétalliques, chlorure de sodium, ions iodure et diiode). Les ressources organiques de la mer sont abordées dans la deuxième partie consacrée aux molécules marines polyhalogénées (structure, synthèse et étude cinétique).

Les différentes parties et sous-parties de cette épreuve sont indépendantes et s'appuient sur des domaines variés de la chimie : architecture de la matière (atomistique, modèle de Lewis, théorie VSEPR, théorie de la mésomérie, cristallographie), chimie organique (stéréochimie, réactivité, caractérisation IR et RMN), cinétique chimique (étude d'un cycle catalytique), chimie des solutions (dosage conductimétrique, diagramme potentiel-pH), thermodynamique chimique (diagramme binaire solide-liquide).

Le sujet comporte une très large majorité de questions de type « tâches simples » : énoncé de définitions, raisonnement et/ou calculs classiques au niveau de la Licence ou des classes préparatoires aux grandes écoles. Plusieurs questions font appel à une exploitation de documents : la sous-partie consacrée aux nodules polymétalliques s'appuie ainsi sur un extrait d'article scientifique. De même, l'analyse d'un extrait d'ouvrage scientifique est indispensable pour répondre à quelques questions relatives à la découverte du diiode.

Le nombre de questions de cette épreuve a volontairement été limité pour permettre aux candidats d'aborder avec rigueur l'ensemble des thématiques proposées.

Remarques générales

Certains candidats ont produit de très bonnes copies aussi bien sur le fond que sur la forme. Le jury rappelle que les candidats, futurs enseignants, en plus de leurs connaissances et compétences scientifiques, doivent en effet bien maîtriser la langue française. Le jury a sanctionné quelques copies très mal présentées et/ou dont l'orthographe était très défailante.

Le jury insiste sur la nécessité de lire avec attention les questions pour éviter les réponses partielles voire hors sujet.

La réponse à une question doit être rédigée avec rigueur. Les définitions manquent souvent de précision et le vocabulaire employé reste trop approximatif. Les raisonnements doivent être clairement explicités et justifiés. Pour les valeurs numériques calculées, les candidats sont invités à garder un œil critique sur les ordres de grandeur, réfléchir à la précision affichée, ne pas oublier les unités et si besoin commenter le résultat obtenu.

Commentaires spécifiques au sujet

Première partie : les ressources inorganiques de la mer.

Question 1 :

Le jury regrette les définitions approximatives ou fausses rencontrées dans de nombreuses copies. Les termes atome, entité chimique, élément chimique ou isotopes sont trop souvent utilisés de manière très hasardeuse.

Question 4 :

La non-stabilité de l'ion In^+ (qui n'apparaît donc pas dans le diagramme potentiel-pH) devait être justifiée par

la thermodynamique très favorisée de la réaction de dismutation de l'ion In^+ .

À ce propos, le jury précise à nouveau qu'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. En effet, 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 et des nombres stœchiométriques.

Question 5 :

Les candidats ayant établi la relation entre les potentiels standard en utilisant, avec rigueur, le formalisme $\Delta_r G^\circ_{1/2} = -nFE^0$, pour une demi-équation électronique ($\text{Ox} + ne^- = \text{Red}$), sont parvenus sans problème au résultat.

Question 6 :

La valeur numérique de l'enthalpie libre standard de réaction $\Delta_r G^\circ$ est juste dans une large majorité des copies. Cependant, au-delà des applications numériques, le jury note des confusions entre les grandeurs $\Delta_r G^\circ$, $\Delta_r G$ et ΔG . L'entropie molaire standard S°_m est aussi souvent confondue avec l'entropie standard de formation $\Delta_f S^\circ$.

La justification de la **question 7** nécessitait de montrer que la réaction 1 était spontanée et totale dans le sens direct et se produisait donc jusqu'à disparition effective du solide $\text{In}(\text{OH})_3(\text{s})$.

Les réponses fournies pour la **question 9** sont souvent incomplètes. Le phénomène de passivation devait être cité mais aussi expliqué.

Question 10 :

La définition d'une espèce amphotère acido-basique est bien connue des candidats. Il est dommage que la nature acide ou basique de l'oxyde d'indium $\text{In}_2\text{O}_3(\text{s})$ ne soit pas toujours précisée dans les équations de réactions proposées pour justifier le caractère amphotère de $\text{In}_2\text{O}_3(\text{s})$.

Les **questions 12 et 13** s'appuyaient sur une brève description du procédé de recyclage de l'indium contenu dans les écrans LCD usagés. Certains candidats répondent seulement en paraphrasant l'énoncé sans réellement mettre en œuvre leurs connaissances pour analyser et expliquer les étapes du procédé proposé.

Questions 14 à 17 :

La lecture du diagramme binaire solide-liquide a été la source de nombreuses difficultés pour les candidats. Les phases en présence dans les différents domaines ont été mal identifiées : indiquer la nature d'une phase ne se limite pas à préciser un état physique. La solution solide du domaine 4 a trop rarement été correctement explicitée ou a engendré de nombreuses confusions. Le jury insiste sur le fait que la composition du mélange eutectique et la température de fusion associée changent si la pression varie.

La détermination et l'utilisation de la variance et du nombre de degré de liberté sont assez mal maîtrisées. La formule de Gibbs n'est plus au programme des classes préparatoires aux grandes écoles : le calcul de variance doit s'appuyer, pour chaque cas envisagé, sur le dénombrement des paramètres intensifs et des relations entre eux.

Question 19 :

Le jury a apprécié le souci des candidats de préciser les états physiques dans l'équation de réaction mais regrette de ne pas trouver dans les copies quelques commentaires justifiant l'équation de réaction proposée.

Questions 22 à 25 :

La coordinence est encore souvent confondue avec le nombre de motifs par maille. Pour un cristal ionique, la définition de la coordinence doit clairement être associée au cation ou à l'anion.

Questions 26 à 32 :

Le jury a été surpris de constater que les notions de concentration et de dilution n'étaient pas toujours bien assimilées ce qui a conduit souvent à de mauvaises déterminations de la concentration massique en ions chlorure de l'eau de mer analysée.

Certains candidats oublient de définir l'équivalence d'un titrage, comme demandé dans l'énoncé, et se

contentent de donner, dans le cas particulier envisagé, une relation applicable à l'équivalence. Les questions relatives à la conductimétrie ont parfois montré des lacunes dans la compréhension de cette technique.

Question 37 :

Les réponses ont souvent été partielles, l'analyse des valeurs des angles étant oubliée ou étudiée sans même appliquer la théorie VSEPR.

Question 38 :

L'écriture de formules mésomères manque souvent de rigueur : oubli de doublets libres, confusion charge et doublet libre.

L'importance relative des différentes formules mésomères est souvent omise dans l'argumentation.

Deuxième partie : les ressources organiques de la mer.

Question 41 :

Les réponses manquent souvent de rigueur et s'éloignent parfois de la question posée. Beaucoup de candidats expliquent ce qu'est une substance optiquement active mais finalement ne donnent pas la définition du pouvoir rotatoire et du pouvoir rotatoire spécifique.

Question 44 :

Une réponse complète imposait de discuter d'une part le choix de l'éther diéthylique et d'autre part la nécessité que le solvant soit anhydre.

Questions 45 et 50 :

Lors de l'écriture d'un schéma réactionnel, le candidat doit réfléchir à la réversibilité ou non des étapes proposées et soigner la représentation des mouvements électroniques (sans oublier de dessiner les doublets non liants mis en jeu).

Question 49 :

Si beaucoup de candidats ont indiqué que le lavage de la phase organique avec la solution aqueuse à 10 % de thiosulfate de sodium servait à détruire le diiode, peu d'entre eux ont su correctement expliquer l'origine de la présence du diiode dans le milieu réactionnel.

Questions 51 et 52 :

L'attribution des signaux du spectre RMN aux différents protons est bien traitée. L'aspect théorique relatif à la définition et à l'intérêt du déplacement chimique est parfois plus laborieux.

Questions 63 à 72 :

L'étude « mathématique » du cycle catalytique était progressive et très guidée ce qui a permis en général aux candidats de mener à bien les calculs.

Conclusion

Comme il a déjà été mentionné, ce rapport s'attache à permettre aux futurs candidats, professeurs de demain, de progresser et de mieux s'approprier l'épreuve. Il souligne donc les principales faiblesses relevées dans les copies. Mais le jury a pu apprécier aussi une très grande maîtrise par certains candidats de tous les aspects de la chimie abordés dans cette épreuve. Il tient donc à féliciter les candidats dont les notes honorables, voire brillantes, révèlent de solides connaissances et compétences en chimie. Le jury encourage les candidats à poursuivre leur investissement dans cette discipline.

Rapport sur le problème de physique 2017

Le problème de physique porte sur plusieurs aspects de la physique du fonctionnement des satellites de positionnement en prenant en exemple la constellation américaine GPS (Global Positioning System). L'objectif du problème est de montrer qu'en utilisant des concepts de physique de base, il est possible d'aborder dans sa globalité un système complexe pour déterminer une estimation réaliste de ses performances. Toutes les parties du problème aboutissent ainsi à des estimations d'erreur de positionnement liées au phénomène étudié, associées à une réflexion sur l'utilité de les prendre en compte ou de trouver un moyen de les contourner lors du fonctionnement du système.

La première partie explore rapidement le principe de fonctionnement en estimant les ordres de grandeurs mis en jeu dans le processus. La deuxième partie est une étude classique de l'orbite elliptique du satellite. Dans la troisième partie sont étudiés, d'un point de vue classique et relativiste, différents effets sur la fréquence du signal liés à sa propagation. La cinquième partie décrit le fonctionnement des horloges atomiques utilisées à bord des satellites et au sol. Le problème développe dans les deux parties suivantes l'interaction du signal avec l'atmosphère terrestre (ionosphère et troposphère). La dernière partie, très courte, apporte une conclusion sous la forme d'un bilan d'erreurs et d'une question de réflexion sur les améliorations envisageables du système. Les différentes parties peuvent être abordées indépendamment les unes des autres et des résultats intermédiaires sont donnés.

Ce sujet aborde donc divers domaines de la physique : mécanique, effet Doppler, relativité, physique quantique, électromagnétisme, thermodynamique. Quelques questions nécessitent des développements mathématiques simples, mais, dans la plupart des cas, les questions demandent directement d'appliquer des concepts de physique au cas particulier du système GPS. Les applications numériques sont essentielles pour estimer l'impact de l'effet étudié sur le fonctionnement du système. L'utilisation de ce système étant de l'ordre du quotidien, le jury a été très vigilant sur la cohérence des réponses données.

Sur l'ensemble des copies, chaque question a été abordée au moins une fois. Le jury a eu le plaisir de lire quelques excellentes copies qui ont démontré que le problème était faisable dans le temps imparti et permettait une présentation convaincante de la physique explorée. Inversement, le jury a été surpris par le nombre élevé de copies montrant une maîtrise très insuffisante des concepts de base et de l'approche scientifique.

Les commentaires des précédentes années sont toujours d'actualité. Le jury invite les candidats à lire soigneusement les rapports de jury.

La rédaction est un élément essentiel pour exposer les connaissances et les conclusions. Le jury a été très sensible à cet aspect : des réponses rédigées dans un français approximatif, incorrect ou déstructuré ne sont pas acceptables pour de futurs enseignants. Des problèmes de vocabulaire ont émergé de façon récurrente. Par exemple, confondre « augmenter » et « être supérieur à » (ou « décroître » et « être inférieur à ») va au-delà d'une simple confusion de mots. Précision et rigueur dans les expressions vont de pair avec la rigueur scientifique.

Commentaires au fil du sujet

Ordres de grandeurs

Cette partie a pour but de permettre au candidat d'établir les ordres de grandeurs en jeu dans la mesure GPS. Elle nécessite de comprendre le fonctionnement du système en restant à une approche très simpliste de la physique d'un satellite.

Le jury a constaté que certains candidats n'étaient pas capables d'aborder ces questions ou bien n'avaient aucune notion des ordres de grandeurs raisonnables intervenant dans la mesure. Même si l'on n'est pas un spécialiste du spatial, il n'est pas concevable de constater que les calculs de la vitesse du satellite s'échelonnent sur 43 ordres de grandeur (en dépassant parfois largement la vitesse de la lumière) dans les différentes copies sans commentaire de la part des rédacteurs.

Certains candidats confondent altitude et rayon de l'orbite.

Le jury invite aussi à réfléchir sur la barre d'erreur associée à la vitesse de la lumière évoquée par certaines copies.

Enfin, concernant le principe de mesure, le mot triangulation a très souvent été employé à mauvais escient. Il est aussi étonnant de voir certaines copies conclure que le système ne peut pas fonctionner en l'état sans autre commentaire.

Orbites des satellites

Une figure doit être claire et expliciter de manière évidente les caractéristiques demandées.

Dans certaines copies, il y a confusion entre les coordonnées polaires (et la base associée) et les coordonnées associées à un repère de Frenet. Le jury rappelle que la base associée aux coordonnées polaires doit être orthonormée (ce qui, d'ailleurs, était signalé dans l'énoncé).

Le jury a noté souvent une confusion entre dimension et unité.

Cette partie établit des résultats très classiques dont la démonstration ne comporte pas de difficulté majeure. Beaucoup de copies l'ont abordée, dont un bon nombre correctement, cependant le jury regrette que cette partie ne soit pas mieux traitée par l'ensemble des candidats.

Déplacement de fréquence par effet Doppler classique et relativiste

L'effet Doppler classique, qui correspond à un phénomène quotidien, est largement méconnu des candidats que ce soit pour la mise en équation ou pour une simple description qualitative.

Pour les effets relativistes, des calculs de base avec des développements limités simples sont demandés. Cela a posé des difficultés importantes pour beaucoup de candidats.

L'effet issu de la relativité restreinte est lié directement à des phénomènes présentés dans le programme de lycée. Pourtant, rares sont les copies qui les ont mentionnés sans erreur.

Principe de fonctionnement d'une horloge atomique

Beaucoup de candidats confondent l'équation d'évolution d'un système quantique et celle permettant de trouver des solutions stationnaires.

Lorsque les résultats sont donnés dans la question, le jury attend à ce qu'un futur enseignant ait un regard critique lorsqu'il obtient des résultats faux, plutôt que de chercher à masquer l'incohérence de son approche. Il est utile de rappeler qu'une quantité physique appelée χ n'est pas obligatoirement une susceptibilité magnétique.

Effets de l'atmosphère

L'ionosphère

Cette partie a été abordée dans la majorité des copies avec plus ou moins de réussite.

La première question demande de décrire les hypothèses du modèle proposé. La réponse nécessite d'exposer clairement les équations de départ, puis d'explorer les diverses simplifications pertinentes dans ce cadre, en les justifiant soigneusement, permettant d'aboutir aux équations proposées dans le sujet. Cela demande une capacité de rédaction que beaucoup de candidats n'ont pas su mettre en œuvre.

Pour établir l'équation de dispersion, le jury invite à réfléchir sur la notion de neutralité dans un plasma.

La troposphère

Lorsque l'on établit des hypothèses, il n'est pas correct d'affirmer qu'une quantité physique est « très faible » sans expliciter à quoi elle est comparée.

Épreuves d'admission

Les épreuves se sont déroulées du 14 juin au 4 juillet 2017
au lycée Marcelin Berthelot (Saint-Maur-des-Fossés).

Rapport sur la leçon de physique

Il est conseillé aux candidats de lire attentivement ce rapport qui reprend de nombreux points déjà signalés les années précédentes.

Déroulement de l'épreuve

Cette épreuve consiste en une présentation d'une leçon de 50 min, dont le sujet a été attribué aléatoirement au candidat ou à la candidate parmi une liste qui figure dans le rapport du jury de l'année précédente. À l'issue de la présentation et pendant une durée maximale de 20 min, le jury s'entretient avec le/la candidat(e) afin de vérifier l'assise et la profondeur de ses connaissances, ainsi que d'évaluer certaines compétences professionnelles.

Les candidats disposent de 4 h 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, ainsi que des simulations. Les logiciels usuels (OpenOffice, Word, Excel, Python, Scilab...) sont installés sur les ordinateurs. Les candidats disposent également d'un rétroprojecteur (ils doivent apporter leurs transparents et feutres).

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 impose bien évidemment le sujet, même si c'est de façon assez large. Si cet intitulé mentionne plusieurs notions, celles-ci doivent toutes être abordées en cours de présentation. 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 sont l'occasion d'un approfondissement. Les candidats doivent préciser dès le début les prérequis nécessaires et les objectifs de la leçon. Les prérequis doivent évidemment être maîtrisés. Les candidats auront aussi à cœur de faire ressortir clairement les messages forts de la leçon.

Certaines leçons concernent des domaines tellement vastes qu'il est impossible d'être exhaustif : des choix sont à faire, ils 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. Les candidats doivent toujours considérer qu'ils se placent de fait dans une situation d'enseignement devant un public d'étudiants même si le rythme de l'exposé peut être plus soutenu tant que la leçon reste compréhensible.

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.* Les leçons trop formelles, manquant d'exemples et applications numériques judicieuses, sont à proscrire. *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.

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 5 min d'exposé, ce qui ne signifie pas qu'il est urgent de conclure : ces 5 min représentent tout de même 10 % de la durée totale de la leçon 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. Une valeur numérique fournie seule et sans comparaison possède généralement peu d'intérêt. Les limites de validité des modèles et des lois 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 professeur de physique d'éluder des calculs au prétexte que ceux-ci n'ont pas d'intérêt ou qu'ils sont « compliqués ».

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. Le jury conseille au candidat de prendre en main la manipulation avant de la présenter en leçon. Il faut également être en mesure de répondre aux questions relatives au montage expérimental et sur le matériel utilisé.

Quelques remarques sur l'utilisation de Python et Scilab

Si quelques leçons ont été avantageusement enrichies par l'utilisation de l'outil numérique, le jury regrette que l'usage de ce dernier ne soit pas plus fréquent. Pourtant, il permet d'aller bien au-delà des simples applications numériques et tracé de courbe.

Quelques remarques sur la forme

Les prestations lors desquelles 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 difficilement lisibles et à n'utiliser que très ponctuellement). 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 ne conduit que rarement à une présentation satisfaisante et devrait être évité.

Le jury laisse toute liberté au/à la candidat(e) quant à la gestion du tableau (il n'est pas interdit d'effacer son tableau). 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 adhérence avec l'exposé réalisé.

Une discussion sur les prérequis et sur les choix pédagogiques effectués (ou ceux qui auraient pu être envisagés, y compris en relation avec la contextualisation) ne doit pas surprendre les candidats. Par exemple, des questions peuvent être posées sur la construction de la leçon et le jury rappelle à ce sujet que *les plans adoptés dans les ouvrages ne constituent généralement pas un choix pertinent pour un exposé oral face à des étudiants.*

Le jury peut être amené à demander des éclaircissements sur certains développements de la leçon ou à prolonger, à un niveau plus avancé, certains points. Dès lors, il est maladroit d'évoquer pendant sa leçon des phénomènes ou applications que l'on ne saurait décrire.

Les candidats peuvent naturellement appuyer leurs réponses, claires, concises et précises, sur leurs connaissances à tous les niveaux d'enseignement.

Remarques sur quelques thématiques

- Le jury rappelle que l'histoire des sciences est bien une science et non une narration approximative et spéculative.
- La définition des systèmes étudiés et des référentiels de travail est indispensable.
- Le calcul vectoriel est à maîtriser. Un produit vectoriel ne doit pas amener le candidat à une stratégie de contournement de son calcul (stratégie rarement couronnée de succès). De plus, raisonner avec des vecteurs ou avec leurs normes n'est pas du tout équivalent.
- Le jury invite les candidats à réfléchir à la notion d'équilibre thermodynamique.
- Simulations et représentations graphiques sont indispensables pour illustrer la physique des ondes.
- En optique, les notions de cohérence doivent être maîtrisées.
- En mécanique quantique, le lien doit être fait entre l'équation de Schrödinger et sa version indépendante du temps.
- Dans différents domaines, les propriétés macroscopiques de la matière doivent être connues et maîtrisées.

Les remarques qui suivent font référence à la liste des leçons de la session 2017

Leçon 1 : *Contact entre deux solides. Frottement.*

Cette leçon gagne beaucoup à être illustrée par des exemples concrets maîtrisés.

Leçon 2 : *Gravitation.*

Les applications ne doivent pas nécessairement se limiter à la gravitation terrestre.

Leçon 3 : *Caractère non galiléen du référentiel terrestre.*

Les candidats sont invités à réfléchir sur la définition du référentiel terrestre. Cette leçon mérite la proposition d'exemples qui mettent spécifiquement en évidence le caractère non galiléen du référentiel terrestre (et non celui d'un autre référentiel). Les effets des forces d'inertie d'entraînement et de Coriolis sont tout aussi intéressants à expliciter.

Leçon 4 : *Précession dans les domaines macroscopique et microscopique.*

L'étude de l'un des domaines, macroscopique ou microscopique, ne doit pas conduire au sacrifice de l'autre : un certain équilibre est attendu. Il est nécessaire d'avoir suffisamment de recul en mécanique des solides pour préciser l'origine des formules avancées.

Leçon 5 : *Lois de conservation en dynamique.*

Des exemples concrets d'utilisation des lois de conservation sont attendus.

Leçon 7 : Dynamique relativiste.

La cinématique relativiste n'est pas l'objet de cette leçon. De plus, il ne faut pas se limiter à une suite de formules et de calculs. L'utilisation des quadrivecteurs peut être judicieuse. Des illustrations de physique moderne et/ou des situations réelles devraient être décrites et analysées.

Leçon 8 : Notion de viscosité d'un fluide. Écoulements visqueux.

Il peut être judicieux de présenter le fonctionnement d'un viscosimètre dans cette leçon.

Leçon 9 : Modèle de l'écoulement parfait d'un fluide.

La multiplication des expériences illustrant le théorème de Bernoulli n'est pas souhaitable, surtout si celles-ci ne sont pas correctement explicitées.

Leçon 11 : Gaz réels, gaz parfait.

Les corrections apportées au modèle du gaz parfait doivent s'appuyer sur des analyses physiques et pas seulement sur des développements calculatoires. La leçon ne peut pas se limiter aux modèles du gaz parfait et du gaz de van der Waals. L'utilisation d'un diagramme enthalpique permet notamment de voir les limites des modèles.

Leçon 12 : Premier principe de la thermodynamique.

Des exemples concrets d'utilisation du premier principe de la thermodynamique sont attendus.

Leçon 14 : Machines thermodynamiques réelles.

L'utilisation de diagrammes enthalpiques peut permettre de discuter de façon quantitative l'irréversibilité d'une machine réelle et, en plus, d'éviter de se contenter du modèle du gaz parfait. Le jury rappelle en outre que les machines thermiques ne se limitent pas aux moteurs.

Leçon 17 : Rayonnement d'équilibre thermique. Corps noir.

Les bilans radiatifs doivent être traités de manière rigoureuse.

Leçon 18 : Phénomènes de transport.

La leçon ne peut se limiter à la présentation d'un unique phénomène de transport.

Leçon 19 : Bilans thermiques : flux conductifs, convectifs et radiatifs.

Il ne faut pas oublier de faire des bilans thermiques dans cette leçon qui ne consiste pas en un catalogue des divers flux.

Leçon 20 : Conversion de puissance électromécanique.

Une approche à l'aide des seules forces de Laplace est insuffisante. Les candidats doivent aussi s'interroger sur l'intérêt d'utiliser des matériaux ferromagnétiques dans les machines électriques.

Leçon 23 : Traitement d'un signal. Étude spectrale.

Ce n'est pas une leçon sur le filtrage qui est attendue ; il ne faut pas se réduire à l'étude d'un ou plusieurs filtres électroniques.

Leçon 25 : Ondes acoustiques.

La contextualisation et des applications de la vie courante ne doivent pas être oubliées dans cette leçon qui se résume souvent à une suite de calculs. De plus, les fluides ne sont pas les seuls milieux dans lesquels les ondes acoustiques peuvent être étudiées.

Leçon 28 : *Ondes électromagnétiques dans les milieux diélectriques.*

Cette leçon ne doit pas se limiter à un cours sur les milieux diélectriques ; cela n'en est pas l'objet.

Leçon 29 : *Ondes électromagnétiques dans les milieux conducteurs.*

Les analogies et différences observées entre les différents milieux étudiés méritent d'être clairement soulignées. Il est intéressant d'évoquer les aspects énergétiques.

Leçon 30 : *Rayonnement dipolaire électrique.*

La leçon ne doit pas se réduire à une suite de calculs.

Leçon 31 : *Présentation de l'optique géométrique à l'aide du principe de Fermat.*

Les applications à des systèmes optiques réels sont trop souvent absentes de cette leçon.

Leçon 32 : *Microscopies optiques.*

L'intérêt des notions introduites doit être souligné.

Leçon 34 : *Interférométrie à division d'amplitude.*

Le candidat doit réfléchir aux conséquences du mode d'éclairage de l'interféromètre (source étendue, faisceau parallèle ou non...). Il est judicieux de ne pas se limiter à l'exemple de l'interféromètre de Michelson.

Leçon 35 : *Diffraction de Fraunhofer.*

Les conditions de Fraunhofer et leurs conséquences doivent être présentées, ainsi que le lien entre les dimensions caractéristiques d'un objet diffractant et celles de sa figure de diffraction.

Leçon 36 : *Diffraction par des structures périodiques.*

Il faut traiter de diffraction par des structures périodiques et pas seulement d'interférences à N ondes.

Leçon 37 : *Absorption et émission de la lumière.*

Cette leçon ne peut se résumer à une présentation des relations d'Einstein.

Leçon 39 : *Aspects ondulatoires de la matière. Notion de fonction d'onde.*

Un exposé sans présentation de l'équation de Schrödinger ne paraît pas raisonnable.

Leçon 40 : *Confinement d'une particule et quantification de l'énergie.*

Cette leçon est une leçon de physique et ne doit donc pas se limiter à des calculs.

Leçon 41 : *Effet tunnel.*

Encore une fois, il ne s'agit pas de se limiter à des calculs. L'exposé doit présenter l'analyse d'applications pertinentes.

Leçon 42 : *Fusion, fission.*

Un exposé purement descriptif des réactions de fusion et de fission nucléaires est insuffisant.

Leçon 43 : *Évolution temporelle d'un système quantique à deux niveaux.*

Il est intéressant que les candidats s'appuient sur un exemple de système quantique à deux niveaux d'énergie pour construire cette leçon.

Leçon 44 : *Capacités thermiques : description, interprétations microscopiques.*

Le jury invite les candidats à réfléchir aux conditions d'utilisation du théorème d'équipartition de l'énergie. Des explications rigoureuses de l'évolution expérimentale des capacités thermiques en fonction de la température sont attendues.

Leçon 46 : *Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques.*

L'introduction des milieux linéaires en début de leçon n'est pas judicieuse.

Leçon 47 : *Mécanismes de la conduction électrique dans les solides.*

Cette leçon ne concerne pas que la conduction dans les métaux.

Leçon 49 : *Oscillateurs : portraits de phase et non-linéarités.*

Les définitions d'un oscillateur et d'un portrait de phase sont attendues. La leçon doit présenter des systèmes comportant des non-linéarités.

Rapport sur la leçon de chimie

Le présent rapport concerne les épreuves de la session 2017. Le jury recommande aussi vivement aux candidats, la lecture des rapports des années précédentes (disponibles à l'adresse suivante : <http://agregation-physique.org>).

Les énoncés des leçons de chimie se rapportent à des niveaux soit lycée (séries générale et technologiques), soit classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) [classes de première année : MPSI, PTSI, TSI1 ; classes de deuxième année : MP, PSI, PT et TSI2].

Après une préparation d'une durée de 4 h, le candidat dispose de 45 min au plus pour exposer sa leçon. L'épreuve se poursuit par un entretien scientifique de 20 min au plus avec les membres du jury et un échange de 5 min sur une question portant sur la compétence « Faire partager les valeurs de la République ».

La préparation (4 h)

Avant toute chose, le candidat doit analyser attentivement le titre de sa leçon. Il peut ainsi définir les contenus et l'équilibre de sa leçon **en se conformant aux programmes en vigueur**. Cela doit lui permettre **d'éviter que son exposé soit partiellement hors sujet**, de choisir de manière pertinente et pédagogique les points à développer surtout si le sujet proposé est vaste. Les intitulés des leçons de chimie sont volontairement ouverts, ce qui oblige les candidats à construire leur exposé en faisant des choix personnels et pertinents. Certaines notions et définitions peuvent être utilisées directement si elles ont été placées en prérequis. **Il faut absolument éviter de présenter une leçon se limitant à une suite de définitions, sans contextualisation et sans aucune illustration expérimentale.**

Le jury insiste sur le fait que **la réalisation et l'exploitation d'expériences sont des éléments incontournables de toutes les leçons**. Il est nécessaire que le candidat montre ses qualités expérimentales lors de l'exposé. À titre d'exemples :

- Pour une courbe de dosage, le candidat doit reprendre quelques points en direct devant le jury et les placer sur la courbe réalisée en préparation.
- Pour une synthèse organique, le candidat peut lors de la préparation mener à termes les étapes de séparation, purification... sur une partie seulement du brut réactionnel. Il pourra alors caractériser le produit final devant le jury mais aussi montrer une étape de traitement sur le brut réactionnel restant.

Le candidat veillera à demander suffisamment de matériel et de produits pour sa présentation. Pré-peser ou mesurer certaines quantités de réactifs peut permettre de gagner un temps précieux lors de la présentation de certaines manipulations. Avant l'exposé, le soin apporté à l'organisation de la paillasse permet d'être efficace et d'utiliser son temps de manière optimale lors de la présentation.

Les ressources documentaires et numériques

Pendant la préparation de la leçon, le candidat a accès à une bibliothèque contenant des ouvrages du secondaire et du supérieur, 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. **Si le candidat souhaite utiliser des manuels scolaires, il faut veiller à ce que ceux-ci soient conformes aux programmes en vigueur à la rentrée 2017.**

Des ressources documentaires numériques sont également disponibles par l'intermédiaire de certains sites institutionnels. La liste est disponible à l'adresse suivante : <http://agregation-physique.org>. Pendant la préparation et la présentation d'une leçon, un ordinateur connecté à internet est mis à disposition. Cela permet au candidat d'utiliser d'autres types de supports (vidéos, animations, etc.) qui sont particulièrement adaptés pour certaines leçons.

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 ou traitant de la cristallographie, ainsi que des programmes informatiques comme Python et Scilab par exemple (voir la liste de ces ressources à l'adresse <http://agregation-physique.org>). 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. En particulier, **le jury n'apprécie pas qu'ils soient utilisés pour présenter tous les calculs ou écritures d'équations un peu délicats.**

L'utilisation d'une flexcam (par exemple pour visualiser certaines expériences) doit se faire avec parcimonie et avec une projection de qualité.

Le rôle de l'équipe technique

Pendant la préparation, les candidats bénéficient de l'aide d'une équipe technique. Ils doivent, après avoir pris connaissance de leur sujet, fournir à cette équipe une fiche comportant la liste détaillée du matériel et des produits demandés, avec les concentrations adéquates. Compte tenu des contraintes locales, il peut parfois être nécessaire d'adapter un protocole issu de la littérature. L'équipe technique offre son aide notamment pour la prise en main de logiciels ou l'acquisition de mesures répétitives et apporte son assistance à la demande du candidat en respectant ses indications pour la mise en place et la réalisation de certaines expériences. **Le candidat 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, qui doit maîtriser la conduite des expériences demandées en préparation.

La présentation de la leçon (45 min)

L'exposé est limité à 45 min. Les leçons écourtées significativement sont sanctionnées et les candidats dépassant les 45 min réglementaires sont interrompus. La gestion du temps est importante : il convient de ne pas déséquilibrer la leçon en traitant à la hâte, en fin de leçon, et souvent de manière confuse, une partie importante 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.

Plusieurs moyens de communication sont proposés : tableau, vidéoprojecteur, rétroprojecteur et flexcam. Le jury recommande de laisser apparent le plan de l'exposé. L'emploi d'un vocabulaire scientifique précis est attendu. **Les candidats doivent se détacher au maximum de leurs notes.**

Quel que soit le titre de la leçon, **l'exposé doit être contextualisé et inclus dans une démarche scientifique.**

Une leçon ne peut pas être exhaustive dans le domaine proposé : **il est donc conseillé de faire des choix et de les annoncer, plutôt que de tout traiter superficiellement.** Le jury précise qu'il n'a pas d'idée préconçue sur le contenu d'une leçon, et que celle-ci ne doit jamais être une simple reproduction d'un chapitre d'un ouvrage.

Les expériences doivent permettre aux candidats de mettre en valeur leurs compétences expérimentales. **Il est essentiel que le candidat réalise, exploite tout ou partie des expériences et valide les résultats durant la présentation devant le jury.** Une description claire, à l'oral, du montage «réel» sur la paillasse est souvent bien plus efficace et pertinente qu'un schéma peu soigné ou incomplet réalisé hâtivement au tableau. Le candidat ne doit pas se contenter de décrire ce qui a été fait ou pourrait être fait expérimentalement. Lors de la présentation d'une expérience, **le candidat ne doit pas anticiper les observations expérimentales et la conclusion attendue avant de réaliser l'expérience.** 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 elles sont l'occasion de montrer l'aisance des candidats à manipuler en chimie.

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

Le jury remarque de façon récurrente que des candidats ne comprennent pas l'expérience menée, ou font preuve de peu de recul par rapport aux protocoles expérimentaux qu'ils mettent en œuvre. Les protocoles trouvés dans les ouvrages sont parfois imprécis, **voire faux**, et doivent de toute façon être adaptés aux choix pédagogiques du candidat. Les structures, les noms des espèces chimiques utilisées lors de la présentation ainsi que leurs propriétés physico-chimiques sont à connaître. Les états physiques des espèces mises en jeu sont à préciser lors de l'écriture des équations de réaction. Le jury apprécie fortement

que les candidats fassent preuve d'esprit critique et prennent des initiatives dans la mise en œuvre des protocoles, qu'ils diversifient leurs sources, et qu'ils soient capables d'expliquer les conditions opératoires choisies.

Le jury attend que les expériences soient menées à leur terme 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 que certains candidats se contentent d'évoquer des expériences qu'ils auraient pu faire ou bien qu'ils fassent des expériences en préparation et ne les présentent pas. De plus, le fait de commencer pendant la présentation une manipulation et de ne pas l'exploiter par la suite est un gaspillage de réactifs inutile.**

Les expériences doivent être réalisées avec soin et en respectant les règles de sécurité au laboratoire de chimie. L'habileté et la réflexion dans la conduite d'une expérience, l'honnêteté dans l'exploitation des données expérimentales, ainsi que l'esprit critique face à des résultats expérimentaux ont été valorisés.

Les calculs d'incertitudes doivent être rigoureux mais sans développement excessif. Le jury rappelle que les calculs d'incertitude doivent notamment aider à déterminer le nombre de chiffres significatifs à utiliser pour exprimer le résultat expérimental.

La prise en main des logiciels ne peut pas être improvisée au moment de la présentation. Le jury regrette que, dans certaines leçons, des candidats échouent dans l'interprétation ou l'exploitation des données expérimentales par une méconnaissance du logiciel utilisé.

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

Le jury souhaite également apporter quelques commentaires, suite aux erreurs récurrentes encore constatées cette année 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 principes de fonctionnement du matériel utilisé (électrodes, conductimètre, spectrophotomètre...) doivent être connus et compris par le candidat.
- Dans un titrage, pour pouvoir utiliser la méthode de la dérivée (première ou seconde), **on doit disposer de suffisamment de mesures au voisinage de l'équivalence.**
- L'électrode de verre et la cellule de conductimétrie sont des capteurs électrochimiques.
- Les termes « transformations chimiques » et « réactions chimiques » doivent être utilisés correctement. Une transformation chimique peut être observée et les quantités de matière (état final, état initial) sont mesurables en général ; une transformation donnée est modélisée par une ou plusieurs réaction(s) chimique(s) symbolisée(s) par une ou des équations chimiques.
- La valeur numérique de la constante de réaction K° ne suffit pas pour justifier le caractère quantitatif ou non d'une transformation chimique.
- Le tableau d'avancement, pour interpréter un titrage, est rarement réalisé correctement : il nécessite de partir d'un état initial correspondant à la réalité de la transformation étudiée.
- Les techniques de caractérisation par spectroscopie IR et RMN- ^1H , même si elles ne sont pas disponibles, restent très peu évoquées et leurs théories très mal connues.
- Certaines notions fondamentales comme celle d'élément chimique, de corps purs simples ou composés, la variance et le nombre de degrés de liberté du système, les phénomènes de corrosion et les courbes intensité-potentiel posent souvent beaucoup de problèmes aux candidats.
- Lors des exposés, il est déconseillé d'utiliser des formules et des équations désincarnées (la dissolution de solide C_xA_y , des équations acide-base $\text{A}_1 + \text{B}_2 = \text{B}_1 + \text{A}_2$, d'oxydoréduction $\text{Ox}_1 + \text{Red}_2 = \text{Red}_1 + \text{Ox}_2$), 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, flèche simple 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). Le signe = exprime, entre autres, la conservation des éléments chimiques, de la masse, de la charge électrique avant et après la transformation chimique.

L'entretien (20 min)

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.

Autour des valeurs de la République et des thématiques relevant de la laïcité et de la citoyenneté (5 min)

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 d'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 disposent 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 ». **Il n'y a pas de temps spécifique pour préparer la réponse.**

Exemples de questions posées :

- Quelles démarches pédagogiques pourriez-vous mettre en œuvre pour contribuer aux valeurs de solidarité et de fraternité ?
- En quoi la démarche scientifique peut-elle contribuer à la formation du citoyen ?
- Quels dispositifs pédagogiques pourriez-vous mettre en place dans vos classes pour susciter des vocations scientifiques chez les jeunes filles ?
- La différenciation pédagogique vous semble-t-elle en accord avec le principe d'égalité inscrit dans les valeurs de la République ?

Pendant ce court entretien, le jury reformule parfois la question. 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 attend également que le candidat ait connaissance des compétences professionnelles du métier d'enseignant.

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 bonne qualité de réflexion et montrer comment ils envisagent de faire partager les valeurs de la République à leurs futurs élèves à travers leurs pratiques pédagogiques.

Conclusion

Le jury félicite les candidats qui ont fait preuve d'une bonne maîtrise des fondamentaux de la chimie. Il espère que les commentaires de ce rapport permettront aux futurs candidats de préparer avec succès cette épreuve. La liste des leçons donnée à la fin de ce rapport s'appuie sur les programmes de physique-chimie en application à la rentrée 2017 au lycée général et technologique et en CPGE.

Rapport sur le montage de physique

Introduction

Cette année encore, le jury a pu apprécier la présentation de montages de grande qualité mettant en avant les compétences expérimentales des candidats. 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 plus 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, les membres du jury n'interviennent pas (sauf en cas de mise en danger du candidat ou du jury), mais peuvent être amenés à se déplacer. Il arrive aussi qu'ils communiquent entre eux.

Au terme de l'exposé, le jury interroge le candidat pendant une durée maximale de vingt minutes sur :

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

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 maîtrisés par des candidats. Le jury évalue le candidat sur différents points.

La capacité à communiquer

Le jury est particulièrement sensible à la qualité de la présentation orale et écrite. Il s'agit de compétences indissociables du métier d'enseignant. L'utilisation d'un vocabulaire précis et adapté est particulièrement appréciée. L'orthographe, la présentation du tableau, des graphes avec des axes et unités précisés sont des critères d'évaluation.

La capacité à réaliser des expériences

Afin d'évaluer correctement les capacités expérimentales des candidats, le jury apprécie la réalisation d'expériences quantitatives et la capacité des candidats à les mener à terme. Il faut donc conduire les expériences pertinentes avec soin et avec un protocole justifié. Il est important, à chaque fois que cela est possible de réaliser plusieurs points de mesure devant le jury et de présenter sur un graphe les résultats en utilisant l'outil informatique. Il faut savoir justifier le choix du dispositif utilisé, le protocole expérimental. Il faut maîtriser et comprendre les appareils utilisés (voir remarques ci-dessous).

La capacité à avoir un regard critique sur la qualité des mesures

La réalisation de mesures n'est jamais un but en soi pour un physicien car les mesures sans incertitudes sont souvent peu intéressantes. La discussion sur les incertitudes et les intervalles de confiance détaillée ci-dessous reste d'actualité.

La capacité à valider les mesures

Pour valider des mesures, plusieurs options sont possibles qui dépendent de la question que s'est posée le candidat.

1. Il peut s'agir de vérifier une loi physique et les dépendances entre grandeurs qu'elle implique afin de mettre en évidence un phénomène physique spécifique.
2. Il peut s'agir d'un enjeu métrologique. Dans ce cas, la comparaison entre grandeur mesurée et grandeur tabulée/théorique est impérative.

Remarques générales

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.

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.

Quels sont les 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 la présentation 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.

Comment montrer 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.

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

Le candidat doit être capable de vérifier l'homogénéité des relations utilisées, de contrôler les ordres de grandeur obtenus (en contrôlant rapidement les puissances de 10) et, bien entendu, de confronter ses mesures à des valeurs tabulées dès que cela est possible. En outre, ces valeurs tabulées doivent être choisies en cohérence avec les conditions de l'expérience réalisée. Nous rappelons aux candidats qu'il est 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 : le schéma de principe de l'expérience effectuée, les éléments importants du protocole expérimental, les valeurs numériques des composants ou paramètres de contrôle, le 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.

Pourquoi 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 connus 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 prétendument éclairés en incidence normale mais qui ne le sont pas en réalité ; rappelons que de nombreux bancs d'optique peuvent être trouvés dans la collection et que l'éclairage d'un réseau en incidence normale ne s'effectue pas « à l'œil »... Ces remarques s'appliquent à tous les montages dans lesquels l'optique est utilisée et pas seulement à ceux qui ont spécifiquement trait à l'optique. D'autre part, il convient de savoir tirer parti des propriétés spécifiques des diodes laser : longueur de cohérence plus petite que celle des lasers He-Ne, accordabilité, ouverture numérique, effet de seuil (fonctionnement en LED, fonctionnement en laser). Il faut 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 des expériences en électricité.

Il est important que le schéma du montage étudié figure au tableau, que les valeurs des composants utilisés soient indiquées et que le branchement des voies des oscilloscopes et la position de la masse soient bien visualisés.

À propos de la présentation graphique des mesures.

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

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

- que les points de mesure soient bien visibles et qu'on ne voie pas seulement les courbes 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, sinon on risque d'obtenir 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 attire 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.

De l'utilisation raisonnée des incertitudes

L'épreuve de montage vise à évaluer les compétences expérimentales des candidats. Si l'évaluation des incertitudes est un aspect important de cette épreuve, ce n'est pour autant pas le centre du sujet. L'évaluation des incertitudes est un outil au service d'une démarche expérimentale. Le jury regrette d'avoir assisté à des présentations où les calculs d'incertitudes représentent plus de la moitié du temps de présentation. Une expérience présentée en montage doit avoir pour but de présenter un phénomène physique ou une loi physique avant tout ; ainsi l'évaluation des incertitudes permet d'en avoir un regard critique dans une démarche de validation des résultats obtenus (comparaison à une valeur tabulée, validation d'un modèle théorique, ...). Le jury encourage les candidats à discuter les sources d'erreurs dans les expériences présentées pour en identifier les sources dominantes avant de se lancer dans leurs calculs, en éliminant les contributions négligeables, et ainsi d'éviter d'y passer un temps disproportionné. Les candidats ne doivent pas perdre de vue que l'objectif principal d'une expérience n'est pas le calcul d'une incertitude (sauf cas particulier).

À propos de la gestion du temps.

Si la présentation dure moins longtemps que les quarante 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 donnée 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 2017.

Montage 1 : *Dynamique du point et du solide.*

L'énoncé du titre de ce montage ouvre vers un large champ d'expérimentation. Si la mécanique des systèmes ponctuels, dans un référentiel galiléen, se déplaçant à une dimension est évidemment au programme, l'étude de la dynamique des systèmes complexes, des objets en rotation, ou de la dynamique dans un référentiel non galiléen est autorisée.

Montage 2 : *Surfaces et interfaces.*

Le jury a vu de bons montages dans ce domaine. La notion d'hystérèse de l'angle de contact pour améliorer la mesure de la tension de surface par l'étude de la loi de Jurin a été appréciée.

Montage 3 : *Dynamique des fluides.*

Si l'évaluation du nombre de Reynolds est faite régulièrement, il est regrettable qu'un nombre de Reynolds grand devant 1 soit systématiquement associé à un écoulement turbulent. L'étude des corrections des effets de tailles finies sur certains écoulements peut être menée pour peu que ces dernières aient un sens par

rapport aux erreurs expérimentales associées aux mesures. Une mesure de vitesse constante peut être effectuée très simplement, sans nécessairement faire appel à des moyens d'acquisition informatiques complexes.

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... Le mot capteur dans ce montage signifie que les caractéristiques des capteurs : linéarité, finesse, gamme, sensibilité... doivent être étudiés.

Montage 5 : Mesure de température.

Les caméras infrarouges entrent parfaitement dans le cadre de ce montage. Certains candidats font une erreur sur la mesure de la résistance par la méthode 4 fils à cause d'une copie non réfléchi de certains ouvrages. La question de la référence de température dans un thermomètre à thermocouple commercial ne doit pas surprendre les candidats.

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.

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, les candidats peuvent envisager l'utilisation de lunettes de visée afin d'améliorer leurs mesures de distances.

Montage 8 : Interférences lumineuses.

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.

Ce montage a parfois été très bien présenté. Une condition nécessaire est de connaître la différence entre diffraction de Fraunhofer et diffraction de Fresnel, et on doit s'assurer que les conditions de Fraunhofer sont remplies si l'on utilise les formules associées. 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. Le jury voit trop souvent des expériences de diffraction par des fentes, généralement mal calibrées, servir à mesurer des longueurs d'ondes de lasers !

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.

Il ne faut pas perdre de vue les aspects de métrologie dans ce montage. Il faut aussi 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.

Montage 13 : *Biréfringence, pouvoir rotatoire.*

Le candidat doit être capable d'expliquer le principe physique des protocoles utilisés lors l'étude de la biréfringence d'une lame mince. Le jury attend des mesures quantitatives avec confrontation aux valeurs tabulées.

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. Par ailleurs, l'analyse d'une lumière polarisée quelconque par utilisation d'une lame quart d'onde dans un cas quelconque, sans comparaison avec rien de connu présente peu d'intérêt.

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

La mesure de champs de différents ordres de grandeur peut être intéressante. L'utilisation d'un électroaimant nécessite de savoir justifier le choix des pièces polaires, les non-linéarités champ-courant.

Montage 16 : *Milieux magnétiques.*

Il n'est pas souhaitable de se limiter aux milieux ferromagnétiques. Dans l'expérience de mesure de la susceptibilité paramagnétique du chlorure de fer(III), le mécanisme de montée, ainsi que la position du ménisque dans l'entrefer de l'électroaimant doivent pouvoir être justifiés par les candidats.

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 : il subsiste une confusion chez de nombreux candidats entre ce montage à quatre fils et la distinction entre courte et longue dérivation. Un montage à quatre points n'a pas pour but de seulement s'affranchir de la résistance des fils, contrairement à ce que pensent de nombreux candidats.

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.*

La connaissance du principe d'un RLC mètre est essentielle dans ce montage.

Montage 20 : *Induction, auto-induction.*

Les notions d'induction, auto-induction, induction mutuelle sont souvent mal comprises rendant l'interprétation délicate de certains résultats.

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 (AO) permet l'étude de systèmes d'amplification dans le contexte de l'instrumentation, dont l'étude peut être envisagée dans ce montage. Ce dernier comporte néanmoins de nombreux circuits internes de compensation, résultant en des limitations techniques qu'il faut connaître ; ainsi si l'étude de circuits à AO pour l'amplification de signaux peut être abordée dans ce montage, d'autres circuits simples à bases de transistor(s) peuvent être également envisagés. 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.

La transmission de signaux numériques n'est malheureusement jamais abordée.

Montage 24 : Signal et bruit.

La mesure du bruit thermique d'une résistance est une très jolie expérience à la condition de comprendre les différents étages d'amplification nécessaires dans ces expériences. L'utilisation de boîtes noires non justifiée a été sanctionnée par le jury.

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 dans une large gamme. 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. Ainsi le jury souhaiterait que le stroboscope ne soit plus utilisé comme fréquencemètre pour l'étude des résonances de la corde de Melde.

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. L'utilisation de mesures utilisant des interférences optiques conduit à des mesures intéressantes dont on pourra discuter la précision par rapport à des mesures plus directes.

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. Certains aspects des systèmes bouclés peuvent être élégamment illustrés par des montages comme l'oscillateur à quartz, compte tenu de son fort facteur de qualité.

Montage 28 : Instabilités et phénomènes non linéaires.

Ce montage ne peut pas se limiter à étudier le non isochronisme des oscillations du pendule pesant.

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.

Ce montage se limite souvent à la mesure de la célérité du son dans l'air et à l'étude du diapason. La

propagation dans d'autres milieux que l'air est appréciée par le jury. L'utilisation de la représentation de Lissajous pour mettre en évidence les passages en phase n'est pas généralisée. L'utilisation d'émetteurs et récepteurs ultrasonores est répandue, mais leur principe de fonctionnement doit être connu. Par ailleurs, certains dispositifs commerciaux conduisent à des réflexions parasites qui perturbent les mesures. Le choix de dispositifs plus performants conduit à des mesures plus satisfaisantes.

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 phénomènes de 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. Le jury a apprécié la présentation quantitative d'un moteur de Stirling. Néanmoins, il est important que les candidats, face à un moteur, soient à même d'expliquer pourquoi il tourne.

Sujets des épreuves orales de la session 2017

Leçons de physique 2017

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. Machines thermiques réelles.
15. Transitions de phase.
16. Facteur de Boltzmann.
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 2017

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 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 aux grandes écoles (CPGE : 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 (Lycée)
2. Séparations, purifications, contrôles de pureté (Lycée)
3. Polymères (Lycée)
4. Chimie durable (Lycée)
5. Synthèses inorganiques (Lycée)
6. Stratégies et sélectivités en synthèse organique (Lycée)
7. Dosages (Lycée)
8. Cinétique et catalyse (Lycée)
9. Caractérisations par spectroscopie en synthèse organique (Lycée)
10. Du macroscopique au microscopique dans les synthèses organiques (Lycée)
11. Capteurs électrochimiques (Lycée)
12. Molécules de la santé (Lycée)
13. Stéréochimie et molécules du vivant (Lycée)
14. Acides et bases (Lycée)
15. Solvants (CPGE)
16. Classification périodique (CPGE)
17. Solides cristallins (CPGE)
18. Corps purs et mélanges binaires (CPGE)
19. Oxydoréduction (CPGE)
20. Détermination de constantes d'équilibre (CPGE)
21. Analyse chimique quantitative (CPGE)
22. Cinétique homogène (CPGE)
23. Évolution et équilibre chimique (CPGE)
24. Diagrammes potentiel-pH (construction exclue) (CPGE)
25. Optimisation d'un procédé chimique (CPGE)
26. Corrosion humide des métaux (CPGE)
27. Conversion réciproque d'énergie électrique en énergie chimique (CPGE)
28. Solubilité (CPGE)
29. Cinétique électrochimique (CPGE)

Montages 2017

1. Dynamique du point et du solide.
2. Surfaces et interfaces.
3. Dynamique des fluides.
4. Capteurs de grandeurs mécaniques.
5. Mesure de température.
6. Transitions de phase.
7. Instruments d'optique.
8. Interférences lumineuses.
9. Diffraction des ondes lumineuses.
10. Spectrométrie optique.
11. Émission et absorption de la lumière.
12. Photorécepteurs.
13. Biréfringence, pouvoir rotatoire.
14. Polarisation des ondes électromagnétiques.
15. Production et mesure de champs magnétiques.
16. Milieux magnétiques.
17. Métaux.
18. Matériaux semi-conducteurs.
19. Effets capacitifs.
20. Induction, auto-induction.
21. Production et conversion d'énergie électrique.
22. Amplification de signaux.
23. Mise en forme, transport et détection de l'information.
24. Signal et bruit.
25. Mesure des fréquences temporelles (domaine de l'optique exclu).
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 2018

Leçons de physique 2018

(sans changement par rapport à 2017)

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. Machines thermiques réelles.
15. Transitions de phase.
16. Facteur de Boltzmann.
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 2018

(sans changement par rapport à 2017)

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 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 aux grandes écoles (CPGE : 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 (Lycée)
2. Séparations, purifications, contrôles de pureté (Lycée)
3. Polymères (Lycée)
4. Chimie durable (Lycée)
5. Synthèses inorganiques (Lycée)
6. Stratégies et sélectivités en synthèse organique (Lycée)
7. Dosages (Lycée)
8. Cinétique et catalyse (Lycée)
9. Caractérisations par spectroscopie en synthèse organique (Lycée)
10. Du macroscopique au microscopique dans les synthèses organiques (Lycée)
11. Capteurs électrochimiques (Lycée)
12. Molécules de la santé (Lycée)
13. Stéréochimie et molécules du vivant (Lycée)
14. Acides et bases (Lycée)
15. Solvants (CPGE)
16. Classification périodique (CPGE)
17. Solides cristallins (CPGE)
18. Corps purs et mélanges binaires (CPGE)
19. Oxydoréduction (CPGE)
20. Détermination de constantes d'équilibre (CPGE)
21. Analyse chimique quantitative (CPGE)
22. Cinétique homogène (CPGE)
23. Évolution et équilibre chimique (CPGE)
24. Diagrammes potentiel-pH (construction exclue) (CPGE)
25. Optimisation d'un procédé chimique (CPGE)
26. Corrosion humide des métaux (CPGE)
27. Conversion réciproque d'énergie électrique en énergie chimique (CPGE)
28. Solubilité (CPGE)
29. Cinétique électrochimique (CPGE)

Montages 2018

(sans changement par rapport à 2017)

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