



Concours du second degré  
Rapport du jury

**AGRÉGATION INTERNE**  
**PHYSIQUE – CHIMIE**  
**SESSION 2015**

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'ECHELLE de RÉMUNÉRATION DES PROFESSEURS AGRÉGÉS (CAERPA) DE PHYSIQUE - CHIMIE**

## **SESSION 2015**

1. Composition du jury 2015
2. Avant-propos du président
3. Épreuves et programmes 2015
4. Déroulement des épreuves
5. Informations statistiques
6. Épreuves écrites : qu'attend-on des questions pédagogiques ?
7. Rapport relatif à la composition de physique
8. Rapport relatif à la composition de chimie
9. Rapport sur les épreuves orales de physique
10. Rapport sur les épreuves orales de chimie
11. Épreuves et programmes 2016
12. Annexes
  - proposition de solution de la composition de physique 2015
  - proposition de solution de la composition de chimie 2015

## 1. Composition du jury 2015

|                       |                                                                |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------|
| OBERT Dominique       | Inspecteur général de l'éducation nationale, président         |
| CÔTE Denis            | Professeur des universités, vice-président                     |
| SZYMCZAK Anne         | Inspectrice générale de l'éducation nationale, vice-présidente |
| RIBIERE Philippe      | Professeur agrégé, Paris, représentant de l'enseignement privé |
|                       |                                                                |
| AUZELY-LEXA Catherine | Professeure agrégée, Versailles                                |
| BAUDIN Jean-Bernard   | Professeur des universités, Paris                              |
| BESSY Geneviève       | Professeure de chaire supérieure, Bordeaux                     |
| BOULESTEIX Thierry    | Professeur agrégé, Marseille                                   |
| BOYER David           | IA-IPR, académie de Bordeaux                                   |
| CAVELIER Marc         | Professeur de chaire supérieure, Rennes                        |
| COMBEL Hélène         | IA-IPR, académie de Créteil                                    |
| DUBILLARD Sébastien   | Professeur agrégé, Strasbourg                                  |
| DUROT Stéphanie       | Maitre de conférences, Strasbourg                              |
| HOUSSIN Marie         | Professeure des universités, Marseille                         |
| LISSILLOUR Bertrand   | IA-IPR, académie de Versailles                                 |
| PALACIO Delphine      | Professeure agrégée, Paris                                     |
| PRIEUR Jacques        | IA-IPR, académie de Nantes                                     |
| ROLLEY Etienne        | Professeur des universités, Paris                              |
| SAVEYROUX Maud        | Professeure agrégée, Boulogne-Billancourt                      |

## 2. Avant-propos du président

*Le rapport du jury de la session 2015 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 2015 est en augmentation par rapport à celui de la session 2014<sup>1</sup> : il est fixé à 40 pour l'agrégation interne et à 18 pour le CAERPA. La sélectivité des deux concours est restée très forte en 2015. En effet, pour le concours de l'agrégation interne, 946 candidats ont composé et 93 ont été déclarés admissibles, soit un ratio de l'ordre de un admissible pour dix candidats. Pour le CAERPA, 174 candidats ont composé et 15 ont été déclarés admissibles, soit un ratio voisin de un admissible pour douze candidats. Les barres d'admissibilité ont été fixées à 25,8 sur 40 pour le concours de l'agrégation interne et à 23,7 sur 40 pour celui du CAERPA. La barre d'admission de 50,3/80 pour le concours de l'agrégation interne a permis de pourvoir les 40 places mises au concours 2015. Concernant le CAERPA, le jury a fixé la barre d'admission à 46,8/80 ; ainsi 8 places ont été pourvues sur les 18 mises au concours. Le jury, qui regrette de ne pas avoir été en mesure d'attribuer les 18 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 des candidats admis est de 37,7 ans ce qui confirme la tendance de ces dernières années puisque celui-ci était de l'ordre de 35,5 ans entre 2009 et 2012. Cette année, le nombre de candidats admis ayant plus de 40 ans représente environ 50 % 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, dont le format rénové 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 36 % environ des candidats présents aux deux épreuves écrites, sensiblement comme en 2014<sup>2</sup>. Concernant le nombre d'admis, 17 des 48 postes pourvus ont été attribués à des femmes, soit 35 % des admis<sup>3</sup> ; notons qu'elles représentent 26 % des admissibles et donc ont, dans l'ensemble, mieux réussi les épreuves orales. Sans être en mesure de proposer des éléments d'analyse, le jury espère une augmentation du nombre des candidates lors des sessions à venir.

---

<sup>1</sup> Lors de la session 2014, 35 places ont été proposées au concours de l'agrégation interne et 12 places à celui du CAERPA. Toutes les places ont été pourvues.

<sup>2</sup> Lors de la session 2014, le pourcentage de femmes ayant composé aux épreuves a été de 35 %.

<sup>3</sup> En 2014, les femmes représentaient également 35 % des candidats admis.

Concernant les épreuves écrites et orales, les futurs candidats et les responsables des préparations académiques et/ou universitaires 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. Soulignons que, 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 excellence professionnelle acquise au cours de leur pratique quotidienne, justifiant ainsi pleinement que ce concours s'adresse à des professeurs expérimentés.

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 féliciter tous les candidats 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 ne doivent pas limiter leurs analyses à la filière S du lycée mais bien prendre en compte toutes les filières où la physique-chimie est enseignée. De même, ceux-ci sont invités à ne pas se restreindre aux classes préparatoires aux grandes écoles lorsqu'ils présentent une notion à un niveau post-baccalauréat.

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 cette année encore, 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.

### 3. Épreuves et programmes 2015

#### **I. 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

## 4. Déroulement des épreuves

### Épreuves écrites

Les épreuves écrites se sont déroulées le jeudi 29 et le vendredi 30 janvier 2015.

### Épreuves orales

#### Conditions matérielles et généralités

Les épreuves d'admission se sont déroulées au Lycée Saint-Louis à Paris du dimanche 19 avril au lundi 27 avril 2015. La délibération du jury a eu lieu le mardi 28 avril 2015.

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

La série débute par un tirage au sort le premier jour. 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 commencent dès le lendemain du tirage au sort. Lors de la session 2015, 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 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 d'avantage 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 que les candidats peuvent rencontrer.
- **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.

## 5. Informations statistiques

40 places ont été mises au concours de l'agrégation interne, et 18 au CAERPA.

Les tableaux ci-dessous donnent les informations générales relatives aux candidats du concours 2015 et les comparent aux données correspondantes des dix 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    |

### 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     |

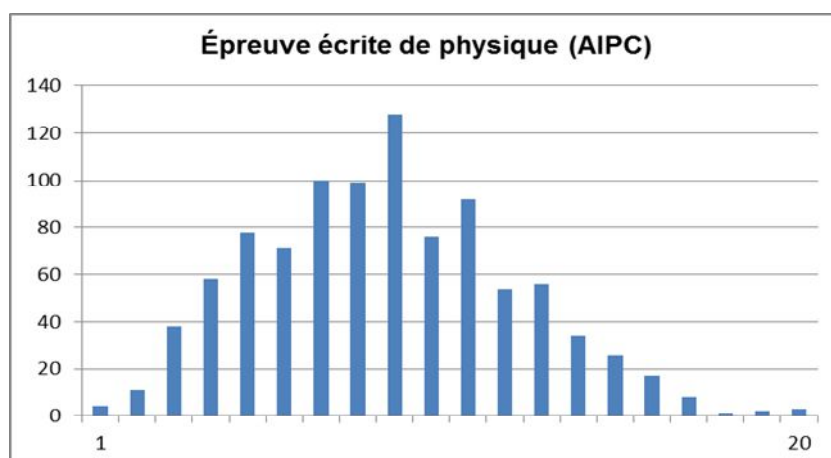
\* Présents à au moins une épreuve

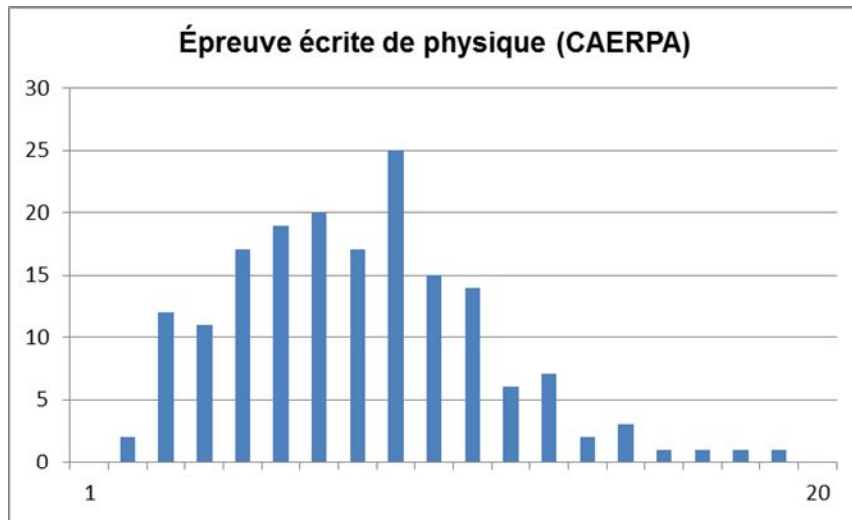
## Épreuves écrites

|                                   | Agrégation interne | CAERPA |
|-----------------------------------|--------------------|--------|
| Composition sur la physique :     |                    |        |
| Moyenne                           | 8,20               | 7,50   |
| Écart-type                        | 3,46               | 3,23   |
| Note maximale                     | 20                 | 18     |
| Moyenne des candidats admissibles | 13,83              | 13,47  |
| Écart-type des admissibles        | 2,19               | 2,24   |
| Composition sur la chimie :       |                    |        |
| Moyenne                           | 8,41               | 7,93   |
| Écart-type                        | 4,12               | 3,92   |
| Note maximale                     | 20                 | 20     |
| Moyenne des candidats admissibles | 15,45              | 14,45  |
| Écart-type des admissibles        | 2,07               | 3,29   |
| Barre d'admissibilité             | 25,8               | 23,7   |
| Nombre d'admissibles              | 93                 | 15     |

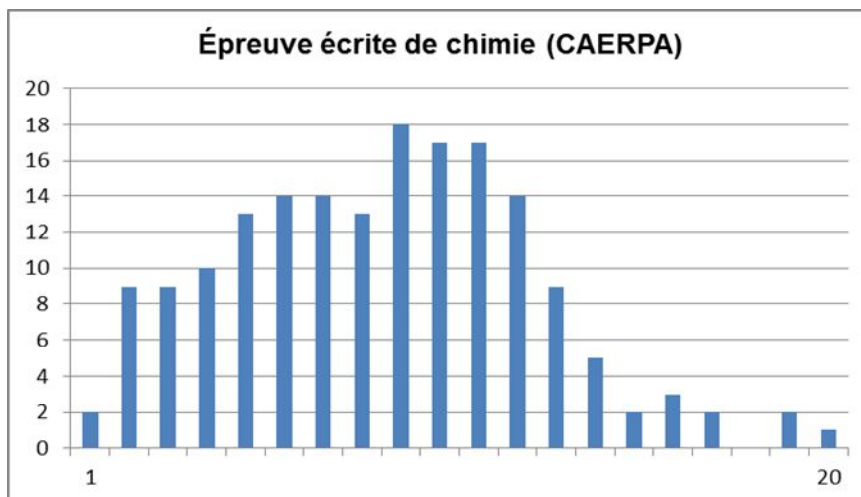
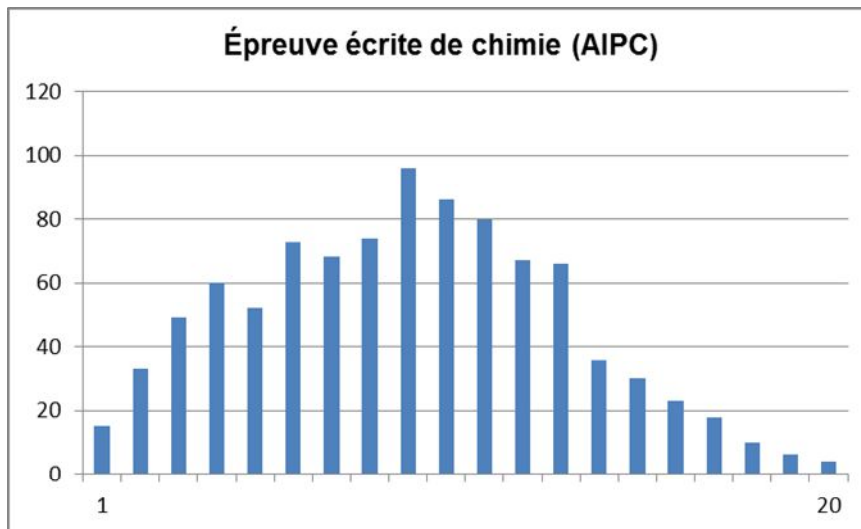
### Répartition des notes d'écrit

Physique





Chimie



## Épreuves orales

| Nature de l'épreuve | Moyenne des candidats présents aux épreuves orales | Écart-type | Note la plus haute | Note la plus basse |
|---------------------|----------------------------------------------------|------------|--------------------|--------------------|
| Exposé de physique  | 9,89                                               | 2,81       | 15                 | 5                  |
| Exposé de chimie    | 10,64                                              | 2,70       | 18                 | 5                  |
| Montage de physique | 9,60                                               | 2,71       | 18                 | 5                  |
| Montage de chimie   | 10,69                                              | 3,04       | 18                 | 5                  |

|                   | Agrégation interne | CAERPA |
|-------------------|--------------------|--------|
| Barre d'admission | 50,3               | 46,8   |
| Nombre d'admis    | 40                 | 8      |

## 6. Épreuves écrites : qu'attend-on des questions pédagogiques ?

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 1<sup>ère</sup> 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 des compétences mobilisées, indépendance des questions, maladresses pédagogiques ... ;
- 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. ;
- ...

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 les documents supports 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.



## 7. Rapport relatif à la composition de physique

Le fil directeur du sujet de physique est la métastabilité de l'eau liquide. La première partie porte sur l'ascension capillaire de la sève dans les arbres, et est très librement inspirée de l'article de H. Cochard (Pour la science N°305, 2000). La seconde partie aborde le modèle de nucléation qui est souvent traité dans les ouvrages de thermodynamique. Enfin la troisième et dernière partie concerne la mesure de la vitesse du son dans l'eau par diffusion Brillouin. Les thèmes abordés ont trait respectivement à la mécanique, la thermodynamique et l'optique.

### Remarques générales

Chaque partie comporte des questions à caractère pédagogique ou didactique. Elles concernent aussi bien l'enseignement au collège qu'au lycée et sont de nature variée : analyse de copies d'élèves, correction d'exercice, critique ou élaboration d'un énoncé utilisant des documents fournis. Le jury attend que les candidats manifestent recul et esprit d'analyse dans des situations qu'ils rencontrent dans leur vie professionnelle. De fait, les candidats ont très largement abordé ces questions avec, le plus souvent, un réel effort pour fournir une réponse précise et complète et elles ont été traitées assez correctement pour ce qui relève de la mécanique et de la thermodynamique. Les réponses apportées témoignent souvent d'un vécu, ainsi que du souci de se conformer aux nouvelles orientations des programmes. Ainsi, de nombreux candidats relèvent que l'énoncé de travaux pratiques de thermodynamique sollicite peu l'initiative des élèves. Certaines copies montrent un véritable effort de synthèse, par exemple dans l'analyse des erreurs des élèves dans l'exercice sur le principe d'inertie. Mais, pour ce même exemple, on peut regretter que de trop nombreux candidats se contentent de noter au fil de la plume un catalogue d'erreurs avec de nombreuses redites. Ce manque d'analyse et d'esprit critique est encore plus sensible dans les questions où les candidats sont moins guidés. Par exemple, la discussion des résultats expérimentaux obtenus par les divers groupes de TP (deuxième partie du problème) révèle que de nombreux candidats ne savent pas tenir un discours clair quand il s'agit de confronter le résultat d'une expérience à une valeur attendue. De manière générale, une bonne réponse n'est pas nécessairement très longue, au contraire. Pour reprendre l'exemple de l'exercice sur le principe d'inertie, la correction de certains candidats s'étend parfois sur trois pages, avec de nombreux allers et retours entre principe d'inertie et bilan des forces, ce qui obscurcit le raisonnement. Le jury a également relevé que de nombreux candidats se pénalisent eux-mêmes en ne passant pas assez de temps à la lecture des consignes et des documents, ce qui les conduit à répondre à côté ou de manière incomplète.

En ce qui concerne les questions destinées à évaluer les connaissances disciplinaires des candidats, l'énoncé est conçu pour que l'outillage mathématique nécessaire soit réduit au strict minimum, afin d'évaluer en priorité les capacités à s'appropriier des notions qui sont parfois peu connues des candidats comme la tension de surface, et qui peuvent même sembler surprenantes comme une pression négative. Le sujet comporte cependant quelques questions plus techniques ; en ce cas, pour éviter que les candidats ne restent bloqués sur ces questions délicates, les relations utiles étaient fournies. Un minimum de compétences mathématiques reste cependant nécessaire. Le jury a été surpris de constater que beaucoup de candidats éprouvent régulièrement des difficultés à projeter un vecteur ou à tracer l'allure d'une fonction polynomiale, et sont parfois même dans l'impossibilité d'écrire correctement la relation entre écart en fréquence et écart en

longueur d'onde.

À ce sujet, le jury est attentif à l'honnêteté scientifique des candidats : il est plus indulgent envers celui dont le résultat est faux d'un facteur deux à la suite d'une erreur de calcul que pour celui qui a délibérément « arrangé » ses calculs pour arriver au résultat donné dans l'énoncé.

En règle générale, les candidats ne font pas assez de schémas. Ceux-ci sont souvent une aide précieuse. Dans cette épreuve, ils sont utiles en particulier pour les questions de mécanique, par exemple pour éviter les confusions au sujet des variations de la courbure d'une interface et de la différence de pression entre les deux fluides de part et d'autre de l'interface.

La première partie portant essentiellement sur la mécanique est celle qui est le plus souvent et le mieux traitée, les notions sous-jacentes étant sans doute assez familières aux candidats. La seconde partie révèle que leurs connaissances en thermodynamique sont nettement plus fragmentaires. Il est vrai que la thermodynamique en tant que telle n'est pas enseignée dans le secondaire, mais certaines idées devraient être mieux maîtrisées par les candidats, comme par exemple le fait que l'enthalpie est la grandeur énergétique pertinente pour quantifier les échanges d'énergie à pression constante. La dernière partie sur la dualité onde-corpuscule est assez peu abordée, mais révèle tout de même que de nombreux candidats se sont emparés des thèmes introduits récemment dans le programme de Terminale.

Signalons enfin que, pour l'évaluation des copies, le jury prend en compte l'orthographe (souvent perfectible) ainsi que la présentation et la rédaction.

### **Remarques ponctuelles :**

Q1 : La question sur le bonheur des molécules est peut-être une des questions les plus délicates, d'autant plus qu'elle se situe au début du problème. Certains notent que cet anthropomorphisme est de « mauvais goût ». Quelle que soit la pertinence du vocabulaire, il est important de se rendre compte que le « bonheur » d'une molécule n'est pas une pure question énergétique, auquel cas toutes les molécules préféreraient être dans une phase condensée.

Pour ce qui est de l'évaluation de l'ordre de grandeur, le jury a été très tolérant sur l'estimation de la taille d'une molécule.

Q3 : Il s'agit de l'une des questions pour lesquelles un schéma soigné est d'une très grande aide.

Q6 : Peu de candidats soulignent que l'écart de pression est petit devant la pression atmosphérique, et donnent sans se poser de questions un résultat avec 6 chiffres significatifs.

Q7 : Cette question est bien traitée.

Q8 : On pourra se référer aux remarques générales. Les commentaires sur les copies des élèves sont rarement présentés de manière synthétique. Les corrigés proposés sont parfois inutilement longs. Plus gênant, le raisonnement est parfois peu rigoureux : certains candidats s'appuient implicitement sur le principe d'inertie en négligeant les frottements, puis concluent en disant que la somme des forces est nulle, ce qui est bien en accord avec le principe d'inertie...

Q9 : Les questions que les candidats imaginent sont trop souvent des « questions-pièges » au lieu de rester neutres.

Q10 : Cette question est souvent bien traitée.

Q12 : L'énoncé indique que la longueur capillaire dépend des forces de gravité et de tension superficielle. De nombreux candidats font cependant intervenir les forces

visqueuses qui, rappelons-le, sont nulles pour un fluide au repos. De même, imaginer que la longueur capillaire dépende de la taille du récipient est à la fois contraire à l'expérience et fait perdre à la notion même de longueur capillaire tout son intérêt.

Q13 : Les « démonstrations » sont souvent trop peu rigoureuses. À la lumière des premières questions, il devrait être clair qu'on ne peut pas parler de « la pression au niveau du ménisque » : il faut préciser de quel côté de l'interface on se place puisqu'il y a une discontinuité de pression à l'interface.

Q14 : C'est une question où un schéma (ou plusieurs schémas de l'évolution lors d'une variation de pression dans le liquide) est recommandé pour ne pas se tromper sur le signe de la différence de pression et éviter les confusions de vocabulaire entre courbure et rayon de courbure.

Q17 : En l'absence d'écoulement, la pression est évidemment la pression hydrostatique : elle diminue avec l'altitude.

Q18 : De nombreux candidats pensent au fait que la différence de densité de la sève et de l'eau peut expliquer le désaccord entre modèle et mesures pour le thuya. Il aurait fallu alors que la sève du thuya soit au moins 10 fois plus dense que l'eau, une hypothèse peu vraisemblable.

Q19 : Cette question est très souvent bien traitée.

Q20 : Cette question est correctement traitée dans l'ensemble, à l'exception de la réponse à la question d'élève (pourquoi existe-t-il de la vapeur d'eau à une température inférieure à la température d'ébullition ?). Pour de nombreux candidats, l'évaporation est intrinsèquement un processus dynamique, qui résulte de l'agitation des molécules à la surface.

Peu de candidats donnent des valeurs numériques quant à la variation de la température d'ébullition avec l'altitude, alors qu'une estimation pouvait être facilement conduite à l'aide des valeurs numériques données en préambule.

Q21 : De nombreux candidats manquent de rigueur pour donner une définition précise de la chaleur latente, dont ils oublient souvent le caractère extensif.

Q22 : La question, assez longue est inégalement traitée. Le corrigé (22a) est très souvent fait, l'analyse des résultats beaucoup moins ; il est étonnant que beaucoup de candidats ne calculent pas l'écart-type. Pour ceux qui le font, il est dommage que certains n'aillent pas au bout de leur effort et ne concluent pas en disant que la valeur tabulée n'est pas dans l'intervalle de confiance. La qualité des mesures est trop souvent évaluée à l'aune de « l'inévitable » écart relatif par rapport à la valeur tabulée. Comment ferait-on alors si cette valeur tabulée n'existait pas ? Les commentaires se bornent souvent à une critique de la qualité du matériel. Ce genre de remarque, si elle n'est pas surprenante dans la bouche d'un élève, n'en est pas moins décevante sous la plume d'un enseignant.

Q24 : Cette question, qui ne pose pas de réelle difficulté, nécessite d'être rigoureux dans la manipulation des grandeurs et des variables. Pour un système composé de deux sous-systèmes, il faut définir ce qu'on considère, prendre le temps d'écrire les variables des fonctions, etc.

Q25 : Cette question plutôt classique a été souvent bien traitée.

Q29 : Il est regrettable que beaucoup de candidats éprouvent des difficultés sur la représentation d'une fonction polynôme du type :  $ax^2 + bx^3$ , d'autant plus que cette représentation est très utile à la poursuite de la partie 2. Un minimum de compétences mathématiques est requis de la part d'un agrégé de physique-chimie.

Q34 : De nombreux candidats mentionnent la surfusion.

Q35 : Il ne s'agit pas de citer des travaux ou des physiciens ayant contribué à l'étude du caractère ondulatoire de la lumière. Les travaux d'Einstein et de Planck se voient en général attribuer une date exacte mais on ne peut en dire autant de ceux de Maxwell,

Davisson et Germer, etc.

Q36 : De nombreux candidats ne savent pas ce qu'est une question ouverte. Ils proposent souvent de bonnes idées pour utiliser les documents relatifs au comportement ondulatoire des molécules de fullerène. La plupart des candidats utilisent cependant les documents fournis pour en faire une simple étude d'interférences, passant à côté de la problématique la plus intéressante : le caractère ondulatoire du comportement de grosses molécules.

Q37 : Trop souvent, l'aspect vectoriel de la quantité de mouvement du phonon est oublié.

D'autre part, l'expression  $p = mv$  est mal adaptée à une particule qui n'a pas de masse.

Q38 : Les ondes acoustiques ne se réduisent pas aux ondes sonores !

Q43 : Certes, cette question est souvent abordée en fin d'épreuve. Il n'en reste pas moins qu'il est regrettable de trouver sur de nombreuses copies la relation : «  $\Delta v = c/\Delta\lambda$  ».

Q44 : Certains candidats ne lisent pas attentivement l'énoncé et perdent du temps à faire le calcul de la différence de marche dans le cas général de l'incidence oblique.

## 8. Rapport relatif à la composition de chimie

La composition de chimie aborde quelques aspects de la chimie des protéines. Ce thème général est déployé en quatre parties dans lesquelles se trouve un ensemble de questions pédagogiques en relation avec le thème abordé dans la partie et, pour certaines d'entre elles, en rapport direct avec des points des programmes du collège et du lycée : l'élaboration d'une séquence pédagogique présentant le concept de combustion en classe de quatrième pour la première partie, l'analyse d'un exercice de terminale S sur la résonance magnétique nucléaire et l'élaboration d'une séance de travaux pratiques de première ST2S sur la séparation d'acides aminés dans la deuxième partie et enfin, dans la quatrième partie, la production d'un document de communication contenant une information scientifique extraite d'une publication. Ces questions pédagogiques doivent permettre aux enseignants en exercice de montrer leur aptitude à analyser leurs pratiques et leurs capacités à évaluer des travaux d'élèves. L'ensemble de ces questions représente environ un tiers 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 complètement plusieurs parties du problème. Les candidats qui passent rapidement d'une question à l'autre en donnant certes de nombreuses réponses mais très partielles obtiennent très rarement des notes convenables : le « grappillage de points » ne constitue pas une démarche payante, car le barème est conçu pour ne pas favoriser ce type de stratégie.

Cet effort d'engagement approfondi dans les réponses traitées doit s'accompagner d'un effort de rédaction. Une telle attitude, exigible chez un enseignant, est manifeste dans une majorité de copies ; néanmoins, trop de candidats rédigent encore avec un manque certain de rigueur, de soin, de précision. L'usage, par un enseignant, du « style télégraphique » dans la formulation des réponses n'est pas accepté ; les développements trop longs n'apportent en général pas de points supplémentaires et pénalisent le candidat dont le temps est limité : un équilibre est bien à trouver entre un développement suffisant et une concision appréciée.

De manière générale, il est indispensable de soigner la copie : la présentation, l'orthographe et la rédaction des réponses. Les consignes imposant une présentation de résultats ou de séquences pédagogiques doivent être respectées. Le jury constate que les écritures relâchées et les copies présentant de nombreuses fautes d'orthographe sont assez peu nombreuses, ce qui est rassurant pour des professeurs en exercice. Les calculs doivent être posés et chaque résultat doit être suivi d'une unité dans le système d'unités adapté. Les résultats numériques doivent aussi être présentés avec un nombre de chiffres significatifs en accord avec le calcul effectué.

Le nombre de copies de très mauvaise qualité est en nette régression par rapport aux dernières années, ce qui témoigne du sérieux de la préparation des candidats ayant composé. Un nombre significatif de candidats possède un niveau de connaissances très satisfaisant. Le jury encourage en effet les professeurs souhaitant se présenter au concours à consacrer suffisamment de temps à consolider leurs connaissances disciplinaires, ce qui donne d'autant plus d'aisance dans leur exploitation à des fins pédagogiques.

## Première partie

Cette partie est abordée par la quasi-totalité des candidats, notamment pour ce qui est de la conception de la séquence pédagogique.

1 – Cette question est bien traitée par une majorité de candidats, les séquences pédagogiques bien explicitées et le vocabulaire utilisé bien adapté. Les candidats maîtrisent correctement les démarches d'investigation et leurs différentes étapes : situation déclenchante et appropriation du problème, émission d'hypothèse, élaboration d'un protocole expérimental, investigation, interprétation et structuration des connaissances même si la phase d'institutionnalisation est parfois éludée. Certains candidats proposent de caractériser la présence d'eau lors de la combustion du charbon ; on peut regretter cette confusion avec la combustion des alcanes. Une minorité de candidats effectue une présentation hors sujet en traitant le réchauffement climatique et non la combustion.

2 – Trop d'erreurs sont commises lors de l'ajustement de cette équation de combustion (portant principalement sur le nombre stœchiométrique du dioxygène) ; la détermination de la formule brute est parfois présentée de façon peu rigoureuse ; une autre cause d'erreur est la confusion assez fréquente entre  $n$ , coefficient stœchiométrique devant  $\text{CO}_2$ , et  $n(\text{CO}_2)$ , la quantité de matière formée en dioxyde de carbone.

3 – Parfois, le X de NOX est explicité comme un élément halogène ; on constate malheureusement que la règle de l'octet n'est pas toujours respectée, notamment pour  $\text{NO}_2$ .

4 – Des candidats attribuent injustement à la combustion de composés azotés autre que le diazote la présence des NOX dans les gaz d'échappement et la présence du diazote est rarement justifiée. La catalyse hétérogène n'est pas toujours mentionnée, mais le pot catalytique est assez largement connu (mieux que son principe de fonctionnement).

5 – Cette question est traitée par une majorité de candidats mais plus ou moins bien argumentée.

6 & 7 – Ces questions sont traitées par une majorité de candidats, plutôt bien dans l'ensemble, malgré des erreurs de calcul.

8 – L'acronyme DL évoque peu souvent « dose létale », sa signification est rarement correcte et la référence aux 50 % d'une population animale est exceptionnelle.

9 – La question est fréquemment abordée mais les réponses données sont plus ou moins pertinentes et parfois fantaisistes.

## Deuxième partie

Cette partie est abordée par plus de 80 % des candidats. Malgré quelques erreurs signalées ci-dessous, le taux de bonnes réponses indique que l'analyse des spectres de résonance magnétique nucléaire du proton, récemment entrée dans les programmes, est menée par un grand nombre de candidats, mais que l'étude de cette technique mérite tout de même d'être approfondie pour une réelle maîtrise.

10 – L'attribution des signaux est le plus souvent exacte ; le jury a considéré comme correcte l'attribution du singulet large à 2 ppm aux protons des acides carboxyliques puisqu'aucune table de signaux n'était fournie dans l'énoncé.

11 – La question est peu abordée et les réponses obtenues souvent floues ; sans entrer dans des explications techniques, il est nécessaire d'indiquer avec précision la nature de l'isotope du carbone utilisé.

12 – Cet exercice de terminale S est à l'évidence difficile, mais il est surprenant de voir que sa résolution met en difficulté une proportion non négligeable de candidats. Il reste encore des erreurs sur la multiplicité, souvent confondue avec la courbe d'intégration. La position des déplacements chimiques est rarement reliée par les candidats à la présence des atomes électroattracteurs.

Pour l'analyse de l'exercice, les candidats confondent souvent « tâche complexe » (qui associe plusieurs procédures, des ressources internes et externes) et niveau de difficulté.

13 – La fonction amide est parfois confondue avec la liaison peptidique, mais les réponses sont en général correctes.

14 – Cette question ne donne pas souvent lieu à de bonnes réponses : les formes mésomères sont fréquemment fausses (avec des erreurs de charge, résultant souvent d'une mauvaise utilisation des flèches de délocalisation) ; les conséquences de la délocalisation sont rarement évoquées : les candidats font principalement le lien entre la présence des formes mésomères et la stabilité de la molécule, l'effet conformationnel (planéité, libre rotation) n'est indiqué que très rarement.

15 – La question est en général bien traitée dans la première partie. Les solutions utilisées par les chimistes pour orienter la synthèse de peptides sont par contre beaucoup moins bien connues (la protection de certains groupes et l'activation devaient être présentées, même sommairement)

16 – La question est en général bien traitée.

17 – Les candidats ont souvent nommé des molécules constituées de protéines ; la fonction catalytique des protéines est la plus connue, le transport ou la signalisation/reconnaissance sont plus rarement évoqués. En revanche, la confusion avec d'autres molécules biologiques comme l'ADN ou les hormones est fréquente.

18 – Dans l'ordre, on trouve dans les copies : les liaisons hydrogène (le plus souvent avec un schéma), les interactions de type Van der Waals, plus rarement évoquées, le plus souvent sans schéma ; les interactions électrostatiques sont ignorées. Les ordres de grandeur des énergies mises en jeu ne sont pour l'essentiel pas évoqués.

19 – Peu de candidats donnent la bonne réponse (addition-élimination) ; l'erreur la plus fréquemment rencontrée est de proposer une  $S_N2$ .

20 – Les réponses fournies sont souvent imprécises et rarement en lien avec la cinétique. L'activation électrophile des groupes C=O est plus connue que l'augmentation de la nucléophilie en passant de l'eau à l'ion hydroxyde.

21 – la réponse est très généralement correcte.

22 – Le mécanisme de l'hydrolyse en milieu basique n'est que partiellement connu. Si la première étape est généralement écrite correctement, la plupart des candidats sont moins assurés sur la suite des étapes élémentaires du mécanisme. On note également un manque de rigueur sur le formalisme : les flèches sont non présentes ou ne partent pas des doublets liants ou non liants.

23 – Cette question difficile ne donne lieu qu'exceptionnellement à une bonne réponse.

24 – L'identification est généralement correcte, mais l'existence des deux énantiomères n'est que rarement signalée alors qu'il n'est pas nécessaire d'avoir répondu correctement à la question précédente pour préciser ce point : la formulation de cette question permet d'y trouver l'élément de réponse attendu.

25 – Cette question pédagogique est la plus mal traitée des quatre proposées. Les candidats en restent souvent au niveau des intentions, sans véritablement concevoir la trame de la séquence. Peu d'entre eux comprennent que l'une des deux séances doit développer la compétence « Analyser » en permettant aux élèves de proposer un protocole. Les protocoles proposés sont peu rigoureux ; les candidats ne distinguent pas le protocole proposé par les élèves de celui du professeur ; le vocabulaire pédagogique

manque parfois de rigueur et de pertinence au vu des étapes expérimentales proposées. La méthode de révélation des acides aminés est méconnue.

### Troisième partie

Cette partie aborde deux méthodes de séparation : l'électrophorèse et l'électrofocalisation. Il n'est pas nécessaire de connaître ces méthodes au préalable pour répondre aux questions qui ont pour objet d'en comprendre le principe à partir de raisonnements mobilisant des connaissances fondamentales.

26 – Question largement abordée mais peu de candidats mènent les calculs à leur terme, sans doute à cause d'une tendance à les compliquer. La définition d'une solution tampon est souvent incomplète.

27 – Cette question, ainsi que la suivante, est souvent abordée mais on constate des erreurs dans l'attribution des  $pK_A$  impliquant les fonctions amines et la justification de la valeur élevée du dernier  $pK_A$  est rarement correcte : peu de candidats font allusion à la stabilité de la forme acide du groupe guanidine et la justifient par l'écriture de formes mésomères.

28 – De nombreuses erreurs sur les charges et sur les déprotonations des fonctions acides et amines au pH donné dans l'énoncé, ce qui a évidemment des conséquences sur la résolution de la suite du problème.

29 – Les candidats qui ne font pas d'erreur question 27 peuvent généralement répondre aux questions 28 et 29 sans erreur également.

30 – Pour l'essentiel, les candidats comprennent (même ceux qui se trompent aux questions précédentes) l'effet de la diffusion sur le profil de concentration. On note cependant un manque de soin sur certaines copies.

31 – Si le profil de concentration à  $\tau' = 2\tau$  proposé est très souvent exact pour ce qui est de l'augmentation de la distance, l'élargissement des bandes est beaucoup moins mentionné. Ici encore, les schémas sont peu rigoureux.

32 – Peu de réponses sont pertinentes et nombreuses sont les affirmations non argumentées.

33 – Il s'agit dans cette question de reprendre les éléments issus de l'analyse réalisée dans les questions 28 à 32 pour les appliquer aux quatre observations présentées. Parmi les candidats qui abordent cette question, la plupart savent interpréter correctement les deux premières observations, les deux suivantes font l'objet de réponses plus vagues et moins argumentées.

34 – Nombreuses bonnes réponses.

### Quatrième partie

Cette partie, d'un niveau post-baccalauréat, est abordée par un peu plus de la moitié des candidats avec des résultats très divers ; les principes de la fluorescence sont globalement moins bien traités que l'inhibition de la fluorescence, qui met en œuvre des éléments de cinétique chimique.

35 – Il n'est trouvé que très peu de bonnes réponses à cette question ; l'erreur la plus fréquemment rencontrée est la suivante : l'état triplet correspond à des entités possédant des électrons dans les orbitales de type  $p$  et l'état singulet correspond à des entités possédant des électrons dans les orbitales de type  $s$ .



36 – Trop d'erreurs sur le remplissage du diagramme (parfois mal recopié) alors que les niveaux sont fournis et que la question suppose d'appliquer le principe de remplissage et la règle de Hund.

37 – Pour comprendre l'effet du dioxygène (inhibiteur de radicaux), il est nécessaire d'avoir effectué un remplissage correct du diagramme d'OM précédent. La majorité des candidats ayant répondu correctement à la question 35 sait expliquer l'importance des opérations de dégazage ; hors de ce contexte, les explications sont très variées mais fausses pour l'essentiel.

38 – Il suffit de lire correctement l'énoncé pour répondre à cette question ; néanmoins certains candidats trouvent un allongement, voire un raccourcissement de la liaison dans l'état Franck-Condon.

39 – Les candidats expliquent l'allongement de la liaison par le peuplement de l'orbitale antiliante mais l'indice de liaison est rarement calculé correctement.

40 – Une réponse correcte à cette question suppose l'élaboration d'une argumentation par comparaison des ordres de grandeur des temps caractéristiques des processus de désactivation du premier état excité. En l'absence de cette argumentation, la réponse ne peut être considérée comme correcte.

41 – Comme dans la question précédente, une argumentation claire est indispensable. On observe que le lien entre la diminution de l'énergie et l'augmentation de la longueur d'onde en émission manque parfois.

42 – Les bonnes réponses sont nombreuses ; la question ne pose pas de problème aux candidats qui l'ont abordée.

43 – Dans l'expression de la vitesse de disparition de l'espèce excitée, le terme correspondant à la fluorescence est indiqué mais la désactivation thermique est oubliée. Cet oubli a évidemment des conséquences sur les questions 44 et 45.

44 & 45 – Lorsque l'expression trouvée dans la question 43 est correcte, les candidats savent en général ajouter dans l'expression de la vitesse le terme supplémentaire lié à la présence du quencher et résoudre les équations différentielles pour atteindre l'équation de Stern-Volmer.

46 – Les réponses à cette question sont souvent erronées, essentiellement en raison d'une confusion entre l'augmentation de la fluorescence et l'augmentation de l'inhibition de la fluorescence avec la température.

47 – Les réponses à cette question sont rares et le plus souvent peu pertinentes. La stabilité de  $QE^*$  est rarement évoquée et le lien avec la thermodynamique non établi.

48 – Prix Nobel de Chimie 2005 : beaucoup de candidats mélangent les époques et les spécialités (physique ou chimie), mais proposent en général des prix Nobel français. Quelques candidats néanmoins se tiennent informés de l'actualité scientifique, comme ces candidats qui répondent « Yves Chauvin, décédé deux jours avant la rédaction de cette copie ».

Cette question pédagogique est souvent abordée par les candidats ; si les questions proposées aux élèves pour avancer dans la compréhension du texte ainsi que les consignes de réalisation sont très souvent justes, les notions de critères et d'indicateurs de réussite sont moins bien traitées. Dans l'ensemble, les candidats confondent les critères de réussite (ce que le professeur attend de l'élève) et les indicateurs de réussite (ce qui atteste de la réussite de la tâche).

49 – La question est peu traitée, mais le plus souvent correctement, en majorité par les candidats ayant traité les questions 43 à 45.

## 9. Rapport sur les épreuves orales de Physique

### Généralités

Les deux épreuves orales du concours interne de l'agrégation de physique - chimie sont l'occasion pour les candidats de montrer à la fois le dynamisme et la conviction dont ils savent faire preuve face à un auditoire auquel ils souhaitent faire partager leur vision de la physique. Le professionnalisme dont ils font preuve au quotidien en classe doit donc se manifester sur l'ensemble de la prestation, mais aussi au travers des trois points particuliers suivants :

- il est important de prendre un recul suffisant par rapport à ses notes, surtout utiles pour y puiser des données, vérifier un résultat, comme en situation professionnelle face à des élèves. Sans doute cette capacité à prendre du recul est-elle liée à la maîtrise ou la bonne appropriation du sujet par le candidat, et permettrait-elle d'éviter d'utiliser des formules ou relations inhomogènes, dont le jury regrette la trop grande fréquence ;
- un soin particulier doit être apporté aux documents supports vidéo-projetés qui doivent être lisibles et compréhensibles ;
- le candidat ne doit pas se sentir piégé par les questions posées par le jury, par nature bienveillant. Ce temps d'entretien est une opportunité donnée au candidat d'éclaircir son propos, de confirmer sa maîtrise du concept, de corriger éventuellement certaines erreurs.

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

#### Présentation du concept et développement post-baccalauréat

Si l'essentiel de la durée de cette première partie doit être consacré au développement post-baccalauréat, l'exposé du concept n'en reste pas moins une composante importante. Ni plan détaillé, ni liste de mots-clés, la présentation du concept est l'occasion pour le candidat de dégager une ou deux idées fortes lui permettant d'illustrer les points essentiels du thème traité. Cette démarche ne peut à l'évidence se faire en recopiant quelques définitions d'un livre trop vite parcouru en préparation. Si l'usage d'une carte mentale n'est en rien une obligation, le jury a pu en apprécier l'usage qui en a été fait par certains candidats.

Le développement post-baccalauréat permet au candidat de montrer sa capacité à traiter d'un point trop complexe sur le plan conceptuel ou calculatoire pour permettre un enseignement au niveau secondaire. Il n'est donc pas judicieux de choisir un point qui figurait dans la version précédemment en vigueur des programmes de terminale (comme la démonstration de la formule de conjugaison des lentilles minces, la propagation au sein d'une fibre à saut d'indice, la charge d'un condensateur à travers une résistance, l'établissement du courant dans une bobine, et la décroissance radioactive) ou la démonstration d'une formule non exigible en terminale S mais d'un niveau équivalent comme celle de l'effet Doppler. Le jury ne peut qu'inviter les candidats pour de nombreux thèmes à se rappeler que « le niveau post-baccalauréat » ne se limite pas aux classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) et comprend les sections de techniciens supérieurs (TPIL, CIRA, Photonique, Système Numérique, Électrotechnique, etc.) ainsi que les licences universitaires (Physique, Chimie, EEA). Dans cette partie de l'exposé, le

candidat doit certes montrer sa capacité à mener une démonstration ou un calcul à un haut niveau, mais surtout présenter et critiquer les hypothèses du modèle utilisé, et appuyer son propos sur le sens physique à donner à ce développement. Le jury constate aussi que trop peu de candidats citent et utilisent des ordres de grandeur qui leur permettraient pourtant d'ancrer leurs développements dans la réalité.

Enfin trop de candidats donnent l'impression de découvrir leur sujet le jour de l'épreuve. Le jury rappelle que cette épreuve exigeante se prépare, en particulier pour approfondir les domaines où l'on n'est pas expert, se constituer une bibliographie solide et éviter les présentations stéréotypées.

## **Partie pédagogique**

Cette partie vise à valoriser l'expertise pédagogique du candidat, et sa réflexion de professionnel à propos de l'enseignement du domaine de la physique concerné par le sujet.

Pour construire cette partie, le candidat doit avant tout s'interroger sur ce que les élèves doivent avoir absolument compris et retenu de la notion abordée au niveau choisi, pour centrer le message délivré sur les objectifs d'acquisition et d'apprentissage visés. Les prestations de qualité sont celles de candidats qui font la preuve de la qualité de leur réflexion pédagogique, et présentent des situations authentiques. Le jury encourage les candidats à proposer une analyse réflexive sincère de leur pratique plutôt qu'un simple témoignage de celle-ci, et conseille la présentation de situations pédagogiques réalistes, riches, intelligemment et non artificiellement contextualisées, et ne se limitant pas à des activités expérimentales. À l'inverse, sont sanctionnés les candidats qui présentent des activités intégralement extraites de manuels scolaires ou autres ressources, sans véritable appropriation, ni utilisation critique, ni plus-value.

La maîtrise du sujet est à nouveau évaluée dans cette partie, relativement au contenu scientifique et aux exemples utilisés : que penser par exemple de candidats qui ne maîtrisent pas la résolution de l'exercice proposé dans l'activité présentée, ou évoquent le projet franco-italien Virgo sans avoir compris si ce sont des ondes lumineuses ou gravitationnelles qui interfèrent ?

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

Cette épreuve consiste à choisir et présenter des expériences illustrant avec pertinence le thème retenu. Le jury évalue à la fois les modalités de présentation, le choix des expériences, les qualités d'expérimentateur du candidat, sa maîtrise scientifique du sujet. Les remarques et recommandations qui suivent doivent 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. Ce plan devra figurer au tableau, pour donner d'emblée la vision d'ensemble du candidat sur le sujet, et permettre au jury de se repérer pendant la présentation. Il est également nécessaire de consigner au tableau les résultats numériques importants, les valeurs numériques caractérisant les grandeurs des composants utilisés, et enfin de faire apparaître les schémas électriques ainsi que les schémas de principe des manipulations réalisées.

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 s'interroger sur le titre de certains montages. Par exemple, « transmission de l'information » est trop souvent confondu avec « propagation libre et guidée ».

Le jury recommande au candidat de mener une réflexion soignée pour ce qui concerne le choix des expériences présentées : il est conseillé de varier les approches de mesure afin de montrer une gamme de compétences la plus large possible et de pouvoir le cas échéant confronter les résultats obtenus par différentes méthodes ; des expériences qualitatives sont parfois pertinentes, mais il est attendu au moins une expérience quantitative complètement exploitée ; des expériences de niveaux variés peuvent être présentées, mais le jury attend au moins une expérience relevant du niveau post-baccalauréat.

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. Il faut donc dépasser le stade d'un calcul d'écart relatif, sans pour autant se lancer dans un traitement mathématique démesuré. L'utilisation d'un logiciel d'acquisition et de traitement des données peut être judicieuse, à condition d'être maîtrisée et surtout comprise ; trop de candidats semblent dépassés par le fonctionnement de cette « boîte noire ». Les candidats sont par ailleurs invités à utiliser le vocabulaire de la métrologie repris dans les programmes de lycée ;
- le jury invite les candidats à bien réfléchir à l'outil d'exploitation. À titre d'exemple, plutôt qu'une exploitation de courbe à l'aide un logiciel de traitement des données, une mesure à l'oscilloscope ne serait-elle pas plus judicieuse pour mesurer un facteur de qualité ou une bande passante ?
- 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.

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

## 10. Rapport sur les épreuves orales de chimie

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

Le candidat doit consacrer une durée équivalente aux deux parties de son exposé que sont la présentation du concept scientifique, suivie du traitement au niveau post-baccalauréat d'un point particulier et le développement d'un aspect pédagogique lié à ce concept au niveau du collège et/ou du lycée.

L'ordre de ces deux parties n'est pas imposé. Le jury recommande aux candidats de déclarer clairement les transitions entre les différents moments de l'exposé. Une bonne gestion du temps est attendue. Une présentation trop longue du concept réduit d'autant le développement post-bac, et donc dévalorise le candidat. Écourter l'une des parties peut être pénalisant.

Si le sujet s'y prête, des expériences peuvent aussi être réalisées. Seront alors évaluées la pertinence du choix de la manipulation et l'exploitation pédagogique qui en sera faite, plutôt que les qualités d'expérimentateur du candidat qui sont évaluées au cours de l'épreuve de montage.

Le candidat doit rester concentré pendant l'interrogation qui suit son exposé : les questions formulées par le jury lui donnent l'occasion de corriger d'éventuels lapsus ou erreurs, d'approfondir certains points, de mettre en valeur sa culture scientifique.

#### ➤ « Présentation d'un concept »

Cet exercice requiert des capacités de synthèse sur des sujets parfois très vastes, mais aussi l'aptitude à identifier un point d'intérêt pour le développement au niveau post-baccalauréat et à justifier ce choix.

Concernant cette partie, le jury souligne les points suivants :

- la présentation générale doit permettre au candidat de mettre en valeur sa vision d'ensemble du concept ;
- le choix du point post-baccalauréat doit être réfléchi, en regard de sa pertinence autant que de la capacité du candidat à le traiter ;
- si le développement fait intervenir formalisme et calculs, le candidat doit leur donner du sens et montrer comment ils servent la thématique développée et la démarche suivie. Le jury a pu constater encore cette année trop de calculs désincarnés, qui ne font pas sens ni ne sont mis en lien avec des applications.

#### ➤ « Analyse pédagogique »

L'objectif de cette partie est que le candidat mette en avant ses qualités pédagogiques, sur un exemple de son choix, en développant un aspect de l'enseignement du concept : présentation d'une activité expérimentale ou non, évaluative ou non, etc. Au-delà de la présentation des objectifs, des contenus, du déroulement de séance ou de séquence, des aides éventuelles (documents, matériels) que l'enseignant peut apporter, il est attendu une véritable analyse des choix pédagogiques faits par le candidat.

Le jury attend que le candidat sache situer ses choix dans une progression, et donc dans un programme. Un candidat ne peut donc se prévaloir d'enseigner en collège pour s'excuser de sa méconnaissance des objectifs et des compétences du lycée, et réciproquement, ni d'enseigner en série S pour ignorer la richesse des programmes des séries technologiques scientifiques.

Le candidat doit aussi définir les objectifs de formation visés, les compétences mobilisées, ainsi que le volume horaire consacré à la séance ou la séquence présentée, les modalités de mise en œuvre (classe entière ou pas, travail individuel, binôme, groupe), etc. L'analyse des choix faits concerne aussi les ressources utilisées. En effet, tous les textes, séquences pédagogiques, expériences, proposés dans les ouvrages scolaires ou autres ressources à disposition, ne sont pas d'égale qualité, ni nécessairement adaptés à toutes les situations pédagogiques. Les choix des candidats sont pour le jury l'expression de leur jugement scientifique et pédagogique. Par ailleurs, le jury apprécie les candidats n'hésitant pas à partager leur vécu, leur capacité à gérer d'éventuelles situations délicates face à une classe hétérogène. Enfin, le jury apprécie une utilisation, si elle est fondée et pertinente, du vocabulaire relevant de la didactique, témoignant d'une véritable appropriation des concepts (tâche complexe, représentations initiales, obstacles didactiques, critères d'évaluation, etc.).

➤ Quelques remarques concernant la communication

Le candidat doit faire preuve de dynamisme, de conviction, tout comme un enseignant devant des élèves.

Les candidats disposent d'un grand nombre de ressources et outils de communication – tableau à craie, TNI, flexcam, ordinateur, logiciels. Si le jury tient à rappeler que la projection d'extraits de manuels ne peut suffire pour présenter une séance pédagogique, il tient à souligner avec satisfaction que la majorité des candidats savent utiliser ces outils, pour certains avec une grande aisance.

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

Pendant les premières minutes de présentation, le jury n'intervient pas pour offrir le temps nécessaire au candidat de se lancer. Les questions sont ensuite posées au fil de la présentation, en lien avec la réalisation des expériences et les observations à faire. Les candidats doivent savoir que les questions ne sont pas destinées à les déstabiliser, mais à les amener à débattre d'un choix d'expériences, d'une technique mise en œuvre, ou à en imaginer une exploitation devant une classe.

Les candidats doivent illustrer lors de l'épreuve de montage leur réflexion concernant la chimie en tant que science expérimentale. Pour cela :

- Un choix pertinent et justifié d'expériences est attendu :
  - elles doivent illustrer le thème choisi : le candidat doit veiller à ne pas présenter d'expériences « hors thème » ; par exemple, la synthèse d'un ester n'illustre pas la modification d'une chaîne carbonée mais de groupe fonctionnel. Les expériences choisies doivent permettre de mettre en évidence des utilisations variées d'une technique donnée (on peut citer la conductimétrie, qui permet de réaliser des dosages, des titrages, des suivis cinétiques en continu, des mesures de grandeurs conductimétriques). Le jury apprécie les montages comprenant des

- expériences de chimie minérale et de chimie organique, ce que permettent la majorité des thèmes proposés ;
- au moins une expérience quantitative est attendue et doit être complètement exploitée (ce qui suppose d'avoir réfléchi à ce qui est mesuré, avec quel instrument et quelle précision) ;
  - le jury recommande au candidat de ne pas trop 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 :
- le candidat doit se mettre en valeur en choisissant d'exécuter devant le jury un nombre suffisant de gestes techniques différents. Ceci nécessite une réelle organisation pendant la préparation, le candidat devant parfois réaliser deux fois une même expérience en vue d'une exploitation à un stade précis devant le jury. Notons que la mise en place d'un montage de chimie organique devant le jury est rarement observée (montage à reflux, montage de distillation, etc.), et que peu de candidats utilisent correctement la pipette jaugée. L'aisance du candidat se mesure aussi à sa capacité à manipuler tout en parlant ;
  - le respect des règles de sécurité est essentiel, pour soi, pour les autres et pour l'environnement, dans la pratique de laboratoire, mais aussi comme objectif de formation. Le candidat doit donc montrer qu'il connaît et 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), mais aussi que ces règles peuvent guider ou orienter ses choix d'enseignant. On rappelle 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. Pour cela, il doit être capable, spontanément ou à la demande du jury, de :
- justifier ou expliquer les protocoles et les gestes expérimentaux ;
  - relier l'expérience et les observations réalisées aux fondements théoriques et modèles auxquels il est fait appel. On peut citer par exemple la maîtrise et l'usage nécessaires des diagrammes binaires pour le montage du même nom, la justification qualitative et quantitative du fonctionnement d'un indicateur de fin de réaction, la justification de l'origine de la couleur des composés colorés ;
  - exercer un regard critique sur les résultats et évaluer les incertitudes de mesure ;
  - mettre en lien le thème du montage ou certaines expériences avec des situations d'enseignement (du collège au niveau post-baccalauréat).

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 écran, ainsi que les équations des réactions chimiques présentées et les éventuelles relations utilisées pour l'analyse des résultats. Il est essentiel

- d'avoir réfléchi à l'avance à la conclusion générale du montage, trop souvent improvisée ;
- le candidat doit éventuellement préparer des documents supports à l'exploitation d'une manipulation devant le jury : diagrammes binaires, diagrammes potentiel-pH, courbes courant-tension, etc. L'utilisation du vidéoprojecteur facilite la présentation de ces documents, ainsi que la lecture des résultats et donc les échanges avec le jury ;
  - le candidat est maître de son montage et doit prendre les décisions seul, sans demander ou attendre un avis du jury ;
  - 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 ;
  - l'utilisation d'ouvrages spécialisés d'expériences plutôt que de protocoles donnés dans les ouvrages scolaires est vivement recommandée.

## **Conclusion**

Le jury a eu le plaisir d'assister à de remarquables exposés et montages qui témoignent d'une excellente maîtrise de la discipline, dans ses fondements théoriques comme dans sa dimension expérimentale, d'une bonne réflexion pédagogique et d'une véritable aptitude à la communication orale, dans un langage clair, soigné, rigoureux et à l'aide d'outils pertinents et adaptés.



## 11. Épreuves et programmes 2016

### **I. 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

## 12. Annexes

- **proposition de solution de la composition de physique 2015**
- **proposition de solution de la composition de chimie 2015**

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/cid4603/sujets-rapports-des-jurys-des-concours-agregation-session-2015.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.

# Epreuve écrite de physique

## Proposition de corrigé

### Première partie - Tension de surface

#### 1.1 Notion de tension de surface - Loi de Laplace

1. A l'équilibre de phase, les molécules ont le même potentiel chimique dans le volume des deux phases : elles sont donc également heureuses. Ce sont uniquement les molécules proches de l'interface, sur une épaisseur de quelques tailles moléculaires, qui sont "malheureuses".

A l'interface, chaque molécule perd la moitié de l'énergie de cohésion, soit  $k_B T/2$ , et occupe une aire  $a*a$ , avec  $a \sim 1$  nm. On en déduit :  $\gamma \sim k_B T/(2a^2)$  soit  $\gamma \sim 2$  mJ  $\cdot$  m<sup>-2</sup>. La tension de surface de l'eau est sensiblement plus élevée en raison des liaisons hydrogène entre molécules d'eau.

NB : l'unité usuelle est le mN  $\cdot$  m<sup>-1</sup>, qui n'est autre que le mJ  $\cdot$  m<sup>2</sup>!

2. Prenons un rectangle dont les côtés ont les longueurs  $a$  et  $b$ . La force capillaire qui s'exerce sur le côté  $b$  a pour norme  $b\gamma$ . Quand  $a$  augmente de  $da$ , son travail est  $dW = (b\gamma)da = \gamma dA$ .

$\gamma$  apparaît comme le travail qu'il faut fournir pour augmenter l'aire de l'interface d'une surface unité : on retrouve la définition "énergétique" de  $\gamma$ . D'un point de vue thermodynamique, cette variation d'énergie est une variation d'énergie libre.

3. La projection sur  $Oz$  des deux forces non représentées qui s'exercent sur les côtés courbés de  $(S)$  est nulle. Les deux forces représentées ont la même projection, qui vaut

$$F_z = \gamma dl \sin(d\theta/2) = -\frac{1}{2}\gamma dl d\theta.$$

4. En plus des forces de tension superficielle, s'exercent sur  $(S)$  des forces de pression de part et d'autre de l'interface. L'aire de  $(S)$  vaut  $dl R d\theta$ . En projection sur  $Oz$ , l'équation d'équilibre pour  $(S)$  s'écrit :

$$-P_1 dl R d\theta + P_2 dl R d\theta - 2F_z,$$

$$\text{soit } P_2 - P_1 = \frac{\gamma}{R}.$$

5. Si  $S$  est une portion de sphère, les quatre forces capillaires élémentaires s'exerçant sur  $(S)$  ont une projection non nulle sur  $Oz$ , il y a donc quatre forces élémentaires identiques à prendre en compte au lieu de deux.

6. Dans une goutte d'eau de rayon 1 mm,  $P_{eau} = P_{atm} + 140$  Pa. L'écart relatif de pression est donc de l'ordre du pour mille, ce qui justifie que les effets de tension de surface soient souvent passés sous silence. Dans l'expression de la loi de Laplace ci-dessus, le milieu d'indice 2 est le côté du centre de courbure. Pour une bulle de gaz, on a donc encore :  $P_{gaz} = P_{eau} + 140$  Pa.

7. Dans le cas de la bulle de savon, les sauts de pression s'ajoutent. Pour  $R = 1$  cm, on trouve  $P_{bulle} - P_{atm} \simeq 8$  Pa.

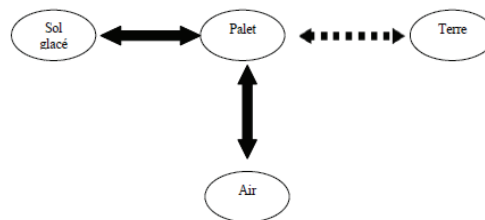
#### 1.2 Questions liées à l'enseignement de la mécanique et de l'hydrostatique au lycée

8. Notion de force en seconde

- *Analyse des erreurs des élèves* :
  - Dans son début d'analyse, l'élève 1 confond "force" et "vitesse". Il confond également "force" et "objet interagissant" puisqu'il cite l'air et la glace dans le même inventaire que la force de pesanteur.
  - L'élève 2 n'identifie pas d'action pouvant venir du support, de plus, le fait qu'il y ait un mouvement, sans intervention visible d'un opérateur lui fait imaginer une "descente".
  - L'élève 3 a une idée plus précise des actions exercées sur le palet, il parle même de compensation, sans apporter de justification, mais la vitesse donnée initialement par l'opérateur et conservée par le mobile est interprétée comme une force.

Globalement ces erreurs sont très classiques, notamment la confusion entre force et vitesse. En effet, l'idée d'élan, "d'impetus" qui entreprendrait le mouvement grâce à une force utilisée initialement exercée reste très fortement ancrée.

- *Intérêt du diagramme objet-interaction* : Le diagramme objet-interaction est bon outil pour dissocier force et vitesse et mieux identifier les objets interagissant et ensuite modéliser les interactions par une force. Le palet interagit avec trois objets que les élèves parviennent sans difficulté à identifier : la Terre, le support recouvert de glace et l'air. On peut ainsi représenter le diagramme suivant pour cette situation : Trois objets interagissent avec le palet. Chaque interaction sera modélisée par une force : le poids, l'action du support et les frottements de l'air. Dans ce schéma d'analyse on voit bien que la vitesse ne peut faire partie de l'inventaire. On limite donc les risques de confusion.



- *Solution complète*  
 Les arguments que les élèves peuvent apporter pour affiner les caractéristiques des forces sont les suivants : Le mouvement observé par rapport à la patinoire (référentiel terrestre) est uniforme et rectiligne. En utilisant le principe d'inertie appliqué au palet, on peut conclure que tout se passe comme si aucune force ne s'exerçait sur le palet. Or on vient de voir qu'il y avait trois forces à inventorier. Il est donc plus probable que la force exercée par l'air soit très faible et ne modifie pas visiblement la vitesse. Le poids et la réaction du sol glacé se compenseraient alors, cette dernière force étant alors verticale.

## 9. Hydrostatique en STI2D

- Situation 1

Exemple de question possible : les deux plongeurs évoluent dans une eau de mer homogène et dont la composition identique. Comparer les pressions exercées sur la tête de chacun des deux plongeurs (ou poissons si le plongeur est indésirable!). Donner des arguments pour justifier votre réponse.

Réponse : la pression est la même puisque ces deux plongeurs sont supposés évoluer à la même profondeur dans une eau de la même densité.

Erreur fréquente : les élèves utilisent le modèle de "la foule" et imaginent que le plongeur peut être "comprimé" localement par la manque d'espace. Cette erreur

peut être compensée par une autre erreur : le confinement est horizontal n'a pas d'effet sur la force verticale subie par le plongeur. Il faut donc insister sur le fait que la pression dans un liquide est une grandeur isotrope.

– Situation 2

Exemple de question possible : Comparer les pressions exercées sur la tête de chacun des deux plongeurs.

Réponse : la pression est la même puisque ces deux plongeurs sont supposés évoluer à la même profondeur.

Erreurs fréquentes : la confusion entre force pressante et pression peut amener les élèves à faire jouer un rôle au bateau qui par son poids exercé au-dessus de la tête du plongeur (a), imposerait une "force supplémentaire" sur la tête de ce plongeur. Même chose pour le poids du rocher en surplomb pour le plongeur (c). Ici encore, l'isotropie de la pression est un argument à opposer à cette "force supplémentaire" qui est verticale dans l'esprit des élèves.

10. Bilan des forces : poids  $\vec{P} = dxdydz \rho \vec{g}$  et une force de pression sur chaque élément de surface. En projection sur l'axe  $Ox$ , le bilan s'écrit :

$$(P(x_M - dx/2, y_M, z_M) - P(x_M + dx/2, y_M, z_M)) dydz = 0, \text{ soit } \frac{\partial P(M)}{\partial x} = 0.$$

Même chose pour la direction  $Oy$ .

En projection sur  $Oz$  :

$$(P(x_M, y_M, z_M - dz/2) - P(x_M, y_M, z_M + dz/2)) dxdy - \rho g dxdydz = 0,$$

$$\text{soit } \frac{\partial P(M)}{\partial z} = -\rho g.$$

En définitive :  $\vec{\text{grad}}P = \rho \vec{g}$ .

11. La surface libre est une équipotentielle du champ de pesanteur. Dans l'hypothèse où  $\vec{g}$  est uniforme, les équipotentielles sont les plans perpendiculaires à  $\vec{g}$ , c'est à dire horizontaux.
12. La pression hydrostatique dépend des paramètres  $\rho$  ( $\text{M} \cdot \text{t}^{-3}$ ) et  $g$  ( $\text{L} \cdot \text{s}^{-2}$ ), et les forces capillaires de  $\gamma$  ( $\text{M} \cdot \text{t}^{-2}$ ). Dimensionnellement,  $L_C \sim \rho^a g^b \gamma^c$ , d'où  $L_C \sim \gamma^{1/2} (\rho g)^{-1/2}$ . Plus physiquement, on peut dire que, à l'échelle  $L_C$ , les forces de pression capillaire ( $\sim \gamma/L_C$ ) sont du même ordre que les forces de pression hydrostatique ( $\sim \rho g L_C$ ).
13. – La forme est hémisphérique si, *dans le tube*, l'effet de la gravité sur la forme du ménisque est négligeable. Il faut donc que la dimension du tube soit petite devant  $L_C$ .
- La pression dans le gaz est partout  $P_{atm}$ . D'après la loi de Laplace, la pression dans le liquide en haut du tube est  $P_t = P_{atm} - 2\gamma/r$ . La pression dans le liquide au niveau de la surface libre horizontale est égale à  $P_0$ .
- La loi de l'hydrostatique donne alors  $P_{atm} - P_t = \rho g H$ , d'où la loi de Jurin :  $H = \frac{2\gamma}{\rho g r}$
- Application numérique :  $H = 0,14$  m.

### 1.3 Pression de la sève montante dans les arbres

14. D'après la loi de Jurin, en prenant un rayon de  $10 \mu\text{m}$ , la sève peut monter à 1,4 mètres de hauteur par capillarité.
15. La pression atmosphérique  $P_{atm}$  restant constante, la loi de Laplace impose que  $R = 2\gamma / (P_{atm} - P_{sève})$ . Si la pression de la sève diminue, le ménisque se creuse et  $R$  diminue



progressivement jusqu'au moment où le ménisque est hémisphérique, soit  $R = r_S$ . Si on diminue encore la pression de la sève, le rayon de courbure ne peut plus diminuer et l'air va envahir le vaisseau.

16. La sève se trouve à la pression  $P_m$  quand  $R = r_S$ , soit  $P_m = P_0 - 2\gamma/r_S$ . Si le rayon des stomates est très petit,  $P_m$  peut être négatif! C'est le cas si  $r_S = 20$  nm, on trouve alors  $P_m \simeq -7$  MPa,  $-70$  fois la pression atmosphérique.

17. Si l'écoulement de sève dû à l'évaporation a un effet négligeable sur la pression, la variation de la pression avec la hauteur  $z$  est alors purement hydrostatique. Si la pression de la sève vaut  $P_0 \simeq 0.1$  MPa au niveau du sol ( $z = 0$ ), la pression de la sève vaut alors :  $P = P_0 - \rho g z$ .

Soit  $P = -0.1$  MPa 20 mètres du dessus du sol, à la cime de l'arbre. La pression est négative, mais elle est très supérieure au seuil de l'embolie  $-7$  MPa. Le vaisseau est donc stable vis à vis de l'embolie.

18. Le modèle est évidemment faux, car si la variation de pression était uniquement un effet hydrostatique, elle serait la même pour toutes les espèces. Plus précisément, la pression devrait varier linéairement avec  $z$  et atteindre  $-0,2$  MPa à 20 m. On constate donc que le modèle est à peu près juste pour *Schefflera* mais complètement faux pour *Thuja*.

Les paramètres du modèle hydrostatique sont très peu nombreux. La gravité est au dessus de tout soupçon, mais on peut douter que la sève soit de l'eau pure. Cependant, il faudrait qu'elle soit beaucoup plus dense que l'eau pour expliquer l'écart numérique. D'autre part, la pression devrait être la même pour toutes les branches. Si le modèle hydrostatique est faux, cela signifie que l'eau s'écoule et que la perte de charge associée à l'écoulement est plus importante que la chute de pression hydrostatique. Cette perte de charge dépend beaucoup du réseau vasculaire (ramifications, diamètre des vaisseaux...) ce qui induit une grande variabilité.

19. Comme écrit dans le premier encadré (question 1), il existe des interactions attractives importantes entre molécules dans les liquides, qui sont responsable de leur cohésion. Ces interactions font que les liquides peuvent résister à une tension. Evidemment, si cette tension est trop importante, le liquide "se rendra compte" qu'il est plus favorable pour lui de passer en phase vapeur, mais cette transformation demande de passer une barrière d'énergie (voir la partie suivante).

## Deuxième partie - transition liquide-vapeur

### 2.1 Transitions de phase au collège et au lycée

#### 20. Diagramme de phase

Le programme officiel de la classe de cinquième cite parmi les connaissances à acquérir : "un palier de température apparaît lors du changement d'état d'un corps pur".

- Expérience : mesurer en fonction du temps la température de l'eau quand on apporte de la chaleur à cette eau. En classe, cette expérience se fait avec un récipient ouvert, ce qui impose que la pression est constante et est égale à la pression atmosphérique. De manière générale, on n'observe de palier de température que si la pression est constante.

- La température du palier dépend évidemment de la pression, et éventuellement de la présence d'impuretés dissoutes. Dans ce second cas, on n'observe pas de plateau au sens strict. La pression atmosphérique est susceptible de varier en fonction des conditions météorologique et de l'altitude. L'impact est important pour la transition liquide-gaz. Pour des conditions anticycloniques,  $P \simeq 1020$  hPa et pour une dépression  $P \simeq 990$  hPa, ce qui donne, d'après les valeurs numériques données en début de sujet une variation de température de l'ordre de  $1^\circ\text{C}$ , pas très facile à mettre en évidence; en revanche, l'effet de l'altitude est notable. La pression atmosphérique à 1000 m est de l'ordre de 900 hPa, soit une température d'ébullition de l'ordre de  $96,5^\circ\text{C}$ . L'impact est en revanche beaucoup plus faible pour la transition entre deux phases condensées dont le potentiel chimique dépend faiblement de la pression.
- La proposition "l'eau est liquide en dessous de  $100^\circ\text{C}$ " est pleine de sous-entendus. Il faudrait dire : si on prend un récipient fermé qui ne contient que de l'eau et que ce récipient est à pression atmosphérique alors l'eau sera sous forme liquide tant que la température est inférieure à  $100^\circ\text{C}$ . C'est réalisable dans une bouteille souple remplie à ras-bord et fermée : on n'observe pas de vaporisation. Il peut y avoir évaporation à toute température s'il y a un espace libre, a fortiori si le récipient est ouvert. En revanche, on observe bien qu'il se passe quelque chose de singulier à  $100^\circ\text{C}$  : il se forme des bulles *au sein* du liquide. Le liquide "préfère" donc se transformer en gaz au dessus de  $100^\circ\text{C}$ .
- Si l'on enferme un gaz dans un récipient déformable, quand on diminue le volume, la pression augmente jusqu'à ce qu'elle atteigne la pression de vapeur saturante. Si on continue à diminuer le volume, le gaz se condense à pression constante. Quand la condensation est complète, la pression se remet à augmenter.

## 21. Chaleur latente

- On appelle chaleur latente (massique ou molaire) de vaporisation d'un corps pur à la température  $T$  la variation d'enthalpie (de l'unité de masse ou d'une mole) de ce corps passant de l'état liquide à l'état gazeux.
- L'échange de chaleur est un des moyens de changer l'énergie interne d'un système mais, suivant le type de transformation choisie, on peut passer d'un état à un autre en échangeant plus ou moins de chaleur. Ici, on s'intéresse au changement d'état d'un corps pur qui s'effectue à température et donc à pression constante. La chaleur échangée à pression constante s'identifie à la variation d'enthalpie et donc à la variation d'une fonction d'état qui est définie de manière univoque dès que les états initial et final sont connus.

## 22. Séance de travaux pratiques en première S

### (a) Correction détaillée aux questions de la partie **Exploitation individuelle**

- 1. On place les glaçons dans de l'eau afin que la température initiale des glaçons soit  $0^\circ\text{C}$ .
- 2. La masse d'eau  $m_i$  a une capacité thermique  $m_i c$ . L'énergie cédée est :  $E_C = m_i c (T_i - T_{min}) = 11,63$  kJ (les valeurs mesurées sont données avec 2 ou 3 chiffres significatifs, on en garde 4 pour les calculs intermédiaires).
- 3. Si le contenu du calorimètre est parfaitement isolé, alors l'énergie reçue  $E_R$  par les glaçons est égale à l'énergie cédée  $E_C$ .
- 4. La masse ne change pas lors d'un changement d'état : la masse d'eau  $m_2$  formée par la masse des glaçons est égale à la masse des glaçons  $m_g$ . Quand cette eau passe de  $0^\circ\text{C}$  à  $T_{min}$ , elle reçoit  $m_g c (T_{min} - 0) = 978,1$  J.

- 5. L'énergie reçue est égale à la somme de l'énergie  $E_f$  utilisée pour la fusion et de  $m_g c(T_{min} - 0)$ . Sachant que  $E_C = E_R$ , on obtient  $E_f = m_i c(T_i - T_{min}) - m_g c(T_{min} - 0) = 11630 - 978,1 = 10650 \text{ J}$ .
- 6.  $\Delta h_f = E_f / m_g = 296 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ .

(b) Analyse des résultats

- L'ensemble des valeurs a comme valeur moyenne  $297 \text{ J/g}$  et comme écart type  $12 \text{ J/g}$ .
- 2. L'écart relatif entre les groupes est donc de l'ordre de 4%. Le protocole étant le même pour tous les groupe, la dispersion des résultats est sans doute due aux incertitudes de mesure (une erreur de  $0,5^\circ\text{C}$  sur  $T_{min}$  suffit pour avoir une incertitude 2,5% sur le résultat final.
- 3. Si on fait confiance au protocole et aux hypothèses utilisées dans l'analyse des résultats, l'incertitude est due uniquement à des erreurs aléatoires. Alors la valeur moyenne donne une estimation de  $\Delta h_f$ , et l'écart type donne une estimation de l'incertitude, on en déduit  $\Delta h_f = 300 \pm 10 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ . On peut améliorer l'estimation de l'incertitude en divisant l'écart type par la racine du nombre de points de mesure.
- 4. La valeur tabulée est incompatible avec la valeur précédente. Le protocole et/ou les hypothèses conduisent à une erreur systématique (ou biais). On peut suspecter : l'hypothèse que le calorimètre est parfaitement isolant (la dérive de la température aux temps longs prouve le contraire), le fait qu'on a négligé la capacité thermique du calorimètre, le fait que les glaçons peuvent être partiellement fondus en surface. On remarque d'ailleurs que tous ces points vont dans le même sens et conduisent à sous estimer  $\Delta h_f$ .

(c) L'intérêt de ce TP est d'utiliser concrètement un bilan énergétique pour en tirer une valeur utile. D'un point de vue expérimental, on sait que ce genre de mesure est en réalité délicate et qu'on peut trouver des valeurs très éloignées de la valeur attendue. C'est donc un TP idéal pour dépasser l'analyse minimale des résultats où on se borne à calculer la dispersion des mesures, et où cette dispersion fournit une estimation de l'incertitude. Après la question D4, il faudrait donc initier une vraie discussion, dont les termes pourraient être :

- vérifier que la dispersion est bien compatible avec les erreurs aléatoires sur les mesures de températures et de masses.
- chercher les faiblesses du protocole pour cerner les sources de biais. Il est dommage de ne pas faire tracer  $T(t)$  et de ne pas faire remarquer la dérive.
- proposer d'optimiser/corriger ce protocole : bien choisir la température initiale pour minimiser les échanges avec l'extérieur, choisir un rapport masse de glaçon/masse d'eau initial le plus élevé possible, estimer la capacité thermique du calorimètre, etc.

(d) Au sens strict, on ne peut rien dire de la précision avec les données dont on dispose puisqu'on ne connaît pas la précision des appareils utilisés. Visiblement la résolution en température est de  $0,5^\circ$ , ce qui conduit déjà à une incertitude de 2,5% comme dit plus haut. Pour des améliorations, cf discussion précédente.

(e) Cette méthode est difficilement applicable à une transformation liquide vapeur : travailler avec un gaz implique d'avoir un calorimètre étanche. Ce calorimètre devrait de plus être déformable pour assurer que la pression reste constante lors de la vaporisation du liquide introduit.

## 2.2 thermodynamique de la transition liquide-vapeur

23. L'ensemble  $\mathcal{S} \cup \mathcal{R}$  est isolé : son entropie  $S_{tot}$  augmente lors d'une transformation spontanée.

On a :  $\Delta S_{tot} = \Delta S + \Delta S_{\mathcal{R}}$  avec  $\Delta S_{\mathcal{R}} = -Q/T_0$  où  $Q$  est la chaleur reçue par  $\mathcal{S}$  lors de la transformation.

Par ailleurs :  $Q = \Delta U - W$ , où  $W$  est le travail reçu par  $\mathcal{S}$ . Ici  $W = -P_0\Delta V$ .

Il vient :  $\Delta S_{tot} = \Delta S - \frac{1}{T_0}\Delta U - \frac{P_0}{T_0}\Delta V$  ;

On en déduit :  $\Delta\Phi = -T_0\Delta S_{tot}$ , d'où  $\Phi$  décroît lors d'une transformation spontanée. C'est le potentiel thermodynamique pour  $\mathcal{S}$ .

24. Seules les  $N$  moles qui passe de l'état gaz à l'état liquide subissent une transformation. D'après l'expression de  $\Delta\Phi$  :

$$\Delta\Phi = U_L(T_0, P_1, N) - U_G(T_0, P_0, N) - T_0[S_L(T_0, P_1, N) - S_G(T_0, P_0, N)] + P_0(V_1 - V_0)$$

avec des notations évidentes : l'indice pour  $U$  et  $S$  indique la phase considérée. Pour alléger l'écriture, on omet parfois dans la suite les variables  $T_0$  et  $N$  qui sont les mêmes pour toutes les fonctions.

En regroupant les termes, et en ajoutant  $(P_1V_1 - P_1V_1) = 0$ , il vient :

$$\Delta\Phi = [U_L(P_1) - T_0S_L(P_1) + P_1V_1] - [U_G(P_0) - T_0S_G(P_0) + P_0V_0] + (P_0 - P_1)V_1$$

qui est l'expression demandée. En ajoutant la contribution de l'interface :

$$\Delta\Phi = G_L(T_0, P_1, N) - G_G(T_0, P_0, N) + (P_0 - P_1)V_1 + \gamma A$$

25. Pour le liquide incompressible :  $\left. \frac{\partial\mu_L}{\partial P} \right|_T = V_L$ , avec  $V_L$  constant. Par intégration :

$$\mu_L(T_0, P_1) = \mu_L(T_0, P_V) + V_L(P_1 - P_V).$$

Pour le gaz, supposé parfait :  $\left. \frac{\partial\mu_G}{\partial P} \right|_T = V_G = \frac{RT}{P}$ . Par intégration :

$$\mu_G(T_0, P_0) = \mu_G(T_0, P_V) + RT_0 \ln(P_0/P_V)$$

26. Pour passer à l'enthalpie libre, on utilise le fait que  $G = \mu N$ , avec  $N = \frac{(4/3)\pi R^3}{V_L}$ . On injecte les expressions de  $G_L$  et  $G_G$  dans celle de  $\Delta\Phi$ . Il vient :

$$\Delta\Phi = \frac{(4/3)\pi r^3}{V_L} [V_L(P_0 - P_V) - RT_0 \ln(P_0/P_V)] + 4\pi r^2 \gamma$$

où on a utilisé le fait que, à la pression d'équilibre  $P_V$ ,  $\mu_L(T_0, P_V) = \mu_G(T_0, P_V)$ .

27. Parmi les hypothèses, on a supposé que les variations relatives de pressions par rapport à  $P_V$  sont petites. On en déduit :  $\frac{RT_0}{V_L} \ln\left(\frac{P_0}{P_V}\right) \approx \frac{RT}{V_L P_V}(P_0 - P_V) = \frac{V_G P_0}{V_L P_V}(P_0 - P_V) \approx \frac{V_G}{V_L}(P_0 - P_V)$ , où  $V_G$  est le volume molaire du gaz. Loin du point critique,  $V_G \gg V_L$  et le second terme est bien dominant par rapport au premier dans l'expression de  $\Delta\Phi$ .

Remarque : dans beaucoup de situations,  $V_G$  est tellement grand devant  $V_L$  que cette approximation est très robuste, même si on s'écarte beaucoup de la pression de coexistence  $P_V$ .

28.  $\Delta\Phi$  est donc de la forme  $\alpha r^3 + \beta r^2$ .  $\beta$  est toujours positif.  $\alpha > 0$  si  $P_0 < P_V$  et  $\alpha < 0$  si  $P_0 > P_V$ . L'état thermodynamiquement stable correspond à  $\Phi$  minimum. Si  $P_0 < P_V$ , ce minimum correspond à  $r = 0$  : il n'y a pas condensation, le système reste dans la phase gaz qui est stable. Si  $P_0 > P_V$ , le minimum est atteint pour  $r \rightarrow \infty$ , c'est à dire quand la gouttelette liquide a envahi tout le système : c'est la phase liquide qui est stable.

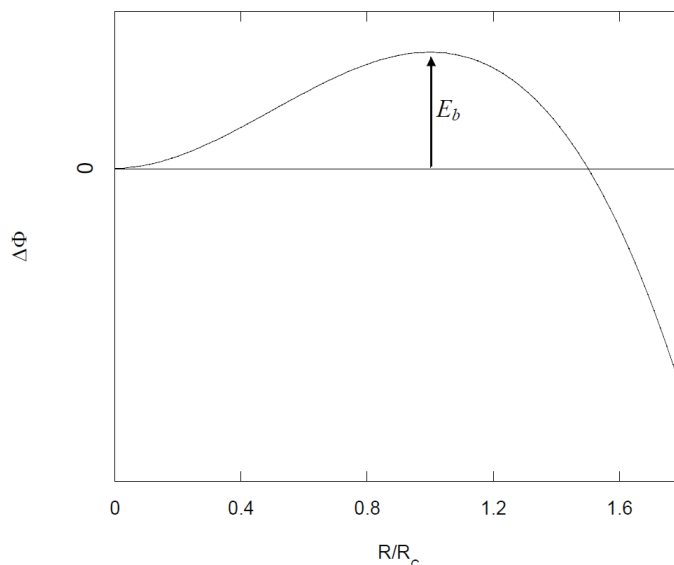


FIGURE 1 –  $\Delta\Phi$  en fonction du rayon de la gouttelette liquide. Pour  $P_0 > P_V$ , le minimum de  $\Delta\Phi$  correspond à la phase liquide ( $r \rightarrow \infty$ ), mais cet état ne peut être atteint qu'en franchissant la barrière de potentiel  $E_b$ .

Ce résultat était prévisible : dans un diagramme de phase dans les coordonnées  $(T, P)$ , la phase liquide est toujours au dessus de la courbe de coexistence.

29. 
$$r_C = 2 \frac{\gamma V_L}{R T_0} \frac{1}{\ln \frac{P_0}{P_V}}.$$
30. Partant de l'état {vapeur + goutte de liquide de rayon  $r$ }, le système évolue dans le sens qui minimise  $\Phi$ . Si  $r < r_C$ , le système revient dans l'état initial (vapeur uniforme). Si  $r > r_C$ , la goutte grossit jusqu'à envahir le système : il y a condensation. Le système est donc initialement dans un état métastable qui correspond à un minimum local de son potentiel. Il ne peut atteindre le minimum absolu (état liquide) que si une fluctuation thermique lui permet de franchir la barrière énergétique.
31. 
$$E_b = \frac{16\pi}{3} \frac{\gamma^3 V_L^2}{R^2 T_0^2} \frac{1}{\left(\ln \frac{P_0}{P_V}\right)^2}.$$
32. Pour que le système se liquéfie entièrement, il faut que lors d'une fluctuation se crée une goutte de rayon  $r_C$ . La probabilité qu'une fluctuation porte le système dans un état d'énergie  $E_b$  au dessus de son état d'équilibre est proportionnelle à  $\exp(-E_b/k_B T)$  (la constante multiplicative dépend de la taille du système et de la fréquence avec laquelle le système explore l'espace des configurations).
33. Expérimentalement, on trouve que  $\ln(P r)$  décroît linéairement avec  $\frac{1}{[\ln(P_0/P_V)]^2}$ , comme attendu. Le coefficient directeur vaut environ 470 en valeur absolue. D'après le

modèle précédent, on attend que ce coefficient vaille :  $\frac{16\pi}{3} \frac{\gamma^3 V_L^2}{R^2 T_0^2 k_B T_0} \approx 800$ . L'ordre de grandeur est correct, mais la mesure est sensiblement différente de la prédiction. En définitive, le modèle prévoit correctement comment varie la hauteur de la barrière avec l'écart à l'équilibre, mais ne donne qu'une valeur approximative de cette barrière.

34. Il est courant d'observer un retard lors d'une transition liquide  $\rightarrow$  solide. En enregistrant la température en fonction du temps lors du refroidissement, on dépasse souvent transitoirement le palier de solidification. On en trouve des illustrations spectaculaires sur internet. Ce retard est d'ailleurs mis à profit dans des dispositifs commerciaux utilisés pour se réchauffer.

## Partie C - l'eau metastable

### 3.1 dualité onde-corpuscule en classe de terminale S

35. Aux 18<sup>ème</sup> et 19<sup>ème</sup> siècles s'est imposé le caractère ondulatoire de la lumière. Il subsiste pourtant deux petits nuages dans le ciel de la physique théorique (l'expression est de William Thomson alias lord Kelvin). L'un d'entre eux est le rayonnement du corps noir. Son étude amènera Max Planck à formuler l'hypothèse en 1900 que les échanges d'énergie entre le rayonnement électromagnétique et le matériau émetteur sont quantifiés. Cette hypothèse est reprise par Einstein en 1905 pour expliquer l'effet photoélectrique. En 1927, à la suite des travaux de Bohr, De Broglie généralise la dualité onde-corpuscule aux particules matérielles.

36. – Un exemple de réponse attendue d'un candidat sous la forme d'une question ouverte :  
On peut donner les trois premiers documents et prévoir un document supplémentaire rappelant la relation de de Broglie. Les élèves sont soumis à une seule question ouverte telle que celle-ci : "Exploiter quantitativement ces documents pour montrer que le modèle ondulatoire fournit une interprétation des résultats de cette expérience d'interférence, réalisée avec des molécules de fullerène C60." Des aides seront données aux élèves pour les guider dans leurs calculs et leur suggérer de pratiquer certaines analogies.

– Autre exemple :

On peut aussi procéder différemment en fournissant uniquement le document 2 et 3 et en donnant le temps de réflexion suffisant aux élèves avec toutes les notes de cours ( qui n'évoquent pas le fullerène) pour formuler une question que leur suggèrent ces documents. Par exemple : "Comment se comportent les molécules de fullerène dans cette expérience ?" Ensuite une étude quantitative guidée peut être menée, une fois bien identifiée la nature du comportement de ces molécules. Le document 1 et la relation de de Broglie sont ajoutés aux données.

Dans les deux cas, il est préférable de donner le document 4 dans un second temps. Son analyse permet de conforter les résultats obtenus avec un jet thermique et de pousser l'analogie avec la diffraction d'un faisceau optique.

– Exemple de consignes

- Calculer la longueur d'onde associée aux molécules de fullerenes dans l'expérience

La longueur d'onde de de Broglie associée est donnée par la relation  $\lambda = \frac{h}{m v_m}$  .

Avec une masse  $m = 1,2 \cdot 10^{-24}$  kg on trouve  $\lambda = 2,8$  pm. Nous pouvons souligner

qu'elle est très petite à l'échelle de la taille de la molécule qui est de l'ordre de 1000 pm.

- Pour l'onde associée aux fullerenes, à quoi correspond un "maximum d'intensité", terme utilisé pour les ondes lumineuses ? Pour quels angles observe-t-on un "maximum d'intensité" ? On détecte des impacts : un maximum d'intensité correspond à un maximum de particules détectées. Ce maximum correspond à un décalage de  $35 \mu\text{m}$  par rapport à la direction du faisceau incident, soit un angle  $\frac{35 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 28 \cdot 10^{-6} \text{ rad}$ .

Cet angle est *très petit* ! Cela impose que la dimension transverse du détecteur soit elle aussi très petite pour résoudre les maxima.

- Si l'onde associée aux fullerenes, se comporte comme une onde lumineuse, dans quelles directions doit-on observer un maximum d'intensité ?

Pour  $p = 1$ , en utilisant la relation du doc. 1, on trouve que l'angle de diffraction vaut  $\theta = \lambda/d = 28 \mu\text{rad}$ , ce qui est parfaitement cohérent avec la description ondulatoire du faisceau de molécules.

### 3.2 Diffusion Brillouin

37. Par analogie avec les photons, la quantité de mouvement  $\vec{p}$  des phonons est suivant le sens de propagation de l'onde et de norme  $h/\lambda$ . L'énergie est  $e = h\nu$  où  $h$  est la constante de Planck. La vitesse du son dans l'eau est de 1480 m/s. Pour une fréquence  $\nu = 1000 \text{ Hz}$ ,  $\lambda = 1,48 \text{ m}$ ,  $p = 4,48 \times 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  et  $e = 6,63 \times 10^{-31} \text{ J}$ .
38. La notion d'onde acoustique n'a de sens que dans la limite des milieux continus. Il faut donc que  $\lambda$  soit grand devant la distance moyenne entre molécules, c'est à dire l'angström. Si on prend pour fixer les idées  $\lambda = 1 \text{ nm}$ , l'énergie correspondante est de l'ordre de  $10^{-21} \text{ J}$ .
39. La conservation de l'énergie s'écrit :  $h\nu_+ - h\nu = hf$  où  $f$  est la fréquence du phonon. Pour un photon optique,  $\nu \sim 5 \times 10^{14} \text{ Hz}$  et  $h\nu \sim 3 \times 10^{-19} \text{ J}$ , ce qui est beaucoup plus grand que l'énergie maximum d'un phonon estimée à la question précédente. La variation relative de l'énergie du photon est donc petite.
40. Pour un photon, l'énergie est proportionnelle à la quantité de mouvement. La variation relative de la quantité de mouvement est donc elle aussi petite. La conservation de la quantité de mouvement s'écrit :  $\vec{P}_+ - \vec{P} = \vec{p}$ .  
La traduction graphique est faite ci-dessous :

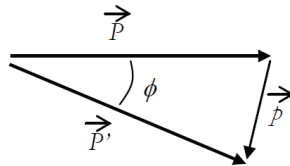


FIGURE 2 -

Si  $P \simeq P'$ , le triangle ci-dessus est presque isocèle, d'où :  $p \simeq 2P \sin(\phi/2)$ .

41. La conservation de l'énergie s'écrit :  $\nu_+ - \nu = f = \frac{vp}{h}$ .

La question précédente donne :  $p = 2 \frac{h\nu}{c} \sin(\phi/2)$  avec  $c = c_0/n$ . On obtient :

$$\nu_+ - \nu = \frac{2n}{\lambda_0} v \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (1)$$

*NB* : la démonstration de cette relation est faite le plus souvent en se plaçant du point de vue *ondulatoire* : l'onde sonore crée un réseau qui diffracte l'onde lumineuse incidente. C'est le fait que ce réseau est en mouvement qui provoque le changement de fréquence par effet Doppler.

42. La diffusion Brillouin est dite inélastique car l'énergie du photon incident est modifiée. Dans le cas de l'annihilation, les calculs sont identiques et on trouve un décalage opposé.
43. On trouve :  $(\nu_+ - \nu) = 5,23 \text{ GHz}$ , soit une variation de longueur d'onde  $\lambda - \lambda_0 = 4,97 \times 10^{-3} \text{ nm}$ .  
La résolution nécessaire pour mesurer ce décalage est  $\lambda_0/(\lambda - \lambda_0) \sim 10^5$ , hors de portée d'un spectromètre à réseau.

### 3.3 Principe d'un interféromètre de Perot-Fabry

44. La différence de phase entre deux rayons sortants successifs est  $2\pi \frac{2e}{\lambda}$  à cause de l'aller et retour dans la cavité. L'ordre d'interférence est  $\frac{2e}{\lambda} \sim 10^4$ .
45.  $I_t$  est maximale quand l'ordre d'interférence est entier, soit  $e$  multiple de  $\lambda/2$   
 $I_t(e)$  est donc périodique de période  $\lambda/2$  :

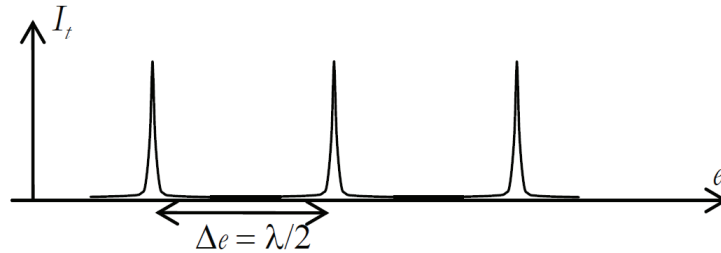


FIGURE 3 –

46. Le pic correspondant à  $\nu'$  (ordre  $p$ ) correspond à  $e = e_0 + \delta e$ . Le pic correspondant à  $\nu'$  (ordre  $p \pm 1$ ) correspond alors à  $e = e_0 + \delta e \pm \lambda'/2$ . Comme les deux longueurs d'onde sont très proches, la période  $\lambda'/2$  des pics correspondants à  $\nu'$  est très proche de  $\lambda/2 = \Delta e$ . On obtient donc des groupes de deux pics régulièrement espacés de  $\Delta e$ , la distance entre deux pics dans le même groupe étant  $\delta e$ .

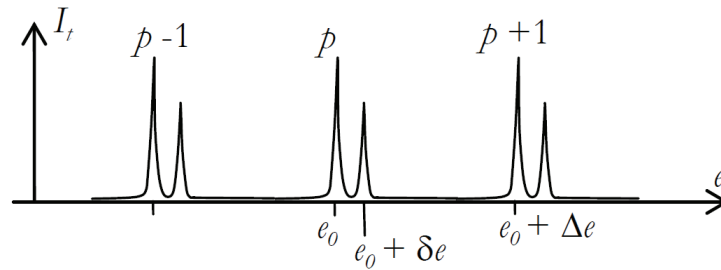


FIGURE 4 – Pour faciliter la compréhension, on a représenté la figure avec des intensités différentes pour les deux fréquences : les grands pics correspondent à  $\nu$ .

47. Par définition :  $e_0 = p \frac{\lambda}{2}$  et  $e_0 + \delta e = p \frac{\lambda'}{2}$ . Il vient donc :  $\delta e = \frac{p}{2}(\lambda' - \lambda)$

En divisant par  $\Delta e = \lambda/2$ , on obtient :  $\frac{\delta e}{\Delta e} = \frac{p}{\lambda}(\lambda' - \lambda)$  Enfin, on élimine  $p$  dans cette dernière expression en remarquant que  $ISL \equiv \frac{c}{2e_0} = \frac{p\lambda}{c}$  pour obtenir :



$$\frac{\delta e}{\Delta e} = -\frac{\delta \nu}{ISL}. \quad (2)$$

48. Si  $\delta \nu > ISL$ , alors  $\delta e > \Delta e$  et la raie  $\nu'$  d'ordre  $p$  se trouvera entre les raies  $\nu$  d'ordre  $p + 1$  et  $p + 2$ . Il y a mélange des ordres pour les différentes fréquences, exactement comme un repliement de spectre quand on dépasse la fréquence de Nyquist pour un signal échantillonné. Pour éviter cela, il faut se restreindre à un domaine de fréquence inférieure à  $ISL$ , d'où le nom d'intervalle spectral libre. Ceci implique évidemment qu'on a une idée a priori de la valeur de la fréquence à déterminer. Sinon,  $\nu' - \nu$  est déterminé modulo  $ISL$ .

### 3.4 Spectroscopie Brillouin

49. A chaque raie élastique  $\nu$  est associée deux raies Brillouin  $\nu_+$  et  $\nu_-$  qui ont des décalages opposés. Ce décalage est de 5,23 GHz, inférieur à l'ISL qui est de 20 GHz : il n'y a pas de repliement.

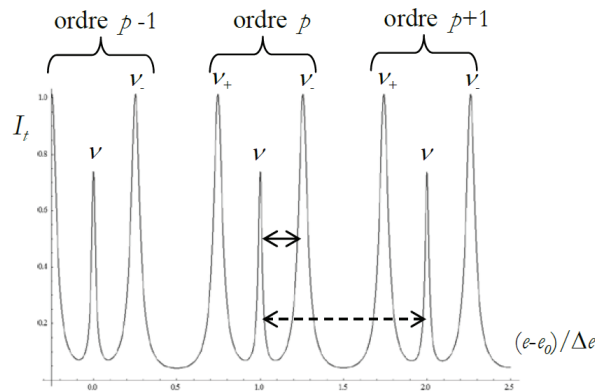


FIGURE 5 –  $I_t(e)$ . L'ISL de 20 GHz est proportionnel à la flèche en pointillé et le décalage Brillouin est proportionnel à la flèche continue

50. Il y a à présent mélange des ordres :

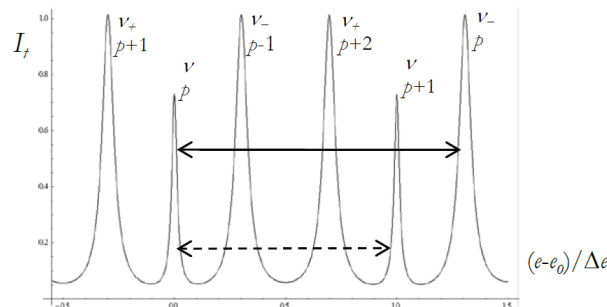


FIGURE 6 –  $I_t(e)$ . L'ISL de 4 GHz (pointillé) est maintenant inférieur au décalage Brillouin (continu).

51. Les spectres expérimentaux sont très semblables à la figure précédente. En veillant à identifier correctement les raies, on trouve un décalage d'environ 5,25 GHz entre une raie Brillouin (pression ambiante soit 0,1 MPa) et une raie Rayleigh de même ordre. C'est en bon accord avec le résultat de la question ??.
- A la pression de -26 MPa, les raies Brillouin se rapprochent de la raie Rayleigh correspondante : le décalage passe de 5,25 GHz à environ 5,15 GHz . D'après l'expression

??, le décalage Brillouin est proportionnel à la vitesse du son  $v$ . La variation relative de  $v$  est d'environ  $-0,1/5,25$  soit  $-2\%$ .

*NB* : dans cette estimation, on néglige la variation de l'indice avec la pression...les auteurs de l'article ont en réalité mesuré également la dépendance de l'indice avec la pression pour analyser correctement le spectre Brillouin.

### 3.5 Equation d'état

52. La vitesse est donnée par :  $v = v_0 + k(\rho - \rho_0)$ .

La compressibilité (isotherme ou isentropique) s'écrit aussi :  $\chi_S = +\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial P}$ . On en déduit une équation différentielle pour  $P(\rho)$  :

$$v^2 = (v_0 + k(\rho - \rho_0))^2 = \frac{1}{\rho \chi} = \frac{\partial P}{\partial \rho}$$

*NB* : ici, cette équation s'intègre facilement. On trouve :

$$P - P_{atm} = v_0^2(\rho - \rho_0) + v_0 k(\rho - \rho_0)^2 + \frac{k^2}{3}(\rho - \rho_0)^3.$$

53. En supposant que  $v = v_0 + k(\rho - \rho_0)$  est toujours valide pour  $\rho = 985,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , on trouve :  $v_0 = 1449,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

54. Cette valeur est très proche de la valeur mesurée. En l'absence d'information sur l'incertitude expérimentale, il semble que l'équation d'état déterminée dans le domaine de stabilité reste valide pour l'eau métastable, du moins jusqu'à cette valeur de masse volumique.

## Proposition de corrigé du problème de chimie — Les protéines

### I Quelques méthodes d'analyse d'espèces organiques

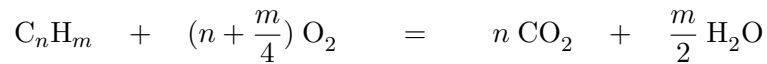
#### I.a Combustion et analyse élémentaire

##### 1. [QP1] Combustion du carbone en classe de quatrième

|                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Connaissances et capacités du programme      | <p><b>Connaissances</b> : La combustion du carbone nécessite du dioxygène et produit du dioxyde de carbone – Test du dioxyde de carbone</p> <p><b>Capacités</b> : Questionner, identifier un problème, formuler une hypothèse – Mettre en œuvre un protocole expérimental – Observer, extraire les informations d'un fait observé – Exprimer à l'écrit ou à l'oral des étapes d'une démarche de résolution</p> |
| Capacités de la compétence 3 du socle commun | <p>Pratiquer une démarche expérimentale</p> <p>Réaliser</p> <p>Communiquer</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| 2tapes de la démarche                                                   | Rôle du professeur                                                                                                                                                                                                                | Activités élèves<br>Modalités de travail                                                                             | Réponses attendues                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Situation déclenchante<br>Questionnement                                | Présente la vignette.<br>Suscite et régule les échanges pour dégager une ou plusieurs questions scientifiques                                                                                                                     | Travail en classe entière                                                                                            | Exemples de questions scientifiques qui peuvent émerger : la chaleur dégagée par la combustion du charbon peut-elle contribuer à réchauffer la planète ? le produit formé au cours de la combustion peut-il contribuer à réchauffer la planète ? qu'est-ce que l'effet de serre ? |
| Hypothèse                                                               | Le professeur fait la synthèse des échanges précédents et apporte si nécessaire quelques compléments : le dioxyde de carbone est un gaz à effet de serre ; le test à l'eau de chaux permet de caractériser le dioxyde de carbone. | Individuellement puis par groupes, les élèves émettent une hypothèse permettant d'expliquer l'affirmation de Gaston. | Hypothèse : la combustion du charbon produit du dioxyde de carbone et participe ainsi au réchauffement climatique.                                                                                                                                                                |
| Elaboration du protocole expérimental                                   | Le professeur valide les protocoles.                                                                                                                                                                                              | Par groupes de 4, éventuellement avec répartition des rôles.                                                         | Introduire un morceau de fusain préalablement porté à incandescence dans un flacon de dioxygène. Verser en fin de combustion de l'eau de chaux dans le flacon.                                                                                                                    |
| Investigation expérimentale<br>Observations                             | Le professeur distribue le matériel, surveille l'activité des élèves.                                                                                                                                                             | Les élèves manipulent et observent.                                                                                  | L'incandescence du fusain est plus vive dans le dioxygène.<br>L'eau de chaux se trouble.                                                                                                                                                                                          |
| Interprétation, institutionnalisation, structuration des connaissances. | Le professeur procède à la mise en commun des observations et des conclusions                                                                                                                                                     | Travail individuel : schématisation, observations, conclusions.                                                      | La combustion du carbone produit du dioxyde de carbone. L'hypothèse initiale est donc validée.                                                                                                                                                                                    |

2.



À partir des masses mesurées des produits obtenus (eau et dioxyde de carbone) par combustion complète (dans un excès de dioxygène) d'une masse connue d'hydrocarbure, il est possible de déterminer la formule brute de l'hydrocarbure (différente de la formule moléculaire, laquelle est égale à la formule brute à un facteur multiplicatif entier près).

3. NO<sub>x</sub> signifie NO<sub>x</sub>, pour dérivés oxygénés de l'azote, avec différentes valeurs de *x*, pour la stœchiométrie. Exemples : monoxyde d'azote NO ; dioxyde d'azote NO<sub>2</sub>

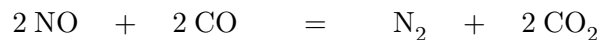
Structure de LEWIS du monoxyde et du dioxyde d'azote



4. Les hydrocarbures utilisés comme carburants ne contiennent pas d'azote, mais la combustion est réalisée avec l'air atmosphérique qui contient 80 % de diazote. Lors du processus de combustion, le diazote réagit à haute température avec le dioxygène de l'air pour former des oxydes d'azote (NO, NO<sub>2</sub>..., notés de manière générique NO<sub>x</sub>).



Les pots catalytiques sont les dispositifs destinés à éliminer les NO<sub>x</sub> des gaz de combustion des moteurs à combustion interne. Le principe de fonctionnement est la transformation des NO<sub>x</sub> en diazote et à la surface du catalyseur (métal de transition de type platine ou palladium) :



Il s'agit d'une réaction d'oxydo-réduction.

### I.b Minéralisation et dosage de l'azote organique

5. La méthode de KJELDAHL n'est pas spécifique de l'élément azote contenu dans les protéines mais seulement de l'azote contenu dans les espèces organiques constituant les aliments ; il n'y a donc pas de distinction entre l'azote issu de la minéralisation des aliments et l'azote issu de la minéralisation des substances organiques ajoutées.

La molécule ajoutée doit contenir un pourcentage massique d'azote plus important que le lait.

6. Le taux d'azote dans la mélamine vaut :

$$\frac{6 \times 14}{3 \times 12 + 6 \times 14 + 6 \times 1} \times 100 = 66,7 \%$$

L'ajout d'une faible quantité de mélamine permet, en raison du taux élevé d'azote que contient cette molécule, d'augmenter artificiellement le taux d'azote des aliments.

7. La quantité d'azote dosé correspondant à la mélamine ajoutée vaut :

$$34 - 32 = 2 \text{ g.}$$

Cette masse correspond à :  $\frac{2}{126} \approx 16.10^{-3}$  mol de mélamine par kilogramme de lait.

8. DL (dose létale ou dose létale médiane) est un indicateur qui mesure la quantité de substance causant la mort de 50 % d'une population animale (souris ou rats le plus souvent) dans des conditions d'expérimentation données.

Il s'agit d'essais réalisés sur une population, donc de données statistiques, avec en général une distribution de type gaussienne, aussi la valeur DL 50 correspond à une erreur plus réduite.

9. Les valeurs données pour le rat ne peuvent être extrapolées à l'homme. La toxicité des substances ajoutées dans le lait peut altérer irréversiblement le fonctionnement de certains organes (foie, rein, cerveau), sans entraîner la mort.

## II Des acides aminés aux protéines

### II.a Analyse structurale par RMN

10.

- singulet large à 11 ppm, intégration 2 : protons des deux acides carboxyliques
- triplet à 3,8 ppm, intégration 1 : proton porté par l'atome de carbone stéréogène de l'acide aminé
- doublet à 2,7 ppm, intégration 2 : protons portés par l'atome de carbone en  $\alpha$  de l'atome de carbone stéréogène
- singulet très large à environ 2 ppm, intégration 2 : protons portés par l'atome d'azote.

11. Les noyaux des atomes de carbone possèdent un spin nucléaire nul en raison du nombre pair de nucléons. On utilise un isotope du carbone actif en RMN comme le carbone 13 (nombre impair de nucléons).

12. [QP2]

a) Bromoalcane A  $C_4H_8Br_2$  : 2,3-dibromobutane

Chloroalcane B  $C_5H_{11}Cl$  : 2,2-diméthylchloropropane.

b) A : le signal à 3,8 ppm correspond aux atomes d'hydrogène en  $\alpha$  et en  $\beta$  d'un atome de brome électro-négatif ; le signal à 1,8 ppm correspond aux atomes d'hydrogène en  $\beta$  et en  $\gamma$  d'un atome de brome électro-négatif, l'éloignement de l'atome électro-négatif atténue son effet sur le déplacement chimique.

B : le signal à 3,3 correspond aux atomes d'hydrogène en  $\alpha$  d'un atome de chlore électro-négatif, le signal à 1,1 ppm correspond aux atomes d'hydrogène en  $\gamma$  d'un atome de chlore électro-négatif, l'éloignement de l'atome électro-négatif atténue son effet sur le déplacement chimique.

c) A : 3,8 ppm : doublet (couplage avec le CHBr en  $\alpha$ ) de quadruplet (couplage avec le  $CH_3$  en  $\alpha$ ) ; 1,8 : doublet (couplage avec le CHBr en  $\alpha$ )

B : 3,3 ppm : singulet (pas de couplage) ; 1,1 ppm : singulet (pas de couplage).

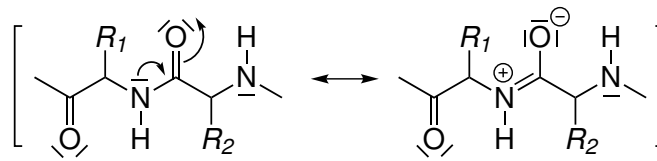
**b** Analyse de l'exercice

| Q. | Compétences activées | Tâche complexe ou non | Typologie des raisonnements                                                  | Niv. | Analyse critique de la question                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----|----------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a  | APP, ANA             | non                   | Utiliser des modèles de représentations en chimie<br>Raisonnement qualitatif | 3    | Niveau de difficulté trop important pour la première question d'un exercice : les élèves qui ne sauront pas la résoudre ne pourront pas continuer (exercice « à tiroirs »).                                                                                                         |
| b  | RCO                  | non                   | Restitution de connaissances<br>Raisonnement qualitatif                      | 2    | Question qui fait appel à des connaissances hors programme : il faudrait rajouter une table simplifiée de déplacement chimique ou un tableau d'électro-négativités.                                                                                                                 |
| c  | RCO, ANA             | non                   | Restitution de connaissances<br>Raisonnement qualitatif                      | 2    | L'exercice pourrait se conclure par une tâche complexe : par exemple, prévoir le spectre de RMN (nombre de signaux, courbe d'intégration et multiplicité) pour une molécule dérivant formellement de B par substitution d'un H d'un groupe méthyle par un deuxième atome de chlore. |

### II.b Peptides et protéines

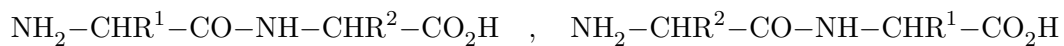
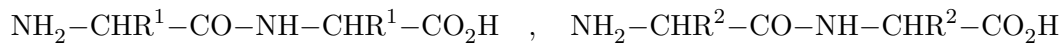
13.  $2 NH_2-CHR^1-CO_2H = NH_2-CHR^1-CO-NH-CHR^1-CO_2H + H_2O$  ; La fonction amide est formée dans le dipeptide

14.



Conséquence de la délocalisation : la liaison peptidique est plane, elle est plus stable qu'une liaison C-N simple ; la rotation autour de la liaison CO-NH est empêchée.

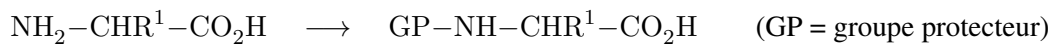
15. Dipeptides possibles :



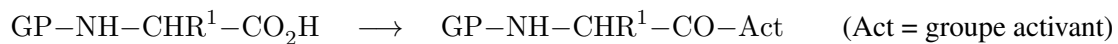
possèdent la même formule moléculaire

Pour réaliser la synthèse peptidique, on effectue des réactions de protection des groupes fonctionnels et d'activation des groupes électrophiles.

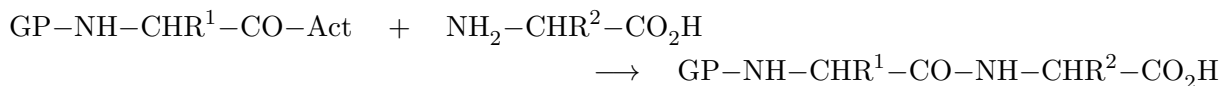
Protection :



Activation :



Formation de la liaison peptidique :



La séquence d'activation/réaction peut être réitérée avec d'autres aminoacides ( $\text{NH}_2\text{-CHR}^3\text{-CO}_2\text{H}$ ,  $\text{NH}_2\text{-CHR}^4\text{-CO}_2\text{H}$ ...) pour construire la chaîne polypeptidique.

16.  $-\text{[CO-CHR-NH]}-$ .

"Unité de répétition" employé dans le cas des polymères correspond à la répétition d'un même motif. Dans le cas des protéines, les motifs ne sont pas exactement les mêmes puisque les chaînes latérales *R* changent le long de la chaîne polypeptidique L'emploi du terme unité de répétition introduit une confusion.

17. Les protéines assurent également les autres fonctions suivantes :

- catalyseur des réactions chimiques (les enzymes) ;
- transmission de l'information intra et extracellulaire (récepteurs) ;
- transports d'espèces chimiques au sein et entre cellules ;
- motricité de la cellule (muscles, microscopie)

18. 3 types d'interactions attendues :

liaison hydrogène (dessin liaison, énergie moyenne ( $20 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ))

interaction électrostatique entre groupes chargés ( $-\text{NH}_3^+/-\text{CO}_2^-$ ) ;

interaction hydrophobe (van der Waals) entre résidus apolaires.

## II.c Hydrolyse des protéines

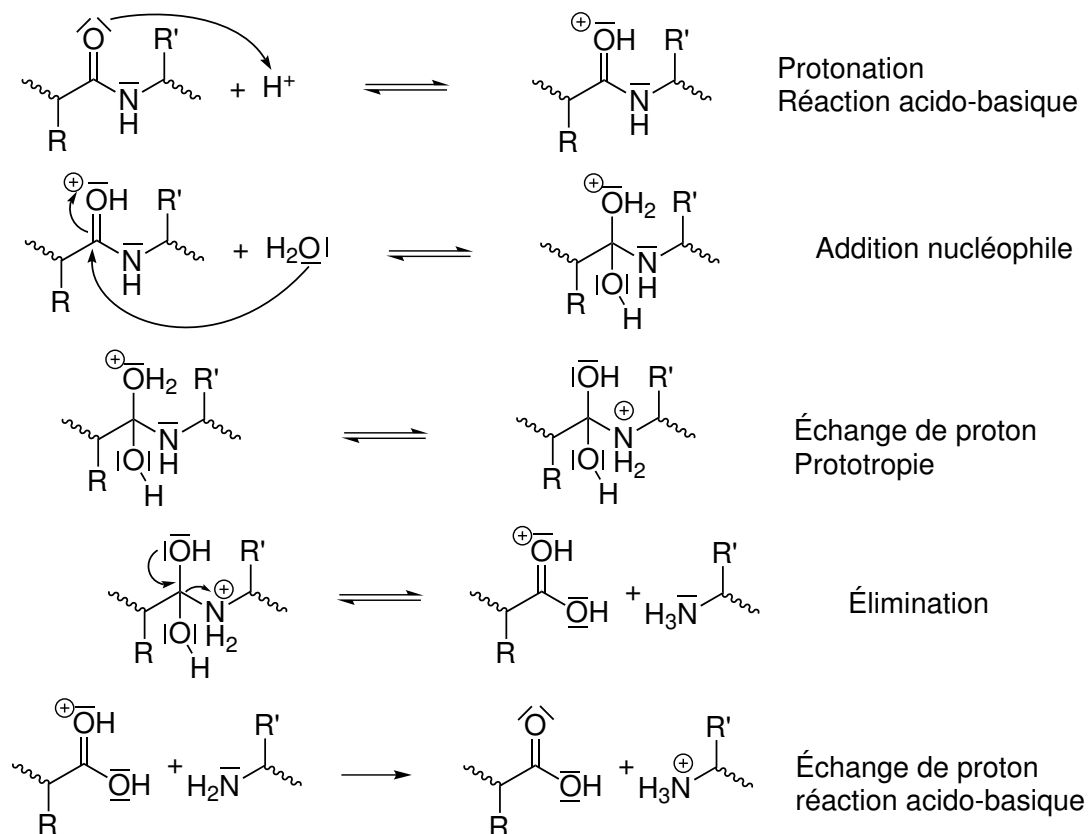
19. Les réactions d'addition-élimination

**20.** En milieu neutre, la réaction est très lente donc non observable dans le temps d'une séance de cours ou de travaux pratiques.

En milieu acide, il y a activation électrophile de la fonction amide, ce qui rend l'atome de carbone du C=O plus réactif vis-à-vis du nucléophile eau.

En milieu basique, le nucléophile est l'ion hydroxyde, plus nucléophile que l'eau.

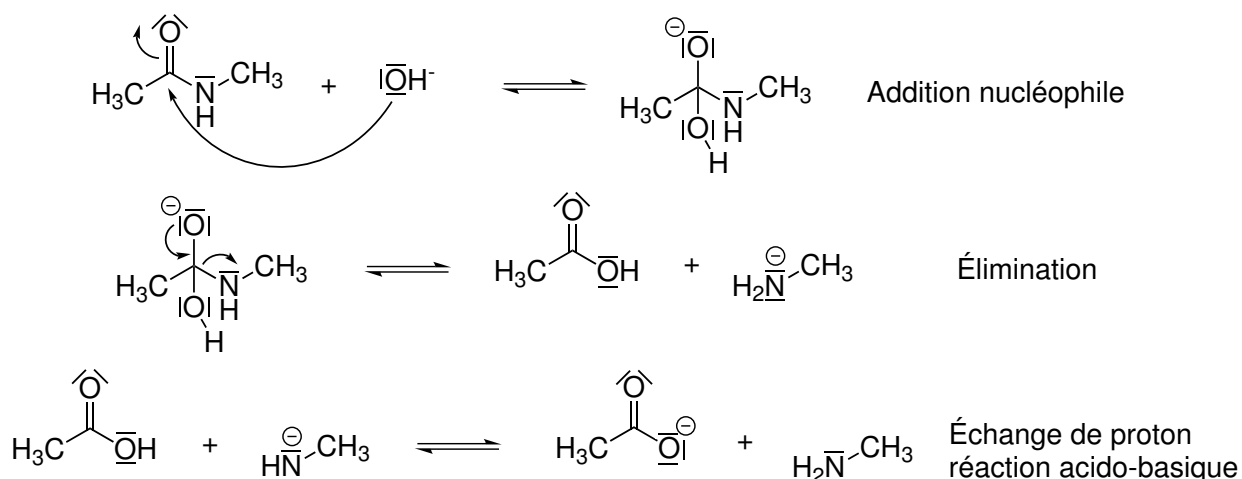
**21.** Mécanisme :



Les acides aminés sont obtenus sous forme protonée :  $H_3N^+ - CHR - CO_2H$ .

D'après le mécanisme, l'acide n'est nécessaire qu'en quantité catalytique. Mais l'obtention d'une amine en fin de réaction a comme conséquence une réaction acido-basique qui capte le proton. Afin de maintenir tout au long de l'hydrolyse une concentration en ions  $H^+$  suffisante, il est préférable d'ajouter l'acide en quantité stœchiométrique.

**22.** Hydrolyse d'un amide en milieu basique :

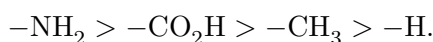


23. En milieu basique, il est possible d'effectuer une déprotonation (lente) de l'atome de carbone en  $\alpha$  de la fonction amide en raison de la stabilisation de ce carbanion par délocalisation sur la fonction amide (formation d'un carbanion de type énolate, de géométrie localement plane sur l'atome de carbone du carbanion). Lors de la reprotonation, le carbanion est reprotoné sur l'une ou l'autre face du plan ; ceci conduit à l'obtention d'acides aminés racémisés après hydrolyse.

24. L'acide aminé est l'alanine ( $C_3H_7NO_2$ )



L'ordre de priorité des substituants est, d'après les règles de CAHN, INGOLD et PRELOG ( $Z$  décroissant) :



Le stéréoisomère de gauche sur le dessin est de descripteur stéréochimique  $R$ , celui de droite est de descripteur stéréochimique  $S$ .

## 25. [QP3]

Première heure : Hydrolyse de l'aspartame.

Les élèves disposent d'un protocole expérimental précisant le montage à réaliser, les matériels et réactifs à utiliser, les conditions opératoires.

Exemple :

**Produits** : aspartame (Canderel), eau, solution d'acide chlorhydrique ( $1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ), solution d'hydrogénocarbonate de sodium à 10 %, papier pH

**Matériels** : ballon, réfrigérant droit, tuyaux souples, éprouvette à pied, chauffe-ballon, support élévateurs, pinces et noix, bécher

**Protocole** : Dans un ballon, introduire 2 comprimés de Canderel (contient 20 mg d'aspartame). Ajouter 20 mL d'acide chlorhydrique. Agiter pour dissoudre les comprimés. Adapter le réfrigérant à eau sur le ballon pour effectuer le chauffage à reflux, fixer à la pince, ouvrir le robinet d'eau, puis faire bouillir doucement le mélange pendant 20 minutes.

Verser le contenu du ballon une fois refroidi dans un bécher. L'hydrolysate (acide) est neutralisé à l'aide de la solution d'hydrogénocarbonate de sodium jusqu'à ce que l'effervescence due au dégagement de  $CO_2$  cesse. Vérifier la neutralité à l'aide de papier pH.

Compétences travaillées : réaliser – communiquer.

Réaliser : réalisation du montage, suivi du protocole.

Communiquer : schématisation du dispositif.

Deuxième heure : Identification des acides aminés obtenus.

Analyser : proposer un protocole permettant d'identifier les acides aminés.

Utilisation de la CCM : a) saturation de la cuve par éluant, b) dépôts du produit de l'hydrolyse et comparaison avec la phénylalanine, l'acide aspartique et l'aspartame, c) élution, d) révélation.

**Produits** : phénylalanine, acide aspartique, aspartame, mélange éluant ((butan-1-ol + acide acétique pur + eau dans les proportions 6/2/2), révélateur (Ninhydrine), plaques de silice pour CCM, eau

**Matériels** : Cuves (becher) pour CCM, capillaires, boîte de Pétri (ou verre de montre) comme couvercle, sèche-cheveux

**Protocole** (distribué après mise en évidence des grandes étapes)

1. Préparer la cuve à élution :
  - Mettre 10 mL d'éluant dans un bécher ou la cuve à chromatographie.
  - Couvrir avec le couvercle.
2. Préparer une plaque à C.C.M :



- Tracer à 1 cm du bord inférieur un trait de crayon et y repérer 4 points équidistants par des croix.
  - Avec un capillaire, réaliser les 4 dépôts sur les croix.  
 Dépôt A : Produit de l'hydrolyse  
 Dépôt B : Phénylalanine (0,1 g/100 mL d'eau)  
 Dépôt C : Acide aspartique (0,1 g/100 mL d'eau)  
 Dépôt D : Aspartame « frais » (1 comprimé dissous dans 20 mL d'eau)
3. Elution :
- Mettre la plaque dans la cuve à élution
  - Retirer la plaque lorsque le front du solvant est à 2 cm du haut de la plaque
  - Noter rapidement la position du front du solvant d'un trait de crayon à papier
4. Séchage : au sèche-cheveux
5. Révélation : (sous la hotte)
- Mettre des gants.
  - Vaporiser la plaque avec de la ninhydrine (révélateur des acides aminés).
  - La sécher à l'aide d'un sèche-cheveux.
  - Entourer les taches obtenues.

Réaliser : suivi du protocole – respect des règles de sécurité (hotte, gants).

Communiquer : rédaction des observations et conclusion.

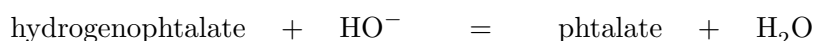
### III Méthodes de séparation des acides aminés et des protéines

#### III.a Électrophorèse

26. Le pH d'un mélange d'acide et de base conjugué est donné par la relation d'Henderson :

$$\text{pH} = \text{p}K_A + \log \frac{[\text{B}^-]}{[\text{BH}]}$$

Dans le cas présent, le pH attendu est supérieur au  $\text{p}K_A$  du couple hydrogénéphthalate/phthalate. Il est donc nécessaire d'ajouter de la base (hydroxyde de sodium) à la solution d'hydrogénéphthalate. La réaction entre l'hydroxyde de sodium et les ions hydrogénéphthalate est :



Soit une stœchiométrie 1/1. La concentration finale en ions Phthalate dans la solution tampon est donnée par :

$$\frac{c_{\text{Soude}} \cdot V_{\text{Soude}}}{(V_{\text{Hphtal}} + V_{\text{Soude}})}$$

La concentration finale en ions Hydrogénéphthalate dans la solution tampon est donnée par :

$$\frac{(c_{\text{Hphtal}} \cdot V_{\text{Hphtal}} - c_{\text{Soude}} \cdot V_{\text{Soude}})}{(V_{\text{Hphtal}} + V_{\text{Soude}})}$$

Comme  $c_{\text{Hphtal}} = c_{\text{Soude}}$ , on obtient le rapport :

$$10^{(\text{pH} - \text{p}K_A)} = \frac{V_{\text{Soude}}}{(V_{\text{Hphtal}} - V_{\text{Soude}})}$$

Ce qui conduit à :

$$\frac{V_{\text{Hphtal}}}{V_{\text{Soude}}} = 1 + 10^{-0,49} = 1,324.$$

Une solution tampon est une solution dont le pH varie peu par ajout modéré d'acide, de base ou par dilution. La solution impose son pH à l'ensemble du dispositif (papier imbibé) si les espèces chimiques déposées sur le papier sont en concentration faible par rapport au tampon.

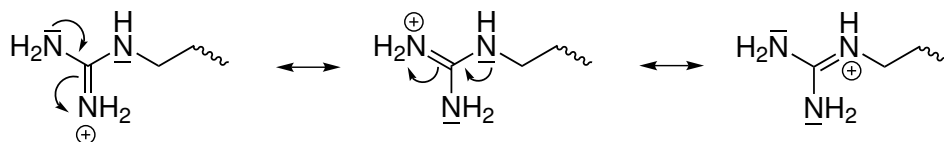
27. L'arginine possède 3  $pK_A$ .

$pK_A(1)$  : correspond au couple  $-\text{CO}_2\text{H}/-\text{CO}_2^-$

$pK_A(2)$  : correspond au couple  $-\text{NH}_2/-\text{NH}_3^+$

$pK_A(3)$  : correspond au couple acido-basique de la chaîne latérale (groupe guanidine)

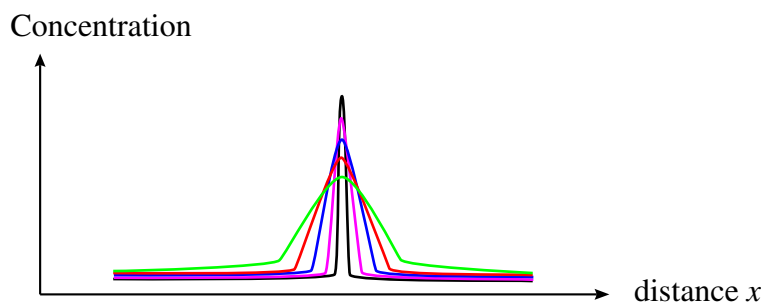
Ce troisième  $pK_A$  est élevé car il correspond à l'équilibre entre une forme acide (particulièrement stable, stabilisation de la charge positive de l'atome d'azote par délocalisation) et la base conjuguée du groupe porté par la chaîne latérale :



28. À  $\text{pH} = 6$ , l'acide aspartique est chargé négativement, l'arginine est chargée positivement.

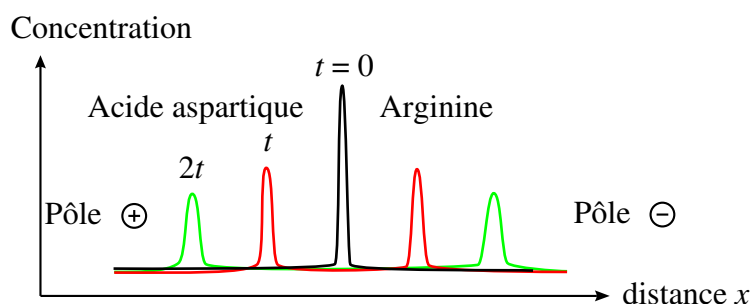
29. L'acide aspartique, chargé négativement, a migré vers le pôle positif, l'arginine, chargée positivement, a migré vers le pôle négatif.

30. Le phénomène qui modifie le profil initial en l'absence de champ électrique est la diffusion. La diffusion provoque un élargissement du pic et une diminution du maxima au cours du temps. Représentation qualitative de l'évolution :



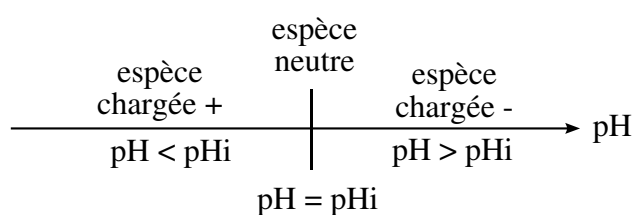
Au bout d'un temps infini, la concentration est uniforme, quelle que soit la distance  $x$ .

31. Si la vitesse de migration ne change pas au cours du temps, les espèces continuent à migrer vers les pôles en raison de leur charge et les pics s'élargissent en raison de la diffusion.

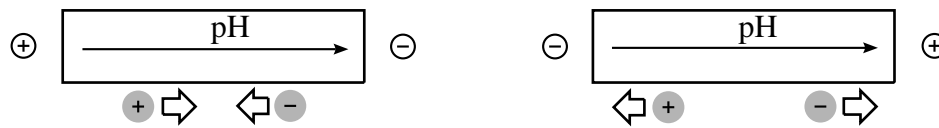


### III.b Électrofocalisation

32. Le diagramme de prédominance des espèces autour du  $\text{pH}_i$  est :



Les deux possibilités sont :

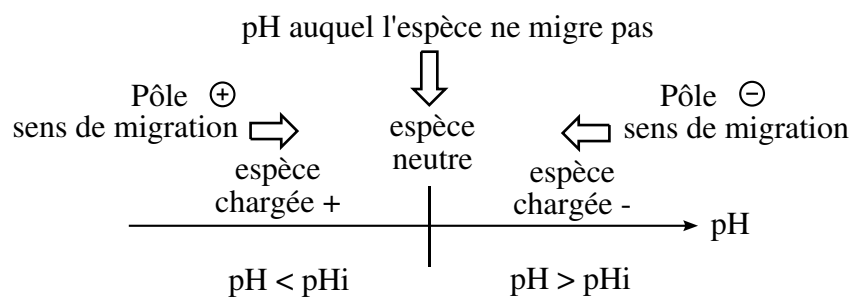


Dans le premier cas (gauche sur le dessin), le processus de migration est convergent, il est divergent dans le deuxième cas (à droite sur le dessin).

Dans le premier cas, (pôle positif du côté des pH bas), tant que le pH du milieu est inférieur à  $pH_i$ , l'espèce est chargée positivement et migre vers le pôle négatif (pH élevés); lorsque le pH est supérieur à  $pH_i$ , l'espèce est chargée négativement et migre vers le pôle positif (pH bas). Ainsi le sens du champ électrique permet la séparation des espèces en fonction de leur  $pH_i$ .

### 33.

1. la migration cesse : en se déplaçant le long de la bande, le pH du milieu varie et les espèces atteignent une zone dans laquelle  $pH_{support} = pH_i$ . Leur charge globale est nulle à cet endroit, elles cessent donc de migrer dans le champ électrique ;
2. l'ouverture du circuit électrique provoque un élargissement des bandes : c'est l'effet attendu de la diffusion.
3. le rétablissement du courant permet de retrouver des bandes fines : la migration des espèces reprend sous l'influence du champ électrique selon les processus suivant :



4. largeurs des bandes : la diffusion qui élargit les bandes est compensé par l'effet du champ électrique dans le gradient de pH comme indiqué ci-dessus.

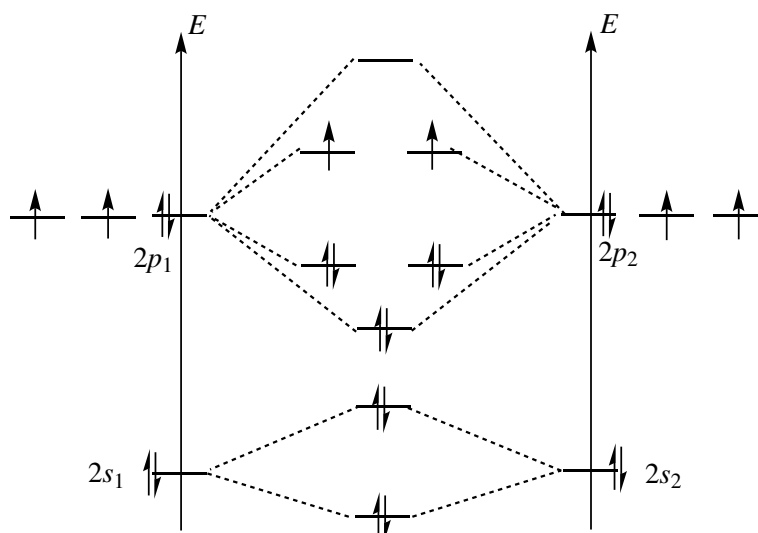
**34.** Le terme est construit sur "électro" en référence à l'électrophorèse et "focalisation" (par analogie avec l'optique) car la technique permet de concentrer sur une distance très réduite chacune des espèces à séparer.

## IV Protéines fluorescentes

### IV.a Phénomène de fluorescence

**35.** La différence est liée à la multiplicité des espèces. Dans les états singulets tous les électrons sont appariés, la multiplicité est égale à 1, dans les états triplets, il existe deux électrons non appariés, la multiplicité est égale à 3.

**36.** La structure électronique de l'oxygène est  $1s^2 2s^2 2p^4$ . Les orbitales de valence contiennent 6 électrons  $2s^2 2p^4$ . Deux principes à respecter : le remplissage des orbitales par ordre croissant d'énergie (Aufbau); la règle de Hund.



Conclusion du remplissage : deux électrons ne sont pas appariés, la molécule possède un état fondamental triplet.

**37.** Les solvants utilisés pour effectuer les réactions contiennent des gaz de l'atmosphère dissous ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ). La présence de  $O_2$ , espèce diradicalaire est susceptible de réagir avec les espèces triplet formées durant les réactions photochimiques et de conduire à leur dégradation.

**38.** En application du principe de FRANCK-CONDON, la distance carbone-oxygène dans le groupe carbonyle ne varie pas lors de la transition électronique, aussi la distance reste constante :  $d = 120$  pm.

**39.** Dans le premier état excité, le système a relaxé vers un état plus stable ; comme un électron non liant est passé dans une orbitale antiliante, l'indice de liaison du groupe carbonyle est passé de 2 (2 électrons dans l'OM  $\sigma$  et 2 électrons dans l'OM  $\pi$ ) à 1,5 (2 électrons dans l'OM  $\sigma$ , 2 électrons dans l'OM  $\pi$  et 1 électron dans l'OM  $\pi^*$ ).

En conséquence de la diminution de l'indice de liaison, on peut s'attendre à un allongement de la liaison C-O du groupe carbonyle dans l'état excité.

**40.** Lorsque la molécule est excitée (en  $10^{-15}$  s environ), elle passe dans des états excités de différents niveaux électroniques et vibrationnels. Elle se désexcite ensuite. Le processus de désactivation le plus rapide qui existe est la relaxation vibrationnelle dont le temps caractéristique est d'environ  $10^{-12}$  s. La fluorescence et la désactivation non radiative sont des processus plus lents (temps caractéristique de  $10^{-9}$  s) que la relaxation vibrationnelle, aussi la relaxation vibrationnelle se produit-elle en premier pour conduire au premier état excité singulet à partir duquel le processus le plus lent (la fluorescence) peut se réaliser.

**41.** Lorsqu'une molécule absorbe un photon, elle passe dans un état électronique excité. Avant de se désexciter, la molécule subit une relaxation vibrationnelle (ce qui correspond à une perte d'énergie). La molécule revient dans son état électronique initial en émettant un photon d'énergie correspondant à la différence d'énergie entre l'état excité relaxé et l'état initial. Le photon émis est d'énergie inférieure au photon absorbé car il y a eu une perte d'énergie par relaxation vibrationnelle. Comme :

$$E_{em} < E_{abs} \quad \text{et que : } E = \frac{hc}{\lambda} \quad , \text{ alors : } \lambda_{em} > \lambda_{abs}.$$

#### IV.b Inhibition de la fluorescence

**42.** La molarité de l'étape élémentaire est égale à 2. La loi de vitesse est du deuxième ordre :  $v = k_q[E^*][Q]$ .

**43.** En l'absence de *quencher*, les seuls processus de désexcitation sont la fluorescence et la désexcitation thermique :

$$\frac{d[E^*]}{dt} = -(k_{fl} + k_{th})[E^*].$$

En présence de *quencher*, les deux processus précédents sont en compétition avec l'inhibition collisionnelle :

$$\frac{d[E^*]}{dt} = -(k_{fl} + k_{th} + k_q[Q])[E^*].$$

**44.** D'après l'énoncé, les conditions photostationnaires correspondent à :  $\frac{d[E^*]}{dt} = 0$  pour les deux situations.

**45.** On compare les deux processus de désexcitation (en absence et présence de *quencher*). L'irradiation est constante en absence et en présence de *quencher*. Pour les deux situations, on a les évolutions suivantes en fonction du temps :

$$\frac{d[E^*]}{[E^*]} = -k_{fl}dt \quad \text{et} \quad \frac{d[E^*]}{[E^*]} = -(k_{fl} + k_q[Q])dt$$

d'où :

$$[E^*] = [E^*]_0 \exp(-[k_{fl}t]) \quad \text{et} \quad [E^*] = [E^*]_0 \exp(-[k_{fl} + k_q[Q]]t).$$

D'après la définition du rendement quantique de fluorescence, on a pour la fluorescence en présence de *quencher* :

$$\Phi_F = \frac{k_{fl}}{k_{fl} + k_{th} + k_q[Q]}$$

Comme  $k_{fl} + k_{th} = \frac{1}{\tau_0}$ , alors :

$$\Phi_F = \frac{\tau_0 k_{fl}}{1 + \tau_0 k_q[Q]}.$$

En l'absence de *quencher*, le rendement quantique de fluorescence vaut :

$$\Phi_{F_0} = \tau_0 k_{fl}.$$

En faisant le rapport de ces deux équations, on retrouve l'équation de STERN-VOLMER :

$$\frac{\Phi_{F_0}}{\Phi_F} = 1 + \tau_0 k_q[Q].$$

**46.** L'inhibition de la fluorescence par un *quencher* croît avec la température. L'augmentation de la température fait croître la constante de vitesse  $k_q$ , ce qui est cohérent avec une inhibition de type collisionnelle, (le nombre de collisions augmente avec la température).

**47.** Si la fluorescence augmente avec la température, cela signifie que la formation de  $QE^*$  (conduisant à une voie de désactivation non radiative) diminue avec une augmentation de température. Dans ce cas, le phénomène est de nature thermodynamique et non cinétique. L'augmentation de la température déplace l'équilibre vers la gauche ce qui diminue la concentration en espèce non fluorescente ( $QE^*$ ) dans le milieu.

#### IV.c La Green Fluorescent Protein (GFP)

**48.** [QP4]

a. Chimiste français : Yves Chauvin

b.

- Questions (entre autres)
  - Que signifie l'acronyme GFP ?

- Quelle est la constitution chimique de la GFP ?
- Quel est le phénomène physique mis en jeu ?
- Quel est le principe de l'obtention du marquage d'un neurone ?
- Quel est le principe et l'intérêt de disposer de plusieurs couleurs d'émission ?
- Consignes de réalisation
  - L'affiche doit préciser l'année du Nobel
  - Les noms des prix Nobel
  - La signification de GFP
  - La constitution chimique de la GFP
  - Le principe du marquage d'un neurone
  - L'intérêt de disposer de plusieurs couleurs d'émission.
- Critères et indicateurs de réussite :
  - Conformité, exactitude : l'affiche ne doit pas comporter d'erreurs scientifiques.
  - Complétude : l'affiche doit préciser l'année, les noms des prix Nobel, l'explication scientifique.
  - Cohérence : les explications scientifiques doivent être logiques et cohérentes
  - Pertinence : les choix de contenus retenus sont pertinents compte tenu de la taille de l'affiche.
  - Communicabilité : la disposition sur l'affiche et l'alternance entre textes et schémas doit en faciliter la lecture et mettre en valeur les éléments essentiels.
  - Originalité : couleurs, présentation, esthétique générale de l'affiche.