



Concours du second degré  
Rapport du jury

---

**AGRÉGATION INTERNE**  
**PHYSIQUE – CHIMIE**  
**SESSION 2016**

Rapport du jury présenté par Dominique OBERT,  
inspecteur général de l'éducation nationale

# **RAPPORT DU JURY DES CONCOURS DE L'AGRÉGATION INTERNE ET D'ACCÈS à l'ÉCHELLE de RÉMUNÉRATION DES PROFESSEURS AGRÉGÉS (CAERPA) DE PHYSIQUE - CHIMIE**

## **SESSION 2016**

1. Avant-propos du président
2. Épreuves et programmes 2016
3. Déroulement des épreuves
4. Informations statistiques
5. Épreuves écrites : qu'attend-on des questions pédagogiques ? Comment sont-elles évaluées ?
6. Rapport relatif à la composition de physique
7. Rapport relatif à la composition de chimie
8. Rapport sur les épreuves orales de physique
9. Rapport sur les épreuves orales de chimie
10. Épreuves et programmes 2017
11. Annexes
  - proposition de solution de la composition de physique 2016
  - proposition de solution de la composition de chimie 2016

## 1. Avant-propos du président

*Le rapport du jury de la session 2016 du concours de l'agrégation interne de physique-chimie et du concours d'accès à l'échelle de rémunération des professeurs agrégés (CAERPA) de physique-chimie est disponible sous forme numérique sur le site du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche à l'adresse suivante : <http://www.education.gouv.fr/cid4927/sujets-des-epreuves-admissibilite-rapports-des-jurys.html>.*

Le nombre de places proposé à la session 2016 est fixé à 42 pour l'agrégation interne et à 11 pour le CAERPA. La sélectivité des deux concours est restée très forte en 2016. En effet, pour le concours de l'agrégation interne, 979 candidats ont composé et 91 ont été déclarés admissibles, soit un ratio de l'ordre de un admissible pour onze candidats. Pour le CAERPA, 184 candidats ont composé et 17 ont été déclarés admissibles, soit également un ratio voisin de un admissible pour onze candidats. Les barres d'admissibilité ont été fixées à 26,15 sur 40 pour le concours de l'agrégation interne et à 25,21 sur 40 pour celui du CAERPA. La barre d'admission de 49,76/80 pour le concours de l'agrégation interne a permis de pourvoir les 42 places mises au concours 2016. Concernant le CAERPA, le jury a fixé la barre d'admission à 48,02/80 ; ainsi 8 places ont été pourvues sur les 11 mises au concours. Le jury, qui regrette de ne pas avoir été en mesure d'attribuer les 11 places mises au concours d'accès à l'échelle de rémunération des professeurs agrégés (CAERPA), garantit au travers de cette décision la légitimité des candidats déclarés admis. Le jury constate une différence significative du niveau des candidats à ces deux concours fondés sur des épreuves communes.

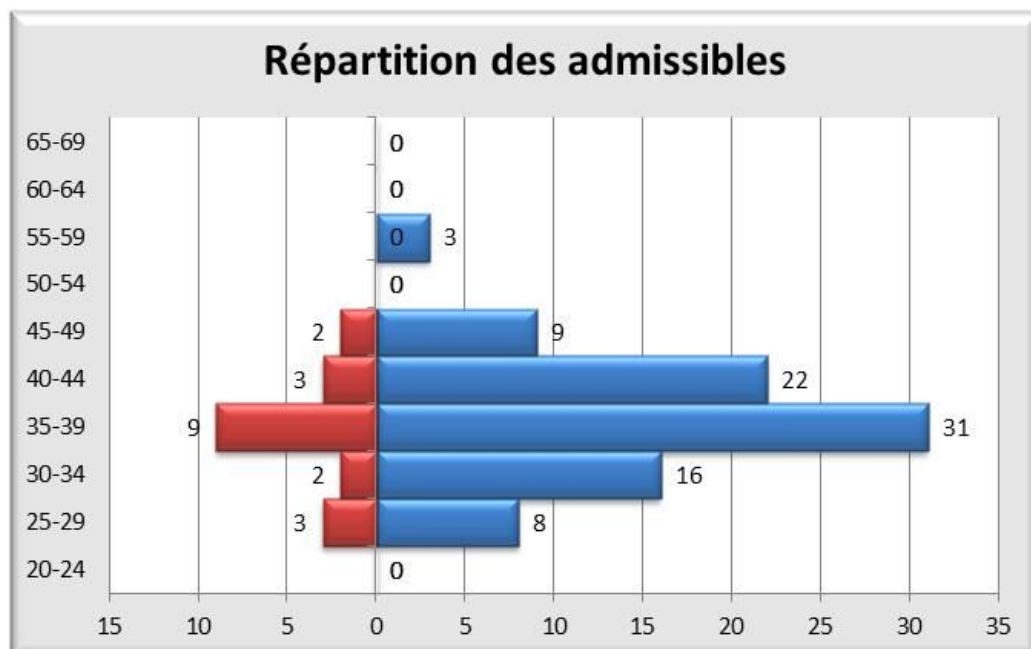
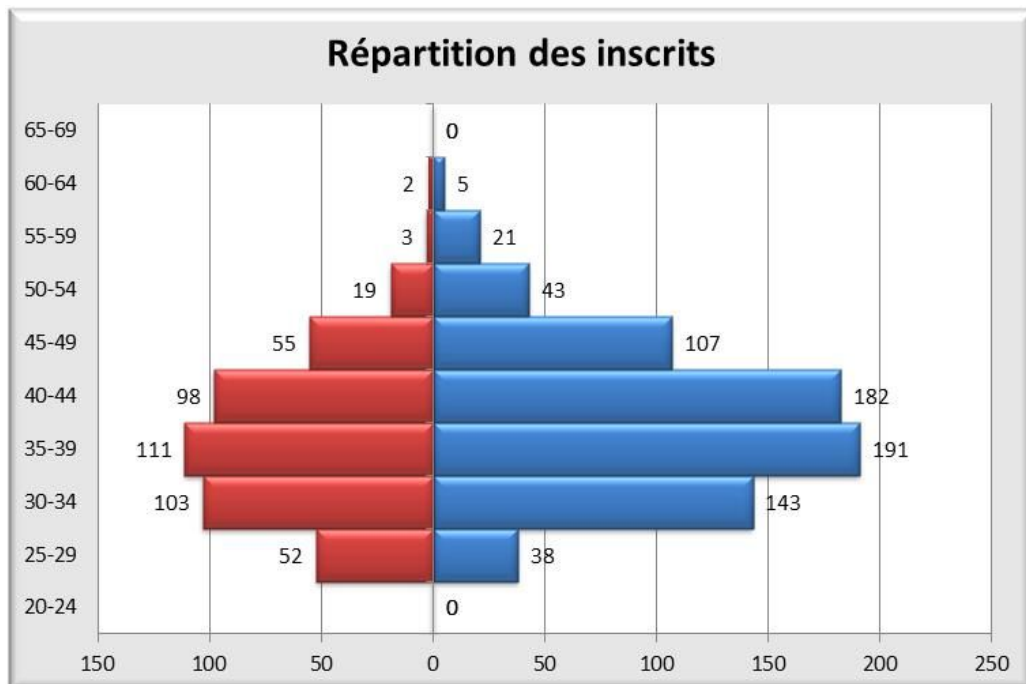
Concernant le profil des candidats et en globalisant sur les deux concours, l'âge moyen des candidats admissibles est de 38,5 ans. L'âge moyen des candidats admis est de 38 ans ce qui confirme la tendance de ces dernières années, rappelons que celui-ci était de l'ordre de 35,5 ans entre 2009 et 2011. Cette année, le nombre de candidats admis ayant plus de 40 ans représente environ 38% du total des candidats admis. Cette évolution est sans doute à mettre en perspective avec la profonde rénovation du concours conduite à partir de la session 2013 et visant à mieux valoriser les compétences professionnelles des candidats : à l'occasion des épreuves écrites où des questions pédagogiques pèsent pour environ le tiers des points du barème et à l'oral où le format rénové de l'épreuve d'exposé exige de la part des candidats une grande maîtrise de l'enseignement de la physique-chimie du collège au lycée.

Alors que le pourcentage de femmes dans le corps des certifiés en physique-chimie est de 45%, les femmes ne représentent sur les deux concours que 38% des candidats présents aux deux épreuves écrites<sup>1</sup>. Concernant le nombre d'admis, 9 des 50 postes pourvus aux deux concours sont attribués à des femmes, soit 18% des admis<sup>2</sup>, notons qu'elles représentent également 18% des admissibles. Le jury n'est pas en mesure de proposer des éléments d'analyse robustes permettant d'expliquer la faiblesse du niveau de réussite des femmes à l'admissibilité qui n'avait pas été observée lors des précédentes sessions ; les deux diagrammes ci-après permettent d'en avoir une perception par tranche d'âge.

---

<sup>1</sup> Lors de la session 2015, le pourcentage de femmes ayant composé aux épreuves a été de 36%.

<sup>2</sup> En 2015, les femmes représentaient 35% des candidats admis.



■ Femme  
■ Homme

Concernant les épreuves écrites et orales, les futurs candidats et les responsables des préparations sont invités à se référer, d'une part aux rapports du jury des années précédentes dont les remarques restent pour l'essentiel encore d'actualité, et d'autre part aux parties dédiées du présent rapport.

D'une manière générale, les épreuves visent à apprécier le niveau de maîtrise de la discipline en incluant des développements post-baccalauréat, justifiant ainsi pleinement que ce concours permette d'accéder aux corps des agrégés pour les professeurs exerçant dans l'enseignement public ou à l'échelle de rémunération des professeurs agrégés pour ceux qui relèvent de l'enseignement privé. Les épreuves sont aussi conçues pour permettre aux

candidats de faire la preuve d'une expertise professionnelle acquise au cours de leur pratique quotidienne, justifiant ainsi pleinement que ce concours s'adresse à des professeurs expérimentés. Sur ce dernier point et comme les parties 9.A et 10.A relatives aux exposés de physique et de chimie le soulignent, il est indispensable que les professeurs confortent leur expertise en matière d'analyse de leur pratique professionnelle. Nous recommandons donc vivement aux candidats qui concentrent souvent leur préparation sur un travail d'approfondissement de leurs connaissances sur le champ disciplinaire de se préparer également sur les plans pédagogique et didactique.

La réussite au concours est clairement conditionnée par une préparation intensive se faisant souvent sur le temps personnel des candidats, qui assurent par ailleurs leur service d'enseignant. Le jury tient à les féliciter pour cet investissement qui parfois peut s'étaler sur la durée ; nombreux sont les candidats récompensés de leurs efforts après plusieurs tentatives infructueuses, attestant ainsi d'une persévérance remarquable. D'autre part, le jury conseille vivement aux candidats de ne pas chercher à s'autoévaluer notamment lors des épreuves orales, et de se remobiliser pleinement à l'issue de la première épreuve orale en vue de la seconde. Seul le jury dispose d'un point de vue global sur l'ensemble des candidats et l'évaluation est essentiellement basée sur une inter-comparaison des différentes prestations des candidats. Enfin, à l'écrit comme à l'oral, les candidats doivent bien prendre en compte toutes les filières où la physique-chimie est enseignée en incluant le collègue.

Les remarques consignées ci-après dans les rapports dédiés aux quatre épreuves visent d'une part à porter des constats sur la présente session mais également à apporter des conseils aux futurs candidats. Leur lecture est donc vivement recommandée pour les professeurs qui décident de s'engager dans un travail de préparation.

Notons enfin que les membres du jury ont eu le plaisir d'interroger des candidats brillants montrant à la fois une solide culture disciplinaire, incluant la dimension expérimentale de la physique-chimie, des qualités pédagogiques à l'écrit comme à l'oral et une réflexion didactique avérée sur l'enseignement de la physique-chimie.

## 2. Épreuves et programmes 2016

### 1. Épreuves écrites d'admissibilité

Ces épreuves sont envisagées au niveau le plus élevé et au sens le plus large du programme défini ci-dessous.

#### 1. Composition sur la physique et le traitement automatisé de l'information (5 heures)

Elle porte sur les enseignements de physique des programmes de physique-chimie appliqués à la rentrée scolaire de l'année d'inscription au concours :

##### **1. des classes :**

- de collège ;
- de seconde générale et technologique ;
- de première S ;
- de terminale S, y compris l'enseignement de spécialité ;
- de première et de terminale Sciences et Technologies Industrielles et Développement Durable (STI2D) ;
- de première et de terminale Sciences et Technologies de Laboratoire (STL), spécialité Sciences Physiques et Chimiques de Laboratoire (SPCL) ;
- de première et de terminale Sciences et Technologies de la Santé et du Social (ST2S).

**2. des classes préparatoires scientifiques aux grandes écoles :** PCSI, MPSI, MP, PC, PSI, BCPST 1ère et 2ème année.

#### 2. Composition sur la chimie et le traitement automatisé de l'information (5 heures)

Elle porte sur les enseignements de chimie des programmes de physique-chimie appliqués à la rentrée scolaire de l'année d'inscription au concours :

##### **1. des classes :**

- de collège ;
- de seconde générale et technologique ;
- de première S ;
- de terminale S, y compris l'enseignement de spécialité ;
- de première et de terminale Sciences et Technologies Industrielles et Développement Durable (STI2D) ;
- de première et de terminale Sciences et Technologies de Laboratoire (STL), spécialité Sciences Physiques et Chimiques de Laboratoire (SPCL).
- de première et de terminale Sciences et Technologies de la Santé et du Social (ST2S).

**2. des classes préparatoires scientifiques aux grandes écoles :** PCSI, MPSI, MP, PC, PSI, BCPST 1ère et 2ème année.

## **II. Épreuves orales d'admission**

Chacune des deux épreuves orales d'admission, l'une d'exposé et l'autre de montage, a lieu après quatre heures de préparation surveillée.

Le tirage au sort conduit le candidat à traiter :

- soit un exposé de physique et un montage de chimie ;
- soit un exposé de chimie et un montage de physique.

### **1. Exposé consistant en une présentation d'un concept et son exploitation pédagogique (1h20)**

Dans le cas d'un exposé de physique, le programme est celui de la première épreuve écrite d'admissibilité (composition sur la physique et le traitement automatisé de l'information). Dans le cas d'un exposé de chimie, le programme est celui de la seconde épreuve écrite d'admissibilité (composition sur la chimie et le traitement automatisé de l'information).

**Structure de l'épreuve :** l'épreuve est constituée d'un exposé par le candidat, d'une durée maximum de 50 minutes, et d'un entretien avec le jury, d'une durée maximum de 30 minutes. L'exposé du candidat comporte deux parties successives, d'importance équivalente, qui lui permettent de mettre en valeur ses compétences professionnelles :

- une partie relative au concept scientifique, développée au moins en partie à un niveau post-baccalauréat ;
- une partie relative à un aspect pédagogique de l'enseignement, au collège ou au lycée, de notions relatives à ce concept.

#### **Partie relative au concept scientifique**

Dans cette partie, le candidat met en valeur ses compétences disciplinaires en présentant à la fois sa vision d'ensemble du sujet et en développant un point particulier, de son choix, à un niveau post-baccalauréat.

Cette présentation synthétique peut prendre la forme d'un plan séquencé, d'un schéma conceptuel, d'une carte mentale, etc. permettant de situer la thématique scientifique et d'en aborder divers aspects, du fondamental aux applications. Le candidat doit être en mesure d'apporter des éclaircissements sur l'ensemble des points abordés dans son exposé.

#### **Partie relative à un aspect pédagogique de l'enseignement du concept**

Dans cette partie, le candidat met en valeur ses compétences pédagogiques et didactiques.

Il peut par exemple choisir :

- de proposer et d'analyser une séquence d'enseignement ;
- d'étudier l'évolution de la présentation du concept du collège au lycée ;
- d'aborder la problématique de l'évaluation ;
- etc.

L'ordre de présentation de ces deux parties est laissé au choix du candidat.

L'illustration expérimentale est naturellement possible dans chacune des parties.

**L'entretien** porte sur les deux parties ; il vise à la fois à compléter l'évaluation des qualités pédagogiques et didactiques, de la maîtrise des connaissances scientifiques et de la culture scientifique et technologique du candidat.

## **2. Montage et traitement informatisé de l'information (1h20)**

Le niveau est celui des classes post-baccalauréat des lycées. Deux sujets sont proposés au choix des candidats. Au cours de l'épreuve, les candidats présentent, réalisent et exploitent qualitativement et quantitativement quelques expériences qui illustrent le sujet retenu.

### **Liste des sujets des exposés et des montages de physique et de chimie tirés au sort lors des épreuves orales**

#### **a) Physique**

Aux sujets communs aux épreuves d'exposé et de montage s'ajoutent des sujets spécifiques à chacune de ces épreuves.

#### **Sujets communs aux épreuves d'exposé et de montage**

1. Dynamique newtonienne
2. Ondes acoustiques
3. Spectrométrie optique, couleur
4. Vision et image
5. Propagation libre et guidée
6. Interférences
7. Diffraction
8. Oscillateurs
9. Champs magnétiques
10. Capteurs
11. Transferts thermiques
12. États de la matière
13. Grandeurs électriques
14. Fluides
15. Résonance
16. Signal analogique et signal numérique
17. Induction
18. Temps – fréquence
19. Transferts quantiques d'énergie
20. Frottements
21. Transmission de l'information
22. Ondes stationnaires

#### **Sujets d'exposé spécifiques**

- 23e. Gravitation
- 24e. Cohésion du noyau, stabilité, réactions nucléaires
- 25e. Mouvements képlériens
- 26e. Énergie interne
- 27e. Rayonnement d'équilibre et corps noir
- 28e. Dualité onde – particule
- 29e. Référentiels géocentrique et terrestre

#### **Sujets de montage spécifiques**

- 23m. Filtrage et analyse spectrale
- 24m. Amplification
- 25m. Oscillations spontanées



- 26m. Couplages
- 27m. Régimes transitoires
- 28m. Conversion de puissance
- 29m. Polarisation de la lumière

## **b) Chimie**

Les sujets sont communs aux épreuves d'exposé et de montage.

1. Séparation
2. Liaisons
3. Caractérisations
4. Stéréoisomérisation
5. Solvants
6. Solutions
7. Solubilité
8. Conductivité
9. Mélanges binaires
10. Proportions et stœchiométrie
11. Équilibre chimique
12. Évolution d'un système chimique
13. Conversion d'énergie lors des transformations chimiques
14. Oxydo-réduction
15. Dispositifs électrochimiques
16. Potentiels d'électrode
17. Périodicité des propriétés
18. Solides
19. Métaux
20. Acidité
21. Complexes
22. Polymères
23. Cinétique chimique
24. Catalyse
25. Mécanismes réactionnels
26. Electrophilie et nucléophilie
27. Couleur
28. Modification de groupes fonctionnels
29. Modification de chaîne carbonée

### 3. Déroulement des épreuves

#### Épreuves écrites

Les épreuves écrites se sont déroulées le jeudi 28 et le vendredi 29 janvier 2016.

#### Épreuves orales

##### Conditions matérielles et généralités

Les épreuves d'admission se sont déroulées au Lycée Saint-Louis à Paris du dimanche 17 avril au lundi 25 avril 2016. La délibération du jury a eu lieu le mardi 26 avril 2016.

Les candidats admissibles reçoivent une convocation pour une série d'oral, comportant deux épreuves.

La série débute par un tirage au sort. Chaque candidat tire un numéro, auquel correspondent deux enveloppes contenant les sujets :

- exposé de physique (coefficient 1) et montage de chimie (coefficient 1) ;
- ou bien
- exposé de chimie (coefficient 1) et montage de physique (coefficient 1).

Ces enveloppes sont ouvertes par le candidat au début de chacune des épreuves, qui peuvent commencer dès le lendemain du tirage au sort. Lors de la session 2016, les horaires ont été les suivants :

Ouverture du sujet	6 h 00	7 h 20	8 h 40	11 h 30	12 h 50	14 h 10
Début de l'épreuve	10 h 00	11 h 20	12 h 40	15 h 30	16 h 50	18 h 10

Une épreuve se déroule de la façon suivante :

- ouverture du sujet tiré au sort : un unique sujet pour l'épreuve d'exposé et un sujet à choisir parmi deux proposés pour l'épreuve de montage ;
- 4 h de préparation à l'épreuve ;
- 1 h 20 d'épreuve :
  - pour l'épreuve d'exposé : 50 minutes sont réservées pour la présentation du concept par le candidat, le reste du temps pouvant être utilisé par le jury pour des questions ;
  - pour l'épreuve de montage : les questions du jury peuvent être posées au cours de la présentation.

**L'usage des calculatrices personnelles n'est pas autorisé.**

Les épreuves sont publiques. Il est demandé aux candidats de se munir d'une pièce d'identité en cours de validité, de leur convocation ainsi que d'une blouse pour les épreuves de chimie. À la fin du tirage au sort, les candidats peuvent visiter les bibliothèques de physique et de chimie.

Le matériel ainsi que les livres et documents doivent être envoyés ou déposés (éventuellement par les candidats eux-mêmes) au plus tard avant le début de la première épreuve de la première série. Pour le matériel, il est nécessaire de fournir un inventaire complet de ce qui est apporté, ainsi qu'une notice de fonctionnement pour chaque appareil. L'ensemble doit être récupéré le jour de la délibération du jury.

### Les équipes techniques

Pour le tirage au sort et pour chacune des deux épreuves orales, le candidat est accueilli par une équipe technique constituée de techniciens et de professeurs préparateurs.

L'équipe technique offre aide ou assistance. Elle n'intervient ni dans le choix des expériences, qui est de la seule responsabilité du candidat, ni dans l'interprétation des résultats obtenus par celui-ci.

- **Les techniciens** restent à la disposition du candidat tout au long de la préparation de l'épreuve pour lui fournir les livres, les documents et les appareils, matériels et produits dont il a besoin. Ils apportent les indications nécessaires au bon fonctionnement du matériel (sécurité notamment) et participent à la mise en œuvre de celui-ci en effectuant les branchements nécessaires.

Les appareils sont accompagnés d'une notice que le candidat peut consulter.

Les techniciens assistent le candidat dans la prise en main du matériel, en particulier, dans celle des appareils dont la diffusion est récente (spectromètres dits « de poche » ou « USB », flexcam, webcam, tableau numérique, vidéoprojecteurs, etc.) et dans celle des outils informatiques ou numériques. Cependant, une connaissance minimale de ces derniers est indispensable au candidat.

Pour les **exposés de physique ou de chimie**, les techniciens fournissent au candidat **une aide** à sa demande et en respectant ses indications. Ils aident à la réalisation des expériences de cours que les candidats ont prévues pour illustrer leur propos.

La situation est différente au **montage** où il s'agit davantage d'**une assistance**. En effet, le candidat, qui est évalué notamment sur son habileté expérimentale et ses capacités à effectuer des mesures, doit réaliser lui-même les expériences. Les techniciens l'assistent dans la mise en œuvre des protocoles expérimentaux en particulier lorsqu'il s'agit d'effectuer des mesures répétitives. En tout état de cause, les candidats assument l'entière responsabilité des mesures produites.

- **Les professeurs préparateurs** ont pour mission de coordonner les travaux de l'équipe technique dans la préparation de chacune des deux épreuves. Leur rôle est également de veiller au bon fonctionnement des appareils durant la préparation. Ils peuvent proposer du matériel spécifique et, plus généralement, des solutions aux problèmes éventuels que les candidats rencontrent.
- **Les équipes techniques** (techniciens et professeurs préparateurs) n'ont pas de contact avec le jury. Celui-ci n'est pas informé des conditions dans lesquelles se sont déroulées les quatre heures de préparation.

## 4. Informations statistiques

42 places ont été mises au concours de l'agrégation interne, et 11 au CAERPA.

Les tableaux ci-dessous donnent les informations générales relatives aux candidats du concours 2016 et les comparent aux données correspondantes des douze dernières sessions.

### Agrégation interne

Année	Postes	Inscrits	Présents*	Taux de présence	Admissibles	Admis
2005	54	1121	814	75%	106	52
2006	45	1373	957	69,7%	102	45
2007	45	1374	953	69,4%	101	45
2008	45	1353	962	71,1%	100	45
2009	45	1321	938	71,0%	94	45
2010	45	1484	964	65,0%	97	45
2011	35	1685	895	53,1%	71	35
2012	35	1546	975	63,1%	72	35
2013	40	1407	886	63,0%	83	40
2014	35	1472	983	66,8%	78	35
2015	40	1442	946	65,6%	93	40
2016	42	1481	979	66,1%	91	42

### CAERPA

Année	Postes	Inscrits	Présents*	Taux de présence	Admissibles	Admis
2005	10	190	131	69%	10	4
2006	10	252	167	66,3%	6	2
2007	9	226	159	70,3%	7	4
2008	7	251	155	61,7%	8	4
2009	8	227	147	64,8%	14	8
2010	11	276	167	60,5%	9	4
2011	8	365	175	47,7%	13	8
2012	9	269	178	66,2%	12	7
2013	11	272	180	66,2%	13	9
2014	12	289	184	63,7%	18	12
2015	18	269	174	64,7%	15	8
2016	11	279	184	65,9%	17	8

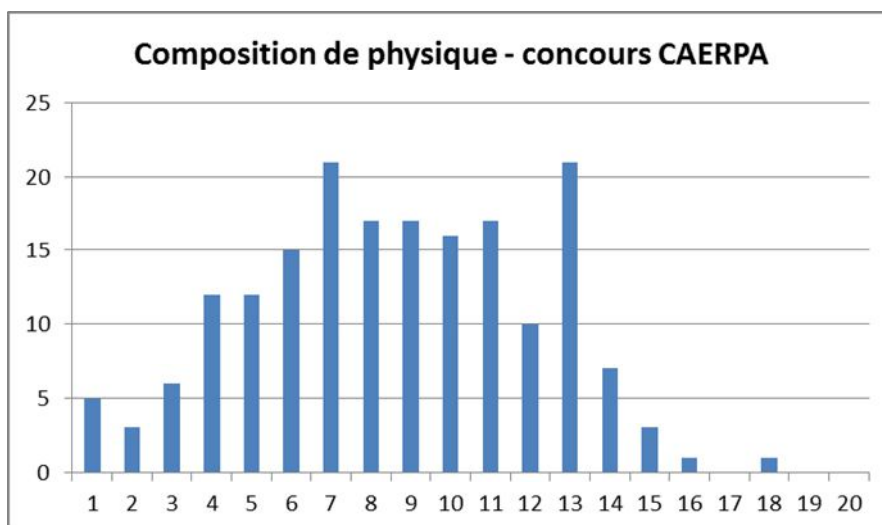
\* Présents à au moins une épreuve

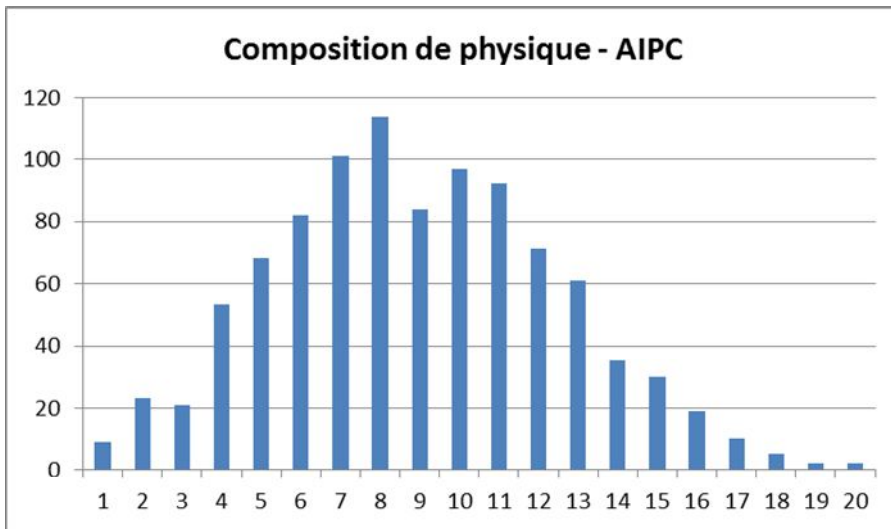
## Épreuves écrites

	Agrégation interne	CAERPA
Composition sur la physique :		
Moyenne	8,44	8,07
Écart-type	3,56	3,48
Note maximale	19,93	17,6
Moyenne des candidats admissibles	14,27	12,63
Écart-type des admissibles	2,01	2,01
Composition sur la chimie :		
Moyenne	8,61	8,42
Écart-type	3,78	3,90
Note maximale	19,91	17,89
Moyenne des candidats admissibles	14,66	14,05
Écart-type des admissibles	2,19	1,81
Barre d'admissibilité	26,15	25,21
Nombre d'admissibles	91	17

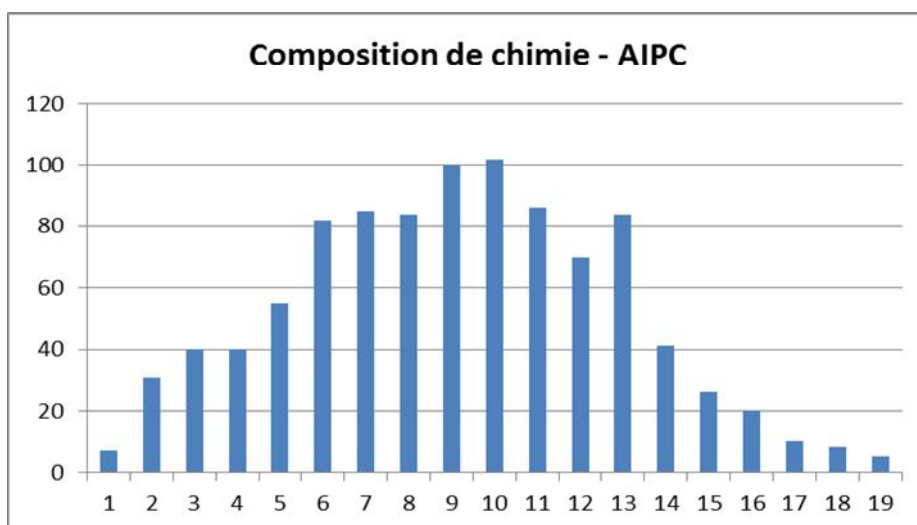
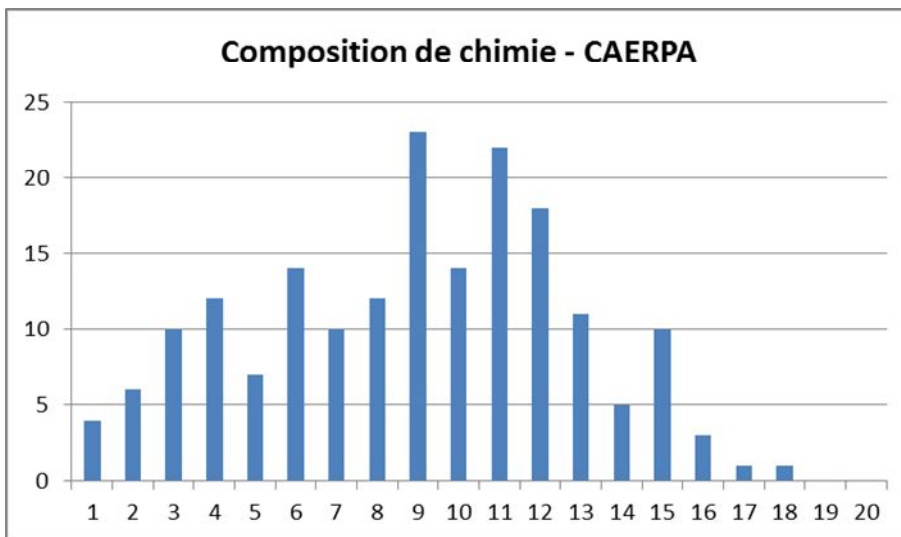
### Répartition des notes d'écrit

#### Physique





## Chimie

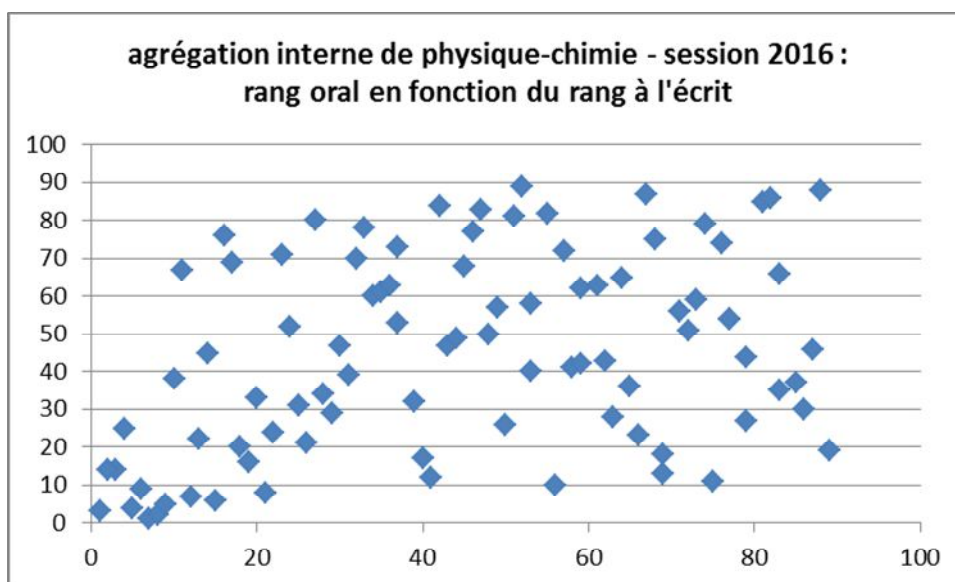


## Épreuves orales

Nature de l'épreuve	Moyenne des candidats présents aux épreuves orales	Écart-type	Note la plus basse	Note la plus haute
Exposé de physique	10,7	3,0	6	19
Exposé de chimie	10,8	3,1	6	18
Montage de physique	10,8	2,8	5	16
Montage de chimie	10,5	3,3	6	19

	Agrégation interne	CAERPA
Barre d'admission	49,76	48,02
Nombre d'admis	42	8

Le graphique ci-dessous atteste du fait qu'un écrit moyen peut parfaitement être compensé par un bon oral.



## 5. Épreuves écrites : qu'attend-on des questions pédagogiques ? Comment sont-elles évaluées ?

### Les attentes

Le concours s'adresse à des professeurs en exercice au collège et au lycée. Les questions pédagogiques portent sur l'ensemble des programmes de physique-chimie de collège, de seconde, de première et de terminale des séries S, ST2S, STI2D, STL (enseignement de spécialité physique et chimie au laboratoire et enseignement de chimie-biochimie-sciences du vivant).

On attend d'un professeur candidat au concours de l'agrégation interne qu'il fasse preuve d'une bonne maîtrise des objectifs des programmes tant sur le plan des concepts étudiés que des compétences à développer chez les élèves (socle commun de connaissances et de compétences au collège et compétences de la démarche scientifique au lycée), des modalités pédagogiques (activités expérimentales, démarches d'investigation, tâches complexes, situations-problème, résolutions de problèmes, approches documentaires, etc.) et des enjeux didactiques de la physique et de la chimie.

Dans une question pédagogique, un candidat peut être amené à :

- adapter un protocole expérimental à un niveau donné ;
- adapter une activité documentaire à un niveau donné ;
- concevoir tout ou partie d'une investigation scientifique : situation déclenchante, question scientifique ou problématique, hypothèse, protocole, validation ou invalidation de l'hypothèse, institutionnalisation du savoir ;
- concevoir une évaluation : formative, sommative, diagnostique, auto-évaluation, y compris dans le cadre d'activités expérimentales ;
- élaborer une activité documentaire à partir d'un dossier scientifique, en proposer éventuellement un corrigé ; faire preuve d'esprit critique, se montrer capable de relever des erreurs scientifiques ;
- élaborer, adapter et/ou proposer une solution à une résolution de problèmes ;
- analyser un exercice, une activité, une évaluation : progressivité de la complexité, diversité du questionnement et des compétences mobilisées, typologie des questions, qualités et défauts sur les plans scientifique et pédagogique ;
- analyser une production d'élève : évaluation, proposition de remédiations ;
- justifier des choix en fonction d'un public d'élèves donné : choix d'un scénario pédagogique, choix d'une expérience, choix d'une activité, etc. ;
- etc.

Dans les réponses à ces questions, le jury attend du candidat la mise en œuvre de ses compétences professionnelles, c'est-à-dire sa capacité à créer et/ou à analyser une activité à destination d'élèves d'un niveau donné en utilisant, par exemple, les documents supports mis à disposition des professeurs sur le portail physique-chimie d'Éduscol et des textes officiels, en fixant des objectifs précis en termes d'apprentissage ou d'évaluation, en identifiant des obstacles, des erreurs, en proposant des corrections et des remédiations. Une rédaction claire, concise et argumentée des réponses est souhaitée. Ces questions peuvent être travaillées par l'enseignant au cours de l'exercice de sa pratique quotidienne et de sa réflexivité sur cette dernière.



## La problématique de l'évaluation

Selon la nature des questions pédagogiques, une partie des items suivants sont évalués :

- la connaissance des points des programmes en vigueur permettant de construire :
  - ✓ les notions abordées, les compétences travaillées, les conseils, les limites et les éventuelles remédiations à envisager ;
  - ✓ éventuellement un complément de contenu indispensable.
- l'aptitude à argumenter en termes de notions et de contenus pour proposer une conclusion qui démontre les qualités d'analyse.
- la maîtrise du cadre général de réflexion en termes de :
  - ✓ compétences du socle mobilisées ;
  - ✓ grille de compétences adaptée au niveau d'enseignement ;
  - ✓ proposition originale et réaliste dans le cadre de l'enseignement.
- les commentaires pertinents traduisant :
  - ✓ une bonne articulation entre les apports notionnels et la construction de la notion travaillée ;
  - ✓ une cohérence scientifique des concepts présentés aux élèves ;
  - ✓ une aptitude à distinguer les propositions valides des propositions non valides.
- la pertinence du scénario pédagogique en termes de :
  - ✓ contextualisation donnant du sens ;
  - ✓ attendus de l'activité à proposer aux élèves pour une mise en œuvre réaliste.

## 6. Rapport relatif à la composition de physique

L'épreuve écrite de physique propose une brève exploration de notre système solaire en utilisant, entre autres, les résultats apportés par les sondes Voyager I et II. Hubert Reeves disait de ces deux sondes qu'elles étaient le plus formidable outil d'investigation de notre système solaire, et maintenant de ses frontières, plus même que le très célèbre télescope spatial Hubble. En effet, les images envoyées des planètes et de leurs Lunes sont mondialement connues. La « découverte » de l'eau liquide sur Europe, qui est l'un des objectifs dans notre quête de connaissances sur notre système solaire, est aussi abordée brièvement dans le sujet.

### Remarques générales

Environ un tiers des points du sujet et donc un tiers du temps de composition repose sur des questions à caractère pédagogique, en relation directe avec l'exercice du métier d'enseignant. La rédaction des réponses à ces questions nécessite donc d'y consacrer un temps suffisant. Pour guider le candidat, une indication claire des attentes, et parfois de la longueur de la production, est donnée par l'énoncé ; il convient d'en tenir compte. Certains candidats consacrent trop de temps à la première question pédagogique et de ce fait négligent les suivantes.

Concernant les questions pédagogiques, les réponses concises et bien structurées sont davantage valorisées que les réponses très longues, trop générales ou sans lien direct avec la situation proposée. La concision dans les réponses est souvent la preuve d'une bonne maîtrise du problème et d'une solide réflexion. Un effort de rédaction synthétique visant l'essentiel permet au candidat de gagner à la fois du temps et des points. À ce titre, les candidats n'utilisent pas assez les schémas pour illustrer ou appuyer leurs propos. Les réponses aux questions pédagogiques peuvent avantageusement s'appuyer sur des schémas clairs et commentés, plutôt que sur de longues descriptions.

Ce sujet propose aussi quelques questions de culture scientifique, à propos de théories modernes ou de découvertes récentes. Le jury a été très satisfait de constater que les professeurs possèdent dans leur grande majorité une vision cohérente de la physique moderne.

Enfin, concernant les parties où le formalisme est présent, le jury constate que de nombreux candidats maîtrisent correctement les outils mathématiques associés aux lois de la physique, par exemple en ce qui concerne le théorème du moment cinétique ou les équations de Maxwell. Le jury est très attentif à la précision des arguments et à la rigueur du raisonnement mis en œuvre : une réponse exacte n'est pas le seul critère de réussite d'une question, la qualité des justifications est également importante.

Concernant la forme, les examinateurs déplorent quelques copies brouillonnes ou qui présentent trop de fautes d'orthographe. Il est parfaitement compréhensible de se tromper mais, dans ce cas, il faut barrer proprement. Enfin, quelques copies soignées sont rendues difficilement lisibles par le choix d'une encre trop claire ; une encre bleue standard (effaçable) ou noire éviterait cet écueil.

## Remarques particulières

Q1 : Certains candidats ont remarqué que l'unité astronomique figurait dans les données de l'énoncé et l'ont exploitée pour donner la réponse.

Q2 : Il est nécessaire de proposer un schéma-support permettant de bien visualiser une configuration des astres compatible avec une éclipse solaire.

Q3 : [QP] Il s'agit de calculer la distance Terre-Lune sans connaître la distance Terre-Soleil, inconnue aux temps anciens. De nombreux candidats proposent un schéma à compléter par les élèves, c'est une très bonne idée ; soulignons que les hypothèses sont très souvent clairement présentées et posées. Mais seuls quelques-uns comparent leurs résultats aux valeurs modernes et proposent une analyse critique des hypothèses.

Notons enfin que, dans sa réponse, le candidat doit distinguer les objectifs pédagogiques des difficultés de l'élève.

Q4 : De nombreuses réponses à cette question sont exactes mais la distinction entre planète tellurique et planète gazeuse n'est pas bien connue.

Q5 : Les candidats lisent souvent mal la question et proposent un texte n'y répondant pas.

Q6 : [QP] On observe à nouveau des confusions entre les objectifs de l'activité et les difficultés que peuvent rencontrer les élèves. Discuter de la pertinence de l'activité est indispensable : conformité au programme, exercice à prise d'initiative, sens donné au contexte présenté. Il convient de faire attention à la présentation du résultat : donner deux chiffres significatifs pour la distance calculée à partir d'une vitesse choisie arbitrairement n'est pas pertinent.

Q7 : Il s'agit d'une question difficile. Si elle est rarement traitée dans son intégralité, de nombreux candidats donnent des éléments de réponse pertinents sur le trajet aller. Le retour de la lumière est rarement envisagé. La fraction de photons réfléchis dépend du rapport des surfaces et non de celui des diamètres. Enfin si le faisceau incident est divergent, le faisceau réfléchi l'est également. Pour les applications numériques, certains candidats rencontrent des difficultés avec les unités des angles.

Q8 : [QP] Cette question est longue et elle n'est souvent que partiellement traitée, avec une ébauche incomplète d'un tableau de compétences. Le candidat doit connaître la différence entre compétence, critère de réussite et indicateur de réussite. Ici sont attendus des indicateurs de réussite en lien direct avec la tâche demandée ; de nombreux candidats se sont limités à répéter les critères de réussite indiqués dans le tableau de compétences figurant en annexe.

Q9 : La trajectoire elliptique de la Lune est souvent invoquée au mépris des ordres de grandeur entre rotation terrestre et rotation lunaire (deux heures d'observation seulement ne permettent pas d'être sensible au caractère elliptique, par ailleurs très faible, de la trajectoire de la Lune).

Q10 : L'atmosphère terrestre ne s'étend pas jusqu'à la Lune, cette étourderie a souvent été faite.

Q11 : [QP] Il semble exister une confusion entre interférence et interférence. Si certains candidats réussissent à établir un lien entre interférence des deux rayons de la paire et diffraction, la généralisation à toutes les paires de rayons n'est que très peu évoquée.

L'exploitation directe du schéma par l'élève pour atteindre l'objectif attendu dépasse le cadre du programme de terminale S. Dédurre la relation demandée du schéma revient donc, pour l'élève, à résoudre une tâche complexe et plutôt difficile. La stratégie du professeur est d'apporter les éléments nécessaires à la résolution (relation entre déphasage et différence de marche, approche historique avec le principe d'Huygens, etc.) et d'inciter l'élève à mobiliser les résultats connus relatifs aux interférences lumineuses établis en classe de Terminale S (condition d'interférences destructives par exemple).

Q12 : Newton n'est pas toujours bien situé dans la chronologie.

Q14 : Si les interactions fondamentales sont très souvent correctement citées, leur description est assez superficielle. L'interaction faible est sans doute la plus mal connue et elle n'est en aucun cas liée aux forces de van der Waals.

Q15 : Les arguments de portée infinie et de neutralité électrique pour expliquer le rôle prédominant de la gravité dans la structuration de l'Univers ne sont pas souvent évoqués.

Q16 : Les candidats situent souvent la découverte de la relativité générale en 1905, année de la découverte de la relativité restreinte.

Q18 : Beaucoup confondent résolution angulaire et champ angulaire de l'œil.

Q19 : Certains candidats font preuve de peu de rigueur à propos des signes dans l'utilisation des formules de conjugaison. Lors des constructions de rayons, les candidats ne font souvent pas la différence entre une lentille divergente et une lentille convergente.

Q20 : Diaphragmer ne permet pas d'avoir une image plus lumineuse ou de concentrer les rayons. Éventuellement, elle est mieux contrastée. Mais ce sont bien les conditions de Gauss qui sont ici recherchées.

Q21 : Le grossissement est un rapport entre deux angles, un schéma permet de clarifier cette affirmation.

Q22 : À nouveau, beaucoup d'erreurs sont commises sur les unités des angles. La linéarisation de fonctions trigonométriques pour des petits angles n'est valable que pour des angles exprimés en radian.

Q23 : [QP] La question de la rotation de la Terre est assez souvent mentionnée mais la qualité des explications données dans le cadre d'une réponse à destination d'un élève est souvent insuffisante.

Q24 : Attention à la lecture de l'énoncé : une comparaison avec l'angle apparent sous lequel est vu Europe calculé en question 22 n'est pas pertinente ici.

Q25 : La taille des geysers est indiquée. L'extraction de l'information n'est pas toujours correcte.

Q26 : Il faut justifier correctement la proximité des valeurs extrêmes de la distance entre Jupiter et Europe et faire attention aux applications numériques et au nombre de chiffres significatifs utilisés. Trop de candidats utilisent les propriétés d'une trajectoire circulaire (accélération normale à la trajectoire) pour montrer que la trajectoire est circulaire.

Q27 : Parmi les mouvements à force centrale, ceux à trajectoires circulaires ne sont pas les seuls à conserver l'énergie mécanique. Par ailleurs, l'énergie potentielle gravitationnelle est négative.

Q28 : Le lien avec les marées est rarement fait.

Q30 : Sur le schéma demandé  $r(\min)$  et  $r(\max)$  sont assez souvent mal positionnés : confusion avec le petit et le grand axes de l'ellipse.

Q32 : Dans l'application numérique, il convient d'être attentif au nombre de chiffres significatifs.

Q33 : Il faut être plus rigoureux dans l'énoncé des propriétés de symétrie.

Q34 : La présence d'un point triple n'est pas spécifique de l'eau pure.

Q36 : Certains candidats remarquent justement que la température de surface d'Europe ne figure pas sur le diagramme (P, T).

Q37 : Les candidats peuvent être abusés par une analyse dimensionnelle mal maîtrisée.

Q38 : La puissance de 10 correspondant au térawatt n'est pas toujours connue.

Q39 : Peu de candidats savent ce qu'est une force de marée.

Q40 : Les processus de rayonnement ont souvent été évoqués, ce qui témoigne d'un bon recul.

Q41 : Le fait que P soit un point fixe n'est presque jamais évoqué. Un schéma est ici essentiel. Quelques formules non homogènes et des problèmes de définition du vecteur unitaire apparaissent, amenant parfois à des forces gravitationnelles répulsives.

Q42 : De nombreuses erreurs de signe sont observées, la notion de primitive est confondue avec celle d'intégration et cela ne permet pas de faire intervenir la condition : « énergie potentielle nulle à l'infini ».

Q43 : L'application du théorème du moment cinétique exige les précautions d'usage d'un théorème de mécanique : définition du système, du référentiel, mais aussi du point d'application en précisant qu'il est fixe dans le référentiel.

La planéité du mouvement est affirmée sans explication ni justification convaincante. La justesse du raisonnement a souvent fait défaut.

Q45 : L'énergie potentielle effective ne doit dépendre que de  $r$ .

Q46 : La discussion graphique est souvent incomplète.

Q47 : La traduction graphique de la composition du mouvement n'est pas souvent réalisée.

Q48 : La vitesse de Jupiter est assez rarement évaluée. Elle est trop souvent identifiée au gain de vitesse de la sonde car c'est ce qui est indiqué dans les documents. La réponse à la question est donc incomplète, peut-être faute d'une lecture attentive de l'énoncé.

Q49 : Les candidats ont du mal à dégager l'intérêt d'avoir une vitesse supérieure à la vitesse de libération. Le fait que le carburant embarqué dans la sonde soit limité est très rarement évoqué.

Q50 : [QP] Les lois de conservation ne sont pas mises à profit. La conservation de la quantité de mouvement est liée au caractère pseudo isolé du système et la conservation de l'énergie cinétique au caractère élastique de la collision. L'analogie avec l'assistance gravitationnelle n'est pas développée. La plupart des raisonnements sont réalisés en norme, même à propos de la quantité de mouvement.

La réponse à cette question nécessite donc des connaissances scientifiques solides pour ensuite les rendre accessibles à un élève de terminale S en les adaptant à la situation donnée. Deux niveaux de réflexion sont à envisager dans la production du candidat :

- quelles connaissances scientifiques mobiliser ?
- quel texte proposer ?

Parmi les quelques candidats qui se sont lancés dans cette résolution, certains se sont placés du point de vue de l'élève, alors que l'on demandait un texte écrit par le professeur à destination de l'élève.

Q51 : L'idée de l'effet Doppler est présente dans de nombreuses copies, mais il ne donne accès qu'à la valeur de la composante de la vitesse sur la ligne de visée.

Q52 : [QP] La première partie de la question est traitée de manière peu rigoureuse. Pour aborder la deuxième partie didactique, un recul scientifique est également nécessaire.

Q53 : L'analyse de la figure est souvent très superficielle. Elle est toujours considérée comme donnée et non comme un objet à construire avec les élèves, ce qui serait plus pertinent.

Q54 : Il y a une confusion entre le statut de la constante fondamentale et la notion de valeur exacte.

Q58 : De nombreuses erreurs sont commises dans l'expression de la force de Lorentz.

Q59 : Beaucoup d'erreurs d'homogénéité. Le fait que  $B=E/c$  ne signifie pas que l'effet du champ magnétique est négligeable. Il faut comparer des termes de même dimension.

Q62 : Attention au signe de la charge de l'électron.

Q63 : Quand cette question est traitée, la résolution est souvent satisfaisante et la manipulation des équations de Maxwell correcte. Le jury apprécie la dextérité calculatoire de nombreux candidats.

Q64 : Parfois les candidats font deux erreurs de signe et obtiennent ainsi le résultat exact.

## 7. Rapport relatif à la composition de chimie

La composition de chimie aborde le thème des stratégies envisagées pour pallier la rareté et l'épuisement des ressources naturelles. Ce thème général est développé en quatre parties.

Le niveau scientifique du candidat est évalué par de nombreuses questions parmi lesquelles sont proposées des questions ouvertes, des résolutions de problème et des analyses de documents sur des sujets *a priori* originaux, et des questions assez classiques. Le sujet présente également un ensemble de questions pédagogiques en relation avec le thème abordé et en rapport direct avec des points des programmes du collège et du lycée : la présentation graduelle de la notion d'élément chimique du collège au lycée et la proposition d'une activité permettant de justifier l'usage de l'unité kWh en classe de troisième en partie 1 ; une évaluation de résolution de problème en classe de terminale et une réflexion sur l'utilisation d'une unité originale en 1<sup>ère</sup> S en partie 2 ; l'analyse d'un texte sur des alternatives à un matériau transparent conducteur de l'électricité avec production d'une carte mentale en partie 3 ; et enfin, en partie 4, l'élaboration d'une activité pédagogique ouverte en terminale STL-SPCL. Ces questions pédagogiques doivent permettre aux enseignants en exercice de valoriser leur expertise pédagogique et didactique, de mobiliser leurs compétences d'évaluateur de travaux d'élèves. L'ensemble de ces questions représente environ 30 % du barème de l'épreuve.

### Observations générales

Sur l'ensemble des copies, toutes les questions ont été abordées. Les meilleures copies sont celles de candidats ayant abordé à la fois les questions scientifiques et les questions davantage dédiées à la pédagogie. Soulignons qu'un nombre significatif de candidats possède un niveau de connaissances très satisfaisant.

On note cette année une progression dans la qualité des réponses aux questions pédagogiques : un juste équilibre semble avoir été trouvé entre un développement exhaustif et une concision toujours appréciée.

En revanche, la qualité des réponses aux questions purement disciplinaires ne suit pas la même progression : si les questions ouvertes et les analyses de documents sont souvent abordées, les lacunes dans les connaissances scientifiques apparaissent souvent comme un frein à leur résolution. Les candidats ne doivent pas sous-estimer le niveau scientifique attendu d'un agrégé.

Cet effort d'engagement approfondi dans les réponses traitées doit aussi s'accompagner d'un effort de rédaction. Cette qualité de la rédaction, attendue de tout enseignant, est manifeste dans la majorité des copies ; néanmoins, trop de candidats rédigent encore avec un manque certain de rigueur, de soin, de précision et un excès de fautes d'orthographe. Un nombre de points non négligeable dans le barème est affecté à la rédaction.

Les calculs littéraux doivent être posés explicitement. Les résultats numériques doivent être présentés avec un nombre de chiffres significatifs en accord avec les données et le calcul effectué, et accompagnés d'une unité adaptée.

Le jury tient à souligner que si un trait d'humour dans une copie n'est pas forcément réhibitoire, il est néanmoins malvenu de profiter de l'épreuve écrite pour donner son opinion personnelle sur le système éducatif et les politiques qui y sont conduites.



Enfin, le jury encourage les professeurs souhaitant se présenter au concours à consacrer suffisamment de temps à la consolidation de leurs connaissances en chimie, ce qui leur donnera d'autant plus d'aisance dans leur exploitation à des fins pédagogiques. L'enseignement de la chimie a beaucoup évolué ces dernières années : il est conseillé aux candidats d'actualiser leurs connaissances tant disciplinaires que didactiques dans ce domaine.

## **Partie 1**

Cette partie est abordée entièrement par la quasi-totalité des candidats.

Q1. Même si le jury attendait les matériaux du moulin, il a néanmoins accepté tous les matériaux pertinents contenant les éléments fer, calcium et carbone.

QP2. Cette question est plutôt bien traitée en ce qui concerne l'évolution du concept du collège au lycée, mais les candidats ne soulignent pas que l'élément chimique est rigoureusement défini au niveau de la classe de seconde.

Q3. On constate une culture des candidats plutôt solide, même si les métaux sont souvent confondus avec des alliages.

Q4. Là encore, la confusion entre métal et alliage est pénalisée.

Q5. Cette petite résolution de problème est plutôt réussie, même si trop de candidats calculent la compacité plutôt que la masse volumique.

Q6. Cette résolution de problème est également réussie, de nombreux candidats exploitent correctement les diagrammes potentiel-pH. Une restriction tout de même sur une première approche qualitative souvent oubliée ou confondue avec la conclusion des calculs.

Q7. Trop de candidats n'analysent pas la question et répondent en recopiant simplement la dernière phrase de l'article. Une réflexion plus pertinente et approfondie sur la chimie de l'électrolyse est attendue.

QP8. La contextualisation avec les appareils électroniques du quotidien est souvent réussie. En revanche, l'intérêt propre de l'unité est souvent ressenti comme une façon d'éviter de manipuler de grands nombres exprimés en joules. L'atout du produit des kilowatts par des heures n'est pas toujours compris.

## **Partie 2**

Cette partie est abordée par la plupart des candidats qui, néanmoins, n'étudient pas tous les documents.

QP9. Cette question s'est révélée très sélective : si certains candidats courageux ont approfondi la résolution et décelé certaines erreurs (puissance de dix sur le volume, densité vs masse volumique...), d'autres se sont contentés d'établir des tableaux de critères d'évaluation, pour la plupart acceptables. Le jury a récompensé les candidats ayant réussi

ces deux études, proportionnellement au temps passé sur cette question pédagogique, plus longue que les précédentes.

Q10. Cette question portant sur les lanthanides, certes peu évoqués au lycée, a révélé beaucoup de lacunes sur l'atomistique : le jury attendait une structure électronique générique, s'appuyant sur la position des lanthanides dans la classification périodique. L'actualisation des connaissances ne semble pas au point dans ce domaine, trop de candidats se contentent d'évoquer les couches K, L, M.

Q11. La notion de colonne de la classification périodique semble bien comprise.

Q12. Les réponses à ces trois questions sont souvent très floues et manquent de rigueur. Trop peu de candidats connaissent la structure de l'ion phosphate; ils ne peuvent donc en déduire la formule du TBP.

Q13. Cette question est réussie, la loi d'action des masses est connue.

Q14. Le déplacement d'équilibre est souvent proposé.

Q15, Q16, Q17 : Les candidats qui ont pris le temps de bien lire et comprendre ce document peu classique répondent correctement à ces questions déroutantes au premier abord et sont récompensés.

Q18. Les candidats ignorent, dans leur grande majorité, la signification d'un numéro CAS : ils limitent son intérêt à la sécurité, ce qui est trop restrictif.

Q19. Quasiment tous les candidats obtiennent le maximum de points à cette question sur les pictogrammes, ce qui est positif.

Q20. Il n'en est pas de même pour l'unité de répétition du PET qui est pourtant un polymère de famille générique classique : un polyester. Le jury encourage les candidats à actualiser leurs connaissances dans ce domaine incontournable de la chimie.

Q21. La saponification, souvent appelée hydrolyse basique, est connue. L'équation de réaction comporte néanmoins des erreurs, en particulier sur la nature du sous-produit.

Q22. Le jury constate que les conseils donnés dans le rapport précédent ne sont pas suivis : le nombre d'étapes du mécanisme n'est pas respecté, l'addition-élimination étant souvent assimilée à une SN2. La troisième étape est souvent omise, c'est pourtant elle qui rend la saponification totale. Enfin, les flèches courbes doivent partir d'un doublet, liant ou non liant, et non d'une charge négative. Le jury encourage vraiment les candidats à faire preuve d'une grande rigueur dans l'écriture des mécanismes réactionnels.

Q23. a. Le montage à reflux est proposé par quasiment tous les candidats, mais des erreurs sont constatées sur la circulation des fluides, la figuration du support élévateur, les points d'attache... Toute erreur liée à la sécurité (réfrigérant bouché par un thermomètre, par exemple) est sanctionnée.

b et c. Les candidats proposent dans l'ensemble de bonnes idées. Le ramollissement du polymère à l'état caoutchoutique ou souple est presque toujours confondu avec sa fusion.

Q24. Cette question est une des plus mal traitées, bien que classique. Très peu de candidats ont mené les calculs correctement jusqu'à leur terme. L'erreur la plus fréquente est l'omission du dosage de l'acide sulfurique en excès correspondant au premier saut de pH. On observe aussi des erreurs sur les nombres stœchiométriques, sur la dilution. Le jury encourage les futurs candidats à travailler ce type de dosage et en particulier à raisonner en quantité de matière.

Q25. La verrerie est bien connue, dans l'ensemble.

Q26. Peu de réponses pertinentes concernant la structure de l'ion téréphtalate et la délocalisation électronique.

Q27. La plupart des candidats jugent cette pseudo-unité inutile : l'argumentation est souvent pauvre et limitée à citer les difficultés déjà rencontrées avec l'électron-volt. Son intérêt apparaît pourtant dans la question suivante, ce qui ne semble pas avoir entraîné de retour sur cette question. Notons tout de même quelques argumentations intéressantes mettant en lumière une pédagogie différenciée.

Q28 et Q29. Ces questions ouvertes ont amené des réponses souvent très floues et peu pertinentes. Quelques excellentes réponses néanmoins, bien récompensées, montrant que certains candidats avaient bien perçu la problématique globale de la partie.

### **Partie 3**

Elle se limite à une question pédagogique s'appuyant sur un document relativement long.

QP30. Cette question pédagogique est sans doute la mieux réussie.

Les candidats courageux qui ont abordé cette question ont plutôt bien compris la problématique du texte. Les axes d'analyse et les compléments d'information sont pertinents et les cartes mentales sont riches et bien construites. Le jury a apprécié la qualité du travail et le temps consacré à cette question.

### **Partie 4**

Cette partie est la moins réussie, sans doute parce qu'elle constitue la fin du sujet, mais aussi parce que de nombreux candidats n'ont pas actualisé leurs connaissances sur la chimie organométallique.

Q31. Malheureusement, le sujet n'est pas lu avec assez d'attention : de nombreux candidats ont proposé des formes 1,2-dipolaires, souvent justes, ce qui est encore plus regrettable. Il faut prendre le temps de bien lire les questions.

Q32. La réaction de Diels-Alder est connue et, en conséquence, cette question est réussie. Le jury a bien sûr accepté ici les formes 1,2-dipolaires.

Q33. Cette question simple mais délibérément ouverte n'est comprise que par peu de candidats.

Q34. Il suffisait d'identifier les fragments, ce qui est réalisé par de nombreux candidats.

Q35. Les règles C.I.P. sont connues mais on déplore tout de même quelques classements du type "gros, moyen, petit". Le jury conseille là encore une actualisation des connaissances dans ce domaine.

Q36. L'écriture de la réaction d'oxydoréduction entre le cuivre (I) et l'acide ascorbique ne pose pas de problème.

Q37. Les deux méthodes pour trouver une constante d'équilibre d'oxydoréduction sont connues mais on observe beaucoup d'erreurs de calcul et des erreurs de signes.

Q38. Cette question ouverte n'est pas assez approfondie.

Q39. Le sujet suggère que le produit pur n'est pas disponible, une CCM n'est donc pas envisageable dans la mesure où une référence est nécessaire.

Q40. Certains candidats astucieux ont simplement additionné les masses de réactifs de cette réaction à économie d'atomes parfaite : le calcul du rendement était alors immédiat. En revanche, on déplore beaucoup d'erreurs sur la masse molaire pour un calcul "classique". De nombreux candidats ont conclu correctement sur la régiosélectivité, ce qui témoigne bien d'une bonne compréhension de la problématique.

Q41. Peu de candidats réussissent cette question, pourtant simple, mais probablement déroutante en fin d'épreuve.

Q42. Le stress ou la fatigue de fin d'épreuve n'a pas permis aux candidats d'imaginer ce que signifiait cette notation simple. Les candidats doivent retenir que la fin de l'épreuve n'est pas forcément difficile et que leur combattivité peut leur permettre de réussir encore des questions.

Q43. De même, la reconnaissance de signaux typiques de protons aromatiques, et la prise en compte des constantes de couplage permettraient de répondre correctement et sans ambiguïté. Même si le jury a pu récompenser d'excellentes copies dans ce domaine, il encourage les candidats à travailler la RMN, au programme de la classe de terminale S de surcroît.

QP44. Cette question pédagogique est la moins traitée et la moins réussie. Le jury attendait des activités sur la catalyse, la chimie verte... Le manque de temps n'a sans doute pas permis aux candidats de valoriser une certaine créativité pédagogique. Le programme de chimie du cycle terminal de STL-SPCL, particulièrement riche, mérite une lecture approfondie dans le cadre d'une préparation à l'agrégation interne.

Q45. Beaucoup de réponses sont non justifiées, et donc non acceptées.

Q46. Les quelques candidats qui ont actualisé leurs connaissances sur les cycles catalytiques, inscrits dans le nouveau programme de chimie de la classe de PC (CPGE), ont répondu facilement aux trois sous-questions.

Q47. La régiosélectivité reste un des fils conducteurs, ce qu'ont compris quelques candidats, à féliciter.

Q48. Quand elle est traitée, cette question est plutôt réussie.

Q49. Comme précisé en Q22, on retrouve ici la grande fragilité des candidats sur les mécanismes réactionnels classiques de chimie organique : le mécanisme SN1 n'est pas maîtrisé.

Q50. La denticité du ligand et la géométrie du complexe ne posent pas de problème.

Q51. En revanche, le contrôle entropique n'est pas connu.

Q52. La basicité et la nucléophilie de la fonction amine sont citées par certains candidats qui ont pris le temps d'analyser le cycle.

Q53. à Q57. Ces questions révèlent que les candidats n'ont pas encore travaillé la chimie organométallique du nouveau programme de chimie de la classe de PC (CPGE).

## 8. Rapport sur les épreuves orales de Physique

### A. Exposé consistant en une présentation d'un concept et son exploitation pédagogique

Pour préparer l'épreuve orale d'exposé sur un unique sujet tiré au sort, le candidat dispose de quatre heures de préparation, avec un accès à la bibliothèque et à diverses ressources numériques, et sans accès à internet. Il peut présenter des expériences, grâce à l'appui de l'équipe technique et demander la numérisation de documents pour illustrer ou enrichir son propos.

L'exposé se compose de deux parties de durées égales ; le candidat doit être attentif au respect de cette contrainte. La première partie est consacrée à la présentation générale du concept scientifique correspondant à l'intitulé du sujet, qui inclut le développement à un niveau post-baccalauréat d'un point particulier choisi par le candidat. La seconde partie consiste à développer un aspect pédagogique de l'enseignement de ce concept. L'ordre de présentation de ces deux parties devant le jury n'est pas imposé.

Concernant la première partie, la présentation du concept souvent faite sous forme de carte mentale – qui n'est pas la seule forme envisageable – ne doit pas viser l'exhaustivité. Certaines cartes mentales sont peu lisibles par manque de concision et se transforment en un catalogue de mots clefs sans hiérarchie et dont la signification n'est pas toujours bien maîtrisée. Quelques candidats se limitent à la projection du bulletin officiel présentant les parties de programme dans lesquelles le concept apparaît, d'autres projettent un plan de cours ou une progression ; de telles présentations ne permettent en aucun cas au jury de s'assurer d'une maîtrise globale de ce concept par le candidat. *A contrario*, beaucoup de candidats réussissent lors de cet exposé, grâce à une présentation structurée et progressive, à mettre en évidence des liens entre différents domaines de la physique faisant intervenir le concept. Lors de l'exposé, il est nécessaire de montrer au jury en quoi les éléments apportés par l'exposé enrichissent le concept. L'ensemble révèle alors le recul du candidat sur le sujet et sa vision globale du concept physique étudié.

Concernant le développement scientifique post baccalauréat, toujours dans cette première partie, le point choisi doit être traité avec soin, rigueur et au niveau adapté. Le jury est sensible au fait que ce développement soit ancré dans le concept étudié mais aussi que le candidat soit en mesure de justifier la pertinence didactique du choix réalisé. Rappelons aussi que la physique post baccalauréat n'est pas nécessairement calculatoire et que, s'il peut être parfois nécessaire de développer un raisonnement à travers quelques équations, il convient avant tout d'en maîtriser le sens physique : il faut donc s'attacher à expliquer le modèle, poser ou rappeler ses hypothèses, pour en tirer une conclusion sur les apports et les limites de ce modèle. Cette partie est d'autant plus difficile qu'elle dépasse par définition

le cadre de pratique enseignante habituelle du candidat, mais c'est à cette occasion que ce dernier apporte la preuve de sa maîtrise scientifique du sujet.

La présentation de cette première partie peut être enrichie de manipulations adaptées, de références à des applications industrielles ou relevant de la vie courante ou encore d'ordres de grandeur significatifs ; les candidats ayant le souci de donner un sens physique aux formules données ou établies sont valorisés.

Dans la seconde partie, correspondant au développement d'un aspect pédagogique, la grande majorité des candidats fait le choix de présenter une activité vécue dans la classe ou extraite d'un ouvrage. Si tel est le cas, il ne s'agit pas de donner des objectifs généraux très larges ou de commenter les modalités de mise en œuvre de cette activité, mais de faire émerger explicitement son intérêt pédagogique et d'indiquer en quoi elle permet d'illustrer le sujet de l'exposé. Il ne s'agit pas non plus de présenter une succession dense et parfois irréaliste de mises en activité mobilisant des modalités pédagogiques les plus diverses, comme par exemple, sur un thème de mécanique en classe de Terminale S, un cours « inversé » suivi d'une évaluation diagnostique puis immédiatement d'un travail en groupe proposant une résolution de problème lui-même suivi d'une évaluation (voire d'une autoévaluation) par compétences. Les prestations de candidats présentant des situations d'apprentissage accordant une place à des démarches riches mais authentiques, centrées sur l'élève et définissant des objectifs pédagogiques réalistes, clairs et précis sont valorisées par le jury.

D'autres candidats choisissent de montrer l'évolution du concept du collège au lycée ; il est intéressant de faire aussi référence aux prérequis de l'école élémentaire et de ne pas se limiter à la voie générale du lycée et donc de s'appuyer aussi les filières de la voie technologique. La réflexion du candidat doit le mener au-delà de la lecture du bulletin officiel : il s'agit bien, pour un tel choix, de faire apparaître par exemple l'évolution, les limites et le perfectionnement d'un modèle, la progressivité dans l'approche de la notion ou du concept ou dans les démarches pédagogiques mises en œuvre, suivant les années.

En conclusion, le jury tient à rappeler aux candidats qu'il ne suffit pas de s'appuyer sur leur pratique quotidienne pour réussir la composante pédagogique de cette épreuve. Il convient impérativement d'attester de leur expertise professionnelle sur les plans pédagogique et didactique et donc de montrer, dans un cadre réaliste, leur capacité d'analyse réflexive de leur pratique professionnelle.

## **B. Montage et traitement automatisé de l'information**

Pour cette épreuve le candidat a le choix entre deux sujets. Il est conseillé de choisir rapidement et de ne pas revenir sur cette décision. Le candidat dispose de quatre heures pour monter des dispositifs expérimentaux et réaliser des mesures illustrant le thème choisi.

Le temps de préparation doit être utilisé à réaliser des mesures quantitatives et à analyser la pertinence des résultats obtenus dans le cadre du thème choisi. Durant la présentation,

Le jury peut être conduit à se déplacer afin d'observer de plus près les expériences réalisées par le candidat, qui ne doit pas pour autant s'interrompre dans sa présentation.

Le jury évalue à la fois les modalités de présentation, le choix des expériences, leur exploitation, les qualités d'expérimentateur du candidat et sa maîtrise scientifique du sujet. Les remarques et recommandations qui suivent visent à aider les futurs candidats à se préparer à cette épreuve spécifique.

Le jury apprécie qu'une introduction présente et justifie le plan élaboré par le candidat. Le jury recommande que le plan soit projeté ou écrit au tableau, pour donner d'emblée une vision d'ensemble sur le sujet, et permettre au jury de se repérer pendant la présentation. Il est également conseillé de consigner au tableau les résultats numériques importants, les valeurs numériques caractérisant les grandeurs des composants utilisés, et de faire apparaître les schémas électriques ainsi que les schémas de principe des manipulations réalisées. Enfin une brève conclusion est appréciée.

Le jury recommande au candidat de mener une réflexion approfondie à la fois sur le titre du montage pour éviter le hors sujet et sur le choix des expériences présentées afin d'illustrer différents aspects du thème sans se contenter de réitérer la même mesure dans des conditions différentes. Les candidats sont libres de choisir les expériences illustrant le sujet choisi. Il n'existe pas d'expérience « incontournable ». Par ailleurs, la multiplication des montages expérimentaux peut parfois desservir le candidat : mieux vaut deux expériences pertinentes, bien réalisées et bien exploitées que quatre inabouties. Des expériences qualitatives peuvent être pertinentes et pédagogiques ou bien d'intérêt historique, mais il est attendu au moins une expérience quantitative complètement exploitée. Parmi les expériences présentées, le jury attend au moins une expérience relevant du niveau post-baccalauréat.

L'explicitation des choix d'expériences et leur mise en lien entre elles et avec le thème, leur exploitation soignée, le regard critique du candidat sur les protocoles utilisés, sont autant d'éléments au travers desquels le jury évalue la maîtrise scientifique du sujet par le candidat. Ainsi le jury invite-t-il le candidat à réfléchir au domaine de validité des lois et modèles utilisés et à ne pas reproduire sans réflexion des expériences maladroites ou erronées figurant dans certains ouvrages. Les candidats sont aussi invités à bien analyser le titre du montage pour éviter le hors sujet. Par exemple, le thème « transmission de l'information » est trop souvent confondu avec « propagation libre et guidée ». Si des expériences peuvent être présentées dans le cadre de différents thèmes, il convient d'adapter les grandeurs physiques mesurées et interprétées au sujet du montage. La prise de mesures réalisées devant le jury est très appréciée ; certains candidats se contentent, à tort, de présenter le principe d'une mesure, sans la réaliser, et exploitent ensuite uniquement les résultats obtenus en préparation.

Le jury recommande au candidat de mener une réflexion soignée pour ce qui concerne le choix des expériences et des réalisations présentées, il est conseillé de varier la nature des mesures faites afin, d'une part, de montrer une gamme de savoir-faire la plus large possible et, d'autre part, de pouvoir le cas échéant confronter les résultats obtenus par différentes méthodes.



L'exploitation des expériences doit être soignée :

- toute mesure quantitative doit être assortie d'une estimation de l'incertitude, reposant sur une analyse des différentes sources d'erreur. Le jury note que de plus en plus de candidats font l'effort de déterminer les incertitudes liées aux expériences menées en utilisant le vocabulaire de la métrologie repris dans les programmes de lycée. Cependant, il faut garder un regard critique et savoir négliger les termes qui doivent raisonnablement l'être plutôt que de mener des calculs longs et fastidieux. Si le candidat prend le soin de faire la distinction entre des distributions gaussiennes ou rectangulaires des variables, il doit aussi distinguer l'incertitude liée à la résolution de l'instrument de mesure de l'erreur de pointé qui est parfois bien supérieure à la demi-graduation de l'appareil de mesure ;
- l'utilisation de logiciels d'acquisition et de traitement des données est de plus en plus répandue et peut être parfaitement adaptée à l'expérience menée. Cependant, le jury attend une utilisation maîtrisée et comprise de ces logiciels notamment dans le choix des paramètres d'acquisition et dans l'analyse des ajustements obtenus (par exemple sur la signification des incertitudes issues des régressions linéaires) ;
- dans la modélisation des résultats obtenus, le candidat doit s'interroger sur le domaine de validité des lois et modèles utilisés ;
- les candidats devraient plus souvent consulter les notices et/ou spécifications des appareils ou composants utilisés. La précision d'un appareil est en général donnée dans la notice et ne se résume pas « au chiffre qui fluctue » ;
- si une expérience ne donne pas le résultat attendu, il convient de rester sincère. Le jury valorisera à coup sûr le recul et l'honnêteté scientifique du candidat.

Les candidats doivent être particulièrement vigilants à propos de la sécurité. Ils ont à leur disposition une gamme de matériels plus large que celle généralement présente dans les collèges et lycées. Ils doivent en conséquence être attentifs à choisir pour leurs expériences le matériel approprié et à l'utiliser en respectant des règles de sécurité adaptées. Dans le cas des lasers par exemple, il convient de ne pas utiliser de laser d'une puissance plus élevée que nécessaire, de se protéger des réflexions parasites et de concevoir un dispositif optique qui permette d'éviter d'envoyer un faisceau laser vers un membre de l'équipe technique pendant la préparation, ou vers le jury pendant la présentation.

Le jury tient à souligner l'excellence de certaines prestations, dynamiques et convaincantes, et témoignant d'une véritable expertise scientifique et expérimentale.

## 9. Rapport sur les épreuves orales de chimie

### A. Exposé consistant en une présentation d'un concept et son exploitation pédagogique

Sur les cinquante minutes de son exposé, le candidat doit équilibrer les durées consacrées, d'une part, à la présentation du concept scientifique et, d'autre part, à l'exploitation pédagogique qu'il souhaite en faire. L'ordre de ces deux parties n'est pas imposé. En revanche, le jury recommande de déclarer clairement les transitions entre les différents moments de l'exposé.

Trop souvent, le jury a constaté des présentations écourtées qui ne sont satisfaisantes ni au regard des quatre heures de préparation dont dispose le candidat, ni au regard des nombreux développements possibles qu'offre chacun des thèmes des exposés.

Le dynamisme de la présentation est un élément important d'appréciation pour le jury. Une présentation monotone ou trop lente ne peut que desservir le candidat qui, comme devant sa classe, doit faire preuve d'enthousiasme et de conviction pour entraîner son auditoire. Le candidat doit aussi veiller à ne pas se replier trop souvent sur ses notes, ce qui nuit à la fluidité du propos.

Le candidat dispose d'un grand nombre de ressources et d'outils de communication (tableau, Tableau Numérique Interactif, flexcam, ordinateur, logiciels) pour étayer sa présentation. Le jury a apprécié l'aisance de nombreux candidats dans le maniement de ces outils. Le candidat peut également faire le choix de présenter une ou plusieurs manipulations qu'il estime appropriées à l'illustration de certains points de son exposé. La pertinence du choix des expériences et l'exploitation pédagogique qui en sera faite seront prises en compte, les qualités d'expérimentateur du candidat étant davantage évaluées au cours de l'épreuve de montage. Le jury est également sensible à la lisibilité, à la clarté et, naturellement, à l'orthographe des documents projetés conçus par le candidat.

Les questions qui suivent l'exposé ont plusieurs objectifs. Le premier est d'éclaircir avec le candidat certains points de sa présentation qui pouvaient paraître erronés du fait d'un lapsus, d'un oubli dans une formule ou de l'utilisation d'un vocabulaire inadapté. Le second, essentiel, est de vérifier la capacité des candidats à faire preuve de réflexion, tant dans le domaine scientifique que dans le domaine pédagogique. Les questions peuvent bien sûr servir à apprécier le niveau d'expertise du candidat, mais elles ont avant tout l'objectif de faire émerger l'aptitude du candidat à se placer dans une posture réflexive et d'échanges argumentés avec les membres du jury.

#### « Présentation d'un concept »

Les sujets proposés recouvrent des domaines vastes. Le candidat doit donc s'efforcer d'en faire une synthèse cohérente en faisant émerger la ou les problématiques liées au thème présenté. Il doit aussi s'attacher à choisir un développement post-bac pertinent qui lui permette d'approfondir un des points d'intérêt de la présentation du concept.

Le jury attire l'attention des candidats sur les éléments suivants :

- le développement post-bac ne peut se réduire à une présentation superficielle du concept ; le candidat doit y passer suffisamment de temps pour montrer au jury sa maîtrise d'un sujet scientifique à un niveau qui dépasse le cadre de ses

- enseignements habituels ;
- la plupart des candidats s'appuient sur une carte mentale pour donner une vue d'ensemble du concept, beaucoup maîtrisent d'ailleurs très bien cet exercice ; le jury tient cependant à rappeler que la carte mentale n'est pas le seul support possible pour présenter une synthèse d'un concept ;
  - plutôt que de s'appuyer sur des formules génériques des molécules organiques ou de simples lettres pour désigner des espèces chimiques, le jury a apprécié l'effort des candidats qui se sont appuyés sur des exemples concrets et pertinents pour illustrer leur propos ;
  - lorsque le candidat est amené à conduire des calculs, le jury attend qu'il les mène avec aisance, mais surtout qu'il soit capable de leur donner du sens en les mettant en perspective avec la problématique choisie ;
  - certains sujets, comme les métaux, les polymères, etc. nécessitent des ouvertures vers le monde industriel et économique, d'autres, comme la stéréochimie, la catalyse, vers les sciences du vivant ; le jury a apprécié les candidats ayant mis en évidence ces ponts entre disciplines.

### « Exploitation pédagogique »

L'objectif de cette partie est que le candidat mette en avant ses qualités pédagogiques et sa réflexion didactique, sur un ou plusieurs exemples de son choix, en développant un aspect de l'enseignement du concept au niveau du collège et/ou du lycée.

Cette partie ne peut se limiter à une lecture exhaustive des programmes repérant les attendus associés au sujet de l'exposé pour chaque niveau d'enseignement. Elle permet au contraire de mettre en valeur l'expertise pédagogique du candidat qui doit s'efforcer de proposer une activité qui pourrait être mise en œuvre en classe. Dans ces conditions, des éléments très concrets doivent être précisés comme la durée de la séance, le travail en effectif réduit ou non, les supports utilisés, l'évaluation prévue, etc. Ces éléments seuls ne suffisent pas, ils doivent être articulés à une progression, à des attendus d'un programme, à la problématique à laquelle ils répondent, aux choix pédagogiques effectués.

Le jury a apprécié les présentations qui s'appuient sur des activités montrant une réflexion personnelle du candidat ; réflexion qui dépasse la simple lecture commentée d'activités extraites de manuels scolaires, qui fait émerger de réelles problématiques propres à susciter l'intérêt des élèves et qui témoigne du recul de l'enseignant sur sa pratique professionnelle.

Les questions posées au cours de l'entretien qui suit l'exposé, et qui portent sur cette partie, permettent au jury d'affiner son appréciation sur les arguments avancés par le candidat. Elles peuvent amener le jury à demander au candidat de préciser tel ou tel point évoqué lors de son exposé, à évaluer sa vision globale des programmes (depuis le collège jusqu'au lycée sans oublier la voie technologique). Les questions posées au candidat, même si elles peuvent paraître parfois précises ou au contraire très ouvertes, n'ont pas pour but de le mettre en difficulté sur des connaissances relatives à telle ou telle démarche pédagogique ou approche didactique mais bien de tester sa capacité à organiser une analyse, à conceptualiser une question, à construire une activité pédagogique personnelle attestant de choix pédagogiques assumés.

## B. Montage et traitement automatisé de l'information

Le jury précise qu'*a priori* seuls les montages intitulés « modification de groupes fonctionnels » et « modification de chaîne carbonée » peuvent être considérés comme relevant exclusivement de la chimie organique.

Un choix entre deux sujets est offert au candidat qui dispose de quatre heures de préparation pour la mise en place, le suivi et l'interprétation des expériences, avec l'aide d'une équipe technique. Le candidat doit formuler ses demandes aux techniciens de manière précise, à la fois oralement s'il s'agit par exemple de consignes de prises de mesures, et par écrit pour une complète traçabilité des demandes de matériel et produits.

La présentation orale dure ensuite environ soixante-dix minutes. Les dix premières minutes constituent une phase durant laquelle le jury n'intervient pas, laissant ainsi l'opportunité au candidat de se lancer sereinement dans sa présentation. Les questions sont ensuite posées au fil de la présentation, en lien avec la réalisation des expériences et les observations. Il n'y a aucune volonté de déstabiliser les candidats, mais bien plus de les faire réagir sur la pertinence d'un protocole ou du choix d'une technique.

Concernant l'organisation de l'épreuve, sont rappelées ci-dessous quelques recommandations très générales :

- avant l'arrivée du jury, les titre et plan du montage doivent être écrits au tableau ou projetés sur un écran, ainsi que les équations des réactions chimiques présentées et les éventuelles relations utilisées pour l'analyse des résultats. Une introduction, même brève, est l'occasion de livrer au jury le cadre général et les choix d'expériences qui seront réalisés dans le contexte de l'épreuve ;
- même si aucune règle ne s'impose, il est préférable de limiter le nombre d'expériences pour mieux les exploiter et montrer comment elles permettent de bien explorer la thématique ;
- l'utilisation du vidéoprojecteur facilite la présentation de ces documents, ainsi que la lecture des résultats et donc les échanges avec le jury ;
- il est impératif de présenter oralement chaque expérience, en précisant le ou les objectif(s), les réactifs mis en présence (noms, conditions, quantités), l'instrumentation et les mesures qui seront réalisées. La contextualisation permet souvent de replacer la réalisation expérimentale dans le thème choisi. Trop souvent, le jury est amené à interroger les candidats sur l'un ou plusieurs de ces points. À nouveau, cette progression dans l'exposé doit aider les candidats à justifier leurs choix tout en éclairant le jury sur les objectifs visés ;
- le commentaire précédent s'applique à la conclusion attendue à l'issue de chaque expérience. Celle-ci doit permettre de dégager les éléments importants, et d'offrir éventuellement des ouvertures vers d'autres domaines voire d'autres disciplines ;
- la gestion du temps est en grande partie laissée au candidat, même si le jury, dans la mesure du possible, s'efforce de rythmer l'échange pour ne pas sacrifier la présentation de certaines manipulations. Le jury est attentif au fait que le candidat puisse présenter toutes les expériences qu'il a prévues, de son côté le candidat ne doit pas hésiter à inviter lui-même le jury à poursuivre vers une autre manipulation ;
- en fin de présentation, une conclusion générale est vivement souhaitée. Elle est l'occasion de résumer la présentation, d'attester des objectifs atteints et d'élargir le propos.

Les candidats doivent illustrer leur réflexion sur les sciences expérimentales et sur l'importance des mesures et les incertitudes inhérentes à celles-ci.

Un choix pertinent et justifié d'expériences est attendu :

- au moins une expérience quantitative est souhaitée et doit être complètement exploitée. Pour cela, il est pertinent d'avoir préparé (et répété dans la mesure du possible) les phases présentées et l'exploitation la plus exhaustive possible ;
- le jury recommande au candidat de ne pas multiplier le nombre d'expériences qualitatives et /ou en tubes à essais.

Le montage est l'occasion pour le candidat d'illustrer ses qualités d'expérimentateur, tout en maintenant un discours justifiant les choix et les précautions éventuelles :

- le candidat doit se mettre en valeur en choisissant d'exécuter devant le jury un nombre suffisant de gestes techniques différents ;
- même si une évolution très positive a été remarquée, le jury attend toujours du candidat une certaine modernité dans le choix des expériences et leurs interprétations (exploitation d'outils numériques, maîtrise de l'usage de logiciels dédiés) ;
- le strict respect des règles de sécurité est essentiel, pour soi, pour les autres et pour l'environnement. Cette attitude a aussi un objectif de formation. Le candidat doit donc montrer qu'il respecte les règles - ports des équipements individuels de sécurité, manipulation sous hotte aspirante en fonctionnement lors de l'utilisation de produits toxiques volatils, utilisation de quantités de produit raisonnables, gestion des déchets. Rappelons à ce titre la nécessité de consulter régulièrement la réglementation en vigueur (actualisation du classement CLP, <http://www.inrs.fr/accueil/header/info/textes-clp.html> ; fiches toxicologiques éditées par l'INRS, <http://www.inrs.fr>, Observatoire national de la sécurité et de l'accessibilité des établissements scolaires, <http://www.education.gouv.fr/pid31805/l-observatoire-national-de-la-securite-et-de-l-accessibilite-des-etablissements-d-enseignement.html>);

Le candidat doit être en mesure d'interpréter les expériences présentées et les résultats obtenus, y compris à un niveau post-baccalauréat. À la demande du jury, il doit être capable de :

- justifier et expliquer les protocoles et les gestes expérimentaux. Le temps de préparation doit impérativement être mis à profit pour explorer les protocoles très souvent détaillés dans les ouvrages ;
- expliciter les fondements théoriques et modèles auxquels il est fait appel ;
- critiquer les résultats (ordres de grandeurs, puis confrontation aux valeurs tabulées) et évaluer les incertitudes de mesure ;
- mettre en lien le thème du montage avec des situations d'enseignement (du collège au niveau post-baccalauréat).

## **Conclusion**

Ces éléments doivent permettre aux futurs candidats de mieux se préparer aux épreuves, soulignant tout particulièrement l'importance de l'analyse, l'interprétation et le regard critique

que chacun doit porter sur l'activité expérimentale. Le jury a eu le plaisir d'assister à d'excellentes présentations soulignant des capacités pédagogiques, de réflexion, et de rigueur dans le choix du vocabulaire scientifique et la communication orale.

## 10. Épreuves et programmes 2017

### Épreuves écrites d'admissibilité

Ces épreuves sont envisagées au niveau le plus élevé et au sens le plus large du programme défini ci-dessous.

#### **1. Composition sur la physique et le traitement automatisé de l'information (5 heures)**

Elle porte sur les enseignements de physique des programmes de physique-chimie appliqués à la rentrée scolaire de l'année d'inscription au concours :

##### **1. des classes :**

- de collège ;
- de seconde générale et technologique ;
- de première S ;
- de terminale S, y compris l'enseignement de spécialité ;
- de première et de terminale Sciences et Technologies Industrielles et Développement Durable (STI2D) ;
- de première et de terminale Sciences et Technologies de Laboratoire (STL), spécialité Sciences Physiques et Chimiques de Laboratoire (SPCL) ;
- de première et de terminale Sciences et Technologies de la Santé et du Social (ST2S).

**2. des classes préparatoires scientifiques aux grandes écoles :** PCSI, MPSI, MP, PC, PSI, BCPST 1ère et 2ème année.

#### **2. Composition sur la chimie et le traitement automatisé de l'information (5 heures)**

Elle porte sur les enseignements de chimie des programmes de physique-chimie appliqués à la rentrée scolaire de l'année d'inscription au concours :

##### **1. des classes :**

- de collège ;
- de seconde générale et technologique ;
- de première S ;
- de terminale S, y compris l'enseignement de spécialité ;
- de première et de terminale Sciences et Technologies Industrielles et Développement Durable (STI2D) ;
- de première et de terminale Sciences et Technologies de Laboratoire (STL), spécialité Sciences Physiques et Chimiques de Laboratoire (SPCL) ;
- de première et de terminale Sciences et Technologies de la Santé et du Social (ST2S).

**2. des classes préparatoires scientifiques aux grandes écoles :** PCSI, MPSI, MP, PC, PSI, BCPST 1ère et 2ème année.

## **Épreuves orales d'admission**

Chacune des deux épreuves orales d'admission, l'une d'exposé et l'autre de montage, a lieu après quatre heures de préparation surveillée.

Le tirage au sort conduit le candidat à traiter :

- soit un exposé de physique et un montage de chimie ;
- soit un exposé de chimie et un montage de physique.

### **Exposé consistant en une présentation d'un concept et son exploitation pédagogique (1h20)**

Dans le cas d'un exposé de physique, le programme est celui de la première épreuve écrite d'admissibilité (composition sur la physique et le traitement automatisé de l'information). Dans le cas d'un exposé de chimie, le programme est celui de la seconde épreuve écrite d'admissibilité (composition sur la chimie et le traitement automatisé de l'information).

**Structure de l'épreuve** : l'épreuve est constituée d'un exposé par le candidat, d'une durée maximum de 50 minutes, et d'un entretien avec le jury, d'une durée maximum de 30 minutes. L'exposé du candidat comporte deux parties successives, d'importance équivalente, qui lui permettent de mettre en valeur ses compétences professionnelles :

- une partie relative au concept scientifique, développée au moins en partie à un niveau post-baccalauréat ;
- une partie relative à un aspect pédagogique de l'enseignement, au collège ou au lycée, de notions relatives à ce concept.

#### **Partie relative au concept scientifique**

Dans cette partie, le candidat met en valeur ses compétences disciplinaires en présentant à la fois sa vision d'ensemble du sujet et en développant un point particulier, de son choix, à un niveau post-baccalauréat.

Cette présentation synthétique peut prendre la forme d'un plan séquencé, d'un schéma conceptuel, d'une carte mentale, etc. permettant de situer la thématique scientifique et d'en aborder divers aspects, du fondamental aux applications. Le candidat doit être en mesure d'apporter des éclaircissements sur l'ensemble des points abordés dans son exposé.

#### **Partie relative à un aspect pédagogique de l'enseignement du concept**

Dans cette partie, le candidat met en valeur ses compétences pédagogiques et didactiques.

Il peut par exemple choisir :

- de proposer et d'analyser une séquence d'enseignement ;
- d'étudier l'évolution de la présentation du concept du collège au lycée ;
- d'aborder la problématique de l'évaluation ;
- etc.

L'ordre de présentation de ces deux parties est laissé au choix du candidat.

L'illustration expérimentale est naturellement possible dans chacune des parties.

**L'entretien** porte sur les deux parties ; il vise à la fois à compléter l'évaluation des qualités pédagogiques et didactiques, de la maîtrise des connaissances scientifiques et de la culture scientifique et technologique du candidat.



## **Montage et traitement informatisé de l'information (1h20)**

Le niveau est celui des classes post-baccalauréat des lycées. Deux sujets sont proposés au choix des candidats. Au cours de l'épreuve, les candidats présentent, réalisent et exploitent qualitativement et quantitativement quelques expériences qui illustrent le sujet retenu.

## **Liste des sujets des exposés et des montages de physique et de chimie tirés au sort lors des épreuves orales**

### **a) Physique**

Aux sujets communs aux épreuves d'exposé et de montage s'ajoutent des sujets spécifiques à chacune de ces épreuves.

#### **Sujets communs aux épreuves d'exposé et de montage**

1. Dynamique newtonienne
2. Ondes acoustiques
3. Spectrométrie optique, couleur
4. Vision et image
5. Propagation libre et guidée
6. Interférences
7. Diffraction
8. Oscillateurs
9. Champs magnétiques
10. Capteurs
11. Transferts thermiques
12. États de la matière
13. Grandeurs électriques
14. Fluides
15. Résonance
16. Signal analogique et signal numérique
17. Induction
18. Temps – fréquence
19. Transferts quantiques d'énergie
20. Frottements
21. Transmission de l'information
22. Ondes stationnaires

#### **Sujets d'exposé spécifiques**

- 23e. Cohésion du noyau, stabilité, réactions nucléaires
- 24e. Gravitation et mouvements képlériens
- 25e. Énergie interne
- 26e. Rayonnement d'équilibre et corps noir
- 27e. Dualité onde – particule
- 28e. Référentiels géocentrique et terrestre

#### **Sujets de montage spécifiques**

- 23m. Filtrage et analyse spectrale
- 24m. Amplification
- 25m. Couplages

- 26m. Régimes transitoires
- 27m. Conversion de puissance
- 28m. Polarisation de la lumière

## **b) Chimie**

Aux sujets communs aux épreuves d'exposé et de montage s'ajoutent des sujets spécifiques à chacune de ces épreuves.

### Sujets communs aux épreuves d'exposé et de montage

1. Séparation
2. Liaisons
3. Caractérisations
4. Stéréoisomérisation
5. Solvants
6. Solutions
7. Solubilité
8. Conductivité
9. Mélanges binaires
10. Proportions et stœchiométrie
11. Équilibre chimique
12. Évolution d'un système chimique
13. Conversion d'énergie lors des transformations chimiques
14. Oxydo-réduction
15. Dispositifs électrochimiques
16. Solides
17. Métaux
18. Acidité
19. Complexes
20. Polymères
21. Cinétique chimique
22. Catalyse
23. Mécanismes réactionnels
24. Électrophilie et nucléophilie
25. Couleur
26. Modification de groupes fonctionnels
27. Modification de chaîne carbonée

### Sujet d'exposé spécifique

- 28e. Périodicité des propriétés

### Sujet de montage spécifique

- 28m. Spectroscopies

## 11. Annexes

- proposition de solution de la composition de physique 2016
- proposition de solution de la composition de chimie 2016

Les sujets associés aux deux propositions de solutions qui suivent sont disponibles sur le site du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche à l'adresse suivante : <http://www.education.gouv.fr/cid97053/sujets-des-concours-agregation-session-2016.html>.

Les solutions des épreuves écrites proposées en annexe visent uniquement à aider les futurs candidats à se préparer au concours de l'agrégation interne de physique-chimie. **Elles constituent simplement une proposition.** Concernant notamment les questions pédagogiques d'autres approches sont possibles et ont été pleinement valorisées par le jury. **Les solutions proposées n'ont donc aucune visée normative.**

# Autour de l'exploration du système solaire

AIPC session 2016

## 1 Connaissance du système solaire.

### 1.1 Le système solaire.

1. Le rayon de la Terre est de l'ordre de  $R_T \simeq 6400 \text{ km} = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$ .  
La distance Terre Soleil ou une u.a. est de l'ordre de  $D_{TS} \simeq 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$ .  
Si la valeur retenue est de 8 mn-lumière, cela fait  $1,44 \cdot 10^{11} \text{ km}$ .
2. Cf. figure 1. Les éclipses totales de Soleil s'expliquent ainsi.

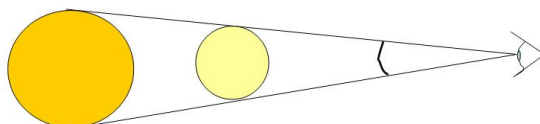


FIGURE 1 – Depuis la Terre, le Soleil et la Lune ont même diamètre angulaire. Le schéma n'est pas à l'échelle.

3. **(QP)** Texte possible de l'activité :  
Outre son caractère spectaculaire, une éclipse de Lune permet également de déterminer un ordre de grandeur de la distance Terre-Lune sans quitter la surface de la Terre. Les grecs ont été ainsi les premiers à utiliser ce phénomène dans ce but. Ils avaient remarqué que :
  - (a) La Lune traverse l'ombre de la Terre en 4 h.
  - (b) La Lune se reporte 3 fois dans l'ombre de la Terre (pensez aux médiatrices!).
  - (c) La période de rotation de la Lune autour de la Terre est environ de 29 jours.

---

N.B. : selon le modèle envisagé, toutes les constatations ne sont pas nécessaires.

Déterminer, en n'utilisant que les données des contemporains d'Hipparque, la distance Terre-Lune.

Indice : On peut peut-être représenter sur un schéma : le Soleil, la Terre et la Lune en utilisant les données connues des Grecs.

Attention à la représentation de l'ombre portée par la Terre sur la Lune !

Premier Modèle :

On suppose que les rayons du Soleil sont parallèles entre eux et que, de ce fait, la Lune traverse une ombre « cylindrique ». [Ombre Portée (5ème)].

En appelant  $L_0$  le diamètre du cylindre, il vient  $L_0 = 2.R_T$  [CM2] ce qui fait une vitesse orbitale  $v = \frac{L_0}{\Delta t} = 3200$  km/h [3ème].

Pour une période  $T$  [3ème] de 29 jours soit  $T = 700$  h, on trouve finalement une orbite de circonférence  $C = v.T = 2\,224\,000$  km soit une  $D_{TL} = \frac{C}{2\pi} = 357\,000$  km.

Ce résultat est valable à mieux que 10%.

Second modèle :

Le candidat part du fait que dans le cône d'ombre, le diamètre apparent de la Lune peut s'y reporter 3 fois.

Il déduit le diamètre du cylindre d'ombre et avec le diamètre apparent il remonte à la distance Terre-Lune.

On trouve une distance de 490 000 km. On attend du candidat un retour critique sur cette valeur. La valeur de  $R_L$  est majorée.

Le diamètre angulaire n'est pas au programme du collège.

Troisième modèle (plus sophistiqué) :

On prend un cône d'ombre, et on suppose le Soleil beaucoup plus gros que la Terre et très éloigné de celle-ci. L'angle du cône d'ombre est égal au diamètre apparent sous lequel on voit le Soleil depuis la Terre.

Avec un schéma on retrouve que le diamètre de l'ombre au niveau de la Lune est de  $12\,800 = 8.R_L$  d'où avec  $D_{TL} = 2.R_L/\tan(\alpha) = 370\,000$  km.

Mais cette dernière version n'est sans doute pas très réaliste pour un niveau collège.

Objectifs pédagogiques :

- (a) Schématisation en adéquation avec les hypothèses du modèle conçu : ombre portée cohérente avec le modèle.
- (b) Travail de modélisation.
- (c) Lien avec les mathématiques, l'histoire, géographie.
- (d) Utilisation formule  $v = d/t$ .

- 
- (e) Utilisation formule trigonométrie.
  - (f) Validation du résultat et limite du modèle.
  - (g) Travail en groupe afin de favoriser les échanges entre les élèves.
  - (h) Critique du modèle imaginé.

Points clefs :

- (a) poser son modèle, à savoir donner explicitement les hypothèses de celui-ci.
  - (b) argumenter en quoi il est intéressant du point de vue pédagogique pour un élève de collège. (lien avec les mathématiques, facilité de mise en oeuvre, possibilité de complexifier celui-ci, possibilité de le présenter sous forme de tâche complexe ou pas).
  - (c) porter un regard critique scientifique sur le choix effectué du point de vue efficacité-complexité en cherchant pourquoi on est plus ou moins loin du résultat.
4. Les planètes de notre système solaire sont, en partant du Soleil et en s'en éloignant : Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune. (L'Union Astronomique Internationale a reclassé, à la suite de son 26ème congrès, Pluton dans une nouvelle catégorie : les planètes naines avec Eris, Makemake, Haumea et Cérés). Les quatre premières planètes sont des planètes telluriques alors que les quatre dernières sont des géantes gazeuses.
5. À ce jour, environ 4600 exoplanètes ont été découvertes et il semble que notre système solaire ne soit pas la "norme" dans l'Univers. En particulier, beaucoup de géantes gazeuses découvertes sont très proches de leur étoile, ce qui a obligé les astrophysiciens à revoir les modèles de formation des systèmes planétaires.

## 1.2 La distance Terre-Lune

6. (QP) Si on estime être sur l'autoroute et que la voiture roule à la vitesse limite de 130 km/h, la distance est d'environ 28 km.

Intérêt :

Il s'agit de résoudre une tâche complexe impliquant la formule  $v = d/t$  qui reste difficile pour les élèves de seconde.

Problème du quotidien, authentique mais pas compliqué, qui permet de valoriser l'élève au-delà d'une simple application de formule. Cela permet également un retour sur la notion de vitesse.

7. Le nombre de photons présents dans l'impulsion laser initiale est  $N_i = \frac{0,3}{h \frac{c}{\lambda}} \simeq \frac{0,3 \cdot 532 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 10^8 \cdot 6,62 \cdot 10^{-34}} \simeq 8 \cdot 10^{17}$  photons.  
La divergence du faisceau est due à la diffraction.  $\theta \simeq \frac{\lambda}{d_1} \simeq \frac{532 \cdot 10^{-9}}{1,2 \cdot 10^{-2}} \simeq 4,4 \cdot 10^{-5}$  rad  $\simeq 9''$ .

Reste à diviser par 5 ce résultat et à ajouter 1 à 2 secondes d'arc de divergence due à la turbulence : soit une divergence totale de  $\theta' \simeq 3''$ . ( $4''$  est aussi acceptable.)

Le diamètre du faisceau laser sur la Lune est donc  $d' \simeq \theta' \cdot D_{TL} = 1,46 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{2,56}{2} \cdot 3 \cdot 10^8 \simeq 5600$  m, ce qui représente une grosse "tâche" (7 km avec  $4''$ ).

Une fraction proportionnelle au rapport de cette surface avec la surface des réflecteurs lunaires retourne vers la Terre, soit un nombre de photons retournés  $N_r = N_i \cdot \frac{l_1^2}{d'^2} = 8 \cdot 10^{17} \cdot \left(\frac{0,1}{5660}\right)^2 = 2,5 \cdot 10^8$  photons.

Le réflecteur diffracte le faisceau  $\theta'' \simeq \frac{\lambda}{l_1} < \theta'$  soit une divergence du même ordre de grandeur que précédemment. Donc au retour la divergence du faisceau reste du même ordre de grandeur (l'effet de l'atmosphère ne se fait sentir qu'à la toute fin du trajet) donc une tâche sur Terre de diamètre aussi 5,6 km environ et finalement un nombre de photons captés  $N_c = N_r \cdot \frac{d_2^2}{d'^2} = 12$  photons.

L'expérience de l'OCA détecte en moyenne un seul photon de retour pour une centaine d'impulsions du laser émises en 10 s.

## 8. (QP)

Compétences	Indicateurs de réussite.
Analyser	Utilisation $E = h\nu$ pour le photon. Utilisation $\theta = \frac{\lambda}{a}$ hypothèse de validité au niveau Terminale S. Effet de divergence. Considération nouvelle source sur la Lune.
Réaliser	Évaluation diamètre faisceau au niveau de la Lune. Détermination 1 seconde d'arc en radian. Évaluation puissance arrivant au niveau de la Lune. Évaluation puissance réémise au niveau de la Lune. Évaluation diamètre faisceau au niveau de la Terre au retour. Évaluation nombre de photons reçues dans télescope.
Valider	Comparaison divergence atmosphère, divergence due à la propagation. Comparaison du nombre de photons obtenus, nombre de photons émis. Conclusion sur le caractère optimiste de ce calcul : Pas d'absorption pour l'atmosphère ; Rendement de détection = 1.
Communiquer	Calcul expliqué en amont (pas de formule sans explication). Qualité de rédaction (phrase complète, orthographe et grammaire correcte). Soin général (propreté, travail aéré, résultats encadrés).
S'approprier	Extraction d'information. Schéma. Discussion divergence retour.

9. La distance Terre-Lune varie certes très lentement (éloignement de 2 cm par an à cause des pertes liées aux forces de marée) mais ce n'est pas visible sur une nuit.

La distance Terre Lune varie, d'une part, du fait de la trajectoire elliptique de la Lune autour

---

de la Terre en 28 jours mais cela n'est pas observable sur la durée d'enregistrement.

La distance Observatoire-Réfecteur varie car la Terre tourne sur elle-même en 24 h. Cela est visible sur les mesures d'une nuit.

10. La hauteur  $H$  de l'atmosphère est d'une centaine de kilomètre.  
Soit un déphasage temporel de l'ordre de  $\frac{2(n-1)H}{c} \simeq 10^{-7}$  s détectable compte tenu du nombre de chiffre significatif.
11. **(QP)** La différence de marche entre les deux rayons dessinés vaut  $\delta = \frac{a}{2}\theta$ .  
Or pour donner une interférence destructive  $\delta = \frac{\lambda}{2}$ .  
D'où finalement  $\theta = \frac{\lambda}{a}$ .  
Reste à généraliser : comme toutes les "paires" de rayons séparés de  $\frac{a}{2}$  au niveau de la fente donnent au point M de l'écran très éloigné (condition de Fraunhofer) des interférences destructives, alors il n'y a aucune lumière en M, c'est le bord de la tâche centrale de diffraction. Ainsi, comme le voyait Huygens, la diffraction est liée aux interférences entre les ondes "réémises" par la fente.

### 1.3 La gravité

12. Les découvertes d'Isaac Newton se situent vers 1680. Dans l'article intitulé De motu corporum in gyrum du traité Philosophiae naturalis principia mathematica publié en 1687 sous l'impulsion de Edmond Halley par la Royal Society, la loi et ses conséquences, évoquées aux questions suivantes, sont clairement énoncées.
13. La loi de gravitation a permis d'unifier les théories de la chute des corps étudiée par Galilée et du mouvement des planètes et des astres étudiés par Johannes Kepler. Ainsi la théorie de Newton gagna le qualificatif d'"universelle" puisqu'une seule loi expliquait à la fois les mouvements sur terre mais aussi dans le ciel.
14. À ce jour, quatre interactions fondamentales suffisent à décrire le monde :
  - l'interaction gravitationnelle s'exerce sur tous les objets massiques même à grande distance ;
  - l'interaction électromagnétique s'exerce sur les objets chargés même à grande distance ;
  - l'interaction forte, qui lie les éléments du noyau entre eux, est une interaction à très courte portée et elle s'atténue très vite, sur une distance de l'ordre de  $10^{-15}$  m, (interaction entre quarks) ;
  - l'interaction faible, responsable de la radioactivité, est une interaction à très courte portée et elle s'atténue très vite, sur une distance de l'ordre de  $10^{-15}$  m.
15. Seules les interactions électromagnétiques et gravitationnelles sont des interactions à longues distances. Mais la matière est électriquement neutre donc la force gravitationnelle, bien que



---

très faible, est la seule sensible sur les grandes échelles de l'Univers.

16. La gravité est aujourd'hui comprise comme une déformation de la géométrie de l'espace-temps à 4 dimensions dans la théorie de la relativité générale formulée par Albert Einstein en 1915.
17. Les interactions forte, faible et électromagnétique sont aujourd'hui unifiées dans une seule et même théorie, le modèle standard (SM). Elles sont toutes comprises comme une seule et même interaction grâce à la mécanique quantique. La gravité, elle, pose problème du fait même de sa formulation en terme géométrique.  
La M-theory de Ed. Witten ou les boucles quantiques de gravitation offrent des pistes pour cette ultime unification.

## 2 Une des découvertes majeures de Voyager : les glaces d'Europe.

### 2.1 L'observation d'Europe au cours du temps.

18. L'oeil emmétrope ou normal voit nettement entre le Punctum Remotum situé à l'infini et le Punctum Proximum situé à 25 cm (environ) en avant de l'oeil.  
La résolution angulaire de l'oeil (liée à la taille des cellules de la rétine) est de l'ordre de 1' soit  $\alpha_{min} = 3.10^{-4}$  rad.
19. La lunette de Galilée est afocale, donc l'image d'un objet à l'infini donne par la lunette une image à l'infini.  
$$A = \infty \xrightarrow{\text{lunette}} A' = \infty.$$
En détaillant cette relation pour chacune des lentilles de la lunette :  
$$A = \infty \xrightarrow{L_1} A_1 = F'_1 = F_2 \xrightarrow{L_2} A' = \infty$$
Le foyer objet de la seconde lentille doit être confondu avec le foyer image de la première lentille.  
Donc  $f'_2 = -(980 - 932) = -48$  mm, valeur proche de 47,5 mm annoncée dans le texte.
20. Ici, les diaphragmes servent essentiellement à respecter les conditions de Gauss, i.e. à ne conserver que des rayons paraxiaux.  
Ils peuvent aussi améliorer la profondeur de champ.
21.  $G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{A_1 B_1}{f'_1} \cdot \frac{|f'_2|}{A_1 B_1} = \frac{|f'_2|}{f'_1} = \frac{980}{275} \simeq 20,6$  valeur proche du grossissement de 21 annoncé dans le texte.

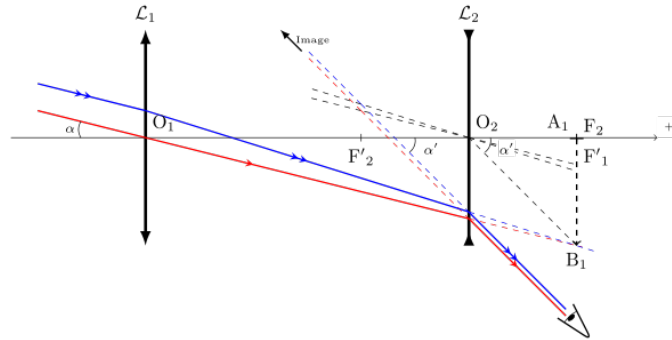


FIGURE 2 – Lunette de Galilée.

22. Vu depuis la Terre, la taille angulaire d'Europe est  $\alpha_0 \simeq \frac{2.R_E}{D_{TJ}} \simeq 4.10^{-6}$  rad.  
 À travers la lunette, la taille d'Europe est donc  $\alpha' \simeq 21.4.10^{-6} \simeq 8,4.10^{-5}$  rad.  
 $\alpha' < \alpha_{min}$  donc Galilée voyait Europe comme un objet ponctuel.
23. **(QP)** Il faut expliquer à l'élève que le mouvement perçu est dû à la rotation de la Terre sur elle-même, ce qui donne l'impression que l'étoile bouge.  
 Une étoile équatoriale donne l'impression de tourner de  $360^\circ = 21600'$  en  $24 h = 86400 s$ , soit  $4,10.10^{-3}$  degré par seconde de temps ou 0,25 minute d'arc par seconde de temps.  
 D'où le résultat.  
 Remarque : Le site a changé d'adresse <http://www.astro-gresivaudan.fr/> et plus aucune trace de ce post.
24. Un titre en gros caractère est écrit avec des lettres dont la taille est de l'ordre de 5 cm, soit une résolution angulaire  $\alpha_{min \text{ Voyager}} \simeq \frac{5.10^{-2}}{10^3} \simeq 5.10^{-5}$  rad.  
 Avec la lunette de Galilée, l'oeil a une résolution de  $\alpha_{min \text{ Galilee}} \simeq \frac{3.10^{-4}}{21} \simeq 1,4.10^{-5}$  rad, résolution du même ordre de grandeur ou légèrement meilleure que la caméra de Voyager (L'oeil est une merveille technologique).  
 Néanmoins Voyager s'est approché plus près d'Europe et a envoyé des clichés riches en information.
25. La résolution angulaire d'Hubble, capable de détecter des geysers d'eau de  $h \simeq 200$  km de haut vaut donc  $\alpha_{min \text{ Hubble}} \simeq \frac{h}{D_{TJ}} \simeq 2,8.10^{-7}$  rad, ce qui est la meilleure résolution.

## 2.2 Quelques caractéristiques de la trajectoire d'Europe.

26. Les distances minimale et maximale Jupiter Europe sont proches, de 664 800 km à 671 100 km, la variation relative est de l'ordre de 1%, la trajectoire d'Europe peut, en première approximation, être supposée circulaire autour de Jupiter avec rayon  $D_{JE} = \frac{664\,800 + 671\,100}{2} = 667\,950$  km.

L'application de la seconde loi de Newton (Principe Fondamental de la Dynamique) à Europe supposée ponctuelle dans le référentiel Jupiterocentrique supposé galiléen donne :

$$M_E \cdot \vec{a}_E = -G \frac{M_E \cdot M_J}{D_{JE}^2} \vec{u}_r.$$

La projection sur  $\vec{u}_\theta$  permet de retrouver que la rotation est uniforme.

La projection sur  $\vec{u}_r$  conduit à  $v_0 = \sqrt{\frac{G \cdot M_J}{D_{JE}}} \simeq 1,38 \cdot 10^4 \text{ m.s}^{-1}$

Cette application numérique peut être confirmée par  $v_0 = \frac{2\pi D_{JE}}{\tau'_J} = 1,37 \cdot 10^4 \text{ m.s}^{-1}$

27.  $E_m = E_C + E_P = \frac{1}{2} m v_0^2 - G \frac{M_E \cdot M_J}{D_{JE}} = -G \frac{M_E \cdot M_J}{2 \cdot D_{JE}} = -E_C = \frac{E_P}{2}.$

Ce résultat peut être généralisé par le théorème du Viriel.

28. Les durées du jour et de l'année d'Europe sont identiques. Europe présente donc toujours la même face à Jupiter, comme la Lune présente toujours la même face à la Terre. Ceci est dû aux effets des forces de marée.

29. La trajectoire elliptique est un état lié, ce qui correspond à une énergie mécanique négative.  $E_m < 0.$

30. Cf. figure 3

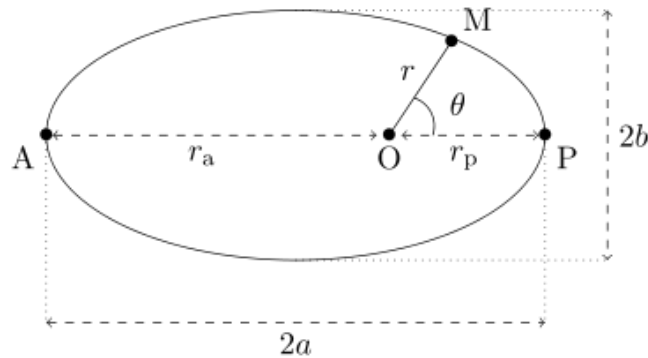


FIGURE 3 – Trajectoire elliptique. Jupiter est en O.

31.  $r_{min} = \frac{p}{1+e}$  et  $r_{max} = \frac{p}{1-e}$

32.  $r_{min} = D_{JE \ min}$  et  $r_{max} = D_{JE \ max}$   
D'où  $e \simeq 4,67 \cdot 10^{-3}$  (valeur petite devant 1) et  $p \simeq 668 \ 000 \text{ km}.$

33. Hypothèse d'une répartition de masse à symétrie sphérique dans Europe.

Première résolution : par analogie avec l'électrostatique, étude des symétries sphériques et invariances puis application du théorème de Gauss,

---


$$\vec{g}(M) = -G \frac{M_E}{R_E^2} \vec{u}_r.$$

Seconde résolution :

L'objet à symétrie sphérique crée, d'après le théorème de Gauss, un champ de gravitation analogue à un objet ponctuel au centre de gravité de l'objet et dont la masse est la masse totale de l'objet.

## 2.3 Étude de l'eau sur Europe.

34. La frontière "eau solide / eau liquide" a une pente négative, ce qui est très rare. Ceci est lié au fait que la glace flotte sur l'eau liquide, ce qui est là aussi très rare. En général, le solide coule dans son liquide. (La formule de Clapeyron fait le lien entre les deux remarques.)
35. Une pression minimale de  $6,15 \cdot 10^{-3}$  bar est nécessaire pour avoir de l'eau liquide.
36. La pression à la surface d'Europe est de  $10^{-6}$  Pa, l'eau liquide ne saurait être stable à la surface d'Europe. L'eau liquide se vaporise donc (d'où les Geysers observés par Hubble).  
Et compte tenu de la température de 100 K, l'eau est sous forme glace.  
Néanmoins, sous l'épaisse couche de glace, la pression est plus forte et l'eau liquide peut exister.
37. En régime stationnaire, on peut utiliser la notion de résistance thermique, qui de manière approchée s'écrit :  $R \simeq \frac{1}{\lambda} \frac{e}{4\pi R_E^2}$  (ici la géométrie sphérique n'est pas prise en compte car  $e \ll R_E$ ).  
En prenant  $e \simeq 10$  km, la puissance thermique est  $\Phi_T = P_T = \frac{T_{eau\ liq} - T_{atm}}{R} \simeq 5 \cdot 10^{11}$  W.  
N.B : Il n'est pas nécessaire de faire explicitement référence à la résistance thermique.  
En revenant à la définition du flux et la loi de Fourier :  $\Phi_T = \iint_{sphere} \vec{j} \cdot d\vec{S} \simeq \lambda \frac{T_{eau\ liq} - T_{atm}}{e} \cdot 4\pi R_E^2$
38.  $P_{nucl\ Europe} = P_{nucl\ Terre} \cdot \frac{M_E}{M_T} \simeq 44 \cdot 10^{12} \cdot \frac{5 \cdot 10^{22}}{6 \cdot 10^{24}} \simeq 4 \cdot 10^{11}$  W, ce qui est globalement le même ordre de grandeur. Il n'est donc pas possible de conclure dans cette situation et d'exclure la possibilité d'un coeur radioactif.  
Remarque : le calcul présenté ici surestime cette puissance. L'étude plus complète de la masse volumique de l'astre montre que si la planète possédait un coeur radioactif, ce qui n'est pas sûr, alors celui-ci produirait une puissance de l'ordre de  $10^8$  à  $10^9$  W, ce qui a amené les scientifiques à chercher d'autres hypothèses pour l'apport d'énergie.
39. La force de marée est une force différentielle, liée au caractère non galiléen du référentiel Europo-centrique, en translation quasi circulaire dans le référentiel Jupitero-centrique. Elle trouve son origine dans la différence entre l'attraction de Jupiter entre un point à la surface d'Europe et l'attraction au centre de gravité d'Europe (qui apparaît via la force d'inertie d'entraînement). L'égalité du jour et de l'année sur Europe est une manifestation de l'importance de l'effet de marée (la planète est très proche de Jupiter, son attracteur).

40. Il faudrait envisager un bilan radiatif de l'astre :

$$P'_T = \sigma T_{atm}^4 \cdot 4\pi R_E^2 \simeq 10^{14} \text{ W puissance rayonnée (corps noir) de la planète.}$$

mais il faudrait aussi estimer la puissance du Soleil (directement et par réflexion sur Jupiter).

Il faudrait donc connaître l'albedo de la planète Jupiter et d'Europe.

## 3 Le chemin de Voyager vers les confins de notre système solaire.

### 3.1 Lanceur et mouvement à force centrale.

41.  $\vec{F}_{P \rightarrow A} = -\frac{GmM}{PA^2} \vec{u}_{P \rightarrow A}$  avec un schéma.

La force est dite centrale car elle passe par un point A fixe dans le référentiel planétocentrique, lié au centre de la planète, supposé galiléen.

42. La force dérive d'une énergie potentielle. Cela se traduit par :

$$\vec{F}_{P \rightarrow A} = -\overrightarrow{\text{grad}}(E_p) \text{ avec } E_p(r) = -\frac{GmM}{r} \text{ avec une constante nulle, vu le choix de la référence.}$$

La démonstration en repassant par la définition de l'énergie potentielle est parfaitement équivalente et tout aussi recevable :

$$\text{par définition } dE_p = -\delta W$$

$$\text{or } \delta W = \vec{F}_{P \rightarrow A} \cdot d\vec{l} = -\frac{GmM}{r^2} \cdot dr$$

43. Le théorème du moment cinétique appliqué au point A fixe dans le référentiel galiléen conduit à la conservation du moment cinétique  $\vec{L}_P(A)$  : le moment d'une force centrale est nulle.

$$\vec{L}_P(A) \neq \vec{0}, \text{ d'après les conditions initiales.}$$

Il est donc possible de déterminer une direction constante, que l'on choisit d'appeler  $\vec{u}_z$ , la direction du vecteur moment cinétique non nul.

Dès lors, le vecteur position et le vecteur vitesse doivent être orthogonaux à  $\vec{u}_z$  à tout instant, ce qui correspond à un mouvement plan (étudié dans la suite en coordonnées polaires.)

44.  $\vec{P}\vec{A} = r \cdot \vec{u}_r$

$$\vec{v}(A) = \dot{r} \cdot \vec{u}_r + r \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{u}_\theta$$

Il reste à exploiter le fait que la norme du vecteur moment cinétique est constante.

$$\|L_P(\vec{A})\| = m \cdot r^2 \dot{\theta} = m \cdot C$$

$$C = \frac{L_P(A)(t=0)}{m}$$

45. Le système ne possède alors qu'un seul degré de liberté cinématique et il n'est soumis qu'à une force conservative. L'étude énergétique est donc toute indiquée.

$$E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 + \frac{1}{2}mr^2\dot{\theta}^2 - \frac{GmM}{r}$$

$$E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 + \frac{1}{2}m\frac{C^2}{r^2} - \frac{GmM}{r}$$

Comme  $\frac{1}{2}m\dot{r}^2 > 0$ , alors  $E_m > E_p_{eff}(r)$  ce qui s'interprète graphiquement.

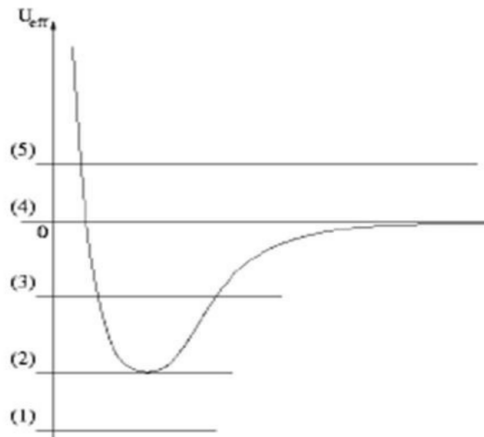


FIGURE 4 – Energie potentielle effective représentée en fonction de  $r$ .

46. Sur un graphique présenté figure 4 de  $E_{p_{eff}}(r)$ , il est possible, sans résoudre complètement le problème, de discuter les divers types de trajectoires possibles en fonction de la valeur de l'énergie mécanique initiale.
- (1) impossible.
  - (2) trajectoire circulaire.
  - (3) trajectoire elliptique.
  - (4) trajectoire parabolique.
  - (5) trajectoire hyperbolique.

Etat lié si  $E_m < 0$  cas (2) et (3), car l'objet ne peut s'éloigner de son attracteur,  $r \in [r_{min}, r_{max}]$ .  
 Etat de diffusion si  $E_m \geq 0$  cas (4) et (5) car l'objet peut s'éloigner indéfiniment de son attracteur et donc lui échapper,  $r \in [r_{min}, \infty[$ .

### 3.2 L'assistance gravitationnelle.

47. La différence entre les deux schémas de la figure 5 illustre l'affirmation trouvée sur le site de l'ENS Lyon.
48. Il s'agit d'une question plus ouverte, puisque plusieurs grandeurs doivent être évaluées sans qu'aucune méthode ne soit suggérée.

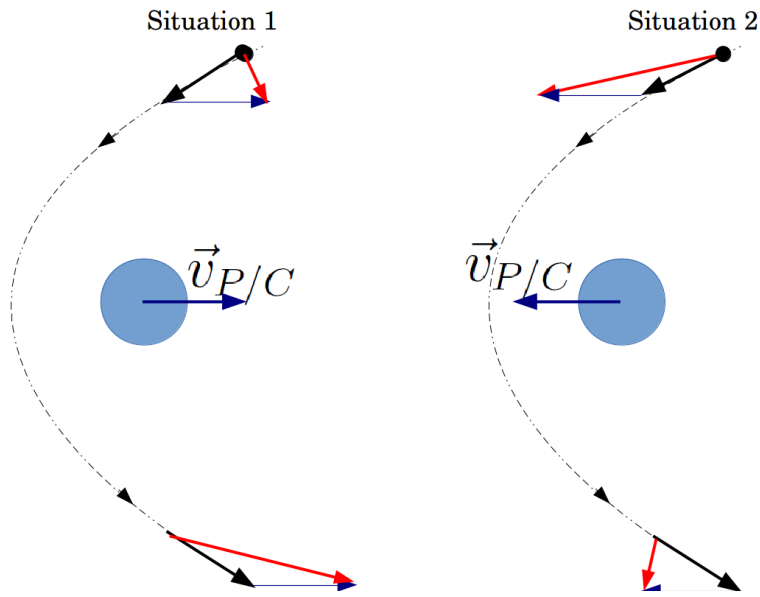


FIGURE 5 – Effet d’assistance gravitationnelle, deux situations différentes.  $\vec{v}_{P/C}$  désigne le vecteur vitesse de la planète dans le référentiel de Copernic.

Évaluons d’abord le gain en vitesse.

Lors de son passage proche de Jupiter, la sonde passe de 10 à 28  $\text{km.s}^{-1}$  soit un gain de 18  $\text{km.s}^{-1}$  par lecture sur la figure. Il reste à estimer la vitesse de Jupiter, il est possible de considérer sa trajectoire comme quasi circulaire de rayon  $D_{S,J}$  778 millions de km autour du Soleil, soit une vitesse  $v = \sqrt{\frac{G \cdot M_S}{D_{J,S}}} \simeq 1,3 \cdot 10^4 \text{m.s}^{-1} \simeq 13 \text{km.s}^{-1}$

49. La sonde Voyager avait été envoyée avec une vitesse inférieure à la vitesse de libération du système Solaire. Mais, en profitant de l’effet d’assistance gravitationnelle avec Jupiter, elle a pu atteindre une vitesse supérieure à la vitesse de libération du système solaire, condition *sine qua non* pour quitter le système solaire.

50. **(QP)** L’effet de fronde gravitationnelle, encore appelé assistance gravitationnelle, est utilisé pour pouvoir envoyer des sondes spatiales aux confins de notre système solaire. On se propose ici de mieux comprendre son principe par une analogie dans un cas unidimensionnel à savoir celui d’une balle de tennis envoyé vers un camion lancé à vive allure. Le camion joue le rôle de la planète, et la balle le rôle de la sonde. L’interaction gravitationnelle ressentie par la sonde dans la sphère d’influence de la planète est remplacée ici par le choc élastique de la balle sur le camion.

Un choc est dit élastique lorsqu’il n’y a pas de modification du nombre de corps ainsi que de leur état physique au cours du choc, sinon il est dit inélastique. Par exemple, le crash d’une sonde sur une planète est un choc inélastique. On comprend assez bien que si on veut modéliser l’interaction de la planète avec une sonde qui ne s’écrase pas à sa surface, le choc élastique est le plus approprié.

---

Le référentiel de l'observateur est l'analogue du référentiel héliocentrique et le référentiel lié au camion est le référentiel planétocentrique.

Par composition des vitesses, dans le référentiel du camion, la vitesse incidente selon  $\vec{u}_x$  (direction de la vitesse du camion) est  $-5m.s^{-1} - 20m.s^{-1} = -25m.s^{-1}$ .

En appliquant alors la conservation de la quantité de mouvement, valable pour un système isolé, et la conservation de l'énergie cinétique valable uniquement pour un choc élastique dans le référentiel lié à au camion, (référentiel planétocentrique), le choc élastique se traduit par une conservation de norme de la vitesse (conservation de l'énergie cinétique) et une inversion de la direction de la vitesse (conservation de la quantité de mouvement), donc une vitesse après le choc de  $+25m.s^{-1}$ .

Dans le référentiel de la route, la balle a donc une vitesse  $+25m.s^{-1} + 20m.s^{-1} = 45m.s^{-1}$ , soit un gain de vitesse de  $40m.s^{-1}$ .

(L'énergie gagnée par la balle est prélevée au camion mais cela ne se ressent pas sur le camion vue la masse du camion par rapport à celle de la balle, la vitesse de celui-ci change si peu à cause du choc qu'on peut considérer qu'elle est constante. Le professeur peut faire calculer le gain en énergie cinétique de la balle et le comparer avec l'énergie cinétique du camion pour se convaincre.)

Autrement dit, la sonde, quand elle passe au voisinage de la planète ressent l'action gravitationnelle de la planète de même que la balle qui percute le camion. La planète, beaucoup plus lourde que la sonde comme le camion est plus lourd que la balle, communique à la sonde de l'énergie si la concavité est dans le sens étudié question 47.

51. L'effet Doppler Fizeau est l'analogie de l'effet Doppler des ondes sonores, pour les ondes électromagnétiques.

À l'ordre le plus bas non nul, l'effet Doppler Fizeau est identique à l'effet Doppler.

Donc pour un trajet de l'onde et dans la limite d'un déplacement radial de vitesse  $v_r \ll c$ ,  
$$\left| \frac{\Delta f}{f_E} \right| \simeq \frac{v_r}{c}.$$

La fréquence de l'onde électromagnétique reçue de Voyager sur Terre varie donc dans les mêmes proportions que la vitesse radiale de Voyager.

Mais comme la trajectoire de Voyager est connue, il est possible de remonter à la vitesse exacte à partir de la vitesse radiale.

52. **(QP)** L'effet Doppler consiste en une modification de la fréquence reçue d'un signal dès lors qu'une source et un observateur sont en mouvement relatif.

Le cas représenté sur la figure du sujet schématise le cas du mouvement de la source seule, à savoir l'onde émise par le camion (son moteur, son klaxon ou sa sirène...).



---

Inconvénient :

Si ce schéma utilise une représentation spatiale du phénomène dans un cas unidimensionnel, il est surtout **à construire** avec les élèves.

Il faut aussi comparer avec le cas où source et récepteur sont immobiles ou source mobile et récepteur mobile afin de bien comprendre que :

- (a) l'explication dans le cas du récepteur mobile ou de la source mobile est différente,
- (b) seule compte la vitesse relative de la source par rapport au récepteur.

Autre remarque possible : On commence avec le cas de la source qui bouge mais est-ce le cas le plus simple ?

Le cas d'un bateau allant contre les vagues est peut-être plus parlant.

Avantages :

Le schéma permet une représentation plus visuelle, en représentant les fronts d'onde plutôt que des bips temporels.

Il est souhaitable de le construire avec les élèves. Cela permet une discussion du phénomène plus élaborée qu'un simple commentaire de formule.

Il est possible de reproduire cette figure avec la cuve à onde.

Cas de l'observateur (ou du récepteur) au repos placé devant le camion :  $\lambda'' = \lambda_0 - v_0.T = \lambda_0 - v_0 \cdot \frac{\lambda_0}{c}$ .

s'il est placé derrière le camion, alors  $\lambda' = \lambda_0 + v_0.T$ .

Ces relations permettent de trouver les formules de l'effet Doppler.

## 4 Communiquer avec Voyager.

### 4.1 Introduction à la propagation.

53. Des ondes électromagnétiques dites haute fréquence ou radios ou centimétriques ou hertziennes ou micro-ondes sont utilisées pour communiquer avec Voyager 2.

54. Cette valeur a été "fixée" en 1983 par le Bureau International des Poids et Mesures car les horloges atomiques permettent de définir la seconde avec une précision de  $10^{-9}$  s au moins. En fixant la vitesse de la lumière, il est alors possible de définir le mètre avec une précision égale.

Rappel des définitions officielles (BIPM)<sup>1</sup>

La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.

Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de

---

1. [http://www.bipm.org/fr/si/base\\_units/](http://www.bipm.org/fr/si/base_units/)

---

1/299 792 458 de seconde.

## 4.2 Perturbations des ondes électromagnétiques dans un plasma.

55. Maxwell a écrit les équations vers 1850.

James Clerk Maxwell donne une forme aboutie de ses équations en 1873 dans *A treatise on Electricity and Magnetism*, aux éditions Oxford at the Clarendon Press.<sup>2</sup> Néanmoins, leur formulation moderne telle qu'énoncée ci dessus est due à Heaviside.

Les travaux de Maxwell permettent d'unifier l'électricité, le magnétisme et la propagation des ondes. Ils permettent affirmer que les ondes radios, la lumière, (les rayons X et  $\gamma$  non encore connus) sont de même nature et ils établissent le lien entre optique géométrique et optique ondulatoire.

Les travaux de Maxwell sont donc une avancée majeure du XIXème siècle.

56. La partie de l'atmosphère qui se comporte comme un plasma est l'ionosphère.

57. Pour ioniser un atome d'hydrogène initialement dans l'état fondamental, il faut fournir une énergie de 13,6 eV, ce qui correspond à des rayonnements plus énergétiques que le visible, ils sont situés dans l'UV. Pour les molécules de  $O_2$  et de  $N_2$  de l'atmosphère, l'énergie d'ionisation correspond aussi des rayonnements dans l'UV (plus proche).

58. La force de Lorentz qui s'exerce sur la particule chargée en mouvement dans un champ électromagnétique extérieur est  $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B})$ .

59.  $\frac{|q\vec{v} \wedge \vec{B}|}{|q\vec{E}|} \simeq \frac{v}{c} \ll 1$  pour des particules non relativistes.

60. Le principe fondamental de la dynamique appliqué à une particule (dont on néglige le poids) dans le référentiel galiléen du laboratoire.

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{E}$$

Soit, en utilisant la notation complexe pour le régime sinusoïdal forcé dans cette équation linéaire :

$$\underline{\vec{v}} = \frac{q}{j\omega m} \underline{\vec{E}}$$

61.  $v_e = \frac{eE_0}{m_e 2\pi f}$  de même pour le proton  
donc  $\frac{v_p}{v_e} = \frac{m_e}{m_p} \ll 1$

62.  $\vec{j} = \frac{n_0 e^2}{j\omega m} \vec{E} = \underline{\sigma} \cdot \underline{\vec{E}}$

Il est alors possible de définir une conductivité complexe imaginaire pure par analogie avec la

---

2. Disponible sur le site de BNF : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k95176j>

loi d'Ohm locale.

63. Les 4 équations de Maxwell deviennent ici :

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} = 0 \text{ car le milieu est électriquement neutre.}$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0$$

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot}(\operatorname{rot} \vec{E}) = \operatorname{grad}(\operatorname{div} \vec{E}) - \Delta \vec{E} = -\Delta \vec{E}$$

$$\text{Or, } \operatorname{rot}(\operatorname{rot} \vec{E}) = \operatorname{rot}\left(-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right) = -\frac{\partial}{\partial t}(\operatorname{rot} \vec{B}) = -\frac{\partial}{\partial t}(\mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t})$$

$$\text{D'où } \Delta \vec{E} - \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \frac{n_0 e^2}{j \omega m_e} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \vec{0} \text{ avec } c_0^2 = \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}$$

Il était possible d'introduire avant la notation complexe.

64. En injectant l'expression de l'onde proposée dans l'équation précédente, on obtient :

$$(-k^2 + \frac{\omega^2}{c_0^2} - \frac{n_0 e^2}{m_e}) \cdot \underline{E}_y = 0$$

Or  $\underline{E}_y \neq 0$ , donc la relation de dispersion est la suivante :  $k^2 = \frac{\omega^2 - \omega_P^2}{c_0^2}$  avec  $\omega_P^2 = \frac{n_0 e^2}{m_e \epsilon_0}$

65. Pour  $\omega < \omega_P$ ,  $k^2 < 0$ , donc  $k$  est un imaginaire pur.

L'onde ne se propage pas, son amplitude s'atténue exponentiellement.

66. Pour  $\omega > \omega_P$ ,  $k^2 > 0$ , donc  $k$  est un réel (sans partie imaginaire donc).

L'onde se propage sans atténuation.

$$v_\varphi = \frac{\omega}{k} = c_0 \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 - \omega_P^2}} = c_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\omega_P^2}{\omega^2}}} > c_0 \text{ La vitesse de phase est supérieure à la vitesse de la}$$

lumière.

Pour calculer la vitesse de groupe, il faut différencier la relation de dispersion.

$$\text{Il vient alors } 2k dk = \frac{2\omega d\omega}{c_0^2}$$

$v_g = \frac{d\omega}{dk} = \frac{c_0^2}{v_\varphi} = c_0 \frac{\sqrt{\omega^2 - \omega_P^2}}{\omega} = c_0 \sqrt{1 - \frac{\omega_P^2}{\omega^2}} < c_0$  La vitesse de groupe est inférieure à la vitesse de la lumière. Or dans le cas général (mais il existe des contre exemples) c'est la vitesse de propagation de l'énergie, elle est donc inférieure à  $c_0$ .

67.  $f_P = \frac{\omega_P}{2\pi} = 2,84.10^6 \text{ Hz} \ll 2113,312500 \text{ MHz}$

L'onde électromagnétique incidente se propage sans atténuation dans l'ionosphère mais il y a une dispersion du signal, qui reste faible car à aussi haute fréquence, les électrons de l'ionosphère, du fait de leur inertie, ne bougent quasiment plus, et l'ionosphère est alors équivalente à du vide.

$$v_\varphi \simeq v_g \simeq c_0.$$

L'effet Doppler est négligé ici puisque l'on a pris la fréquence émise et non la fréquence reçue sur Terre. Cela ne change pas la conclusion.

## Eléments de correction pour l'épreuve de chimie AIPC 2016

### I. Les éléments chimiques

Q1. On peut citer :

Matériau	Exemple d'utilisation pour le moulin	Eléments chimiques
Bois	Charpente, ailes	C
Acier, fonte	Engrenages	Fe, C
Pierre calcaire	Bâtiment	Ca, C
Mortier	Liant	Ca
Ardoise	Toiture	C

QP2.

#### ÉLÉMENTS DE CORRECTION

Niveau	Item n°1 Connaissances Notions et contenus	Item n°2 Commentaires au regard de l'objectif
Introduction des programmes de PC, SVT et de technologie.	« ... ce sont les combinaisons d'un nombre limité d'« espèces atomiques » (éléments chimiques) qui engendrent le nombre considérable d'espèces chimiques présentes dans notre environnement ... ».	La notion d'élément chimique est introduite par l'entrée de l'atome et de sa description.
4 <sup>ème</sup>	Lors des combustions, la disparition de tout ou partie des réactifs et la formation de produits correspondent à <b>un réarrangement d'atomes</b> au sein de nouvelles molécules.	
3 <sup>ème</sup>	<b>La conduction du courant électrique</b> dans les solutions aqueuses s'interprète par un déplacement d'ions. <b>Constituants de l'atome</b> : noyau et électrons. Structure lacunaire de la matière. Les atomes et les molécules sont électriquement neutres ; l'électron et les ions sont chargés électriquement.	La définition des ions doit permettre ensuite de décrire la constitution d'un atome sans exiger la description du noyau.
Collège		Les élèves doivent connaître la notion d'atome et « d'ions associés ».
Seconde	<b>Éléments chimiques.</b> Isotopes, ions monoatomiques. Caractérisation de l'élément par son numéro atomique et son symbole	Cette notion peut être abordée de manière spiralaire dans le thème « La santé » et/ou dans le thème « L'Univers »
	<b>Classification périodique des éléments.</b>	Cette notion peut être abordée de manière

	Démarche de Mendeleïev pour établir sa classification. Critères actuels de la classification : numéro atomique et nombre d'électrons de la couche externe. <b>Familles chimiques</b>	spiralaire dans le thème « La santé » et/ou dans le thème « L'Univers ». Les règles de stabilité – duet et octet – sont abordées pour justifier (dans les cas simples) la formation des ions.
Première S	Cohésion du noyau, stabilité. Radioactivité naturelle et artificielle. Activité.	On insiste sur la représentation symbolique sans distinguer nettement la notion d'élément de celle d'atome.
	Molécules organiques colorées : structures moléculaires, molécules à liaisons conjuguées  Liaison covalente. Formules de Lewis ; géométrie des molécules. Rôle des doublets non liants	Le terme est rapidement employé lors de la description d'une compétence : « Savoir que les molécules de la chimie organique sont constituées principalement des éléments C et H » qui peut se transformer en « les molécules de la chimie organique sont constituées principalement de C et de H », surtout que l'objectif est de relier <b>structure et couleur</b> .  Le modèle atomique est donc complété sans que <b>l'on insiste réellement</b> sur la notion d'élément.
Terminale S	Aspect microscopique : - Liaison polarisée, site donneur et site accepteur de doublet d'électrons.	On aurait pu à l'occasion de l'utilisation <b>de tables d'électronégativité</b> revenir sur la notion d'élément, mais l'objectif est de repérer le site donneur et le site accepteur et de représenter correctement les flèches courbes.

### Item n°3 : analyse finale ou conclusion :

- Au collège on peut préparer à la notion d'élément par le travail sur les atomes et les ions monoatomiques associés ; subsiste dans tout le parcours de l'élève le risque que la notion d'élément – réellement abordée à partir du niveau seconde – **ne soit assimilée à la notion d'atome**, faute d'amener les élèves à faire la distinction explicite.
- **le symbole reste toujours très associé à la la forme atomique**, sans doute faute d'utilisation d'un langage très précis.

Q3. On peut citer :

Métaux	Exemples
Ferreux	Fe, Mn, Ni, Cr
Non ferreux	Al, Cu, Pb, Zn, Sn, Mg
Précieux	Pt, Au, Ag, Pd, Rh
Stratégiques	In, Li, Ga, terres rares

Q4. Les métaux ferreux sont le fer et les métaux très présents dans les alliages du fer. Par exemple, le nickel et le chrome sont présents dans l'alliage nommé inox.

Les métaux non ferreux sont les métaux qui ne s'allient pas ou peu avec le fer.

Q5. Les utilisations citées, qui nécessitent des matériaux peu denses, suggèrent de calculer la masse volumique  $\mu$  de l'aluminium.

$$\mu = \text{Masse de la maille} / \text{Volume de la maille}$$

Pour cela calculons :

La population de la maille :  $p = 8 \cdot 1/8 + 6 \cdot 1/2 = 4$  atomes par maille.

L'arête de la maille avec la formule de la tangence sur la diagonale d'une face :  $a \cdot \sqrt{2} = 4 \cdot R_{Al}$

AN :  $a = 4 \times 143 / \sqrt{2} = 404 \text{ pm}$

Ainsi  $\mu = p \cdot M_{Al} / N_a \cdot a^3$  AN :  $\mu = 4 \cdot (27,0 \cdot 10^{-3}) / 6,02 \cdot 10^{23} \cdot (404 \cdot 10^{-12})^3$   
 $\mu = 2,72 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

La densité de l'aluminium, égale à  $d = 2,72$ , est faible pour un métal, très inférieure à celles proposées pour l'acier (7,85), le plomb (11,35) et même le titane (4,50) ce qui justifie bien son utilisation en aéronautique et dans l'emballage alimentaire.

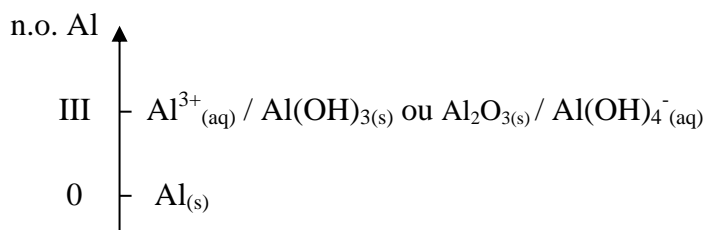
Q6. L'aluminium n'est pas un métal noble et pourtant il est très utilisé dans des applications dans lesquelles il est soumis à l'action de l'air et de l'eau : puisqu'il semble résister à la corrosion, on peut faire l'hypothèse d'une protection par passivation.

Remarque : on n'a pas d'information sur la cinétique électrochimique de l'oxydation de Al ; on ne conduira que des raisonnements thermodynamiques.

Il semble maintenant judicieux de compléter et d'exploiter le diagramme E-pH.

On remarque que le diagramme est construit pour une concentration totale  $C = 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , ce qui est faible et suggère bien une étude adaptée à la corrosion.

Pour affecter à chaque domaine une entité, calculons les nombres d'oxydation n.o. de l'aluminium dans chaque entité :



Ainsi, on peut conclure :

- Domaine 1:  $\text{Al}_{(s)}$
- Domaine 2:  $\text{Al}^{3+}_{(aq)}$
- Domaine 3:  $\text{Al(OH)}_{3(s)}$
- Domaine 4:  $\text{Al(OH)}_{4^{-}(aq)}$

Puis superposons le diagramme de l'eau :

Pour  $H^+_{(aq)}/H_{2(g)}$   $E(V) = -0,06 \text{ pH}$   
 Pour  $O_{2(g)}/H_2O_{(liq)}$   $E(V) = 1,23 - 0,06 \text{ pH}$

Comme les échelles ne sont pas renseignées, nous devons établir totalement ou partiellement les équations de quelques frontières :

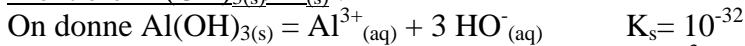
Frontière  $Al^{3+}_{(aq)}/Al_{(s)}$  :

$$E(V) = E^\circ_{Al^{3+}/Al} + (RT/nF) \cdot \ln [Al^{3+}] / C^\circ \quad \text{avec } [Al^{3+}] = C$$

$$AN : E(V) = -1,68 + 0,06/3 \cdot \log (1,0 \cdot 10^{-4})$$

$$\underline{E = -1,76 \text{ V}}$$

Frontière  $Al(OH)_{3(s)}/Al_{(s)}$  :



On reprend la formule de Nernst précédente avec  $[Al^{3+}] = K_s \cdot C^{o4} / [HO^-]^3 = K_s \cdot h^3 / K_e^3 \cdot C^{o2}$

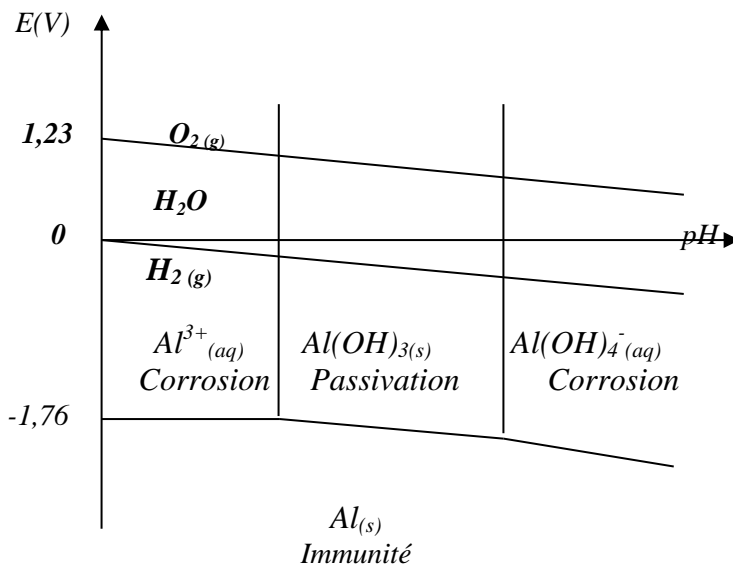
$$D'où : E(V) = E^\circ_{Al^{3+}/Al} + (RT/nF) \cdot \ln (K_s \cdot h^3 / K_e^3 \cdot C^{o3})$$

$$AN : E(V) = -1,68 - 0,06/3 \cdot 32 + 0,06/3 \cdot 3 \cdot 14 - 0,06 \text{ pH}$$

$$\underline{E(V) = -1,48 - 0,06 \text{ pH}}$$

Remarque : Si le calcul de la frontière  $Al^{3+}_{(aq)}/Al_{(s)}$  est réalisé, l'échelle verticale est alors évaluée, seule la pente de la frontière  $Al(OH)_{3(s)}/Al_{(s)}$  (égale à  $-0,06 \text{ V}$ ) sera utile : on peut rapidement la déterminer par l'écriture de la demi-équation d'oxydoréduction de ce couple. Néanmoins, si ce calcul n'a pas été réalisé, l'équation complète de cette deuxième frontière est nécessaire pour évaluer à la fois l'échelle verticale et la pente de valeur  $-0,06 \text{ V}$ .

Avec l'ordonnée de la première frontière et la pente de la deuxième, ou la frontière complète de la deuxième, on peut maintenant tracer les deux frontières des couples de l'eau :



**Figure 3 :** allure du diagramme potentiel-pH de l'aluminium à 298 K pour une concentration totale en espèces dissoutes  $C = 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$  et  $P_{(gaz)} = 1 \text{ bar}$ .

Le diagramme révèle que l'aluminium n'est pas stable thermodynamiquement en présence d'eau et de dioxygène (domaines disjoints de celui de l'aluminium solide) mais on observe un domaine de passivation, celui de l'hydroxyde d'aluminium, pour lequel il reste à trouver les valeurs des frontières

verticales afin de valider que les conditions de pH d'utilisation de l'aluminium dans les applications citées correspondent au domaine de passivation.

Frontière  $Al^{3+}_{(aq)} / Al(OH)_{3(s)}$  :

On s'intéresse à la réaction d'équation :  $Al(OH)_{3(s)} = Al^{3+}_{(aq)} + 3 HO^{-}_{(aq)}$   $K_s = 10^{-32}$

On se place à la limite de précipitation :  $K_s = [Al^{3+}] \cdot [HO^{-}]^3 / C^{o4}$

$$= C \cdot (K_e / h)^3 \cdot C^{o2}$$

D'où  $h^3 = C \cdot K_e^3 \cdot C^{o2} / K_s$

Enfin  $\boxed{pH = pK_e + 1/3 (pC - pK_s)}$

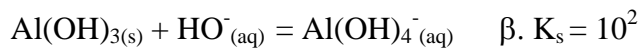
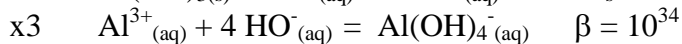
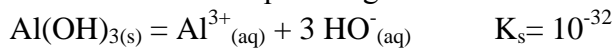
AN :  $pH = 14 + 1/3(4,0 - 32)$

$pH = 4,7$

Frontière  $Al(OH)_{3(s)} / Al(OH)_{4^{-}(aq)}$  :

On s'intéresse à la réaction d'équation :  $Al(OH)_{3(s)} + HO^{-}_{(aq)} = Al(OH)_{4^{-}(aq)}$

On calcule sa constante d'équilibre grâce à la combinaison linéaire suivante :



On se place à la limite de fin de précipitation :  $\beta \cdot K_s = [Al(OH)_{4^{-}}] / [HO^{-}]$

$$= C \cdot h / K_e \cdot C^{o2}$$

D'où  $h = \beta \cdot K_s \cdot K_e / C$

Enfin  $\boxed{pH = - \log \beta + K_s + K_e - pC}$

AN :  $pH = - 34 + 32 + 14 - 4,0$

$pH = 8,0$

On peut donc valider notre hypothèse : pour l'intervalle  $4,7 < pH < 8,0$  qui correspond aux conditions de pH des applications citées, l'aluminium est passivé.

Remarque : certaines boissons très acides nécessitent en revanche une protection supplémentaire ; l'aluminium est recouvert d'une fine couche protectrice.

Q7. Les additifs (fondants) permettent d'abaisser la température du mélange fondu (propriété de l'eutectique) tout en augmentant sa conductivité électrique (additifs ioniques).

Les additifs ne doivent pas apporter de nouvelles substances électro-actives dans les conditions de l'électrolyse : on remarque par exemple le choix des ions aluminium  $Al^{3+}$  déjà présents ou des ions fluorure  $F^{-}$  très peu réducteurs.

D'autre part, le mélange doit être peu dense ( $d < 2,7$ ) pour permettre la décantation de l'aluminium liquide à la cathode.

QP8.

## ÉLÉMENTS DE CORRECTION



<b>PREREQUIS</b>			
<b>APPROCHE DE L'ÉNERGIE CHIMIQUE : comment une pile électrochimique peut-elle être une source d'énergie ?</b>			
<b>LA PUISSANCE ÉLECTRIQUE : que signifie la valeur exprimée en watts (W), indiquée sur chaque appareil électrique ?</b>			
Étapes de la démarche	Rôle du professeur	Activités élèves Consignes	Réponse attendue
Le cadre	Rappelle les notions d'énergie électrique et de puissance nominale, exprimée en W.	Répondent aux questions Mobilisent leurs connaissances	Le fournisseur 'd'électricité' fournit de l'énergie électrique qui est transformée dans les appareils électriques que le consommateur utilise
Situation déclenchante Appropriation	Présente une facture d'électricité rendue anonyme. Suscite et régule les échanges pour dégager la question scientifique	Travail individuel et silencieux d'appropriation	Repérer la grandeur et l'unité utilisées par le fournisseur « d'électricité » pour établir la facture. Les noter sur le cahier de laboratoire
Analyse	Le professeur constitue des groupes de quatre élèves	Par groupes, les élèves échangent sur leur recherche individuelle.	L'énergie électrique est désignée par le terme consommation et l'unité est le kWh. La durée d'observation apparaît aussi. Le prix unitaire du kWh est indiqué pour établir la facture en €.
Réalisation	Suscite et régule les échanges entre les groupes pour dégager la question scientifique	Les groupes échangent pour dégager la question scientifique.	L'énergie électrique consommée est mesurée en kWh.
Investigation	Propose une nouvelle question aux ateliers de quatre élèves.	En utilisant le premier résultat établi, proposer un message de 50 mots donnant des conseils simples à ce particulier pour réduire sa consommation.  Travail en atelier	L'unité permet de déterminer deux critères pour agir sur la consommation : <ul style="list-style-type: none"> <li>• diminuer le temps d'utilisation des appareils</li> <li>• remplacer les appareils utilisés par d'autres de puissances nominales (les ampoules) plus petites.</li> </ul>
Validation Structuration des connaissances.	Demande à un des rapporteurs de faire partager la conclusion de son atelier.	Chaque élève prend note des deux critères que sont le temps et la puissance nominale.	
Ouverture	Indique et fait noter que l'unité légale de l'énergie est le joule.	Travail pour la prochaine fois : « Quel est l'intérêt d'utiliser sur les factures de 'consommation' d'électricité le kWh et non le Joule ? »	Cette unité permet au consommateur de repérer le lien de proportionnalité entre la puissance des appareils utilisés (puis le temps d'utilisation) et l'énergie consommée.

## II La pertinence du recyclage : les « mines urbaines »

QP9.

### ÉLÉMENTS DE CORRECTION

	Réponse élève	Commentaires Correction du professeur	A	B	C	D
	<p>Je dispose de deux plusieurs ressources :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Des informations sur le stock de cuivre disponible : 40 années de réserve ; production européenne annuelle et contribution correspondante à la production mondiale.</li> <li>La teneur du cérium dans l'écorce terrestre : 48 ppm.</li> <li>Des informations sur la croûte terrestre et l'exploitation minière</li> </ol> <p>Problème à résoudre : comparer la réserve disponible en cérium avec les stocks disponibles en cuivre.</p>	<p>Cette première partie est bien réalisée :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Le problème à traiter est bien identifié</li> <li>Les apports des documents sont bien identifiés</li> </ul>	<b>APPROPRIATION</b>			
	<p>Mon plan sera le suivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Partie A : masse en kg disponible en cuivre.</li> <li>Partie B : masse en kg disponible en cérium (en tenant compte de la partie de l'écorce terrestre exploitable).</li> <li>Partie C : conclusion.</li> </ul>	<p>Le plan de résolution est correct et va répondre à la question.</p> <p>Les informations sont plutôt bien prélevées.</p>	<b>X</b>			
			<b>ANALYSE</b>			
			<b>X</b>			
<b>A</b>	<p><b>Partie A : masse en kg disponible en cuivre.</b> Production annuelle mondiale de cuivre = 855316 / 0,053 = 16 138 038 tonnes Masse de cuivre disponible = 16 000 000 × 40 = 640 millions de tonnes</p>	<b>Correct</b>	<b>REALISATION</b>			
<b>B-1</b>	<p>Signification de ppm : partie pour un million en termes de rapport de masse. Donc 1 kg de l'écorce terrestre comporte 1 mg de Cérium</p>	<b>Correct</b>				
<b>B-2</b>	<p>Détermination de la masse de l'écorce de surface.</p> <p>a. D'après le document sur les mines de fer, l'ordre de grandeur de la profondeur d'extraction est de 100 m. Déterminons alors le volume de ces 100 premiers mètres de l'écorce terrestre en supposant la Terre comme une sphère de 6400 km de rayon :</p> $V = (4/3) \pi R^3 - (4/3) \pi r^3 \text{ avec } R = 6400 \text{ km et } r = 6399,9 \text{ km}$ <p>On arrive à <math>V = 51471050 \text{ m}^3</math></p> <p>b. En prenant la densité de l'écorce terrestre égale à 2,8, déterminons la masse de l'écorce terrestre accessible à l'exploitation de minerais :</p> $m = d \times V$	<p><b>Oubli de convertir en m : on a donc un facteur 1000 à la puissance trois donc un facteur <math>10^9</math></b></p> <p><b>Si le symbole d est mal choisi pour désigner la masse volumique, l'explicitation qui suit est correcte.</b></p>				

	<p>Nous avons donc 2,8 kg pour 1L et donc 2800 kg pour 1 m<sup>3</sup></p> <p>Donc <math>m = 51 \times 10^6 \times 2800 = 142\,800 \times 10^6 \text{ kg}</math></p> <p>c. Or la masse de cérium est de 48 ppm, donc</p> <p><math>m = 142\,800 \times 10^6 \times 48 \times 10^{-6} = 6\,854\,400 \text{ kg}</math></p>	<p><b>On arrive à :</b></p> <p><math>m = 143 \times 10^{18} \text{ kg}</math></p> <p><math>m = 6,8 \times 10^{15} \text{ kg}</math></p> <p>De plus, l'élève n'utilise pas un nombre de chiffres significatifs cohérents avec les données et l'objectif.</p>				
<b>B-3</b>	<p>Or entre 0,01% et 0,001% des métaux peuvent être extraits des sols :</p> <p><math>m = 6\,854\,400 \times 0,001 \times 10^{-2} = 68,5 \text{ kg}</math> de Cérium</p>	<p><b>En tenant compte des deux valeurs, en kg :</b></p> <p><math>68 \times 10^{10} &gt; m &gt; 6,6 \times 10^{10}</math> (Toujours le facteur 10<sup>9</sup>)</p>				X
<b>C</b>	<p><b>Partie C : conclusion.</b></p> <p>La masse de cuivre est très supérieure à la masse de Cérium disponible : le Cérium est donc une terre rare. Néanmoins, la masse déterminée – 69 kg – semble ridicule. J'ai dû faire une erreur d'unités dans une des applications numériques, en particulier lorsque les valeurs sont en puissance 3.</p>	<p>Donc les masses disponibles sont évaluées comme étant du même ordre de grandeur.</p> <p>Ce qui indique que certaines terres rares ne sont pas si rares que cela !</p> <p>La réponse n'est pas correcte, <b>mais la validation met en évidence un minimum d'esprit critique.</b></p>	<b>VALIDATION</b>			
	<p><b>COMMUNICATION GLOBALE</b></p> <p>Le document élève respecte le plan annoncé. Si des erreurs de calculs ont pollué la conclusion, les règles de rédaction scientifique sont globalement respectées :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs sont présentés et les erreurs peuvent être rapidement identifiées.</li> <li>• Des expressions littérales sont exposées.</li> <li>• Les unités sont explicitées, parfois avec des erreurs.</li> <li>• La syntaxe est claire et les fautes d'orthographe ont été corrigées.</li> </ul>					X

Q10. a/ La position dans la classification périodique permet de répondre directement ; à l'état fondamental, la configuration électronique des lanthanides peut être généralisée en :  $[\text{Xe}] 6s^2 5d^1 4f^x$  avec  $1 \leq x \text{ entier} \leq 14$ .

b/ Ils ont les mêmes sous-couches externes et ne se différencient que par leur sous-couche déjà profonde 4f.

c/ On peut prévoir que les lanthanides, notés M, perdent facilement les trois électrons externes des orbitales 6s et 5d, ce qui explique la présence abondante des ions M<sup>3+</sup> dans la nature.

d/ Le cérium est le premier élément de la série, il est donc en  $6s^2 5d^1 4f^1$  à l'état fondamental.

En perdant les quatre électrons externes, il devient iso-électronique du gaz noble qui le précède, le xénon, d'où la stabilité de l'ion Ce<sup>4+</sup>.

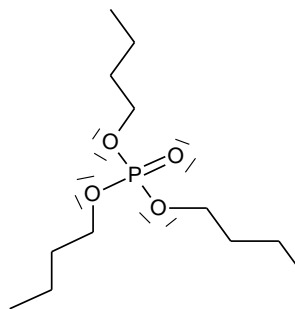
Q11. L'yttrium et le scandium sont situés au-dessus du lanthane dans la classification périodique. On en déduit directement leur configuration électronique à l'état fondamental :

$[\text{Ar}] 4s^2 3d^1$  pour le scandium

$[\text{Kr}] 5s^2 4d^1$  pour l'yttrium.

Ils forment donc des ions M<sup>3+</sup>, comme les lanthanides. Ces ions sont très stables car ils sont iso-électroniques des gaz nobles qui les précèdent.

Q12. Formule topologique du tri-nbutylphosphate :



Son rôle de ligand s'explique par la présence de doublets non liants sur les atomes d'oxygène.

Ses longues chaînes hydrocarbonées, hydrophobes et lipophiles justifient son affinité plus grande pour le solvant organique que pour l'eau.

Q13. Soit la constante d'équilibre :  $K^{\circ}_1 = [M^{3+}]_{\text{org}} / ([M^{3+}]_{\text{aq}} \cdot [NO_3^-]_{\text{aq}})^3 \cdot [TBP_{(\text{org})}]^3$

avec  $[M^{3+}]_{\text{org}} = ((TBP)_3, M(NO_3)_3)_{(\text{org})}$

On en tire:  $P_M = [M^{3+}]_{\text{org}} / [M^{3+}]_{\text{aq}} = K^{\circ}_1 \cdot [NO_3^-]_{\text{aq}}^3 \cdot [TBP_{(\text{org})}]^3$

Q14. La formule montre que l'ajout d'ions nitrate augmente la constante de partage  $P_M$  ce qui améliore l'extraction du cation en phase organique.

Notons que  $P_M$  appelée ici « constante » n'est pas pour autant une constante d'équilibre thermodynamique (dépendant seulement de la température) mais le rapport de deux concentrations dans le milieu à l'équilibre. Le raisonnement rapide qui est fait ici est donc autorisé.

On pourrait aussi raisonner en termes de déplacement de l'équilibre 1 dans le sens direct par addition du constituant actif  $NO_3^-$ .

Q15. L'yttrium Y sert de référence dans l'échelle de facteurs de séparation. Même s'il n'est pas noté, il se situe systématiquement à l'ordonnée  $F_{YY} = 1$ .

a/ La figure 4 montre que le TBP en milieu nitrate est sélectif pour les éléments légers, c'est-à-dire le lanthane et le cérium seulement.

b/ À la Rochelle, cet agent permettra d'obtenir deux mélanges nommés groupes 1 et 2 :

- Groupe 1 : lanthane et cérium, de facteur de séparation proche de 0,1.
- Groupe 2 : europium, terbium et yttrium de facteur de séparation proche de 1.

c/ Pour cet agent d'extraction, l'yttrium se situe entre le gadolinium Gd et le terbium Tb (ou entre l'europium et le terbium) si on se limite aux cinq éléments).

Q16. L'agent d'extraction HEHEHP semble le plus adapté à la séparation au sein des deux groupes : la condition d'un rapport minimal de 10 entre les facteurs de séparation est respectée. L'yttrium est maintenant situé entre l'holmium Ho et l'erbium Er (ou après le terbium si on se limite aux cinq éléments).

Q17. Une première batterie avec le BTP permet la première coupure en deux groupes : les mélanges 1 et 2.

Puis une deuxième coupure est effectuée avec l'agent HEHEHP sur le mélange 1 pour séparer le lanthane et le cérium.

Enfin, deux autres coupures sont nécessaires pour séparer les trois éléments Eu, Tb et Y du mélange 2.  
On utilise donc quatre batteries.

Q18. Le numéro CAS d'une substance chimique est son numéro d'enregistrement auprès de la banque de données de Chemical Abstracts Service (CAS) (division de l'American Chemical Society). Presque toutes les bases de données de molécules actuelles permettent une recherche par numéro CAS.  
L'intérêt est de faciliter les recherches dans ces bases de données en ayant une dénomination internationale du produit, indépendante de la langue.

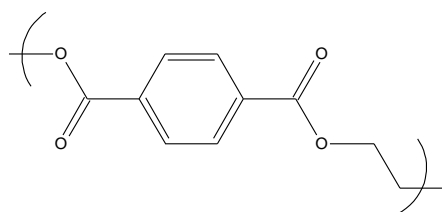
Q19. On peut proposer trois pictogrammes :

Le premier : dangereux, nocif et irritant

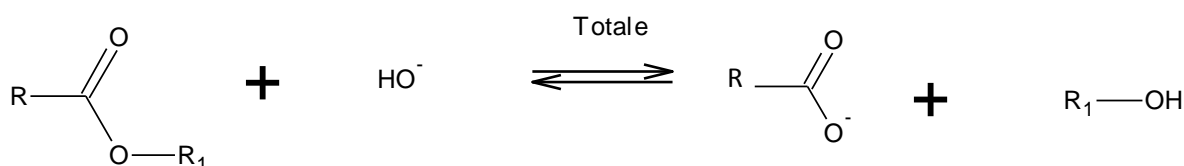
Le deuxième : inflammable

Le sixième : explosif

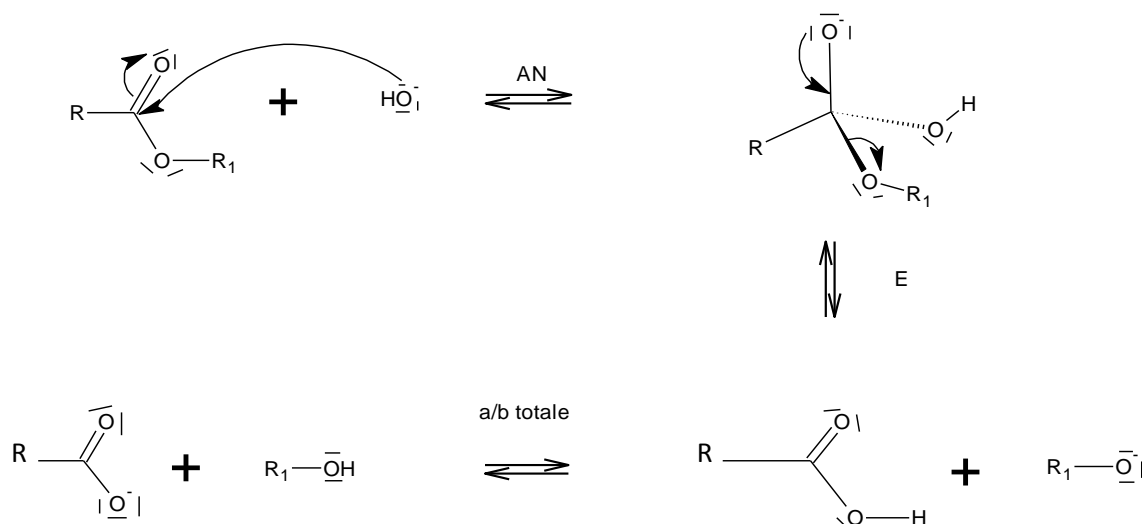
Q20 : Unité de répétition du PET (polyester):  
M = 192 g.mol<sup>-1</sup>



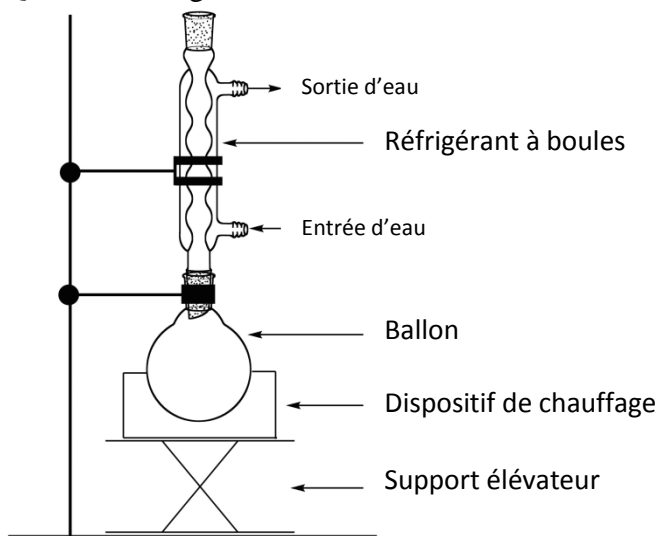
Q21 : Il s'agit d'une réaction de saponification.  
Equation de réaction :



Q22. Mécanisme de saponification :



Q23. a/ Montage à reflux :



b/ Le four à micro-ondes permet :

- d'économiser l'eau et l'énergie du chauffage,
- de gagner du temps (mise en œuvre plus rapide et temps de réaction plus court),
- de stopper le chauffage (si besoin) plus facilement, sans inertie.

c/ Il faut insérer le four à micro-ondes sous une hotte, notamment pour l'évacuation des vapeurs à l'ouverture de la porte après réaction, et contrôler la puissance pour qu'il n'y ait pas de projections. La présence de métal doit également être évitée.

Remarque : on peut aussi au préalable rechercher les positions optimales du plateau.

d/ On peut ramollir le PET au-dessus de 70°C, sa température de transition vitreuse, afin de le rendre caoutchoutique et le remouler. Mais il ne faut pas atteindre sa température de "fusion".

Cependant, cette technique n'est utilisée que si le PET est pur, ce qui est rarement le cas (lorsque les bouteilles sont par exemple colorées).

Q24. Pour l'échantillon de PET saponifié, on peut définir le rendement comme suit :

$$\text{Rendement} = \frac{\text{quantité d'acide téréphtalique libéré}}{\text{quantité totale d'acide téréphtalique que peut libérer le PET}}$$

➤ La quantité d'acide téréphtalique libéré est déterminée grâce au dosage :

- l'excès d'acide fort est dosé dans la première partie du dosage.
- les deux acidités de l'acide téréphtalique, associées à des  $pK_a$  proches (3,5 et 4,5) sont ensuite dosées simultanément dans la deuxième partie. Le palier correspond bien à l'ordre de grandeur des  $pK_a$ .

Ainsi pour la prise d'essai :  $n_{\text{acide dosé}} = \frac{1}{2} \cdot C_b \cdot (V_{b2} - V_{b1})$

$$\begin{aligned} \text{AN : } n_{\text{acide dosé}} &= \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} \cdot (28,8 - 14,9) \cdot 10^{-3} \\ &= 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ mol.} \end{aligned}$$

Soit pour l'échantillon total :  $n_{\text{acide libéré}} = 1,7 \cdot 10^{-4} \cdot 50/20$

$$\underline{n_{\text{acide libéré}} = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}}$$

Remarque : l'éthanediol ne présente pas de propriétés acides dans l'eau ( $pK_a > 14$ )

➤ La quantité totale est déterminée grâce à la masse de PET saponifiée :

Ainsi :  $n_{\text{total}} = \frac{\text{masse de PET}}{\text{masse d'un motif}}$  (on néglige les extrémités)

AN :  $n_{\text{total}} = 0,104 / 192$

$n_{\text{total}} = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$

➤ D'où le rendement  $r = 4,3 / 5,4 = 0,8$  soit 80 %

Q25. On choisira une éprouvette graduée respectivement de 10 mL et de 5 mL pour prélever la solution de soude ainsi que la solution d'acide sulfurique car les volumes ne nécessitent pas une grande précision puisque ce sont des réactifs en excès.

En revanche, le prélèvement de la prise d'essai sera effectué avec une seule pipette jaugée.

Q26. On a retenu une coordinence égale à quatre. L'anion téréphthalate est un ligand tétradentate par ses quatre atomes d'oxygène équivalents (conjugaison) des deux groupes carboxylate.

QP27.

### ÉLÉMENTS DE CORRECTION

<b>Le cadre</b>	
en termes de notions et de contenus	Dans le cadre de l'interaction lumière-matière, des élèves de première S doivent savoir que l'énergie est quantifiée (modèle corpusculaire de la lumière). Il est ainsi précisé que la connaissance de la relation entre l'énergie du photon et sa fréquence est nécessaire dans la perspective des notions et compétences travaillées en terminale. Le nombre d'onde (grandeur exprimée en $\text{cm}^{-1}$ ) n'est utilisé que pour présenter les spectres IR, étudiés en terminale S lors des analyses spectrales et l'application présentée en première S concerne le spectre solaire qui peut être plus simplement gradué en longueurs d'onde.
en termes de compétences	Par ailleurs, les élèves de première S dans le cadre de la progression des apprentissages doivent s'engager dans l'acquisition de compétences liées à la démarche scientifique : <b>mettre en œuvre un raisonnement pour identifier un problème, formuler des hypothèses, les confronter aux constats expérimentaux et exercer son esprit critique.</b> Ils doivent pour cela pouvoir <b>mobiliser ses connaissances, rechercher, extraire et organiser l'information utile, afin de poser les hypothèses pertinentes.</b> Il leur faut également <b>raisonner, argumenter, démontrer et travailler en équipe</b>
<b>Proposition d'action</b>	
Si on envisage lors d'une activité de proposer un diagramme énergétique en $\text{cm}^{-1}$ , on peut demander aux élèves :	
« <b>Dégager l'intérêt de graduer un diagramme d'énergie en <math>\text{cm}^{-1}</math>.</b> »	
<b>Etape 1.</b> Les élèves mobilisent leurs connaissances pour écrire les relations $\lambda = c/v$ et $\Delta E = hv$	
<b>Etape 2.</b> Ils doivent combiner ces relations pour écrire $\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$	
<b>Etape 3.</b> Ils doivent identifier qu'une longueur d'onde au dénominateur de la relation peut être associée à une grandeur $\sigma$ (qui est l'inverse de la longueur d'onde) exprimée en $\text{cm}^{-1}$ pour écrire : $\Delta E = k\sigma$ , avec $k = hc$ .	

<b>Etape 4.</b> L'intérêt de cette graduation est de présenter une grandeur proportionnelle à l'énergie.
<b>Conseils</b>
Il faut éviter tout calcul numérique qui risque de faire perdre le sens de la question. Des « coups de pouce » peuvent être distribués (sur l'architecture des trois étapes) pour ceux qui n'identifieraient pas l'unité avec la présence de l'inverse de la longueur d'onde. Cette grandeur – le nombre d'onde – ne sera pas considérée comme une connaissance mobilisable avant la terminale. Cette activité peut être réalisée dans le cadre de l'AP en termes d'approfondissements

Q28. Les transitions mises en jeu sont des transitions électroniques.

D'après **la figure 7**, la transition  $5D_4 \rightarrow 7F_1$  libère une énergie d'environ  $18\,400\text{ cm}^{-1}$ .

On peut calculer la valeur de la longueur d'onde de fluorescence émise :

$$\lambda = 1/\sigma$$

AN :  $\lambda = 1/18,4 \cdot 10^3\text{ cm}^{-1} = 540\text{ nm}$  ce qui est bien dans le domaine du vert.

Cette observation de l'effet d'antenne valide l'existence des ions téréphtalate, et donc la réussite de la dépolymérisation, au moins partielle (à moins que le polymère contienne une fraction d'acide téréphtalique libre, suffisante pour être détectée).

Q29. L'effet d'antenne est une validation qualitative (avec la restriction ci-dessus). Le dosage permet d'être quantitatif.

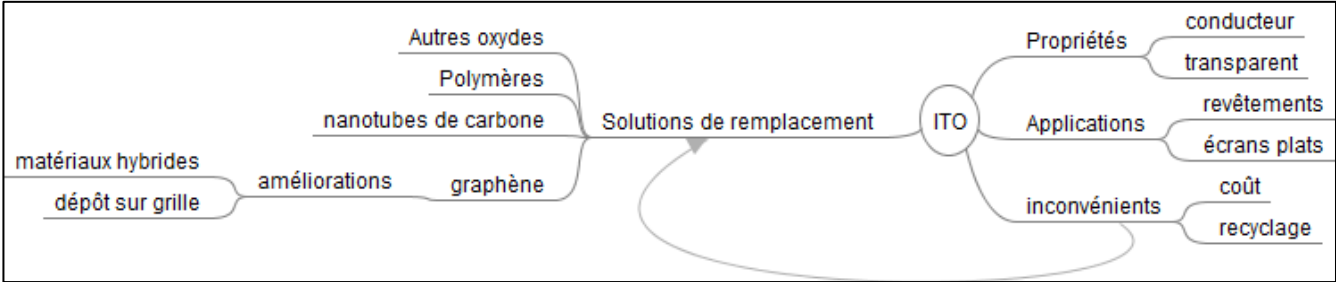
Dans les deux cas, nous n'avons mis en évidence que la présence des ions téréphtalate à l'issue de la saponification. Ces deux méthodes ne mettent pas en évidence l'éthanediol.

QP30.

**ÉLÉMENTS DE CORRECTION**

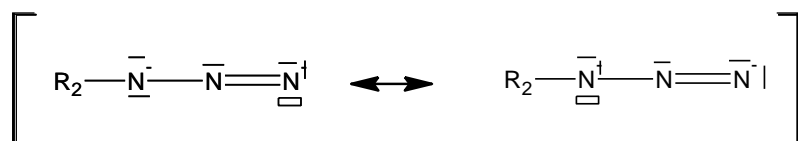
Complément d'information	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Description du graphène</b> : Le graphène est un cristal bidimensionnel de carbone dont l'empilement constitue le graphite. Il a été isolé en 2004 par Andre Geim, du département de physique de l'université de Manchester, qui a reçu pour cette découverte le prix Nobel de physique en 2010 avec Konstantin Novoselov</li> <li>- Quelques éléments relatifs au <b>dopage</b></li> </ul>
Axes d'analyse	<p>Afin de rédiger une synthèse de documents portant sur l'actualité scientifique et technologique, vous devez réaliser une carte mentale avec les axes d'analyse suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o les matériaux concernés et les procédures de synthèses ;</li> <li>o les propriétés physiques mises en jeu ;</li> <li>o les principales applications attendues.</li> </ul>

Proposition de carte mentale

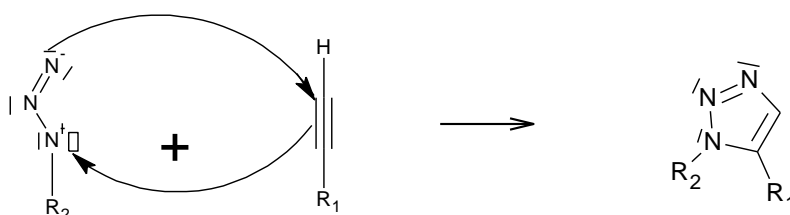




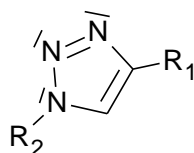
Q31. On peut écrire deux formules 1,3-dipolaires de Lewis pour  $R_2 - N_3$  (16 électrons soit 8 doublets). Elles ne respectent pas la règle de l'octet (contrairement aux formes 1,2-dipolaires).



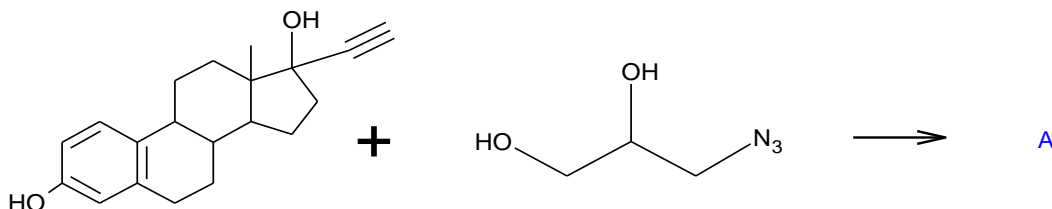
Q32. Mécanisme concerté avec la deuxième forme par exemple (formes 1,2-dipolaires acceptées ici) :



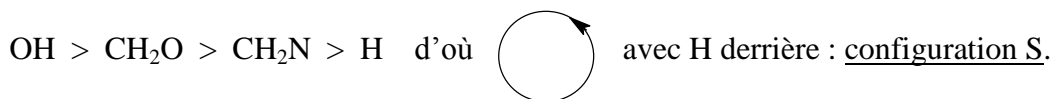
Q33. Si la réaction n'est pas régiosélective, ce que laisse suggérer le sujet, on peut également obtenir le régioisomère :



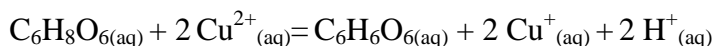
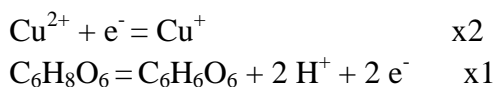
Q34. Equation de réaction :



Q35. Priorité des substituants de l'atome de carbone asymétrique selon les règles de Cahn, Ingold et Prelog :



Q36. C'est une réaction d'oxydo-réduction :



$$\begin{array}{l} \Delta_r G^\circ \\ - F \cdot E^\circ_{Cu^{2+}/Cu^+} \\ + 2 \cdot F \cdot E^\circ_{C_6H_6O_6 / C_6H_8O_6} \end{array}$$

$$- RT \cdot \ln K^\circ$$

Q37. On utilise la combinaison linéaire ci-dessus :

$$2 \cdot (-F \cdot E^\circ_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+}) + (2 \cdot F \cdot E^\circ_{\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6/\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6}) = -RT \cdot \ln K^\circ$$

$$D'où K^\circ = \exp [2 \cdot F \cdot (E^\circ_{\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6/\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) - E^\circ_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+}] / RT]$$

$$\text{AN : } K^\circ = 10^{[(0,17 - 0,13) / 0,03]}$$

$$\underline{K^\circ = 22}$$

*A priori*, la réaction n'est pas quantitative. Mais l'acide ascorbique est en excès (x10) par rapport au cuivre (II) ce qui déplace certainement l'équilibre vers la formation du cuivre (I). Dans la suite, on supposera la réduction du cuivre (II) en cuivre (I) totale.

Q38. Le protocole propose une quantité  $n = 0,3 \text{ mmol}$  d'acide ascorbique.

➤ Une orange fournit entre 50 et 80 mg de vitamine C, c'est à dire d'acide ascorbique de masse molaire  $M = 176 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ , soit une quantité comprise entre  $50 / 176 = \underline{0,28 \text{ mmol}}$  et  $80 / 176 = \underline{0,45 \text{ mmol}}$ , ce qui est tout à fait satisfaisant.

➤ Un comprimé de vitamine C contient  $35,5 / 176 = 0,20 \text{ mmol}$  d'acide ascorbique.

Il contient également 74,9 mg d'ascorbate de sodium.

Les  $pK_a$  de l'acide ascorbique  $\text{AscH}_{2(\text{aq})}$  sont respectivement égaux à 4,5 et 11,8.

Si l'acide est très présent, l'ascorbate de sodium est donc  $(\text{AscH}^-_{(\text{aq})} + \text{Na}^+_{(\text{aq})})$  de masse molaire  $M' = 174 + 23 = 197 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  (et non  $\text{Asc}^{2-}_{(\text{aq})} + 2 \text{Na}^+_{(\text{aq})}$ ).

Ainsi, le comprimé contient la quantité  $74,9 / 197 = 0,38 \text{ mmol}$  d'ascorbate de sodium.

Avec l'acide ascorbique et l'ascorbate de sodium, le comprimé fournit donc 0,58 mol de réducteur, ce qui est encore très satisfaisant.

Les élèves ont fait de bons choix quantitatifs.

Remarque : Le comprimé et l'orange contiennent d'autres composés qui ne doivent pas engendrer de réactions parasites ou ne doivent pas gêner les traitements du brut réactionnel. Seule l'expérience permet de le vérifier, avec une identification de la pureté du produit formé par diverses techniques dont la RMN, et par exemple la CPG ou l'HPLC. Le laboratoire qui a encadré les élèves a validé leur travail.

Q39. On peut proposer les méthodes spectroscopiques : IR, RMN et spectrométrie de masse.

$$\begin{aligned} \text{Q40. Rendement} &= n_{\text{A obtenu}} / n_{\text{A si réaction totale}} \\ &= n_{\text{A obtenu}} / n_{\text{limitant}} \end{aligned}$$

Ici il n'y a pas de réactif limitant car les conditions sont stœchiométriques.

$$\text{AN : Masse molaire de A : } M_A = 413 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$\text{Rendement} = (1,17 / 413) / 3 \cdot 10^{-3}$$

$$\underline{\text{Rendement} = 94 \%}$$

Le rendement en stéréoisomère A est très bon, la réaction est régiosélective.

Remarque : le calcul plus rapide suivant est acceptable s'il est explicité, puisque la masse molaire du produit A est exactement la somme des masses molaires des deux réactifs et que les deux réactifs sont introduits en proportions stœchiométriques. Rendement =  $m_{\text{A obtenue}} / m_{\text{réactifs}} = 1,17 / (0,888 + 0,352) = 94 \%$ .

Q41. On peut calculer ces trois grandeurs :

➤ Charge catalytique

Si on suppose la synthèse du catalyseur cuivre (I) totale, on peut raisonner sur la quantité de cuivre (II). On utilise donc 0,03 mmol de catalyseur pour 3 mmol de réactif, soit un rapport de 100.

Charge catalytique = 1 mol (pour 100 mol de réactifs)

➤ « Turnover number »

On suppose que le catalyseur intervient mol à mol avec les réactifs.

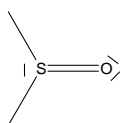
Turnover number = 100 (cycles effectués par le cuivre (I))

➤ « Turnover frequency »

Le protocole précise que les réactifs sont consommés entièrement en 15 h.

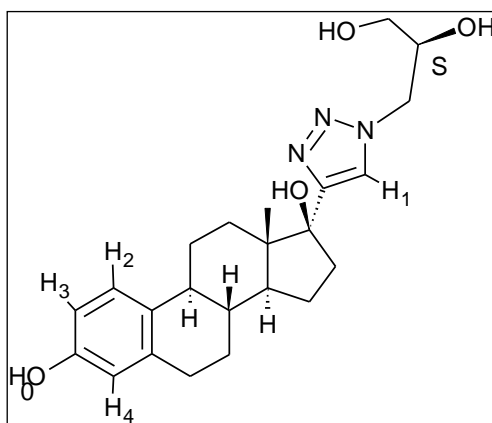
Turnover frequency = 100/15 = 6,7 cycles par heure.

Q42. Le DMSO a pour formule topologique :



Afin qu'elle n'apparaisse pas sur le spectre RMN, on a deutéré la molécule : les 6 atomes d'hydrogène H sont remplacés par 6 atomes de deutérium D d'où la notation [D6].

Q43. Les protons étudiés sont les protons aromatiques et l'hydrogène phénolique.



$\delta$ en ppm	Multiplicité	Nombre de protons	Attribution
8,97	singulet : non couplé, pas de voisin	1H	Proton H <sub>0</sub> de la fonction phénol
7,77	singulet : non couplé, pas de voisin	1H	Proton H <sub>1</sub> du cycle aromatique à 5 atomes
6,95	doublet, J <sub>ortho</sub> = 8,3 Hz : couplé à H <sub>3</sub> en ortho	1H	Proton H <sub>2</sub>
6,45	doublet dédoublé, J <sub>ortho</sub> = 8,3 Hz et J <sub>méta</sub> = 2,3 Hz : couplé à H <sub>2</sub> en ortho et H <sub>4</sub> en méta	1H	Proton H <sub>3</sub>
6,41	doublet, J <sub>méta</sub> = 2,3 Hz : couplé à H <sub>3</sub> en méta	1H	Proton H <sub>4</sub>

QP44.

### ÉLÉMENTS DE CORRECTION

Compléments		Les principes de la chimie verte
Tâche à réaliser		À partir des documents disponibles, vous rédigez en groupes un résumé de 50 à 80 mots mettant en valeur les principes de la Chimie click.
Objectifs		Bien ancrer les liens entre Chimie verte et les dernières avancées en Chimie. Partie du programme particulièrement concernée : « <b>Comparer des protocoles de synthèse et choisir le plus performant (rendement, coût, respect de l'environnement).</b> »
Attendus	S'approprier	Recherche de mots clefs : stéréosélectivité, régiosélectivité, économie d'atomes, catalyse, température, cyclo-addition de Huisgen, synthèse de Sharpless.
	Analyser	Les notions à mobiliser : apport d'énergie, notions d'isomérisation (constitutions et stéréo-isomérisation)
	Réaliser	Si les deux procédures de synthèse sont théoriquement à <b>économie maximale d'atomes</b> , la synthèse de Sharpless propose en plus : <ul style="list-style-type: none"><li>• une <b>catalyse</b> qui accélère la réaction ;</li><li>• la <b>consommation totale</b> des deux réactifs introduits en proportions stœchiométriques grâce à un suivi par CCM et donc <b>l'absence de déchets</b> à traiter ;</li><li>• l'<b>absence de tout apport d'énergie</b> qui économise les ressources ;</li><li>• l'obtention avec un très bon rendement <b>d'un seul isomère</b> de constitution, ce qui confirme la régiosélectivité de ce protocole.</li></ul>
	Valider	La Chimie click répond bien aux principes de la Chimie verte

Q45. Dans les conditions proposées, l'alcyne terminal perd son proton acide dans l'eau. Son acidité est donc exaltée, le  $pK_a$  du couple « alcyne/ alcynure complexé » est alors inférieur à 14.

Q46. a/ Les entités sont un ion  $H^+$  et un ligand L pour le premier et un ion  $H^+$  et deux ligands L pour le second.

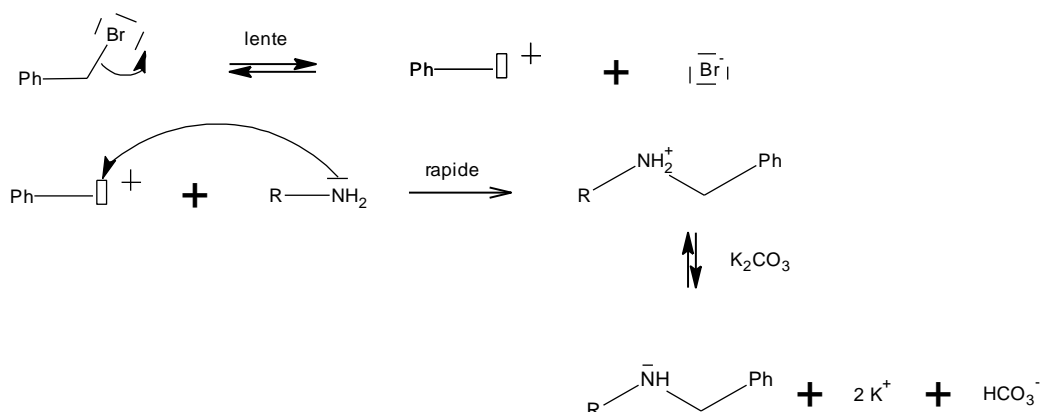
b/ Pour retrouver l'équation de réaction, on comptabilise toutes les entités qui entrent dans le cycle, ce sont les réactifs, et celles qui sortent du cycle, ce sont les produits.

c/ Le catalyseur, régénéré en fin de cycle, est  $[CuL_n]^+$ .

Q47. Ce processus catalytique permet de comprendre qu'il puisse y avoir régiosélectivité de la réaction. (Pour l'interpréter, il faudrait pouvoir justifier le mode de complexation de l'azoture à l'atome de cuivre, par l'atome central et non par l'atome terminal).

Q48. Pour une mole de triéthylamine, on a besoin de six moles de dérivé bromé et de six moles de carbonate de potassium : stœchiométrie 1/6/6.

Q49. Mécanisme d'alkylation de la fonction amine : on propose un mécanisme  $S_N1$  car le dérivé bromé est encombré et le cation benzyle  $\text{Ph-CH}_2^+$  est très stable car très délocalisé.



Q50. Le ligand HBT est tétradente (ou tétradentate) par ces quatre atomes d'azote.  
Le complexe 1 est certainement tétraédrique.

Q51. Le complexe 1 est très stable et se forme facilement pour des raisons entropiques (contrôle thermodynamique).

En effet, en se coordinant au cuivre (I), le ligand HBT à lui seul permet la libération de quatre molécules de solvant ce qui crée plus de désordre que s'il s'agissait de quatre ligands monodentes remplaçant quatre molécules de solvant autour du cuivre :  $\Delta_r S^\circ_{\text{HBT}} > 0$  alors que  $\Delta_r S^\circ_{\text{mono}} = 0$ .

En conséquence, comme  $\Delta_r H^\circ$  est sensiblement le même dans les deux cas, on en déduit que  $\Delta_r G^\circ_{\text{HBT}} = \Delta_r H^\circ_{\text{HBT}} - T \cdot \Delta_r S^\circ_{\text{HBT}} < \Delta_r G^\circ_{\text{mono}} = \Delta_r H^\circ_{\text{mono}} - T \cdot \Delta_r S^\circ_{\text{mono}}$

Et comme  $\Delta_r G^\circ = -RT \cdot \ln K^\circ$  on en déduit que  $K^\circ_{\text{HBT}} > K^\circ_{\text{mono}}$ . La formation du complexe 1 est très favorable.

Q52. La fonction amine joue le rôle de base (étape 2  $\rightarrow$  3) et de nucléophile (étape 6  $\rightarrow$  1).

Q53. L'alcyne initialement coordonné par une de ses deux orbitales  $\pi$  (analogie avec les alcènes  $\sigma$ -donneurs et  $\pi$ -accepteurs) se coordine plus fortement grâce à son doublet non liant (exaltation de l'acidité de l'acide terminal).

Q54. L'intérêt d'un cycle catalytique est de modifier la réactivité des réactifs. L'alcyne, habituellement nucléophile car riche en électrons, est affaibli par la coordination (effet  $\sigma$ -donneur, et sans-doute  $\pi$ -accepteur mais sur des orbitales antiliantes, deux effets qui jouent dans le même sens) : il peut maintenant subir une attaque nucléophile de l'azoture.

Q55. On applique les règles suivantes :

➤ Pour les n.o. on fragmente le complexe et on attribue les doublets de coordination aux ligands puis on fait un bilan des charges :

$$\text{n.o.} + 4 \cdot 0 = 1 \text{ (car ce sont 4 ligands neutres) donc } \underline{\text{n.o.} = 1}$$

$n.o.6 + 2*(-1) = 1$  soit n.o.6 = III (il y a deux ligands négatifs après fragmentation).

➤ Pour les n.e.v. on additionne ceux du métal (Cu est en  $4s^2 3d^9$ ) et les deux de chaque ligand :

$$\underline{n.e.v.1 = 10 + 4*2 = 18}$$

$$\underline{n.e.v.6 = 8 + 5*2 = 18}$$

On constate que la règle des 18 électrons est satisfaite dans tous les complexes.

Q56. L'étape  $6 \rightarrow 1$  est une élimination réductrice : le n.o. du métal diminue de deux unités.

Q57. La stabilité du complexe 1 facilite l'élimination et donc la formation du produit et la reprise d'un nouveau cycle.