



Concours du second degré
Rapport du Jury

AGRÉGATION INTERNE
PHYSIQUE – CHIMIE
SESSION 2018

Rapport du jury présenté par Dominique OBERT,
président du jury

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 2018

1. Composition du jury
2. Avant-propos du président
3. Épreuves et programmes 2018
4. Déroulement des épreuves
5. Informations statistiques
6. Épreuves écrites : qu'attend-on des questions pédagogiques ? Comment sont-elles évaluées ?
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 2019
12. Annexes
 - **12.a.** Proposition de solution de la composition de physique 2018
 - **12.b.** Proposition de solution de la composition de chimie 2018

1. Composition du jury

COTE Denis	Professeur des universités	Vice-président du jury
OBERT Dominique	IGEN	Président du jury
SZYMCZAK Anne	IGEN	Vice-présidente du jury

Membres du jury

AROULANDA Christie	Maître de conférence	Versailles
BOURSIER Corinne	Maître de conférence	Versailles
CAVELIER Marc	Professeur de chaire supérieure	Rennes
COLOGNAC Sophie	IA-IPR	Nancy-Metz
DE TOURRIS Rodolphe	Professeur agrégé	Paris
DUBILLARD Sébastien	Professeur agrégé	Strasbourg
DUROT Stéphanie	Maître de conférence	Strasbourg
HAURAT Sylvie	Professeure de chaire supérieure	Nantes
HOUSSIN Marie	Professeure des Universités	Aix-Marseille
LARBAUD Jean-Christophe	IA-IPR	Grenoble
LENORMAND Alix	Professeure de chaire supérieure	Nancy-Metz
MEYER Thierry	Professeur de chaire supérieure	Strasbourg
MURCUILLAT Claude	IA-IPR	Créteil
PALACIO Delphine	Professeure agrégée	Paris
PERRIN Mélanie	IA-IPR	Orléans-Tours
SAVEYROUX Maud	Professeure de chaire supérieure	Versailles
TULOUP Marc	Professeur de chaire supérieure	Besançon

2. Avant-propos du président

Le rapport du jury de la session 2018 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 à l'adresse suivante : <http://www.education.gouv.fr/cid4927/sujets-des-epreuves-admissibilite-rapports-des-jurys.html>.

Les nombres de places proposés à la session 2018 sont fixés à 44 pour l'agrégation interne et à 11 pour le CAERPA. La sélectivité des deux concours reste très forte en 2018. En effet, pour le concours de l'agrégation interne, 880 candidats ont composé et 90 ont été déclarés admissibles, soit un ratio de l'ordre d'environ un admissible pour dix candidats. Pour le CAERPA, 169 candidats ont composé et 18 ont été déclarés admissibles, soit un ratio d'un peu plus d'un admissible pour dix candidats. Les barres d'admissibilité ont été fixées à 25,5 sur 40 pour le concours de l'agrégation interne et à 25 sur 40 pour celui du CAERPA. La barre d'admission de 49,1/80 pour le concours de l'agrégation interne a permis de pourvoir les 44 places mises au concours de la session 2018. Concernant le CAERPA, le jury a fixé la barre d'admission à 48,8/80 ; ainsi 9 places sur les 11 places proposées au concours ont été pourvues. Le jury regrette de ne pas avoir été en mesure d'attribuer les 11 places mises au concours d'accès à l'échelle de rémunération des professeurs agrégés (CAERPA), mais garantit au travers de cette décision la légitimité des candidats déclarés admis.

Concernant le profil des candidats et en globalisant sur les deux concours, l'âge moyen des candidats admissibles est de 40,2 ans. L'âge moyen des candidats admis est de 39,1 ans. Cette année, le nombre de candidats admis ayant plus de 40 ans représente 51 % du total des candidats admis. Rappelons que le concours vise également à valoriser les compétences professionnelles des candidats : à l'occasion des épreuves écrites où des questions pédagogiques pèsent pour environ le tiers des points du barème et à l'oral où le format de l'épreuve d'exposé exige de la part des candidats des compétences professionnelles avérées d'enseignant de physique-chimie au collège ou au lycée.

En physique-chimie, le pourcentage de femmes parmi les enseignants du second degré devant élèves est de 43 % dans le secteur public et de 51 % dans le secteur privé¹.

Concernant le concours de l'agrégation interne de physique-chimie, les femmes représentent 36 % des candidats présents à l'écrit, 36 % des admissibles et 41 % des admis.

Concernant le concours d'accès à l'échelle de rémunération des professeurs agrégés de physique-chimie, les femmes représentent 42 % des candidats présents à l'écrit, 56 % des admissibles et 56 % des admis.

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

¹ DEPP, Repères et références statistiques 2017.

De manière générale, les épreuves écrites et orales visent à apprécier le niveau de maîtrise scientifique de la discipline physique-chimie en incluant des développements post-baccalauréat, justifiant ainsi pleinement que ce concours permette d'accéder au 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. Ce volet scientifique constitue un élément clé de l'évaluation des candidats qui ne peuvent donc pas faire l'économie d'un solide travail de préparation sur ce plan.

Les épreuves écrites et orales sont aussi conçues pour permettre aux candidats de faire la preuve d'une expertise professionnelle acquise, d'une part, au cours de leur pratique quotidienne et, d'autre part, lors des différentes formations proposées par exemple dans le cadre des plans académiques de formation. Sur ce dernier point et comme les parties 9.a et 10.a du présent rapport relatives aux exposés de physique et de chimie le soulignent, il est indispensable que les professeurs confortent leur expertise en matière d'analyse de leur pratique professionnelle sur les plans pédagogique et didactique. Lors de cette session, des ajustements ont été proposés pour la partie relative à la présentation d'un « *aspect pédagogique de l'enseignement du concept* » de l'épreuve d'exposé : une consigne complète le sujet et donne au candidat deux axes possibles de traitement pédagogique ou didactique du sujet, le candidat choisissant de traiter l'un ou l'autre de ces deux axes, ou les deux. Il est de plus souligné que le « *candidat s'appuie sur des éléments concrets relatifs à des situations d'enseignement* ». Cet ajustement vise à ce que les candidats traitent de manière contextualisée, plus approfondie et plus ciblée cette partie de l'épreuve d'exposé. L'observation des épreuves d'exposé de la session 2018 montre que les candidats ont, dans l'ensemble, bien pris en compte ces axes de traitement du sujet et ont proposé des analyses plus étoffées et plus pertinentes que lors de la session 2017. Ces ajustements seront donc reconduits pour la session 2019 du concours de l'agrégation interne de physique-chimie.

Comme à l'occasion de la session 2017, l'accès « sans rebond possible » à des sites internet a été rendu possible grâce à un système de filtrage et de contrôle mis en place sur le réseau informatique de l'établissement. Pour la session 2018, les sites ouverts à la consultation ont été les suivants :

1. <http://www.cea.fr/>
2. <http://www.cnrs.fr/>
3. <http://eduscol.education.fr/physique-chimie/>
4. <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/>
5. <http://culturesciences.chimie.ens.fr/>
6. <http://www.mediachimie.org/>
7. <http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/acc.htm>
8. <http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/>
9. <http://www.olympiades-chimie.fr/>
10. <http://www.odpf.org/>
11. <http://uel.unisciel.fr/>
12. <http://bupdoc.udppc.asso.fr/consultation/selections.php>
13. <http://sdfs.db.aist.go.jp>

Notons que l'absence de « rebonds » limite la disponibilité réelle de certaines ressources lorsqu'elles ne sont pas hébergées en local. Cette possibilité de consultation de sites identifiés sera assurément reconduite lors la session 2019 du concours.

La réussite au concours de l'agrégation interne de physique-chimie est conditionnée par une préparation intensive se faisant souvent dans la durée et sur le temps personnel des candidats, qui assurent par ailleurs leur service d'enseignant. Le jury tient à les féliciter vivement pour cet engagement remarquable, qui, outre la réussite au concours, leur a permis de parfaire leur expertise professionnelle et ceci pour le plus grand bénéfice des élèves qu'ils encadrent. Le jury souhaite également encourager à persévérer ceux qui n'ont pas réussi cette année, car nombreux sont ceux qui sont lauréats du concours à l'issue de plusieurs tentatives.

Les remarques consignées ci-après dans les rapports dédiés aux quatre épreuves visent, d'une part, à formuler des constats sur la présente session et, d'autre part, à apporter des conseils aux futurs candidats. Leur lecture est donc vivement recommandée notamment pour les professeurs qui décident de s'engager dans un travail de préparation du concours de l'agrégation interne de physique-chimie.

Le jury tient à souligner qu'il a eu l'opportunité, au cours de cette session 2018, d'assister à certaines prestations particulièrement réussies, parfois récompensées par la note maximale, sur les plans de la maîtrise scientifique et comme de la culture pédagogique et didactique. Le jury tient à féliciter ces candidats qui ont, à l'issue d'une préparation intense, fait montre de grandes qualités.

3. Épreuves et programmes 2018

Épreuves écrites d'admissibilité

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

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

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

1. des classes :

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

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

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

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

1. des classes :

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

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

Épreuves orales d'admission

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

Le tirage au sort conduit le candidat à traiter :

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

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

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

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

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

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

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

Partie relative au concept scientifique

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

Cette présentation synthétique permet 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 son expertise pédagogique et didactique dans un développement relatif à l'enseignement du concept au niveau du collège ou du lycée. Pour cela, une consigne complète le sujet et donne au candidat deux axes possibles de traitement pédagogique ou didactique du sujet : le candidat choisit de traiter l'un ou l'autre de ces deux axes, ou les deux. Ces axes peuvent relever d'une problématique liée à :

- l'introduction du concept ;
- les difficultés d'apprentissage liées au concept ;
- la progressivité des apprentissages liés au concept ;
- la différenciation ;
- la diversification et les stratégies d'apprentissage ;
- l'évaluation ;
- la remédiation ;
- la construction de l'autonomie ;
- ...

Le candidat s'appuie sur des éléments concrets relatifs à des situations d'enseignement.

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

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

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

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

a) Physique

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

Sujets communs aux épreuves d'exposé et de montage

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

Sujets d'exposé spécifiques

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

Sujets de montage spécifiques

- 23m. Filtrage et analyse spectrale
- 24m. Amplification
- 25m. Couplages
- 26m. Régimes transitoires
- 27m. Conversion de puissance
- 28m. Polarisation de la lumière

b) Chimie

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

Sujets communs aux épreuves d'exposé et de montage

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

Sujet d'exposé spécifique

- 28e. Périodicité des propriétés

Sujet de montage spécifique

- 28m. Spectroscopies

4. Déroulement des épreuves

Épreuves écrites

Les épreuves écrites se sont déroulées le jeudi 25 et le vendredi 26 janvier 2018.

Épreuves orales

Conditions matérielles et généralités

Les épreuves d'admission se sont déroulées au lycée Saint-Louis à Paris du dimanche 14 avril au lundi 23 avril 2018 inclus. La délibération du jury a eu lieu le mardi 24 avril 2018.

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

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

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

Ces enveloppes sont ouvertes par le candidat au début de chacune des épreuves, qui peuvent commencer dès le lendemain du tirage au sort. Lors de la session 2018, les horaires ont été les suivants :

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

Une épreuve se déroule de la façon suivante :

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

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

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

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

Les équipes techniques

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

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

- **Les techniciens** restent à la disposition du candidat tout au long de la préparation de l'épreuve pour lui fournir les livres, les documents et les appareils, matériels et produits dont il a besoin. Ils apportent les indications nécessaires au bon fonctionnement du matériel (notamment sur le plan de la sécurité) 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 et dans celle des outils informatiques ou numériques. Cependant, une connaissance minimale de ces derniers est indispensable au candidat.

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

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

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

5. Informations statistiques

Au titre de la session 2018, 44 places ont été mises au concours de l'agrégation interne de physique-chimie, et 11 au CAERPA de physique-chimie.

Les tableaux ci-dessous donnent les informations générales relatives aux candidats du concours 2018 et les comparent le cas échéant aux données correspondantes des douze dernières sessions.

Agrégation interne

Année	Postes	Inscrits	Présents	Taux de présence	Admissibles	Admis
2007	45	1374	953	69,4%	101	45
2008	45	1353	962	71,1%	100	45
2009	45	1321	938	71,0%	94	45
2010	45	1484	964	65,0%	97	45
2011	35	1685	895	53,1%	71	35
2012	35	1546	975	63,1%	72	35
2013	40	1407	886	63,0%	83	40
2014	35	1472	983	66,8%	78	35
2015	40	1442	946	65,6%	93	40
2016	42	1481	979	66,1%	91	42
2017	44	1424	943	66,2%	90	44
2018	44	1377	880	63,9%	90	44

CAERPA

Année	Postes	Inscrits	Présents	Taux de présence	Admissibles	Admis
2007	9	226	159	70,3%	7	4
2008	7	251	155	61,7%	8	4
2009	8	227	147	64,8%	14	8
2010	11	276	167	60,5%	9	4
2011	8	365	175	47,7%	13	8
2012	9	269	178	66,2%	12	7
2013	11	272	180	66,2%	13	9
2014	12	289	184	63,7%	18	12
2015	18	269	174	64,7%	15	8
2016	11	279	184	65,9%	17	8
2017	10	279	175	62,7%	18	10
2018	11	271	169	62,4%	18	9

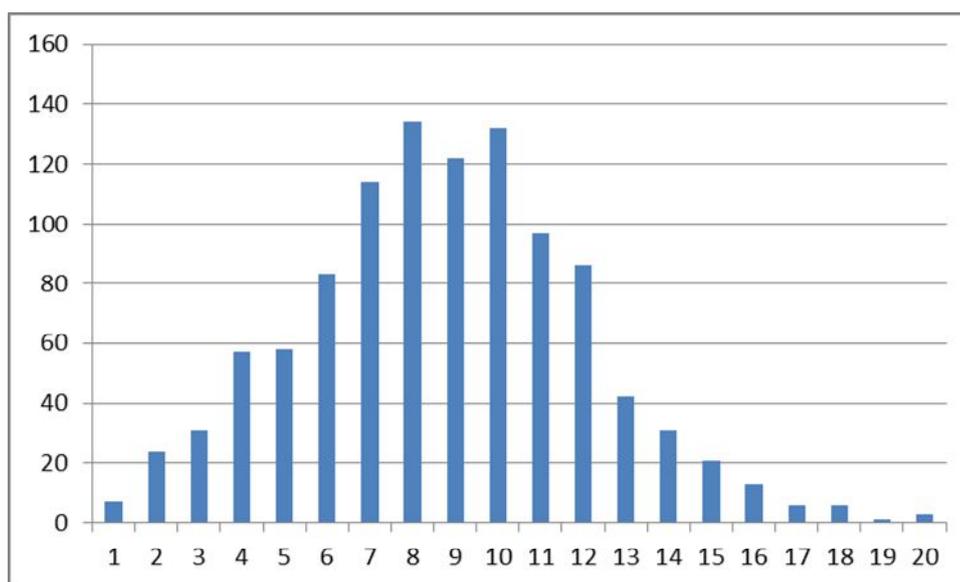
Épreuves écrites

	Agrégation interne	CAERPA
Composition sur la physique :		
Moyenne	8,25	8,21
Écart-type	3,34	3,35
Note maximale	20	19,3
Moyenne des candidats admissibles	13,71	13,66
Écart-type des candidats admissibles	2,24	2,05
Composition sur la chimie :		
Moyenne	8,84	9,00
Écart-type	3,86	3,78
Note maximale	20	17,4
Moyenne des candidats admissibles	14,42	14,79
Écart-type des admissibles	2,07	1,51
Barre d'admissibilité	25,5	25
Nombre d'admissibles	90	18

Répartition des notes d'écrit

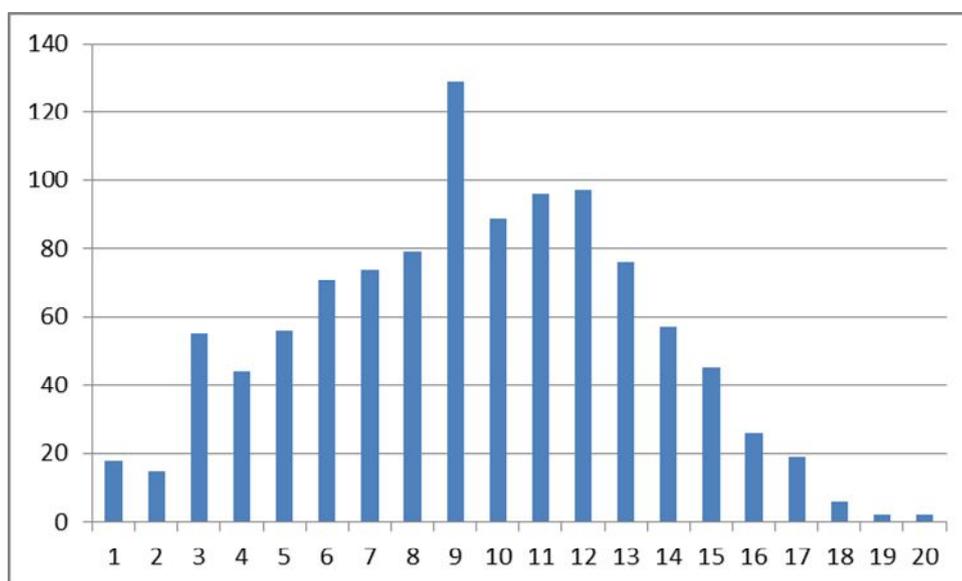
Physique

Agrégation interne de physique-chimie et CAERPA de physique-chimie



Chimie

Agrégation interne de physique-chimie et CAERPA de physique-chimie



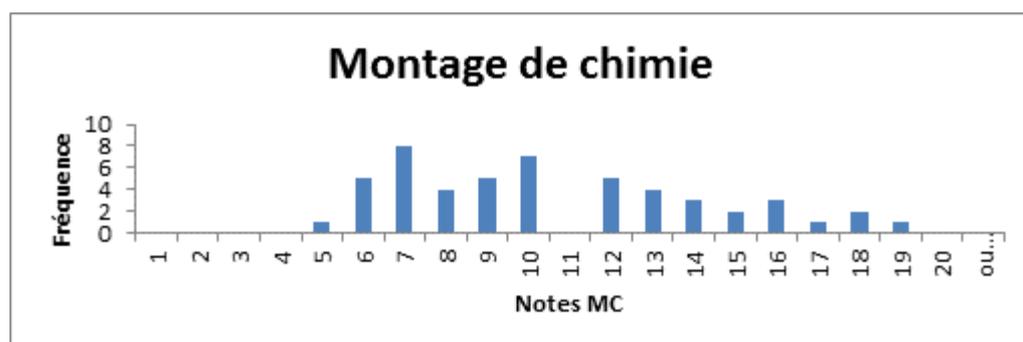
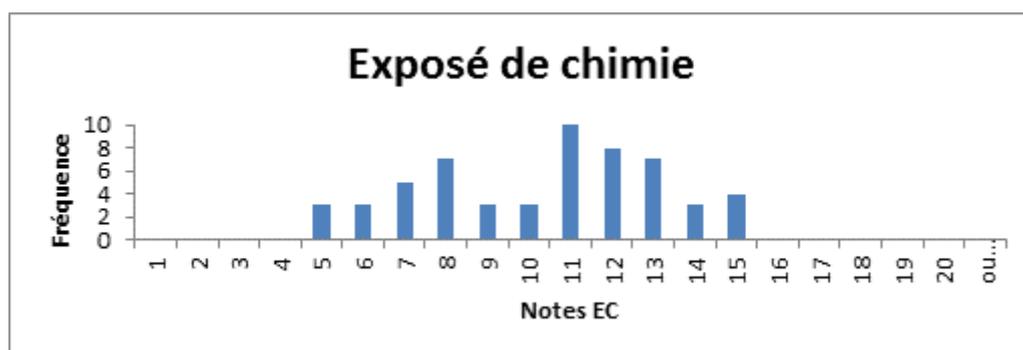
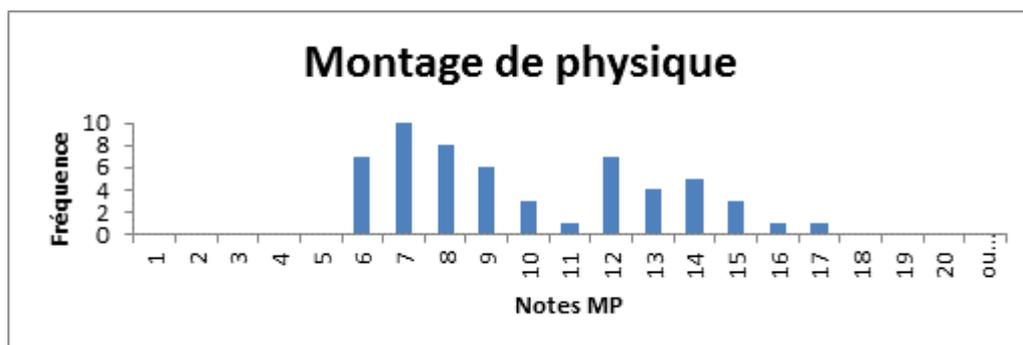
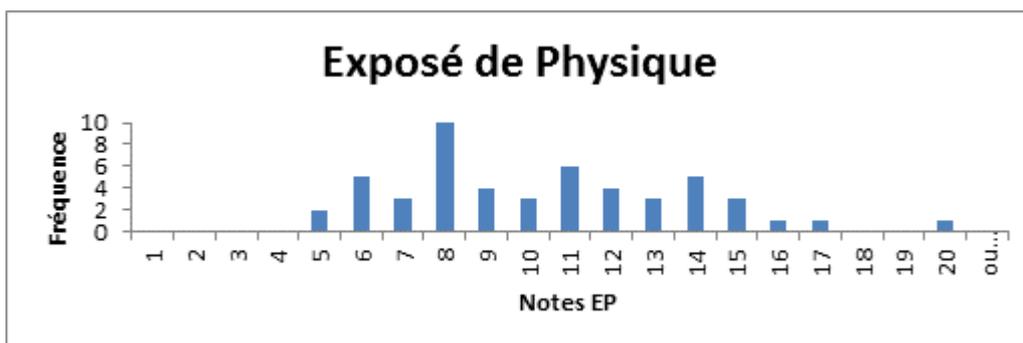
Épreuves orales

Agrégation interne de physique-chimie et CAERPA de physique-chimie

Moyennes et écarts-types

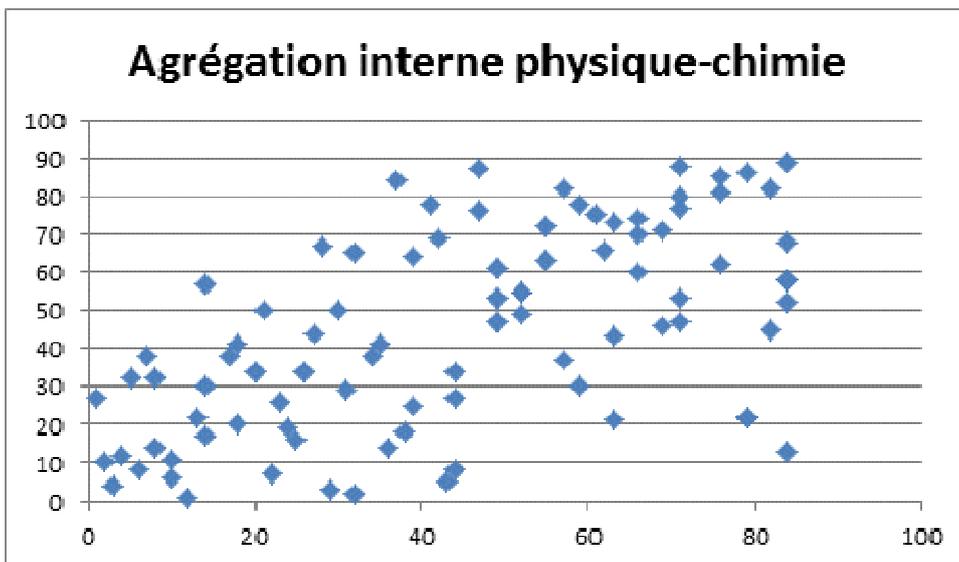
Nature de l'épreuve	Moyenne des candidats présents aux épreuves orales	Écart-type	Note la plus basse	Note la plus haute
Exposé de physique	10,4	3,4	5	20
Exposé de chimie	10,4	2,8	5	15
Montage de physique	9,9	3,2	6	17
Montage de chimie	10,6	3,7	5	19

Profils des notes

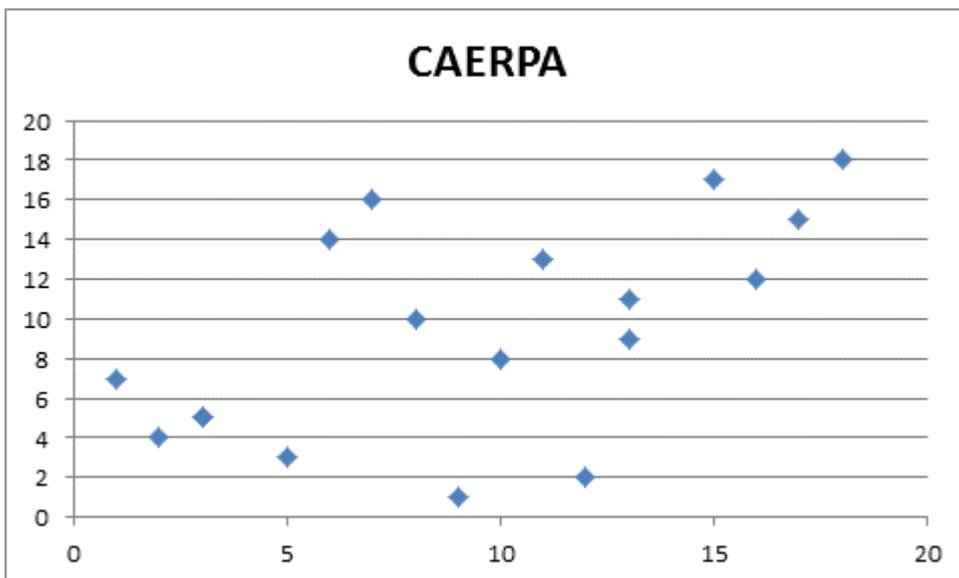


	Agrégation interne	CAERPA
Barre d'admission	49,1	48,8
Nombre d'admis	44	9

Les graphiques ci-dessous représentent le rang d'oral (en ordonnée) en fonction du rang d'écrit (en abscisse).



Rang d'oral en fonction du rang d'écrit : agrégation interne de physique-chimie



Rang d'oral en fonction du rang d'écrit : CAERPA

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

Les attentes

Le concours s'adresse à des professeurs en exercice au collège et au lycée. Les questions pédagogiques s'articulent avec les questions relevant de la physique ou la chimie, et permettent de mettre en évidence les liens entre les notions de science abordées et l'enseignement de ces notions. Les questions pédagogiques portent sur l'ensemble des programmes d'enseignement concernés par la composition, à savoir les programmes de physique-chimie de collège, de seconde générale et technologique, de première et de terminale des séries S, ST2S, STI2D, STL (enseignement de spécialité physique et chimie au laboratoire et enseignement de chimie-biochimie-sciences du vivant) et de classes préparatoires scientifiques aux grandes écoles PCSI, MPSI, MP, PC, PSI, BCPST 1ère et 2ème années.

Pour ces questions pédagogiques, un corpus de documents supports ou de bibliographie est en général fourni en annexe du sujet, ainsi que des extraits de programmes officiels. Cependant, on attend d'un professeur candidat au concours de l'agrégation interne qu'il connaisse suffisamment les objectifs des programmes concernés par l'épreuve tant sur le plan des concepts étudiés que des compétences à développer chez les élèves (socle commun de connaissances, de compétences et de culture et compétences travaillées figurant au programme de physique du cycle 4 au collège ; compétences de la démarche scientifique au lycée et en CPGE), 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.

La préparation du candidat à ce type de question relève de l'exercice de sa pratique quotidienne d'enseignant et de son travail personnel d'analyse de pratique.

Une question pédagogique peut mobiliser divers domaines d'expertise professionnelle de l'enseignant :

- conception d'une activité de formation ou d'évaluation à un niveau donné, comme par exemple :
 - o 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 ;
 - o concevoir un protocole expérimental ;
 - o élaborer un ou des exercices ;
 - o élaborer une résolution de problème ;
 - o etc.
- problématique de l'évaluation :
 - o proposer un corrigé à l'usage d'élèves d'une activité fournie ou à concevoir (expérimentale, documentaire, résolution de problème, tâche(s) simple(s)...)
 - o proposer des modalités d'évaluation (par le professeur, par les pairs, auto-évaluation) d'une activité fournie dans l'énoncé ou à concevoir ;
 - o proposer une correction d'une production d'élève fournie dans l'énoncé ;
 - o etc.
- analyse didactique et pédagogique :

- mettre en évidence ou illustrer la progressivité dans l'introduction d'une notion ou d'un concept ;
- proposer une approche spiralaire d'une notion ou d'un concept au sein d'un cycle de formation ;
- mettre en évidence des obstacles cognitifs relativement à une notion ou un concept, ou dans une activité fournie ;
- modifier une activité fournie pour l'adapter à un niveau donné ou à une situation pédagogique particulière ;
- analyser un exercice, une activité, une évaluation : progressivité de la complexité, diversité du questionnement et des compétences mobilisées, typologie des questions, qualités et défauts sur les plans scientifique et pédagogique ;
- proposer des activités et/ou des scénarios de remédiation ;
- proposer une mise en œuvre de différenciation pédagogique ;
- justifier des choix en fonction d'un public d'élèves donné ou d'un objectif d'apprentissage particulier : choix d'un scénario pédagogique, choix d'une expérience, choix d'une activité ;
- etc.

Une rédaction claire, concise et argumentée des réponses est souhaitée. Le cadre éventuellement demandé pour les réponses doit être respecté.

L'évaluation

Selon la nature des questions pédagogiques, sont évalués :

- la qualité scientifique de la réponse ;
- la concision et la pertinence de la réponse ;
- la compréhension des points des programmes concernés par la question ;
- l'adéquation de la proposition avec les objectifs des programmes concernés ;
- la capacité à identifier les compétences mobilisées par les élèves dans une activité ;
- le réalisme de la proposition en termes de scénario pédagogique et de mise en œuvre en classe au niveau concerné ;
- la capacité d'analyse des objectifs d'apprentissage d'une activité ;
- la capacité d'analyse des difficultés présentes dans une activité ;
- la capacité d'évaluation d'une production d'élève relativement aux compétences de la démarche scientifique (y compris l'usage rigoureux de la langue française et des langages scientifiques) ;
- la bonne articulation entre notion(s) scientifique(s) concernée(s) et proposition pédagogique ;
- l'esprit critique, la finesse de l'analyse ainsi que l'efficacité et la qualité de l'argumentation.

7. Rapport relatif à la composition de physique

Commentaires généraux

Le sujet porte sur l'étude des ondes, plus précisément des ondes mécaniques sur une corde vibrante et des ondes acoustiques émises par un diapason placé sur une caisse de résonance dans une première partie, puis des ondes électromagnétiques ou électriques qui se propagent dans un câble coaxial dans une seconde partie.

Sur l'ensemble des copies, toutes les questions sont abordées. Cependant, la première partie est plus souvent traitée que la seconde.

Le jury conseille aux candidats de lire l'ensemble du sujet afin de commencer par la partie qu'ils maîtrisent le mieux, de manière à la traiter de la façon la plus approfondie possible.

Le rapport met l'accent sur les erreurs commises ou les points perfectibles, le jury souhaite cependant insister sur le fait que de nombreuses copies sont très honorables.

Concernant la forme, les copies sont dans l'ensemble bien présentées. Il convient de soigner la rédaction des questions pédagogiques (notées QP) comme des autres questions. Régulièrement les réponses aux questions pédagogiques sont bien développées alors que les réponses aux autres questions sont peu, voire pas du tout justifiées, ne permettant pas au candidat d'obtenir la totalité des points. Il faut également être attentif à l'orthographe.

D'une façon générale, les candidats font trop peu de schémas. Cela constitue pourtant une aide majeure pour appréhender un problème de physique.

Le jury note des progrès dans le traitement des questions pédagogiques. Les réponses sont plus concises, mieux argumentées et structurées que par le passé. Pour autant, dans le cas particulier présenté par le sujet de physique de cette session d'une succession de trois questions pédagogiques qui s'articulent entre elles (QP1 à QP3), il convient de bien circonscrire le champ de chacune de manière à formuler les réponses ciblées adaptées à chacune des trois questions.

À l'occasion de la première question, il est nécessaire de mesurer une distance sur une carte avec une règle. Certains candidats ne disposent manifestement pas du matériel nécessaire.

Du point de vue scientifique, le jury attend des candidats à l'agrégation qu'ils disposent d'une culture approfondie et qu'ils soient en capacité de mener des calculs avec rigueur. Dans le domaine des phénomènes ondulatoires, de nombreuses copies témoignent d'un niveau insuffisant.

Concernant les applications numériques, il est important d'écrire un résultat avec un nombre de chiffres significatifs adapté, savoir-faire également attendu d'un élève de lycée. Ainsi à la question Q23, certains candidats ont parfois utilisé six chiffres significatifs pour exprimer la valeur de la longueur d'onde alors que les valeurs fournies dans les données comportaient au plus trois chiffres significatifs.

Remarques ponctuelles

QP1 : Dans l'ensemble, cette question est assez bien traitée. Néanmoins, certains candidats détaillent davantage l'exercice que dans sa version originale : ce n'est donc plus une tâche complexe. Il ne faut pas oublier de s'appuyer sur le fait que Jenny regarde en direction de Casa Vasquez Torres, sinon, la comparaison entre les deux distances n'a aucun intérêt. La justification de la place de cette tâche complexe en fin de cycle 4 n'est pas souvent bien expliquée – elle est souvent confondue avec la conformité au programme du cycle 4 – ou bien elle est très incomplète.

QP2 : Les réponses sont souvent trop générales. Recopier les compétences du programme est inutile, c'est une application concrète qui est attendue. Il s'agit bien de préciser ici les éléments pratiques qu'on veut voir dans la résolution en se référant au programme (dont les compétences travaillées).

QP3 : Beaucoup de candidats proposent une organisation un peu stéréotypée en groupes hétérogènes auxquels on donne des coups de pouce. La répartition des rôles au sein de chaque groupe est précisée, mais peu de candidats précisent sur quels éléments d'appréciation les rôles sont répartis. De même, l'impact de l'action est souvent oublié ou alors évalué à la volée. Peu de candidats imaginent réaliser une évaluation diagnostique, au moment où on a besoin des concepts, et de s'appuyer dessus pour concevoir leur séquence.

Q4 : Question rarement traitée. Peu de candidats savent que Arago a vécu au 19^{ème} siècle.

Q5 : Réponse souvent mal rédigée.

Q6 : La mise en équation de la corde vibrante fait partie des compétences de base à maîtriser dans le cadre d'un niveau post-baccalauréat. De nombreux candidats éprouvent des difficultés à effectuer le bilan des forces extérieures s'exerçant sur une portion de corde. Le jury est très attentif à la rigueur de la démarche et pénalise les démarches incorrectes même si elles conduisent à la réponse fournie.

Q7 : Les ondes harmoniques ne sont qu'un cas particulier des solutions de l'équation de d'Alembert. La linéarité, rarement bien définie, est un concept central en physique qu'il faut connaître. Il se traduit par le principe de superposition.

QP8 : Les candidats ne font pas toujours preuve d'assez de recul concernant les objectifs pédagogiques. Les ondes ultrasonores ne sont pas franchement « visibles » et introduire les ondes à partir de ces dernières ne paraît pas forcément pertinent sur le plan pédagogique. Enfin, le rôle, la place et surtout l'intérêt de l'outil numérique ne sont pas clairement dégagés.

Q9 : Il y a souvent une confusion entre la façon d'obtenir des ondes stationnaires et leur définition. Le découplage entre les variables temps et espace n'est pas clairement dégagé. Certes, mathématiquement, une onde harmonique stationnaire peut être décomposée en deux ondes progressive et régressive. Mais cela ne veut pas dire que c'est ce qui se passe en pratique. La notion de mode propre n'est pas connue. Les expressions des fréquences des modes propres sont écrites sans justification. Le raisonnement simple consistant à dire que l'onde est en phase avec elle-même à l'issue d'un aller-retour n'est pas utilisé.

Q10 : L'analyse de documents scientifiques, notamment de figures, fait partie du travail du physicien. L'analyse quantitative est en général absente.

Q11 : Mettre en doute l'habileté de l'expérimentateur n'est pas forcément bienvenu. D'autant plus que l'énoncé fait bien une distinction entre la longueur totale de la corde et la longueur comprise entre les axes. Pour déterminer la masse linéique, il faut mesurer la masse et la longueur totale de la corde.

Q12 : Une simple comparaison entre les masses ne suffit pas. D'autre part, l'unité de masse est le kilogramme et des erreurs d'étourderie sont commises. Une tension de 980 N correspond au poids d'une personne de presque un quintal.

Q13 : La question est rarement bien traitée : la distinction entre mode propre (régime libre) et le régime forcé n'est pas claire. Même quand l'équation différentielle vérifiée par $w(x)$ est établie, sa

résolution utilise rarement correctement les conditions aux limites. C'est important, il n'y a pas de raison *a priori* que les fréquences de résonance soient confondues avec les fréquences propres. Au niveau mathématique, la résolution de l'équation différentielle du second ordre n'est souvent pas maîtrisée.

Q14 : La masse linéique est parfois calculée avec une longueur incorrecte. Les calculs d'incertitude, peu abordés, sont parfois menés à bien, mais sans recul ni discussion physique sur les principales sources d'incertitude. La comparaison théorie/expérience est rarement bien menée.

Q15 : Il s'agit essentiellement d'un problème d'adaptation d'impédance. D'ailleurs, l'amplitude du vibreur à la résonance n'est pas du tout la même qu'en dehors des résonances.

Q16 : Seuls des mécanismes dissipatifs peuvent limiter l'amplitude des oscillations à la résonance.

QP17 : La notion d'analyse de Fourier est à peu près connue de tous, parfois de façon imprécise ou réductrice. Les signaux ne sont pas tous périodiques, l'analyse de Fourier conduit aussi à des spectres continus. Certains instruments de musique ne sont pas strictement harmoniques donc les fréquences présentes dans le spectre ne sont pas toujours proportionnelles à un fondamental (cloches, gongs,...). Parfois, la définition du spectre ne fait état que des fréquences oubliant les amplitudes relatives.

QP18 : Trop de candidats décrivent ce qu'est l'analyse spectrale en chimie sans mettre en évidence clairement les similitudes et les différences. Ces candidats ne répondent donc pas à la question posée. Il ne faut pas oublier que les ondes utilisées en chimie et en acoustique sont de natures très différentes. Il faut se méfier des analogies hâtives : la propagation du son ne se fait pas par « résonance des molécules d'air ».

Q19 : Beaucoup d'erreurs dans l'application numérique. Certains confondent la célérité des ondes acoustiques dans l'air avec celle des ondes transversales le long de la corde.

Q20 : Réduire la longueur de la corde semble évident, mais il faut dire sur quel paramètre physique on joue. Faire un schéma est d'une grande aide.

Q21 : La relation de dispersion est parfois établie. En revanche, trop peu de candidats pensent à exploiter les conditions aux limites pour retrouver les valeurs discrètes de k .

Q22 : La valeur du coefficient B est souvent exacte. En revanche, l'information relative à l'intervalle d'un demi-ton n'est pas toujours comprise.

Q23 : Il y a quelques confusions entre la célérité des ondes acoustiques et celle des ondes électromagnétiques. Peu de candidats établissent le lien approché entre la profondeur de la caisse et le quart de la longueur d'onde, les commentaires sont donc très rares.

Q24 : Une simple réponse du type : « c'est celui de gauche qui est correct » ne suffit pas. Il faut apporter une justification. Le critère de Shannon n'est pas toujours bien énoncé. Ce qui compte c'est la fréquence maximale du spectre du signal à échantillonner. Rares sont les candidats qui savent déterminer la fréquence d'échantillonnage (effet stroboscopique). Trop souvent, l'estimation ne s'appuie sur aucun raisonnement solide. De nombreux candidats confondent la fréquence ou période d'échantillonnage avec le nombre de périodes qui sont affichées à l'écran.

Q25 : Il y a trop de réponses sans aucune justification. Le modèle de l'oscillateur harmonique amorti est fondamental et d'une très grande richesse ; sa maîtrise est attendue.

QP26 : Il faut éviter de guider à l'excès le travail en ajoutant des aides trop nombreuses. L'objectif est d'induire un raisonnement. Par conséquent, la formulation de la question est primordiale. De

même, il est important de réfléchir aux documents utiles ou nécessaires. Il ne faut pas imaginer non plus des situations trop complexes.

QP27 : En général, les candidats savent résoudre le problème qu'ils ont proposé. Il est surprenant de lire que le batteur a besoin de bouchons en silicone alors que le public peut se contenter de bouchons en mousse. Il est dommage que certains candidats ne connaissent pas la formule donnant le niveau d'intensité sonore et délaissent par conséquent le questionnement sur la nécessité ou non du port de bouchons d'oreille.

Q28 : Le mot « battement » est généralement cité à bon escient. En revanche, sa signification physique est parfois imprécise. Même si cela y ressemble, il ne s'agit pas de modulation d'amplitude, car le contenu spectral n'est pas modifié.

Q29 : Il faut expliquer la démarche utilisée.

Q30 : Il y a beaucoup d'analyses physiques erronées. Parfois des confusions entre la fréquence du diapason modifié et la fréquence du battement attendu.

QP31 : Il fallait évidemment corriger sur la copie. Ne pas confondre conseil et correction. Se servir du rayon déjà tracé est une bonne idée, à condition de ne pas inventer une réflexion totale sur l'axe de la fibre, au beau milieu du cœur de celle-ci. La « réfraction totale » n'existe pas. Les quelques candidats ayant corrigé des erreurs imaginaires sont pénalisés.

QP32 : Les questions portant sur la réfraction sont hors sujet, ici.

Q33 : Plagier le document de l'annexe 4 n'est pas suffisant. Tous les jours, des dizaines de millions de conversations téléphoniques sont échangées, la propagation libre est assurément présente dans ces échanges.

Q34 : Justifier pourquoi le câble coaxial est moins sensible aux perturbations extérieures permet de ne pas répondre superficiellement.

Q35 : L'effet Joule est, à juste titre, cité.

Q36 : Les arguments de symétrie et d'invariance sont en général extrêmement mal rédigés.

Q37 : Cette question est souvent réduite à l'estimation numérique de la capacité linéique. En revanche, les discussions sur les ordres de grandeur ne sont pas bien réalisées. On ne peut jamais dire dans l'absolu qu'une grandeur est petite ou grande. Devant quoi ? L'unité de la capacité linéique est parfois le F au lieu de $F \cdot m^{-1}$. La capacité linéique ne peut pas être comparée à une capacité. Pour une comparaison pertinente il fallait comparer la capacité pour une longueur de câble typique aux capacités usuelles dans un circuit RC par exemple.

Q38 : Les remarques précédentes sont transposables à cette question.

QP39 : Des remarques pertinentes. En revanche, il convient d'être rigoureux sur le vocabulaire. Les lignes iso-niveau ne sont pas des lignes de champ.

Q40 : Peu de candidats savent que les lois de Kirchhoff ne sont valables que dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS).

Q41 : On constate une maîtrise fragile des manipulations mathématiques.

Q42 : Il y a des confusions « capacité linéique-capacité » et « inductance linéique-inductance », la taille du tronçon, dz , disparaissant parfois de manière erronée.

Q43 : La question n'est presque jamais traitée. La notion d'impédance caractéristique est importante, elle a son analogue pour les ondes acoustiques.

Q44 : De nombreuses erreurs de calcul sont à relever.

Q45 : La fonction racine carrée n'est pas définie pour des complexes. Certains candidats ont eu la bonne idée de faire un développement limité.

Q46 : L'impact de l'atténuation est en général correctement traité. En revanche, le rôle de la dispersion, nettement moins bien.

Q47 : La question est inégalement traitée. L'ARQS et sa conséquence sur l'écriture des équations de Maxwell ne sont pas bien connues. L'ARQS concerne toutes les applications de la vie courante, notamment les applications de l'induction (moteurs électriques, par exemple).

Q48 : La question est rarement abordée. Ces raisonnements en ordre de grandeur sont courants dans les phénomènes de diffusion.

Q49 : Il y a beaucoup d'erreurs surprenantes, avec une conductivité mal placée.

Q50 : La question est rarement traitée.

Q52 : La célérité est souvent mal évaluée, avec l'oubli d'un facteur 2 ; dans cette expérience, le câble coaxial est utilisé comme une corde de Melde.

Q53 : Le fait que les deux pics soient dans le même sens n'est jamais commenté. L'atténuation n'est pas toujours bien calculée.

8. Rapport relatif à la composition de chimie

Dans un contexte de préoccupation croissante des consommateurs pour la qualité nutritionnelle des aliments, ce sujet a pour fil conducteur les huiles végétales et cherche à illustrer quelques aspects liés à leur extraction ainsi qu'à leur transformation et à leur consommation. La première partie est ainsi consacrée à une rapide présentation des huiles végétales ainsi qu'à l'étude de quelques étapes du procédé menant à leur obtention. La deuxième partie aborde la détermination de l'indice d'iode d'un lipide puis l'hydrogénation d'une huile végétale. Enfin, la troisième partie porte sur la synthèse de la vitamine E et l'étude de son activité anti-oxydante.

Le sujet fait appel à des domaines variés (synthèse organique, titrage, cristallographie, électrochimie, cinétique chimique, etc.) et comporte plusieurs questions ouvertes dont l'objectif est d'évaluer la prise d'initiative des candidats ainsi que leur autonomie dans le contexte d'un questionnement moins guidé. Ce sujet propose également, en relation avec les thèmes abordés, cinq questions pédagogiques, représentant environ 30 % du barème, et mettant en jeu des aspects variés (proposition d'une situation d'évaluation en terminale scientifique, proposition de situations d'apprentissage en cycle 3 et 4, correction d'une production d'élève, etc.) en lien avec les programmes des classes de collège, lycée et CPGE.

Sur l'ensemble des copies, quasiment toutes les questions ont été abordées, les meilleures copies étant celles où les candidats ont abordé à la fois les questions scientifiques et pédagogiques. L'enchaînement des questions ayant souvent pour but de guider les candidats dans leur réflexion, ceux-ci sont invités à être attentifs au cheminement proposé par le sujet. De même, de nombreuses questions nécessitant une analyse attentive de l'énoncé ou des documents n'ont malheureusement pas toujours été traitées de manière satisfaisante, le jury souhaiterait donc insister sur l'importance de la démarche d'appropriation du sujet par le candidat.

Le jury note qu'un effort important est fait par les candidats concernant la maîtrise de l'écriture de mécanismes en chimie organique, mais insiste toutefois sur le fait que l'écriture des structures chimiques et des mécanismes doit se faire dans le respect des règles de représentation (formalisme de Lewis, flèches courbes pour le déplacement des électrons, étapes renversables ou non, etc.).

Pour ce qui relève de l'électrochimie, il faut souligner que trop peu de candidats savent correctement identifier la nature des électrodes d'un dispositif électrochimique et réaliser le tracé correct de l'allure de courbes courant-potentiel. Les candidats sont donc invités à améliorer leurs connaissances dans le domaine de la cinétique électrochimique, figurant au programme du concours mais aussi très utile à l'interprétation de phénomènes de la vie quotidienne comme de dispositifs utilisés dans la recherche ou l'industrie.

Un nombre significatif de points est affecté à la rédaction. La maîtrise de cette compétence de rédaction, attendue de tout enseignant, est manifeste dans la majorité des copies ; néanmoins, trop de candidats rédigent encore avec un manque certain de rigueur, de soin, de précision et un excès de fautes d'orthographe. Les consignes concernant la présentation des résultats ou des séquences pédagogiques doivent être respectées tant par principe que pour une meilleure lisibilité des réponses.

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

Remarques sur les questions disciplinaires :

Q2. Si la formule topologique du polyol dont dérivent les triglycérides est souvent correcte, les règles de base de nomenclature officielle semblent ne pas être maîtrisées par un certain nombre de candidats.

Q3. Quelques candidats justifient le nom d'acide gras par le fait qu'on les trouve dans l'huile... On attend plutôt une discussion sur leur caractère hydrophobe lié à leur longue chaîne carbonée. Il faut par ailleurs associer à cette dénomination la présence de la fonction acide carboxylique.

Q6. Une réelle attention des candidats à mentionner les nécessaires éléments de sécurité (support élévateur, fixation) est à souligner. De même, la circulation d'eau dans le réfrigérant est souvent correcte. En revanche, la pièce de verrerie permettant de collecter le distillat n'est pas souvent adapté au réfrigérant (comment abaisser dans ces conditions la pression à l'intérieur du montage ?) et le branchement au dispositif d'abaissement de la pression était souvent placé avant le réfrigérant (comment récupérer alors un quelconque liquide à la sortie du réfrigérant ?). Les schémas doivent également être clairs et soignés.

Q7. La plupart des candidats a su utiliser l'abaque afin de déterminer la température d'ébullition des deux constituants à une pression inférieure à 1 bar et l'allure du diagramme binaire est correcte dans la grande majorité des cas. Il faut cependant bien préciser la pression choisie afin de permettre une vérification des températures d'ébullition.

Q8. Lier la distillation sous pression réduite au caractère inflammable de l'hexane est pour le moins étonnant. En revanche, une bonne part des candidats identifie bien le risque de dégrader les produits du miscella.

Q9. Les candidats confondent souvent une espèce zwitterionique (espèce présentant deux charges opposées portées par des atomes non adjacents) avec une espèce amphotère acidobasique (espèce chimique qui est à la fois l'acide d'un couple et la base d'un autre couple).

Q10. Le terme "émulsifiant" est connu, le terme "tensioactif" ou la formation de micelles le sont moins.

Q11. Pour certains candidats, on réalise lors de l'étape de neutralisation alcaline une saponification, ce qui témoigne d'une lecture trop superficielle du document proposé. Pour d'autres, le sous-produit valorisable obtenu est l'eau.

Q14. Le fait qu'on réalise ici un titrage indirect n'est pas un obstacle à la mise en œuvre de ce protocole au lycée. En revanche de nombreux candidats signalent à juste titre les problèmes de sécurité et d'organisation logistique liés à cette manipulation. Il faut également être précis dans la réponse formulée relativement à ces problèmes.

Q15. On rappelle que la méthode VSEPR est au programme du concours, et que son application repose sur une analyse des formules de Lewis correctement écrites.

Q16. La majorité des candidats souligne bien l'analogie des propriétés chimiques des éléments de la famille des halogènes mais la nécessité de revenir à la masse de diiode utilisée n'est mentionnée que dans un nombre limité de copies.

Q17. Le calcul de la valeur attendue de l'indice d'iode est souvent mené correctement. En revanche, l'analyse du protocole proposé nécessite de se demander quelle est l'utilité de chaque étape et d'écrire, lorsque cela est pertinent, l'équation de la réaction modélisant la transformation réalisée. Le calcul de l'incertitude associée à la valeur expérimentale n'est entrepris que dans de trop rares copies. Il est également souhaitable de privilégier un raisonnement s'appuyant sur des relations

littérales. On note par ailleurs des erreurs liées aux nombres stœchiométriques et aux calculs des masses molaires.

Q19. Peu de candidats identifient que, puisque le dibrome produit par l'équilibre (E) est consommé par la réaction d'addition électrophile, l'équilibre (E) est déplacé dans le sens de la formation des produits.

Q20. Le rôle des différentes étapes n'ayant été que très rarement identifié, peu de candidats ont ici signalé qu'il s'agissait d'introduire suffisamment d'ions iodure pour réduire tout le dibrome restant mais également pour permettre une bonne solubilité en milieu aqueux du diiode formé (sous forme d'ions triiodure).

Q21. Certains candidats indiquent qu'en réalisant l'hydrogénation d'une huile végétale les industriels cherchent à déterminer son indice d'iode ou encore à la saturer (certes, mais dans quel but ?)... Pour d'autres, le but est d'obtenir des acides gras saturés « meilleurs pour la santé » alors que le sujet indique que les acides gras insaturés ou polyinsaturés avaient un effet protecteur.

Q22. En chimie, on désigne par « noble » une espèce chimique relativement inerte chimiquement, c'est-à-dire réagissant difficilement avec d'autres espèces chimiques, en particulier, pour les métaux, avec le dioxygène de l'air ; cette notion n'est donc pas reliée à la rareté ou au prix de l'espèce en question.

Q23. La dissolution des métaux nobles dans l'eau régale est connue de nombreux candidats mais elle est rarement bien expliquée, même de manière qualitative. Peu de candidats ont abordé l'aspect quantitatif ou alors sans succès.

Q26. Si la surface est bien identifiée comme la caractéristique que l'on cherche à augmenter lors de la préparation d'un catalyseur hétérogène, peu de candidats mentionnent la surface spécifique (rapport de la superficie de la surface réelle d'un objet et de sa masse).

Q27. La démarche était bien souvent correcte mais le calcul fait pour un échantillon de 14 g et non de 0,106 g. L'occasion d'insister encore sur l'importance de bien lire et analyser les questions posées.

Q28. Lorsque l'interprétation de l'expérience est correcte (en particulier quand le volume de dihydrogène utilisé pour déterminer la quantité de matière de dihydrogène consommée est bien de 14,8 mL), le rendement obtenu étant supérieur à 1, de nombreux candidats ont préféré réinventer le rendement en le définissant comme l'inverse du rendement réel. La question suivante laissait pourtant penser que l'on pouvait s'attendre à ce résultat surprenant et chercher à l'interpréter.

Q29. Peu de candidats traitent complètement cette question. Le calcul de l'arête du cube pose problème, souvent simplement à cause des unités. Les candidats qui ont bien calculé l'arête ont parfois réussi à mener à bien le calcul de l'habitabilité des sites.

Q30. Pour cette question, comme pour la précédente, le sujet indique qu'un développement quantitatif menant à un résultat numérique est attendu, pourtant de nombreux candidats se limitent à indiquer que la réaction est endothermique puisque l'on chauffe le milieu. Le calcul de l'enthalpie standard de la réaction d'hydrogénation à partir des enthalpies standard de dissociation n'est correctement mené que dans de rares cas. On rappelle enfin que lorsque l'enthalpie standard de réaction est négative, la réaction est exothermique.

Q31. Trop de candidats n'identifient qu'un seul atome de carbone stéréogène pour la molécule d' α -tocophérol alors que cette molécule en comporte trois. Le nombre de centres stéréogènes n'est, par ailleurs, pas une justification en soi du caractère chiral d'une molécule.

Q32. Les candidats n'ayant repéré qu'un seul atome de carbone stéréogène ont logiquement conclu que l' α -tocophérol n'avait qu'un seul stéréoisomère (ou deux si l' α -tocophérol était inclus dans le décompte). Les candidats ayant repéré que l' α -tocophérol comporte trois atomes de carbone stéréogènes fournissent une réponse automatique en indiquant qu'il possède donc sept stéréoisomères (ou huit si l' α -tocophérol est inclus dans le décompte) sans prendre la précaution de justifier que tous les stéréoisomères sont bien différents.

Q33. Le descripteur stéréochimique est très souvent correctement attribué mais le classement des différents substituants de l'atome de carbone stéréogène selon les règles séquentielles de Cahn, Ingold et Prelog est rarement rigoureusement justifié laissant craindre une erreur d'attribution pour un cas plus délicat. Il est rappelé que la base sur laquelle se fondent ces règles est le numéro atomique et non la masse atomique des atomes impliqués dans la structure moléculaire.

Q34. Beaucoup de candidats ont identifié que la première étape à réaliser est une réaction de Wittig mais peu précisent qu'il est nécessaire de réaliser une hydrogénation de la double liaison carbone-carbone obtenue. Beaucoup proposent également la saponification de la fonction ester alors que celle-ci doit être préservée.

Q35. On rencontre dans de trop rares copies une définition correcte de ce qu'est un mélange racémique.

Q36. Pourtant faisant partie du programme du concours (PCSI), le principe du dédoublement racémique n'est pas assez maîtrisé par bon nombre de candidats.

Q37. Trop de candidats évoquent des propriétés « physicochimiques » pour les diastéréoisomères et les énantiomères, alors qu'il convient de distinguer les propriétés « chimiques » des propriétés « physiques » pour justifier le dédoublement d'un racémique.

Q38. Si le palladium de Lindlar est souvent identifié comme permettant de réaliser l'hydrogénation partielle d'un alcyne en alcène, beaucoup de candidats ne précisent pas qu'il s'agit d'une *syn*-dihydrogénation et que la liaison double carbone-carbone est donc de stéréochimie (Z).

Q40. Pourtant au programme du concours (classe de PCSI), la réaction de Lemieux-Johnson n'est que très rarement mentionnée. L'ozonolyse est souvent évoquée mais sans préciser que l'hydrolyse doit être réalisée en milieu réducteur.

Q41. Cette question a souvent été traitée de manière trop superficielle par les candidats, la séquence proposée étant considérée de manière globale alors qu'une analyse fine de chaque étape en termes de respect ou de non-respect de chacun des douze principes de la chimie verte est attendu. Ainsi beaucoup de candidats citent des arguments sans dire si cela est en faveur ou non du respect d'un principe (et lequel ?) de la chimie verte.

Q43. L'attribution de la nature, anode ou cathode, des électrodes d'argent et de platine a été source de beaucoup d'erreurs. Dans le cas où la réponse était juste, la justification était souvent peu rigoureuse ou absente. La prise en compte du sens du courant dont on déduit le sens de circulation des électrons permet pourtant de répondre aisément à ce type de question.

Q44. Trop de candidats, parmi ceux qui se sont aventurés à répondre à cette question, ne tiennent pas compte des espèces réellement présentes dans le système pour faire l'inventaire des réactions susceptibles de se dérouler aux électrodes. Il était également important de préciser l'état physique des réactifs et produits des demi-équations d'oxydo-réduction.

Q45. À propos des courbes courant-potentiel, domaine largement abordé dans le programme mais sur lequel très peu de candidats ont su répondre correctement aux questions, il semble important d'insister sur quelques points :

- lorsque cela est possible, il faut calculer le potentiel d'oxydoréduction (en utilisant la formule de Nernst) et ne pas se contenter du potentiel standard d'oxydoréduction pour situer la courbe ;
- il n'est pas judicieux de faire apparaître systématiquement les branches anodique et cathodique de la courbe (par exemple, s'il n'y a pas de dihydrogène dans le milieu, ne pas faire apparaître la branche associée à l'oxydation du dihydrogène) ;
- si la réaction se produisant à l'électrode implique la consommation d'une espèce se trouvant en solution, ne pas oublier de représenter le palier de courant s'il existe.

La notion de surtension semble connue par de nombreux candidats.

Q49. De très nombreux candidats mènent correctement cette vérification, quelquefois de manière surprenante (en partant de la masse de dioxygène consommée pour retrouver la valeur de l'intensité du courant). Il ne faut pas oublier de conclure en répondant à la question posée.

Q50 Le schéma de Lewis est souvent donné sous forme de notation topologique édulant ainsi la difficulté de la représentation de la triple liaison carbone-azote. En revanche le point représentant l'électron non apparié est très souvent présent.

Q51. Très peu de candidats identifient correctement la nature de toutes les étapes du mécanisme.

Q52. Les justifications proposées sont le plus souvent très vagues, ainsi peu de candidats cherchent à retrouver l'équation de la réaction à partir des étapes de propagation. Il reste souvent des espèces radicalaires dans l'équation de la réaction proposée par les candidats.

Q53. Très peu de candidats ont su mener à bien cette question. Si l'approximation de l'état quasi stationnaire semble connue de la plupart des candidats, son application bien souvent approximative ne permet pas de résoudre cette question.

Q54. Pourtant demandée par l'énoncé, l'écriture de la structure du radical L^{\bullet} n'a presque jamais été rencontrée.

Q55. Les réponses obtenues sont souvent superficielles, les candidats se limitant simplement à décrire les courbes sans chercher à interpréter l'évolution observée en s'appuyant sur le mécanisme proposé.

Q56. Peu de candidats identifient que les deux vitamines ne sont pas solubles dans le même type de solvant, la vitamine C étant d'ailleurs qualifiée de vitamine hydrosoluble et la vitamine E de vitamine liposoluble. Une réponse s'appuyant sur la nature des interactions établies entre les deux vitamines et les deux solvants utilisés est attendue.

Q59. Peu de candidats identifient que la synergie dans l'effet antioxydant des vitamines C et E était difficilement transférable au cas des systèmes biologiques puisque, précisément, les deux vitamines ne sont pas solubles dans le même type de solvant.

Remarques sur les questions pédagogiques :

Les questions pédagogiques QP4, 5 et 12 sont traitées par la majorité des candidats, mais les QP18 et 42 n'ont pas souvent été abordées. L'évaluation par compétences semble bien intégrée à la pratique professionnelle des candidats. En revanche, on peut s'interroger sur la différenciation qui a été souvent négligée ou décrite de manière elliptique dans la QP4, notamment.

De nombreux candidats ne sont pas suffisamment précis dans les objectifs d'apprentissages qu'ils décrivent et, notamment, dans leur adéquation avec le niveau de classe concerné par la question.

Pour d'autres, la mise en relation des documents qu'ils utilisent ou qu'ils proposent avec les notions qu'ils souhaitent développer est peu convaincante.

Enfin, il semble difficile pour certains candidats de prendre du recul par rapport aux activités proposées aux élèves qui sont souvent une succession de tâches à réaliser et, plus rarement, un questionnement plus transversal ou des démarches plus ouvertes qui permettent aux élèves de développer de véritables stratégies d'apprentissages transférables à d'autres situations (cf. QP18).

Certains candidats donnent des réponses très longues auxquelles ils doivent consacrer beaucoup de temps au détriment des questions scientifiques. La clarté et la concision permettent de produire des réponses de qualité sans obérer le temps nécessaire aux questions scientifiques.

QP4. Le scénario de la séance est souvent correct, mais ne mentionne pas toujours l'évaluation. Lorsqu'elle est mentionnée, les éléments sur lesquels elle s'appuie ne sont pas toujours explicités. La différenciation est réduite souvent à la distribution de « jokers » pour aider les plus en difficultés, alors que les plus rapides sont souvent « utilisés » pour aider leurs camarades, ce qui est certes intéressant, mais on pourrait les pousser un peu plus en leur proposant, par exemple, des exercices plus difficiles. Certains candidats suppriment le caractère ouvert de la question en guidant tout le monde, alors que, justement, la différenciation était intéressante à ce niveau. Une erreur a été fréquemment rencontrée dans la correction proposée par les candidats : les spectres de RMN du proton étaient ceux de deux esters (ce qui était indiqué dans le sujet), pourtant certains candidats ont identifié un acide carboxylique.

QP5. Les situations d'apprentissage ne sont pas toujours pertinentes : que dire, par exemple, de la proposition de faire évaporer l'eau d'un mélange eau/sucre au bec électrique ? Les termes corps purs et mélange ne sont pas toujours présents, et lorsqu'ils sont présents, on trouve tous les mélanges possibles, comme la boue, les feuilles dans l'eau, ou l'eau de mer comme mélange eau/CO₂/animaux... Les situations d'apprentissage ne tiennent pas toujours compte des cycles concernés et des notions compliquées pour le cycle 3 sont souvent proposées. Enfin, la ressource n'est pas toujours clairement identifiée et la trace écrite est souvent peu développée ou inexistante.

QP12. De nombreux candidats refont les calculs et notent avec beaucoup de précision le travail des élèves alors que certains n'ont manifestement pas refait l'exercice et se contentent d'une vague correction. Les raisonnements ne sont pas toujours bien repérés en termes de compétences, mais certaines corrections sont très fouillées et bienveillantes.

QP18. Le questionnement proposé par le professeur s'est très souvent limité à un questionnement précis de type exercice, alors qu'il aurait été intéressant de poser des questions générales qui pourraient être utilisées pour d'autres titrages directs ou indirects, ainsi que des questions de sécurité.

QP42. Trop de candidats ne voient pas que les mécanismes concernés sont des substitutions nucléophiles bimoléculaires et trop peu expliquent comment réactiver les capacités concernant ces réactions en deuxième année. Très peu de mention du fait que la substitution d'un groupe hydroxyle par un bromure nécessite l'activation préalable de l'alcool.

9. Rapport sur les épreuves orales de Physique

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

Pour préparer l'épreuve orale d'exposé, le candidat dispose de quatre heures, avec un accès à la bibliothèque et à diverses ressources numériques. La numérisation de documents est réalisée à la demande, pour illustrer ou enrichir le propos. Un accès à treize sites internet est autorisé, avec contrôle et limitation, notamment au niveau des liens autorisés vers d'autres sites.

Le candidat peut présenter des expériences, grâce à l'appui de l'équipe technique. L'exposé se compose de deux parties de durées égales ; le candidat doit être attentif au respect de cette contrainte. Une partie est consacrée à la présentation générale du concept scientifique correspondant à l'intitulé du sujet, qui inclut le développement à un niveau post-baccalauréat d'un point particulier choisi par le candidat. L'autre partie consiste à développer un aspect pédagogique de l'enseignement de ce concept. L'ordre de présentation de ces deux parties devant le jury n'est pas imposé. Une durée de 50 minutes est dédiée à l'ensemble de la présentation et les candidats sont invités à utiliser pleinement ce temps consacré à l'exposé. Un entretien avec le jury d'une vingtaine de minutes suit la présentation.

Partie relative au concept scientifique

Présentation du concept

Cette partie paraît cette année moins stéréotypée que les années passées et met en valeur une réflexion des candidats pour faire émerger et surtout mettre en lien les éléments essentiels constitutifs du concept scientifique développé. Beaucoup de candidats réussissent, grâce à une présentation structurée, progressive et articulée, à montrer au jury en quoi les éléments apportés par l'exposé permettent d'introduire le concept, d'en donner une vision d'ensemble avant éventuellement de poser quelques limites délibérément choisies et explicitées. La culture scientifique d'un candidat apparaît également lorsqu'il développe dans sa présentation une approche historique ou des applications technologiques en lien avec le concept. L'ensemble révèle alors le recul du candidat sur le sujet et sa vision globale du concept physique étudié. Lorsque le candidat opte pour une présentation sous la forme d'une carte mentale – qui n'est pas la seule forme envisageable, le jury apprécie que cette carte soit construite et commentée devant lui, témoignant ainsi une réelle appropriation du sujet par le candidat. Les cartes mentales peu lisibles, qui manquent de concision et qui se transforment en un catalogue de mots clefs sans hiérarchie ne sont pas valorisées ; il en est de même des présentations qui s'appuient sur des titres de chapitres dans lesquels le concept peut intervenir.

Développement scientifique du concept à un niveau post baccalauréat

Le point choisi doit être traité au niveau adapté, avec soin et rigueur. Le jury est sensible au fait que ce développement soit bien ancré dans le concept étudié, mais aussi que le candidat soit en mesure de justifier la pertinence didactique du choix réalisé (enrichissement d'une notion abordée dans le secondaire, lien avec une application technologique, mise en évidence d'une difficulté didactique particulière, etc.). Le jury rappelle que la rigueur mathématique est indispensable (distinguer vecteurs et scalaires, vérifier l'homogénéité d'une expression littérale, etc.) lors de ce développement, nécessitant souvent un certain formalisme. Il est à ce titre conseillé aux candidats de consolider leur dextérité calculatoire. Rappelons pour autant que la physique post baccalauréat n'est pas nécessairement et uniquement calculatoire et que, s'il peut être parfois nécessaire ou intéressant de développer un raisonnement à travers quelques équations, il convient également d'en maîtriser le sens physique : le candidat doit donc s'attacher à présenter le modèle, à poser ou rappeler ses hypothèses, pour en tirer une conclusion sur ses apports et ses limites. Les hypothèses des modèles et les résultats qu'ils produisent sont à discuter du point de vue de la physique. Le jury regrette encore cette année que certains développements scientifiques se limitent

à des notions qui pourraient être traitées au lycée, ce qui montre sans doute que le candidat ne souhaite pas prendre de risques.

Les prestations les mieux réussies sont proposées par des candidats ayant un recul suffisant sur le concept présenté et possédant des connaissances solides ; les lacunes scientifiques révélées par certains d'entre eux au cours de l'exposé ou lors des réponses aux questions du jury constituent un écueil majeur pour la réussite au concours de l'agrégation.

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

Dans cette partie, le candidat met en valeur son expertise pédagogique et didactique dans un développement relatif à l'enseignement du concept au niveau du collège ou du lycée. Pour cela, cette année, une consigne complète le sujet et donne au candidat deux axes possibles de traitement pédagogique ou didactique du sujet : le candidat choisit de traiter l'un ou l'autre de ces deux axes, ou les deux. Ces axes peuvent relever d'une problématique reliée à :

- l'introduction du concept ;
- les difficultés d'apprentissage liées au concept ;
- la progressivité des apprentissages liés au concept ;
- la différenciation ;
- la diversification et les stratégies d'apprentissage ;
- l'évaluation ;
- la remédiation ;
- la construction de l'autonomie.

L'introduction de ces axes de réflexion dans le développement d'un aspect pédagogique de l'enseignement du concept permet incontestablement d'orienter le candidat sur une analyse de sa pratique professionnelle à travers l'activité qu'il a choisie de présenter et conduit globalement à des prestations mieux ciblées et plus abouties que celles des années précédentes. Le jury attend réellement cette réflexion pédagogique et didactique et, de ce point de vue, il a pu apprécier cette année d'excellentes prestations ; cependant, certaines d'entre elles se limitent encore à la simple description d'une activité donnée par le candidat dans sa classe, sans analyse ni mise en perspective relativement à la consigne.

Le candidat a le choix de développer un ou les deux axes proposés, mais il doit veiller à ce que ce choix soit pertinent et se prête à l'activité développée par le candidat. Il est indispensable que le jury puisse identifier l'axe ou les axes choisis lors de la présentation du candidat.

Même si cette évolution est positive, le jury constate quelques difficultés dans le développement de certains axes pédagogiques. La description de la progressivité des apprentissages liés au concept ne saurait se résumer à une transcription des extraits de bulletin officiel relatifs à des programmes successifs d'une classe ou d'un cycle à l'autre, mais nécessite une prise de distance par rapport à ces contenus et demande une analyse de l'évolution du concept et de son enrichissement au fil des niveaux d'enseignement. Le jury précise également que le repérage des difficultés d'apprentissage liées au concept ne se limite pas à celui des seules difficultés de l'activité présentée ; le candidat est invité à prendre une distance suffisante pour anticiper les représentations des élèves, pour identifier les obstacles aux apprentissages liés par exemple à la complexité du concept ; cet axe doit aussi permettre d'envisager des solutions pour surmonter les difficultés repérées. Construire l'autonomie de l'élève ne se limite pas à le faire travailler en groupes entre pairs ou à lui donner des aides lorsqu'il est en difficulté ; la construction de l'autonomie est souvent confondue avec le simple exercice de celle-ci, très souvent lors d'un travail expérimental et d'une démarche d'investigation, elle est à illustrer d'exemples concrets et adaptés. L'axe « remédiation » est en général peu ou mal traité : il ne peut y avoir remédiation sans mise en situation préalable d'apprentissage.

Le jury met en garde sur certains points récurrents : confusion entre différenciation et remédiation, limitation de la remédiation à une évaluation formative, utilisation abusive ou contre-productive des « coups de pouce » pour construire l'autonomie de l'élève.

Remarques générales

Le jury attend des candidats motivés et pugnaces qui ne baissent pas les bras à la première difficulté qui se présente à eux, mais cherchent à valoriser leur expertise professionnelle autant que leur maîtrise disciplinaire.

L'utilisation d'un langage adapté et rigoureux est une compétence incontournable d'un enseignant qui doit être mobilisée avec vigilance lors des présentations des candidats devant le jury.

b. Montage et traitement automatisé de l'information

L'épreuve de montage est avant tout une épreuve expérimentale dans laquelle le candidat doit montrer une habilité expérimentale assise sur un choix d'expériences pertinent et cohérent et sur des connaissances théoriques solides. Pour cette épreuve, le candidat a le choix entre deux sujets. Une fois ce choix rapidement effectué, il est vivement déconseillé de revenir en arrière. Le candidat dispose de quatre heures de préparation pour monter des dispositifs expérimentaux et réaliser des mesures illustrant le thème choisi, puis de 50 minutes de présentation devant le jury, couplée à environ 20 minutes d'entretien avec le jury.

Au cours de sa présentation, le candidat doit introduire et savoir justifier son choix d'expériences au regard du thème. Le jury recommande donc au candidat de mener une réflexion approfondie à la fois sur le titre du montage pour éviter le hors sujet et sur le choix des expériences présentées afin d'illustrer différents aspects du thème sans se contenter de réitérer la même mesure dans des conditions différentes. Les candidats sont libres de choisir les expériences illustrant le sujet choisi : il n'existe pas d'expérience « incontournable ». Si certaines expériences sont susceptibles d'illustrer différents thèmes, il convient de les adapter en s'intéressant aux grandeurs physiques appropriées au sujet du montage. Le temps de présentation doit être consacré à la présentation et l'exploitation des expériences et non à un développement théorique de la notion abordée. Le jury souhaite que les candidats manipulent au cours de la présentation. Un vocabulaire précis et rigoureux doit être utilisé. Une introduction et une brève conclusion sont appréciées du jury.

Parmi les expériences présentées, le jury attend que le niveau post-baccalauréat soit abordé soit par la manipulation elle-même soit par son exploitation. Un grand nombre d'expériences présentés n'est pas un gage de réussite ; ainsi mieux vaut deux expériences pertinentes bien réalisées et bien exploitées que quatre inabouties. Si des expériences qualitatives permettant d'illustrer ou introduire le thème sont possibles, le jury attend au moins une expérience quantitative aboutie. Le candidat doit y définir les objectifs de sa mesure, expliciter son protocole et les hypothèses faites, faire au moins une mesure ou ajouter une mesure à une série faite en préparation et confronter ses résultats au modèle. Cette confrontation doit être justifiée par une évaluation et un calcul des incertitudes bien menés. Il n'est pas nécessaire de faire toute une série de mesures ou de refaire des mesures identiques dans un contexte différent (par exemple, refaire les mesures pour un filtre passe-haut alors qu'on a déjà fait celles du filtre passe-bas), cela constituera une perte de temps inutile. Le choix de la grandeur à mesurer doit avoir du sens. Par exemple, il n'est pas pertinent de mesurer la longueur d'onde d'un laser à partir de la figure de diffraction par une fente dont la largeur est mal connue.

Les candidats doivent sauvegarder les acquisitions effectuées pendant la préparation et la présentation. Elles pourront être utiles si un problème informatique survient et lors des questions.

Un soin particulier doit être apporté au tableau préparé en amont de la présentation et qui sert de support au jury pour suivre celle-ci. Le jury doit y retrouver le plan général du montage, les principaux schémas de principe des manipulations (en particulier les schémas des circuits

électriques), les expressions des lois illustrées, les valeurs numériques des composants utilisés, les valeurs tabulées utiles pour les comparaisons, les emplacements pour reporter les valeurs mesurées au cours de la présentation.

Dans la modélisation des résultats obtenus, le candidat doit s'interroger sur le domaine de validité des lois et modèles utilisés. Les grandeurs physiques mesurées doivent être, si possible, comparées aux constantes ou aux valeurs tabulées existant dans la littérature. Si une expérience ou une application numérique 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.

Lors de la réalisation de graphiques, les points expérimentaux doivent être bien visibles ; l'utilisation d'une représentation continue n'est pas pertinente.

Toute mesure quantitative doit être assortie d'une estimation de l'incertitude, reposant sur une analyse des différentes sources d'erreur. Le jury note que de plus en plus de candidats font l'effort de déterminer les incertitudes liées aux expériences menées en utilisant le vocabulaire de la métrologie repris dans certains programmes de lycée. Cependant, il faut garder un regard critique et savoir négliger les termes qui doivent raisonnablement l'être plutôt que de mener des calculs longs et fastidieux. Le candidat doit distinguer l'incertitude liée à la résolution de l'instrument de mesure de celle associée à l'erreur de pointé qui est parfois bien supérieure à la demi-graduation de l'appareil de mesure. Les candidats devraient plus souvent consulter les notices et/ou spécifications des appareils ou des composants utilisés. La précision d'un appareil est en général donnée dans la notice et ne se résume pas « au chiffre qui fluctue ». Dans le même registre, il convient de ne pas limiter le calcul de l'incertitude à celle sur la valeur calculée à partir des paramètres du montage sans s'intéresser à celle sur la valeur mesurée.

L'utilisation de logiciels d'acquisition et de traitement des données est de plus en plus répandue et est en général bien adaptée à l'expérience menée. Cependant, le jury attend une utilisation maîtrisée et comprise de ces logiciels notamment dans le choix des paramètres d'acquisition et dans l'analyse des ajustements obtenus (par exemple sur la signification des incertitudes issues des régressions linéaires).

Le fonctionnement des appareils utilisés doit être connu et adapté. Par exemple, il est souvent inadapté d'utiliser les curseurs sur un oscilloscope numérique alors que celui-ci fait des mesures. De même, l'utilisation d'un goniomètre à réseau est préférable à celle d'un goniomètre à prisme. Lors de l'utilisation de l'analyse spectrale, le candidat doit être capable de justifier le choix de ses paramètres d'acquisition. Il doit maîtriser le domaine de validité du spectre obtenu ainsi que sa résolution. S'il est parfois intéressant de faire le spectre du son d'un diapason, il n'est pas suffisamment riche pour illustrer une analyse spectrale.

Les règles élémentaires de sécurité rappelées aux élèves de lycée ne doivent pas être oubliées au moment de la présentation.

Le jury tient à souligner comme les années précédentes 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

L'exposé de chimie est une épreuve constituée de deux parties d'égale importance, l'une dédiée à la présentation d'un concept scientifique, incluant un développement à un niveau post-baccalauréat, l'autre consacrée à la présentation d'une activité pédagogique articulée au concept scientifique développé précédemment. Pour la session 2018, une consigne complète le sujet et donne au candidat deux axes possibles de traitement pédagogique ou didactique du sujet :

- l'introduction du concept ;
- les difficultés d'apprentissage liées au concept ;
- la progressivité des apprentissages liés au concept ;
- la différenciation ;
- la diversification et les stratégies d'apprentissage ;
- l'évaluation ;
- la remédiation ;
- la construction de l'autonomie.

Le candidat peut choisir de traiter l'un ou l'autre de ces deux axes, ou les deux. À l'issue des cinquante minutes de présentation, se déroule une discussion d'une vingtaine de minutes avec le candidat sur ses propositions scientifiques et pédagogiques.

L'ordre de présentation des deux parties n'est pas imposé. Le jury recommande vivement de débiter par une brève introduction précisant l'ordre de présentation choisi ainsi qu'une première explicitation des articulations entre le concept et le développement post-bac d'une part et le concept et le développement pédagogique d'autre part. Le jury apprécie les présentations claires, structurées et utilisant à bon escient la totalité du temps imparti à l'exposé. En revanche, le jury ne peut évaluer la capacité du candidat à prendre du recul sur le sujet de l'exposé s'il n'aborde que des éléments trop parcellaires liés au concept ou présente de trop nombreux points mettant en évidence son incapacité à argumenter des choix. Si la présentation est écourtée (moins de cinquante minutes), le jury propose au candidat de revenir sur certains points s'il le souhaite ou de passer à la phase d'entretien ; le choix d'exploiter ce temps restant doit permettre un réel retour sur un ou des points présentés et non donner lieu à une dilution du propos précédent qui n'apporte aucun élément nouveau.

Le dynamisme, la conviction et les qualités oratoires du candidat sont des éléments d'appréciation importants. Comme pour le professeur dans sa pratique professionnelle en classe, il est attendu du candidat qu'il impose une autorité scientifique et intéresse le public. Les notes de cours doivent être considérées comme un guide de présentation afin de ne rien omettre des notions et activités que l'on souhaite proposer. Le candidat est donc invité à s'y reporter périodiquement pour contrôler le bon déroulement de sa présentation, mais sans toutefois s'y replier. En particulier, le jury s'attend à ce que le candidat puisse assumer la phase de discussion sans ses notes. Le jury constate globalement de bonnes qualités de communication chez les candidats.

En plus des ressources documentaires, le candidat dispose pour étayer sa présentation de ressources numériques et d'outils de communication (tableau, flexcam, ordinateur, vidéoprojecteur, logiciels divers). Le jury apprécie l'aisance des candidats dans le maniement de ces outils. Toutefois, les développements pédagogiques se limitant à une succession de projections de documents pris dans divers ouvrages ne permettent pas au candidat de mettre en évidence sa capacité à produire des ressources personnelles ou tout au moins à témoigner d'un certain recul dans l'utilisation ou l'adaptation de ressources existantes. De la même façon, certains développements post-bac, où des « trous » sont complétés dans un texte déjà écrit au tableau, ne

permettent pas au candidat de faire la démonstration de sa maîtrise du concept. Même s'ils sont extraits de manuels scolaires ou scientifiques, une aptitude à la critique des supports présentés est appréciée par le jury. Le candidat peut également faire le choix de présenter une ou plusieurs expériences qu'il estime appropriées et justifiées pour l'illustration de certains points de son exposé. La pertinence du choix des expériences et leurs exploitations scientifique et pédagogique sont prises en compte dans l'évaluation.

Le jury est sensible à la bonne lisibilité comme à la bonne visibilité, à la clarté et, naturellement, à la bonne rédaction en langue française des documents projetés et conçus par le candidat. L'organisation du tableau est aussi un élément d'appréciation pour le jury ; le candidat doit être attentif à ne pas en effacer une partie avant d'en avoir formulé la demande au jury, des éclaircissements et des explications sur certains points pouvant être demandés dans la phase d'entretien.

La discussion avec le jury vise tout d'abord à revenir sur certains éléments de la présentation qu'il souhaite voir préciser, sur une erreur de langage écrit ou oral ou sur un oubli. Dans un second temps, les questions du jury visent à évaluer la capacité des candidats à faire preuve de réflexion, à argumenter et à justifier le choix de ses propositions scientifique et pédagogique ; elles permettent aussi d'apprécier le niveau d'expertise du candidat et sa prise de hauteur vis-à-vis des contenus.

Présentation d'un concept

Des connaissances scientifiques précises et solides sont attendues des candidats. Le jury recommande au candidat de mettre à profit son expertise pédagogique et professionnelle pour adapter le niveau de la présentation : un exposé maîtrisé et rigoureux doit être privilégié au détriment d'une présentation trop rapide de notions mal assimilées. La présentation du concept scientifique, souvent sous forme de carte mentale alors que cela n'est en aucun cas une obligation, doit permettre de révéler les problématiques liées au thème présenté. Le choix du point post-bac développé doit faire l'objet d'une articulation non factice et fait suite à une réflexion éclairée du candidat : en quoi le développement choisi constitue-t-il un point à mettre en exergue ?

Le jury apprécie les éléments suivants :

- l'effort des candidats qui privilégient des exemples concrets et pertinents pour illustrer leur propos et font montre de culture scientifique, au détriment de généralités ou de formules génériques de molécules organiques ou de simples lettres pour désigner des espèces chimiques ;
- les développements qui ne sont pas trop ou inutilement mathématiques, et qui s'appuient sur une mise en équation adéquate de la problématique de chimie choisie en dépassant la simple description des phénomènes. Dans les cas où des calculs sont réalisés, le jury attend qu'ils soient effectués avec aisance et clarté, et qu'ils soient reliés à un sens chimique ou physique ;
- la maîtrise des modèles et modélisations relatifs aux notions présentées et la connaissance de leur champ d'application (lacunes électroniques, modèle de la flèche courbe, activité chimique, loi de Beer-Lambert, modèle de Lewis, etc.).

Exploitation pédagogique

Le jury attend que le candidat valorise ses qualités pédagogiques et sa réflexion didactique en présentant un développement bien articulé au sujet proposé. Ce développement doit être l'occasion de traiter un des axes ou les deux proposés en appui du sujet. Le candidat doit mettre en avant son expertise professionnelle et proposer une activité ou une progression d'activités, expérimentale(s) ou non, qui pourrait être mise en œuvre en classe.

Les questions posées à l'issue de l'exposé permettent au jury d'affiner son appréciation sur les arguments avancés par le candidat. Elles peuvent amener le jury à demander au candidat de préciser tel ou tel point évoqué lors de son exposé afin d'évaluer sa vision globale. Les questions

posées au candidat, qu'elles soient précises ou au contraire très ouvertes, n'ont pas pour but de le mettre en difficulté sur des connaissances relatives à telle ou telle démarche pédagogique ou approche didactique mais bien de tester sa capacité à organiser une analyse, à conceptualiser une question, à construire une activité pédagogique personnelle attestant de choix assumés.

Le jury apprécie les éléments suivants :

- les développements détaillés, critiques et argumentés témoignant d'une prise du recul de l'enseignant sur sa pratique professionnelle et d'une réflexion personnelle ;
- les développements de séquences pédagogiques réalistes et adaptées aux niveaux visés, proposant les réponses attendues des élèves et pas seulement les questions qui leur sont posées, indiquant les compétences travaillées et évaluées et critiques notamment vis-à-vis des manuels scolaires ou autres ressources utilisés.

Dans le développement pédagogique, le nouveau format doit permettre au candidat de centrer son propos sur une ou deux problématiques pédagogiques pour pouvoir la ou les approfondir. Le jury souhaite notamment que le candidat définisse les éléments pédagogiques ou didactiques sur lesquels il s'appuie pour construire son exposé sans toutefois attendre une définition univoque qui n'existe pas dans ce domaine. De nombreux candidats ne dépassent cependant pas le stade de la description de l'activité ou de l'énumération de points de programme sans argumenter leurs choix et sans recul critique vis-à-vis de leur proposition. En revanche, d'autres mettent effectivement à profit l'opportunité qui leur a été donnée de s'emparer d'un concept pédagogique ou didactique, d'en définir les enjeux, d'étayer leur choix et de valoriser leur réflexion et leur expertise.

b. Montage et traitement automatisé de l'information

Le montage a pour objectif d'illustrer expérimentalement le thème que le candidat a retenu parmi les deux titres attribués.

Le jury attend du candidat d'une part une maîtrise du contenu disciplinaire dans l'explicitation et la compréhension des expériences illustratives choisies et d'autre part un savoir-faire expérimental attestant d'une bonne dextérité expérimentale en toute conformité aux règles de sécurité.

Après la phase d'introduction et d'entrée dans la réalisation, le jury peut très vite être amené à questionner le candidat au fur et à mesure de sa présentation, non pas bien évidemment pour le déstabiliser, mais pour l'interroger sur les phénomènes observés au moment où ils se produisent, et en lien avec les gestes réalisés ou les choix expérimentaux faits. Pour une bonne gestion du temps, il est recommandé au candidat de continuer – dans la mesure du possible – de manipuler tout en continuant à répondre aux questions.

Choisir des expériences

Le candidat doit pouvoir justifier le choix de chaque expérience présentée en lien avec le thème étudié, sans attendre les questions du jury. Il est d'ailleurs rare que ce choix soit hors sujet.

Il est conseillé d'envisager plusieurs angles d'approche du thème, plusieurs types de réaction en termes de grandes familles (acide-base, oxydoréduction, diversité de réactions en chimie organique, etc.), plusieurs techniques de dosage, de synthèse, afin de montrer au jury une diversité de savoirs et savoir-faire.

La présentation doit comporter au moins une expérience quantitative avec des calculs menés jusqu'au bout, incertitudes de mesure comprises. Ces derniers doivent être présentés rigoureusement. Il convient d'éviter toute formule issue d'un livre et non justifiée ; il est bienvenu de savoir éventuellement la redémontrer.

Il est préférable de présenter un nombre d'expériences bien exploitées réduit, mais néanmoins suffisant pour illustrer correctement le thème, plutôt qu'un grand nombre de manipulations soit qualitatives, soit mal exploitées, soit non maîtrisées.

Il peut être intéressant de prévoir plusieurs caractérisations d'un composé formé lors d'une synthèse organique (point de fusion, indice de réfraction, CCM, IR, etc.) pour l'identifier et discuter de la pureté du produit isolé.

Anticiper et organiser la présentation

Au tableau sont attendus le titre et le plan du montage complétés éventuellement des équations de réaction (ajustées), des quantités de matière introduites, des concentrations utilisées, d'étapes de calcul importantes, ce qui apporte de la lisibilité à l'exposé et constitue un support tant pour le candidat que pour le jury.

Le candidat prend le soin d'effectuer un maximum de réalisations pendant la préparation : mesures, titrage, tracé de courbes, tout ou partie de synthèses organiques qui selon leur nature peuvent être éventuellement terminées lors de la présentation.

Le candidat veille à organiser sa présentation de telle sorte qu'il puisse montrer au jury ses capacités d'expérimentateur : reprendre un point sur une courbe préalablement tracée ou retracer avec quelques points l'allure d'une courbe, relancer ou terminer une synthèse organique (filtration, extraction, recristallisation, prise d'un point de fusion, indice de réfraction, CCM, etc.).

Tout résultat numérique expérimental doit être présenté avec son incertitude correctement justifiée par des calculs rigoureux, qu'il est judicieux d'anticiper.

Il est important de prévoir quelques minutes pour introduire le sujet ainsi que pour conclure la présentation. L'introduction et la conclusion doivent être préparées, et ne pas simplement être une redite l'une de l'autre.

Respecter les règles de sécurité pour la protection des personnes et de l'environnement

- Les règles de sécurité doivent être maîtrisées : connaissances des pictogrammes, des phrases P et H et du comportement à adopter en conséquence. Le port de la blouse et des lunettes est obligatoire pendant toute la durée de l'épreuve (préparation comprise). Les gants doivent être utilisés à bon escient et proscrits à proximité d'une source de chaleur ainsi que lors de l'utilisation d'un ordinateur.
- Le candidat doit veiller à ne pas générer inutilement des déchets chimiques, en ayant conscience de cette problématique et en maîtrisant les quantités de matière mises en jeu dans les manipulations, après s'être approprié, non sans esprit critique, le protocole opératoire de la source documentaire.

Maîtriser les savoirs et savoir-faire

- Le choix des quantités de matière utilisées lors d'une synthèse organique doit être justifié (conditions stœchiométriques ou réactifs en excès).
- Il est important de comparer les données expérimentales obtenues à celles de la littérature dans les mêmes conditions de température et de pression. Les conditions standard ou normales ne sont pas toujours connues.
- Le jury peut interroger le candidat sur le mécanisme des réactions organiques présentées.
- Il est attendu du candidat qu'il soit en mesure de justifier le caractère oxydant ou réducteur d'une espèce chimique, par exemple par le calcul d'un nombre d'oxydation, et aussi bien en chimie générale qu'organique.
- L'analyse des tests caractéristiques (précipitations, complexation, test à la flamme, etc.) souvent présentés en introduction est attendue. À noter qu'un complexe neutre peut précipiter en solution aqueuse, il n'en reste pas moins un complexe.
- Les mesures en cinétique ne sont pas suffisamment exploitées. Beaucoup se limitent à la présentation qualitative de l'évolution d'une grandeur ou d'une concentration en fonction du temps, suite à une étude en spectroscopie visible ou en conductimétrie sans exploiter les mesures pour calculer la constante de vitesse, l'ordre par rapport aux réactifs.

- Il est important de prévoir l'allure des courbes et de l'expliquer (croissance, décroissance en conductimétrie et potentiométrie, nombre de sauts de pH selon les espèces présentes, les écarts entre les pK_A , etc.).

Remarques générales

- Tout instrument de mesure utilisé peut être l'objet de questions de la part du jury. L'utilisation d'un spectrophotomètre UV-visible ou IR peut amener des interrogations sur le fonctionnement interne de l'appareil (sources lumineuses, réseaux, détecteurs, cuves, etc.) ou sur le principe de la mesure (type de transitions, énergies mises en jeu, précision de la technique, etc.). De même, il est conseillé de connaître le fonctionnement des appareils de pH-métrie, conductimétrie, potentiométrie, ainsi que les électrodes ou cellules (chaînes électrochimiques, mode de conservation).
- En ce qui concerne la verrerie utilisée, il est attendu du candidat qu'il sache la nommer, et en connaisse l'usage (choix d'une éprouvette plutôt qu'une pipette par exemple, maîtrise du geste, indications figurant sur l'instrument I_n , E_x , T°) et la précision (avec distinction entre l'incertitude constructeur et l'incertitude de lecture).
- Afin de bien exploiter les résultats obtenus, il est important de bien connaître l'outil de traitement de données utilisé.
- L'utilisation de logiciels de simulation peut apporter des compléments : prévision de courbes de dosage, comparaison avec les courbes expérimentales, choix d'un réactif, choix des volumes ou concentrations, évaluation des incertitudes, etc.).
- On attend des candidats qu'ils aient une attitude distanciée par rapport aux ressources, mobilisant ainsi leur esprit critique.

Tout au long de l'exposé, le candidat veille à soigner la présentation des expériences tant sur le plan de la réalisation pratique qu'en termes de rigueur du vocabulaire utilisé. Un discours clair et pédagogique est valorisé.

Les candidats sont encouragés à ne pas se démobiliser ou se décourager après la phase de préparation ou en cours de montage ; le jury est conscient des difficultés et de l'exigence de cette épreuve, et les autres prestations (écrits, exposé) peuvent compenser une contre-performance éventuelle. Par ailleurs, l'exercice global ayant lieu à un haut niveau scientifique sur un thème spécifique, il convient de relativiser cette éventuelle contre-performance ; l'expertise professionnelle du candidat ne doit pas être remise en cause.

11. Épreuves et programmes 2019

Épreuves écrites d'admissibilité

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

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

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

1. des classes :

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

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

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

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

1. des classes :

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

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

Épreuves orales d'admission

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

Le tirage au sort conduit le candidat à traiter :

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

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

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

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

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

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

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

Partie relative au concept scientifique

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

Cette présentation synthétique permet 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 son expertise pédagogique et didactique dans un développement relatif à l'enseignement du concept au niveau du collège ou du lycée. Pour cela, une consigne complète le sujet et donne au candidat deux axes possibles de traitement pédagogique ou didactique du sujet : le candidat choisit de traiter l'un ou l'autre de ces deux axes, ou les deux. Ces axes peuvent relever d'une problématique reliée à :

- l'introduction du concept ;
- les difficultés d'apprentissage liées au concept ;
- la progressivité des apprentissages liés au concept ;
- la différenciation ;
- la diversification et les stratégies d'apprentissage ;
- l'évaluation ;
- la remédiation ;
- la construction de l'autonomie ;
- ...

Le candidat s'appuie sur des éléments concrets relatifs à des situations d'enseignement.

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

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

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

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

a) Physique

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

Sujets communs aux épreuves d'exposé et de montage

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

Sujets d'exposé spécifiques

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

Sujets de montage spécifiques

- 23m. Filtrage et analyse spectrale
- 24m. Amplification
- 25m. Couplages
- 26m. Régimes transitoires
- 27m. Conversion de puissance
- 28m. Polarisation de la lumière

b) Chimie

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

Sujets communs aux épreuves d'exposé et de montage

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

Sujet d'exposé spécifique

- 28e. Périodicité des propriétés

Sujet de montage spécifique

- 28m. Spectroscopies

12. Annexes

a. Proposition de solution de la composition de physique 2018

b. Proposition de solution de la composition de chimie 2018

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.devenirenseignant.gouv.fr/cid125063/les-sujets-des-epreuves-admissibilite-des-concours-agregation-session-2018.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.**

Le fil qui chante : proposition de corrigé

I. Caractéristiques du son émis par une corde vibrante

A – Le son : une première approche

1. (QP) Il s'agit de transformer la succession de questions (qui sont autant de tâches simples) en une question plus ouverte (tâche complexe) dont la résolution mobilise des connaissances et des capacités.

Exemple de question : « La foudre tombe-t-elle à proximité de la maison Vasquez Torres? »

Ou une question plus ouverte qui reprend le contexte : « Jenny peut-elle se rendre à la maison Vasquez Torres sans danger? »

Corrigé : les étapes de la démarche doivent apparaître.

Mobilisation de connaissances : $v = d/t$.

Capacités :

- Dédurre la relation $d = vt$.
- Extraire l'information : la célérité du son est de $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- La durée de parcours de la lumière est négligeable devant la durée de parcours du son.
- Calculer la distance séparant Jenny de l'éclair : $d = 340 \times 10 = 3,4 \text{ km}$.
- Mesurer la distance Viñales - Vasquez Torres sur le plan : 8,2 cm.
- Utiliser l'échelle, puis une relation de proportionnalité pour en déduire la distance réelle Viñales - Vasquez Torres.
- Comparer les deux distances et valider le résultat.

Cet exercice correspond à une tâche complexe, car il mobilise une connaissance et demande de mettre en œuvre diverses capacités. Sa place en fin de cycle 4 est justifiée par le fait qu'il demande à l'élève de mobiliser une connaissance et des capacités abordées précédemment et qui sont réinvesties ici.

2. (QP) Pour les critères d'évaluation, la candidat se référera aux connaissances et compétences associées du programme :

Exemples de critères de réussites possibles	Indicateurs de réussite correspondant
Relier la distance parcourue par un son à sa durée de propagation	$d = v \times t$
Vitesse de propagation (si elle n'est pas donnée)	$340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Mesure une grandeur physique de manière indirecte	<ul style="list-style-type: none">– détermination de la distance Jenny - éclair;– détermination de la distance Jenny- maison Vasquez Torres
Lire et comprendre un document scientifique	Extraire les informations 10 s, $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, utilisation de l'échelle
Mettre en œuvre une démarche propre aux sciences	Comparaison des deux distances et conclusion (réponse à la question)
Utiliser la langue française en cultivant ... pour ...	Qualité de la rédaction, du vocabulaire utilisé

3. (QP) Le candidat doit prendre en compte dans sa stratégie la diversité des élèves.

item	solution
... détermine les besoins des élèves	Propose une évaluation diagnostique sur les prérequis pour repérer les connaissances et les compétences non acquises
... organise la classe et modifie éventuellement l'exercice	<p>1 si l'exercice n'est pas modifié, il peut être traité en classe entière et le professeur apporte des aides aux élèves qui en ont besoin (mais l'évaluation diagnostique a peu d'intérêt)</p> <p>2 l'exercice peut être modifié en fonction des résultats de l'évaluation diagnostique en proposant soit un questionnement plus guidé, soit ciblé sur les compétences précises à faire travailler; la classe est organisée en formant des groupes de besoin</p>
... évalue l'impact de son action	à l'issue de cet accompagnement, l'enseignant propose une évaluation sur les compétences travaillées dans un contexte différent.

4. Expérience historique de mesure de la célérité du son dans l'air : tirs de canon croisés entre Villejuif et Montlhéry : « On tira un coup de canon du sommet d'une colline de Villejuif. À Montlhéry (situé à 18,61 km de Villejuif), on entendit le coup de canon 55,2 secondes plus tard après avoir perçu la lumière de la poudre. »

Cette expérience s'est déroulée au début du XIXème siècle.

Autres travaux de Arago : première approche de l'invariance de la célérité de la lumière, détermination de la valeur de l'indice de réfraction de l'air (avec Biot), détermination du diamètre des planètes, explication du scintillement des étoiles, mesure de la méridienne passant par Paris, polarisation, travaux avec Daguerre ...

B – Corde tendue en régime libre

5. Les grandeurs caractéristiques du problème sont la tension sur la corde, la longueur de la corde et la masse de la corde. Une démarche systématique consiste à poser $c = K T_0^\alpha \times m^\beta \times L^\delta$, où K est un nombre sans dimension. En termes de dimensions, on a

$$\begin{cases} [c] &= [L][T]^{-1} \\ [T_0] &= [M][L][T]^{-2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 0 &= \alpha + \beta \\ 1 &= \alpha + \delta \\ -1 &= -2\alpha \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha = \frac{1}{2} \\ \beta = -\frac{1}{2} \\ \delta = \frac{1}{2} \end{cases} \quad (1)$$

Par conséquent, la célérité est de la forme $c = K \sqrt{\frac{T_0 L}{m}}$.

6. Système : un tronçon de corde situé entre x et $x + dx$ quand il est au repos. Compte tenu des hypothèses, à savoir angles petits et corde inextensible, la longueur de ce tronçon à un instant t quelconque vaut $ds = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} \approx dx$.

Dans le référentiel terrestre local, galiléen, le bilan des actions se résument aux tensions exercées en x et en $x + dx$ par les parties gauche et droite de la corde, car on néglige le poids. On convient de noter $\vec{T}(x, t)$ la tension exercée en x par la partie droite de la corde sur la partie gauche. Par conséquent, d'après le principe des actions réciproques appliqué à l'abscisse x , il vient

$$\frac{m}{L} dx \vec{a} = \vec{T}(x + dx, t) - \vec{T}(x, t) \Rightarrow \begin{cases} 0 &= T_0 \cos(\alpha(x + dx, t)) - T_0 \cos(\alpha(x, t)) \\ \frac{m}{L} dx \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} &= T_0 \sin(\alpha(x + dx, t)) - T_0 \sin(\alpha(x, t)) \end{cases} \quad (2)$$

À l'ordre 1 en α , on a $\cos(\alpha) \approx 1$. Par conséquent, la première équation est automatiquement satisfaite.

Toujours dans la limite des petits angles, on a $\sin(\alpha) \approx \alpha \approx \tan(\alpha)$. Or, $\tan(\alpha) = \frac{\partial y}{\partial x}$. Par conséquent, il vient

$$\frac{m}{L} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = T_0 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \frac{m}{T_0 L} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0. \quad (3)$$

Par identification, nous avons $c = \sqrt{\frac{T_0 L}{m}}$.

7. La solution générale de cette équation de d'Alembert est de la forme $y(x, t) = f(x - ct) + g(x + ct)$ où

- $f(x - ct)$ désigne une onde plane progressive se déplaçant vers les x positifs;
- $g(x + ct)$ désigne une onde plane progressive se déplaçant vers les x négatifs.

Comme l'équation de propagation est linéaire, le principe de superposition s'applique. D'ailleurs, la solution générale proposée exploite cette propriété.

8. (QP) Le candidat doit proposer et décrire une ou deux expériences présentant la propagation d'une perturbation dans un milieu, ondes mécaniques progressives périodiques ou non périodiques (ébranlement le long d'une corde, d'un ressort, vidéo de la houle, la ola dans un stade ou mieux dans une classe, etc...).

Objectifs visés : par exemple, mettre en évidence le non déplacement de matière, les notions de retard et de longueur d'onde ...

Remarque : le non déplacement de la matière n'est vrai « qu'en moyenne ». En réalité, le déplacement local des éléments de matière est nécessaire, mais l'amplitude reste en général faible devant la longueur d'onde.

Outils numériques pouvant être utilisés :

- enregistrement vidéo ...
- une simulation pour visualiser une onde progressive sinusoïdale par exemple.

Intérêt : faire des mesures, par exemple de longueur d'onde ou de période, observer un phénomène peu visible à l'œil nu, ...

9. Dans le cas des ondes stationnaires, il y a un découplage entre le temps et l'espace : la vibration peut alors se mettre sous la forme $y(x, t) = w(x)v(t)$. Le terme « onde » fait penser à la propagation, c'est-à-dire à une onde progressive, alors que la propagation n'existe plus pour une onde stationnaire.

Un mode propre est une solution sinusoïdale, en régime libre. À cause des conditions aux limites, seules certaines fréquences permettent d'obtenir des vibrations sinusoïdales. En effet, il faut que la durée d'un aller-retour de la vibration sur la corde soit égale à un multiple de la période temporelle de l'onde. Il vient

$$\Delta t(\text{aller-retour}) = \frac{2L}{c} = nT = n \times \frac{1}{f} \Rightarrow f_n = n \frac{c}{2L}. \quad (4)$$

10. À partir de l'impact du marteau, on voit deux ondes se propager :

- l'une vers la gauche, vers le point d'attache de la corde;
- l'autre vers la droite, vers le chevalet qu'elle atteint au bout de $26 \times 62,5 = 1,625$ ms.

La durée de l'impact du marteau est assez longue, de l'ordre de $6 \times 62,5 = 375 \mu\text{s}$.

Quand l'onde qui se propage vers la droite atteint le chevalet, elle subit une réflexion avec changement de signe. La superposition de l'onde incidente et de l'onde réfléchie donne naissance à des ondes stationnaires.

Le même phénomène se produit pour l'onde qui se propage vers la gauche, où elle est « piégée » tant que le marteau n'est pas relevé.

La durée d'un aller-retour complet est de l'ordre de $60 \times 62,5 = 3,75$ ms. La fréquence fondamentale associée est alors $f \approx 267$ Hz, ce qui est compatible avec les données de l'énoncé.

En revanche, en l'absence d'informations sur la longueur de la corde, nous ne pouvons pas en déduire la célérité des ondes transversales.

C – Corde de Melde

11. Pour éviter un biais lié aux nœuds où sont attachés la masselotte et le vibreur, on enlève la corde du dispositif pour la mettre à plat sur une table. L'incertitude sur la longueur totale de la corde est liée à son mode de fabrication. Les fibres qui la constitue peuvent en partie glisser les unes sur les autres. En pratique, sans être réellement élastique, elle n'est pas inextensible. La difficulté vient alors du fait qu'on mesure la masse et la longueur de la corde seule, non tendue.
12. Le poids de la corde s'écrit $P = mg$ et la tension de celle-ci vaut $T_0 = Mg$. Or, $M \gg m$, donc le poids de la corde est effectivement négligeable devant la tension de la corde.
13. L'équation de propagation est linéaire et l'excitation est périodique, donc décomposable en série de Fourier. En supposant que le fondamental est prépondérant dans la description de l'excitation, la réponse en régime permanent de la corde est alors sinusoïdale pure. Pour affiner ce calcul, on pourra appliquer le principe de superposition. Enfin, à cause des conditions aux limites imposées par le vibreur et l'extrémité fixe en $x = L$, nous observons des ondes stationnaires.

En injectant la forme proposée dans l'équation de propagation, il vient :

$$\omega^2 w(x) + c^2 \frac{d^2 w}{dx^2} = 0 \implies w(x) = K_1 \cos\left(\frac{\omega}{c} x\right) + K_2 \sin\left(\frac{\omega}{c} x\right) \quad (5)$$

Les conditions aux limites s'écrivent

$$\begin{cases} y_0 &= K_1 \\ 0 &= K_1 \cos\left(\frac{\omega L}{c}\right) + K_2 \sin\left(\frac{\omega L}{c}\right) \end{cases} \quad (6)$$

Après quelques manipulations, nous trouvons la solution

$$w(x) = \frac{y_0}{\sin\left(\frac{\omega L}{c}\right)} \sin\left(\frac{\omega(L-x)}{c}\right). \quad (7)$$

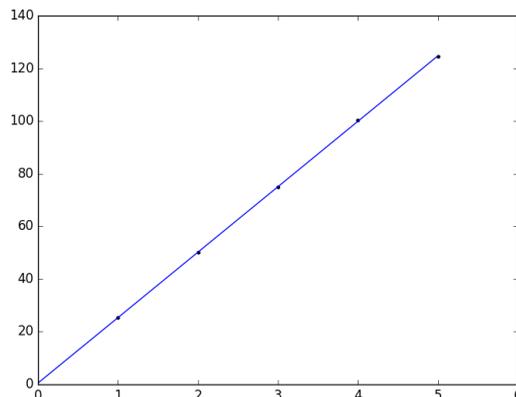
Il y a résonance quand l'amplitude devient maximale pour une certaine pulsation. Ici, l'amplitude peut devenir infinie dès que $\sin\left(\frac{\omega L}{c}\right) = 0$. Par conséquent, on a

$$\frac{2\pi fL}{c} = n\pi \implies f_n = n \frac{c}{2L}. \quad (8)$$

On retrouve effectivement les mêmes fréquences que celles des modes propres.

Comment interpréter ce résultat? En faisant une analogie avec l'oscillateur harmonique amorti, la situation ici est celle de l'étude de la résonance d'amplitude. La fréquence de résonance devient extrêmement proche de la fréquence propre du système si le facteur de qualité de l'oscillateur est assez grand. C'est apparemment le cas pour la corde de Melde, ce qui signifie que les phénomènes dissipatifs sont assez peu importants.

14. La figure suivante montre la fréquence de résonance observée en fonction du nombre de fuseaux, c'est-à-dire en fonction du numéro du mode propre associé.



On peut également comparer les valeurs attendues pour les fréquences des premiers modes propres et les comparer aux valeurs des fréquences de résonance observées. Dans le tableau suivant sont regroupées ces valeurs attendues, ainsi que les incertitudes associées.

n° mode	1	2	3	4	5
mode propre n, f_n (Hz)	25,0	50,0	74,9	99,9	124,9
fréquences de résonance	$25,3 \pm 0,3$	$50,2 \pm 0,2$	$74,9 \pm 0,3$	$100,3 \pm 0,4$	$124,5 \pm 0,5$

Pour tous les points, la fréquence du mode propre est dans l'intervalle d'incertitude expérimentale.

En ce qui concerne le calcul d'incertitude sur la valeur de la fréquence fondamentale, notée f_1 , l'incertitude relative type s'écrit

$$\frac{\Delta f_1}{f_1} = \sqrt{\frac{1}{4} \left[\left(\frac{\Delta M}{M} \right)^2 + \left(\frac{\Delta g}{g} \right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m} \right)^2 + \left(\frac{\Delta L_0}{L_0} \right)^2 \right] + \left(\frac{\Delta L}{L} \right)^2}$$

car $f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{MgL_0}{m}}$.

Plutôt que calculer tous les termes, comparons les ordres de grandeurs des différentes fractions. Nous avons

$$\begin{array}{ccccc} \frac{\Delta M}{M} & \frac{\Delta g}{g} & \frac{\Delta m}{m} & \frac{\Delta L_0}{L_0} & \frac{\Delta L}{L} \\ 5 \times 10^{-3} & 10^{-3} & 2,4 \times 10^{-2} & 6,5 \times 10^{-3} & 6,5 \times 10^{-3} \end{array} \quad (9)$$

On constate que l'incertitude relative sur la masse de la corde est d'un ordre de grandeur au-dessus des autres. Par conséquent, elle est prépondérante (cet aspect est renforcé par l'élévation au carré). Il vient $\frac{\Delta f_1}{f_1} \approx 1,2 \times 10^{-2}$, soit une incertitude sur la fréquence du fondamental $\Delta f_1 \approx 0,3 \text{ Hz}$.

Pour réduire les sources d'incertitude, il faut changer de corde de façon à mieux connaître sa masse.

Remarque : Il est à noter que la longueur totale réelle de la corde entre l'excitateur et la poulie est forcément plus grande, lors d'une résonance, que la longueur au repos indiquée dans les données.

15. Une première réponse consiste à exploiter l'expression de l'onde stationnaire trouvée plus haut. En dehors d'une fréquence de résonance, l'ordre de grandeur de l'amplitude des oscillations vaut y_0 qui est faible. Une deuxième explication consiste à dire que l'excitateur n'est pas adapté au résonateur et que l'excitateur n'arrive pas à injecter beaucoup d'énergie dans le résonateur.
16. Ce sont essentiellement les frottements qui limitent l'amplitude des résonances.

D – Approche d'une notion : l'analyse spectrale d'un son

17. (QP) Le spectre en fréquence d'un son est la représentation de l'amplitude des composantes sinusoïdales de ce son en fonction de la fréquence.

Remarque : il est à noter que cette représentation ne donne qu'une information incomplète. En effet, il manque les déphasages de chaque composante spectrale.

18. (QP) Similitude : dans les deux cas, l'analyse spectrale permet une prise d'informations (hauteur et timbre d'un son – structure et composition d'une espèce chimique).

Différences :

- L'analyse spectrale en chimie nécessite de soumettre l'espèce chimique étudiée à des ondes électromagnétiques de fréquences différentes.
- L'analyse spectrale d'un son est réalisée sur le son de façon intrinsèque.
- La nature des ondes mises en jeu dans les deux cas est différente.

E – Prise en compte de l'élasticité

19. Pour une corde homogène, en acier, de diamètre égal à 1,0 mm, la fréquence fondamentale est reliée à sa longueur par

$$f_0 = \frac{c}{2L} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{4T_0}{\pi d^2 \rho_{\text{acier}}}} \implies L = \frac{1}{f_0} \sqrt{\frac{T_0}{\pi d^2 \rho_{\text{acier}}}}. \quad (10)$$

AN : $L \approx 7,9 \text{ m}$.

Cette longueur est prohibitive.

20. L'intérêt d'avoir une corde filée est d'augmenter fortement la masse linéique. Par conséquent, pour une valeur de tension fixée, la fréquence fondamentale sera plus faible avec une corde filée qu'avec une corde homogène en acier.

Pour une simple couche de cuivre enroulée sur l'âme en acier, la masse linéique vaut

$$\mu = \pi \frac{d^2}{4} \rho_{\text{acier}} + \pi \left[\left(\frac{d}{2} + e \right)^2 - \frac{d^2}{2} \right] \rho_{\text{Cu}} = 62,7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1}. \quad (11)$$

La longueur de la corde émettant le son plus grave vaut alors $L = 2,47 \text{ m}$. C'est suffisant.

Si on envisage une deuxième couche de cuivre, la longueur calculée vaut $L = 1,45 \text{ m}$.

21. On trouve la relation de dispersion

$$\omega^2 = k^2 c^2 + Ak^4. \quad (12)$$

Les conditions aux limites imposent

$$\begin{cases} y(0, t) = 0 = y_0 \cos(\phi) \cos(\omega t) \\ y(L, t) = 0 = y_0 \cos(kL + \phi) \cos(\omega t) \end{cases} \quad \forall t. \quad (13)$$

Par conséquent, on peut prendre $\phi = \pi/2$ et la condition en $x = L$ impose $kL = n\pi$, comme pour une corde sans élasticité.

Finalement, les fréquences des modes propres sont donc de la forme :

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{k_n c}{2\pi} \sqrt{1 + \frac{k_n^2 A}{c^2}} = n \frac{c}{2L} \sqrt{1 + n^2 \frac{\pi^2 A}{(cL)^2}}. \quad (14)$$

On identifie alors $B = \frac{\pi^2 A}{(cL)^2}$.

L'anharmonicité vient de la racine : on ne peut plus écrire que $f_n = n f_0$.

22. Au rang $n = 10$, on a $\sqrt{1 + Bn^2} \approx 1,04$. Par conséquent,

$$B = \frac{1,04^2 - 1}{10^2} \approx 8 \times 10^{-4}. \quad (15)$$

Pour un écart de un demi ton entre la fréquence f_n et $f_n^0 = n f_0$, on a

$$f_n > 2^{1/12} \times n f_0 \implies \frac{f_n}{n f_0} > 2^{1/12} \approx 1,06 \quad (16)$$

Pour conclure, l'écart devient supérieur à un demi ton à partir du rang 12.

Dans le registre aigu, le phénomène est moins gênant, car l'oreille devient moins sensible.

F – Rôle de la table d'harmonie

23. Longueur d'onde des ondes acoustiques, en négligeant l'influence de la température : $\lambda = \frac{c_{\text{air}}}{f} = 1,06 \text{ m}$.

La largeur est de l'ordre de $\lambda/10$, la hauteur est de l'ordre de $\lambda/20$ et la profondeur vaut $0,225 \times \lambda$. Ceci est important : la profondeur est inférieure à $\lambda/4$, valeur à laquelle on pourrait s'attendre pour un résonateur fermé d'un côté et ouvert à l'autre. En effet, il ne s'agit pas de piéger l'onde acoustique dans le résonateur, mais de faire en sorte qu'il rayonne dans l'air ambiant.

D'autre part, les autres dimensions, petites devant λ permettent de dire que tout se passe comme si la source était ponctuelle.

24. Sur la première figure, on mesure $6T = 18,5 \text{ ms}$ ce qui donne une fréquence $f = 324 \text{ Hz}$.

Sur le second enregistrement, on trouve $4T = 0,299 \text{ s}$, soit $f = 13,4 \text{ Hz}$.

Par conséquent, le second enregistrement est incorrect. Il est victime d'un effet de repliement de spectre car la fréquence d'échantillonnage est insuffisante. Le critère de Shannon (ou Nyquist-Shannon) qui garantit de réaliser une bonne acquisition numérique s'écrit $f_e > 2f_{\text{max}}$, où f_{max} est la fréquence maximale dans le spectre du signal qu'on échantillonne.

Dans le second enregistrement, on observe soit la fréquence $f_e - f$, soit la fréquence $f - f_e$. Dans le premier cas, la fréquence d'échantillonnage vaut $f_e \approx 337 \text{ Hz}$, dans le second cas, $f_e \approx 310 \text{ Hz}$.

25. Le temps d'amortissement est long devant la période du signal, donc le facteur de qualité est grand. En adoptant le modèle de l'oscillateur harmonique amorti, l'enveloppe varie comme $\exp(-t/\tau)$ avec $\tau = \frac{2Q}{\omega_0}$.
 À $t_1 = 10$ s, on repère une amplitude normalisée égale à 0,14. Il vient

$$\exp\left(-\frac{t_1}{\tau}\right) = 0,14 \implies Q = \frac{-\pi f_0 t_1}{\ln(0,14)} \approx 5,2 \times 10^3. \quad (17)$$

G – Son et niveau sonore

26. (QP) Exemples de problèmes :

- *Quel est le type de bouchons d'oreilles le plus adapté à un batteur de concert de rock : un bouchon en silicone, un bouchon en mousse, un autre type de bouchon ?*
- *Dans quelles conditions un batteur peut-il jouer sans risque pour son audition lors d'un concert de rock ?*

Des questions préliminaires peuvent être proposées par le candidat à condition qu'elles permettent l'appropriation des documents ou de la problématique et qu'elles ne dénaturent pas la démarche de résolution.

La formule donnant le niveau sonore $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ n'est pas à donner dans l'énoncé de l'exercice, car il s'agit d'une connaissance exigible. En revanche, il faut fournir à l'élève la valeur de $I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

27. (QP) Question choisie : *Quel est le type de bouchons d'oreilles le plus adapté à un batteur de concert de rock : un bouchon en silicone, un bouchon en mousse, un autre type de bouchon ?*

Choix du type de bouchon :

- Exploitation des courbes d'atténuation :
 - le bouchon en silicone atténue tous les sons de la même manière sur l'ensemble du spectre audible, alors que le bouchon moulé atténue fortement les sons de haute fréquence.
 - le bouchon en silicone atténue le niveau sonore de moins de 25 dB ; le musicien entendra suffisamment le son, alors que l'atténuation est plus importante avec le bouchon en mousse.
- Exploitation des spectres en fréquence : le bouchon en silicone restitue la qualité du son (timbre quasi similaire à celui du son émis) alors que le bouchon moulé supprime des harmoniques.

Conclusion de cette première partie d'analyse : le bouchon en silicone semble le plus adapté.

L'atténuation du son est-elle suffisante pour ne pas endommager les facultés auditives du batteur durant un concert de rock ?

- Calcul de L : $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 1,0 \times 10^2 \text{ dB}$.
- Avec un bouchon en silicone, le niveau sonore est compris entre 75 et 80 dB (inférieur à 85 dB). La durée maximale d'exposition dépasse les 8 heures. On peut supposer qu'un concert de rock ne dépasse pas cette durée.

Conclusion finale : le choix de bouchons de silicone est adapté. Avec ces bouchons, les facultés auditives du batteur de rock ne sont pas altérées et le son perçu reste de qualité.

H – Accorder nos violons

28. On observe des battements dus à la superposition de deux vibrations de fréquences voisines. Ces battements produisent une modulation du niveau sonore.
29. La durée qui sépare deux maxima consécutifs est reliée à l'écart de fréquence par la relation $|\Delta t| = 1/|\Delta f|$. Par lecture sur l'enregistrement, on a $\Delta t = (0,15 - 0,01)/2 = 70 \text{ ms}$. Par conséquent, l'écart en fréquence entre les deux diapasons vaut $\Delta f \approx 14 \text{ Hz}$.
30. Plus la masselotte est proche d'une extrémité libre, plus elle modifie la fréquence propre de vibration du diapason et plus la période des battements est brève. C'est la figure 11.b qui montre ce cas.

II. Étude d'un câble coaxial

A – Propagation guidée au lycée

31. (QP)

Relevé des erreurs, qu'il faut corriger sur la copie :

- 2.1 : confusions i_1 et i_2 ; différencier le calcul du sinus et celui de l'angle;
- 2.5 : oubli des unités pour A_L et A ;
- 2.6 : erreur dans le signe de la puissance de 10;
- 2.7 : calcul à détailler. En effet, on ne sait pas si l'élève a pris le résultat précédent ou s'il a calculé P_s/P_e ;
- 2.8 : argumentation à compléter. Pour la fibre en Plexiglas,
 - évoquer aussi le rayon de courbure minimal qui permet de plier la fibre, ce qui est utile dans un réseau domestique;
 - cette fibre présente une forte atténuation, mais les distances sont faibles dans un réseau domestique.
- Schéma incorrect. Compléter le trajet du rayon proposé. Ne pas oublier la réfraction quand le rayon ressort de la fibre.

Conseils possibles à donner : Attention : un conseil n'est pas la solution à la question.

- 2.1 précisez n_1, n_2 . Représentez i_1, i_2 sur un schéma. Ne pas confondre $\sin(\alpha)$ et α ;
- 2.2 demandez-vous si la lumière change de milieu ou non;
- 2.6 soyez attentif au passage de $\log(x)$ à x ;
- 2.7 tenez compte des données de l'énoncé; pour cela, lisez bien l'énoncé;
- 2.8 tenez compte de toutes les informations données par le document 8;

schéma compléter le trajet du rayon proposé.

Évaluer globalement les conseils donnés (attention, un conseil n'est pas la solution à la question!)

- pas de conseils;
- conseils limités aux commentaires des réponses;
- conseils permettant à l'élève de progresser, mais en nombre restreint (entre un et trois);
- conseils en quantité suffisante (quatre ou plus) et permettant à l'élève de progresser.

32. (QP) Exemples de questions possibles :

- *S'agit-il de propagation libre ou guidée? pourquoi?*

Capacité mobilisée : distinguer propagation libre et propagation guidée.

Réponse attendue : propagation guidée, car l'onde est confinée dans un domaine limité de l'espace, de par la constitution matérielle du milieu support de la propagation. La conséquence de ce confinement est que la direction de propagation est imposée.

- *Représenter la chaîne de transmission de l'information par fibre optique.*

Capacité mobilisée : représenter le schéma de principe d'un système de transmission par onde.

Réponse attendue : la représentation de la chaîne : émetteur (les signaux sont modulés), fibre avec éventuellement des répéteurs pour compenser l'atténuation, récepteur et démodulation.

B – Étude rapide

- 33. En propagation libre, l'énergie se répartit de façon isotrope, car il n'y a pas de direction privilégiée. Beaucoup d'énergie est ainsi perdue, car il n'y a personne pour la recevoir. En propagation guidée, l'énergie est concentrée dans le canal de transmission.
- 34. Le conducteur extérieur permet d'isoler le câble coaxial d'un éventuel champ électromagnétique externe. En revanche, dans une paire torsadée ou une ligne bifilaire, cet effet d'écran n'est pas aussi efficace.
- 35. L'effet Joule qui se produit dans les conducteurs intérieur et extérieur est source de dissipation d'énergie électromagnétique.

C – Approche statique et modèle électrique

36. La structure du champ électrostatique est la même que si le câble était infini, hormis au voisinage immédiat des extrémités. Les distributions de charge sur chaque conducteur étant supposées uniformes, les plans (M, Oz) et $(M, \vec{u}_r, \vec{u}_\theta)$ sont plans de symétrie de la distribution des charges. Par conséquent, le champ est radial.

D'autre part, la distribution est invariante par translation le long de Oz et par rotation autour de Oz . Finalement, le champ électrostatique est de la forme $\vec{E}(M) = E(r) \vec{u}_r$.

Pour appliquer le théorème de Gauss, choisissons une surface fermée. Nous prenons un cylindre de rayon r et de hauteur h arbitraire, fermé par deux disques circulaires de rayons r et perpendiculaires à l'axe Oz . Ce choix est guidé par les propriétés de symétrie de \vec{E} .

Le flux sortant de \vec{E} se décompose en trois termes dont deux sont nuls (les flux à travers les disques de normales \vec{e}_z et $-\vec{e}_z$). Par conséquent :

$$\phi = \oiint \vec{E}(M) \cdot \vec{u}_r \delta S = \iint_{r=\text{cte}} E(r) \delta S = E(r) \times 2\pi r h. \quad (18)$$

D'autre part, la charge intérieure à la surface de Gauss dépend de la valeur de r :

$$\begin{cases} Q_{\text{int}}(r < d/2) & = 0 \\ Q_{\text{int}}(d/2 < r < D/2) & = Q \\ Q_{\text{int}}(r > D/2) & = 0 \end{cases} \quad (19)$$

Finalement, le champ électrostatique est nul au sein du conducteur central et à l'extérieur du câble. Dans l'espace entre les armatures, son expression est

$$\vec{E}(M) = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r r h} \vec{u}_r. \quad (20)$$

37. La circulation du champ électrique entre les deux armatures donne la différence de potentiel cherchée :

$$V(d/2) - V(D/2) = \int_{d/2}^{D/2} E(r) \vec{u}_r \cdot \vec{u}_r dr = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r h} \ln\left(\frac{D}{d}\right). \quad (21)$$

On en déduit la capacité par unité de longueur de ce condensateur cylindrique :

$$\Gamma = \frac{Q}{h(V(d/2) - V(D/2))} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln(D/d)}. \quad (22)$$

AN : $\Gamma \approx 105 \text{ pF} \cdot \text{m}^{-1}$ et on a $2\pi\epsilon_0 \approx 55,6 \text{ pF} \cdot \text{m}^{-1}$. On retrouve l'expression fournie dans la documentation de l'annexe 4.

Il est à noter que pour un câble de 1 m de longueur, l'ordre de grandeur de la capacité totale est 0,1 nF alors que les valeurs usuelles des capacités des condensateurs sont plutôt de l'ordre de 0,1 μF .

38. AN : On trouve $\Lambda = 2,3 \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$. Pour un mètre de câble coaxial, l'inductance propre totale vaut 0,23 μH , ce qui est bien plus faible que l'inductance propre des bobines usuelles (quelques dizaines de mH jusqu'à 1 H).

39. (QP) La première carte montre des lignes de même intensité pour la composante horizontale du champ magnétique. Outre le fait qu'il s'agit d'une projection plane, ces lignes ne donnent aucune indication de la direction du champ magnétique.

La deuxième représentation donne l'allure des lignes de champ, dans une vue tridimensionnelle.

Obstacles : Une première réponse, insuffisante : confusion entre champ scalaire et champ vectoriel.

- 1^{re} représentation : la compréhension que, dans un champ scalaire, plus les courbes de niveaux sont proches, plus la variation de la grandeur mesurée est importante.

En termes d'analyse vectorielle, c'est la norme du gradient qui devient grande.

• 2^e représentation :

- il est difficile de décrire un champ vectoriel par une représentation plane, car il y a trop d'informations à traiter.
- Il n'est pas immédiat de comprendre que la norme du champ n'est pas uniforme le long d'une ligne de champ.
- Une autre difficulté est que, dans un champ vectoriel, plus les lignes de champ sont proches, plus la norme du vecteur associé à la grandeur mesurée est importante.
En termes d'analyse vectorielle, c'est la traduction topographique de la conservation du flux.
- les lignes de champ de la figure 15 ne sont pas orientées.

Remédiations :

- 1^{re} représentation : faire travailler sur une carte topographique : détermination d'une altitude, d'une zone pentue, de l'altitude séparant deux points, faire le profil d'une randonnée ... ou encore, utiliser des cartes météorologiques de température et de pression.
- 2^e représentation :
 - rajouter un code de couleur sur une carte de champ pour donner une indication de son intensité;
 - s'appuyer sur des cartes météorologiques donnant la direction et l'intensité des vents;
 - utiliser un modèle 3D que l'on puisse faire tourner;
 - représenter des vecteurs associés aux lignes de champ et réciproquement.

D – Équation de propagation

40. On prend un élément de longueur dz tel que $dz \ll \lambda$ pour pouvoir se placer dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires à cette échelle et appliquer les lois usuelles de l'électrocinétique.

41. La loi des nœuds et la loi des mailles donnent

$$\begin{cases} i(z, t) = i(z + dz, t) + \Gamma dz \frac{\partial u}{\partial t} \\ u(z, t) = \Lambda dz \frac{\partial i}{\partial t} + u(z + dz, t) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -\frac{\partial i}{\partial z} = \Gamma \frac{\partial u}{\partial t} \\ -\frac{\partial u}{\partial z} = \Lambda \frac{\partial i}{\partial t} \end{cases} \quad (23)$$

42. En dérivant la première équation par rapport au temps, puis en permutant l'ordre des dérivations dans la dérivée seconde croisée, il vient

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \Lambda \Gamma \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0. \quad (24)$$

On obtient la même équation de propagation pour $i(z, t)$ par une méthode analogue.

On reconnaît une équation de d'Alembert. La célérité des ondes vaut alors

$$c = \frac{1}{\sqrt{\Lambda \Gamma}} \Rightarrow c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0}} = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r}}. \quad (25)$$

43. Pour une onde plane progressive selon les z croissants, on peut écrire la tension sous la forme $u(z, t) = f(z - ct)$. En injectant cette forme dans la deuxième équation de couplage, il vient

$$-f'(z - ct) = \Lambda \frac{\partial i}{\partial t} \Rightarrow i(z, t) = \frac{1}{\Lambda c} f(z - ct) \Rightarrow u(z, t) = \sqrt{\frac{\Lambda}{\Gamma}} i(z, t). \quad (26)$$

Par identification, l'impédance caractéristique du câble s'écrit $Z_c = \sqrt{\frac{\Lambda}{\Gamma}}$.

E – Atténuation

44. La relation de dispersion devient $\underline{k}^2 = \frac{\omega^2}{c^2} - jr\Gamma\omega$.

45. Un peu de manipulation :

$$\underline{k}^2 = \frac{\omega^2}{c^2} \left(1 - j \frac{r\Gamma c^2}{\omega}\right) \implies \underline{k} = \frac{\omega}{c} \left[1 - j \frac{r}{2\Lambda\omega} - \frac{1}{8} \left(\frac{r}{\Lambda\omega}\right)^2\right], \quad (27)$$

où on a utilisé la relation approchée $(1-x)^{1/2} \approx 1 - \frac{x}{2} + \frac{x^2}{8}$ pour $|x| \ll 1$.

46. L'onde de tension s'écrit alors

$$u(z, t) = U_0 \exp\left(-\frac{r}{2\Lambda c} z\right) \cos\left[\omega t - \left(\frac{\omega}{c} - \frac{r^2}{8\Lambda^2 c\omega}\right) z\right]. \quad (28)$$

Le terme en exponentielle montre l'atténuation de l'onde au fur et à mesure de la propagation, sur une longueur caractéristique égale à $\frac{2\Lambda c}{r}$. Plus la résistance linéique est faible, moins il y a d'atténuation et plus cette longueur caractéristique est grande.

La vitesse de phase s'écrit, après calculs

$$v_\varphi = \frac{\omega}{k_1} = \frac{c}{1 - \frac{1}{8} \left(\frac{r}{\Lambda\omega}\right)^2} \implies v_\varphi \approx c \left(1 + \frac{1}{8} \left(\frac{r}{\Lambda\omega}\right)^2\right). \quad (29)$$

Comme la vitesse de phase dépend de la pulsation ω , le milieu est dispersif.

Pour les télécommunications, l'atténuation pose un problème évident de niveau de signal au bout d'une distance importante de propagation. Pour échanger des informations de part et d'autre d'un océan, il faut en tenir compte.

La dispersion, quant à elle, impose des limites au débit de données qui peut transiter sur le câble. En effet, un paquet d'onde (par exemple, une impulsion) se déforme lors de la propagation et deux paquets d'onde successifs peuvent se mélanger s'ils ont été émis de façon trop rapprochée dans le temps.

47. Dans le cadre de l'ARQS (Approximation des Régimes Quasi-Stationnaires), les équations de Maxwell dans le conducteur ohmique deviennent

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \vec{E} &= 0 & \operatorname{div} \vec{B} &= \vec{0} \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & \operatorname{rot} \vec{B} &= \mu_0 \vec{J} = \mu_0 \gamma \vec{E} \end{aligned} \quad (30)$$

Calculons $\operatorname{rot}(\operatorname{rot} \vec{E})$ de deux façons différentes :

$$\begin{cases} \operatorname{rot}(\operatorname{rot} \vec{E}) = \operatorname{grad}(\operatorname{div} \vec{E}) - \Delta \vec{E} \\ \operatorname{rot}(\operatorname{rot} \vec{E}) = \operatorname{rot}\left(-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right) \end{cases} \implies \begin{cases} \operatorname{rot}(\operatorname{rot} \vec{E}) = -\Delta \vec{E} \\ \operatorname{rot}(\operatorname{rot} \vec{E}) = -\frac{\partial(\operatorname{rot} \vec{B})}{\partial t} \end{cases} \quad (31)$$

D'où l'équation suivante, qui est une équation de diffusion.

$$\Delta \vec{E} = \mu_0 \gamma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}. \quad (32)$$

48. En raisonnant en ordre de grandeur et en notant E_0 l'amplitude du champ électrique, il vient

$$\frac{E_0}{\delta^2} = \mu_0 \gamma \frac{E_0}{T} \sim E_0 \mu_0 \gamma \omega. \quad (33)$$

Par conséquent, la distance caractéristique δ ou épaisseur de peau s'écrit $\delta = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \gamma \omega}}$.

49. La résistance électrique d'un tronçon de cylindre de révolution, de section Σ , de longueur dz et de conductivité γ s'écrit $dR = \frac{dz}{\gamma \Sigma}$.

50. On considère que le courant ne circule que dans une pellicule d'épaisseur δ à la périphérie des conducteurs cylindriques. Ainsi, pour le conducteur central, la résistance d'un tronçon de longueur L_z s'écrit

$$R_{\text{central}} = \frac{L_z}{\gamma \pi d \delta}.$$

Pour le conducteur extérieur, l'expression est analogue : on remplace d par D .

Après manipulation, et en tenant compte des deux conducteurs, il vient

$$R = L_z \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \sqrt{\frac{\mu_0 f}{\pi \gamma}}. \quad (34)$$

Ce résultat est cohérent avec l'annexe 4 dans la mesure où la résistance électrique par unité de longueur est proportionnelle à \sqrt{f} et à $\frac{1}{d} + \frac{1}{D}$.

L'application numérique fournit un préfacteur numérique égal à 11,5 uSI. Par comparaison avec le préfacteur indiqué dans l'annexe 4, il y a un rapport $\sqrt{2}$ qui peut être lié au fait que l'expression usuelle de l'épaisseur de peau, dans un milieu semi-infini est $\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \gamma \omega}}$.

51. D'après l'expression de l'onde de tension, on a

$$\frac{|U(z=0)|}{|U(z=L_z)|} = \exp\left(\frac{r}{2\Lambda c} L_z\right). \quad (35)$$

Par conséquent, l'atténuation linéique s'écrit

$$A = 20 \frac{r}{2 \ln(10) \Lambda c} \frac{L_z}{L_z} = \frac{10}{\ln(10)} \frac{r}{\Lambda c} \implies A = \frac{10}{\ln(10)} \frac{r}{Z_c}. \quad (36)$$

L'atténuation linéique est effectivement proportionnelle à r/Z_c .

Remarque : dans l'annexe 4, il existe une deuxième contribution liée aux propriétés du diélectrique en fonction de la fréquence.

F – Étude expérimentale

52. On peut exploiter cette série de données de deux façons. Soit on représente f_n en fonction du numéro du mode et la pente vaut $\frac{c}{2L}$, soit on calcule c pour chaque fréquence propre par la formule $c = \frac{2L f_n}{n}$. Le tableau suivant montre le résultat.

f (en MHz)	1,9	3,8	5,7	7,6	9,4	11,2	13,2	14,9	16,8	18,5	20,4
c (en $10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)	1,91	1,91	1,91	1,91	1,89	1,88	1,89	1,87	1,88	1,86	1,86

La valeur moyenne des célérités ainsi calculées vaut $\bar{c} = 1,89 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. La valeur prédite par le modèle étudié plus haut est $c = c_0 / \sqrt{\epsilon_r} \approx 2,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. On note une tendance, à savoir que la célérité (ici une vitesse de phase, vu qu'on s'est placé en régime sinusoïdal forcé) déduite des fréquences des modes propres semble diminuer avec la fréquence.

53. Le pic correspondant à l'impulsion réfléchie est de même signe que le pic de l'impulsion incidente. C'est cohérent puisque $r = 1$ quand le câble est en circuit ouvert. On obtiendrait un changement de signe si le câble était en court-circuit. Le pic réfléchi n'a pas la même amplitude que le pic incident, ce qui met en évidence l'atténuation dans ce câble.

L'atténuation en dB peut être calculée à partir de la hauteur des deux pics, pour une longueur totale parcourue égale à $2 \times 50,24 \text{ m}$:

$$A(100,48 \text{ m}) = 20 \log\left(\frac{18,3}{15}\right) = 1,73 \text{ dB}. \quad (37)$$

Par conséquent, l'atténuation pour 100 m de câble vaut :

$$A = A(100,48 \text{ m}) \times \frac{100}{100,48} = 1,72 \text{ dB}. \quad (38)$$

On détermine graphiquement la durée d'aller-retour de l'onde de tension en mesurant l'écart temporel entre les pics : $\Delta t \approx 0,525 \mu\text{s}$. D'où une célérité $c = 1,9 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Notons ici que nous estimons la vitesse de groupe alors que les expériences en régime sinusoïdal forcé permettent d'accéder à la vitesse de phase. À basse fréquence, le câble semble peu dispersif ou bien la précision expérimentale ne permet pas de la mettre en évidence.

La permittivité diélectrique relative vaut $\epsilon_r = \left(\frac{c_0}{c}\right)^2 \approx 2,5$. Cette valeur est sensiblement plus grande que celle donnée dans l'énoncé à la question Q37.

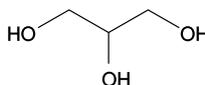
Les huiles végétales : de leur extraction à leur intérêt nutritionnel

1 Obtention des huiles végétales

1.1 Généralités sur les huiles végétales

Q1. Les triglycérides comportent la fonction ester.

Q2. La formule topologique du polyol dont dérivent les triglycérides est représentée ci-dessous. Son nom en nomenclature systématique est le propane-1,2,3-triol. On l'appelle plus couramment glycérol ou glycérine.



Q3. Les espèces chimiques dont la structure est fournie dans la figure 5 sont appelées “acide gras” car ce sont des acides carboxyliques possédant une longue chaîne carbonée qui leur confère un caractère hydrophobe.

QP4. Éléments de correction en trois items :

ITEM 1 : un scénario possible qui met les élèves en confiance et en réussite consiste à leur donner des consignes claires et stables pour qu'ils puissent construire une stratégie de résolution. Par exemple, structurer le temps de la séance en plusieurs phases :

- phase 1 : la consigne suivante est donnée en début de séance : “Vous disposez de 10 minutes pour :
 - construire un raisonnement permettant d'exploiter tout spectre de RMN (à l'aide d'une carte mentale par exemple) ;
 - formuler une problématique à partir des documents fournis à laquelle il faudra répondre par la suite.”

Le professeur a précédemment indiqué qu'il passera dans les rangs pour valider la problématique, ou aider à la formuler, pour permettre ainsi à chacun d'avancer à son rythme.

- phase 2 : le professeur rassemble quelques problématiques (“attribuer à chaque spectre un composé dont on donnera la formule semi-développée” ; “donner les formules semi-développées des deux esters de formule brute $C_3H_6O_2$, et attribuer un spectre à chacun” ; “attribuer un des deux spectres au méthanoate d'éthyle”, ...) et donne 10 minutes pour répondre à l'une d'elles (déjà validée en phase 1 ou choisie par l'élève parmi celles proposées).
- phase 3 : le professeur organise alors une correction croisée des productions ; chaque élève dispose alors d'une production d'un camarade. Il doit valider ou pas les propositions faites par ce dernier.
- phase 4 : élaboration d'une correction et institutionnalisation commune.

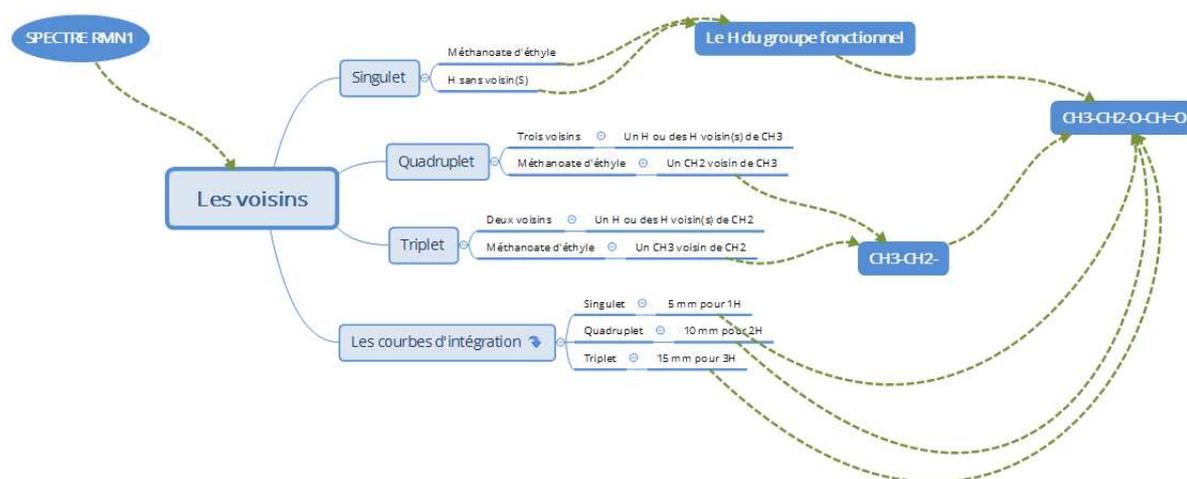
ITEM 2 : des compléments aux documents fournis aux élèves en termes de différenciation.

Au cours de la phase 1, le professeur peut fournir des aides/rappels aux élèves qui peinent à organiser l'analyse des spectres de RMN (multiplicité, intégration, mise en relation par les couplages, éventuellement utilisation d'une table de déplacements chimiques).

Pour les élèves les plus avancés, le professeur peut :

- imposer la réalisation d'une carte mentale ou d'un logigramme comme outil d'analyse, puis/et/ou distribuer à ces élèves un (ou des) spectres IR d'un (ou des) composés étudiés (et une table de nombres d'onde). On peut soit donner une consigne – niveau confirmé – soit laisser l'élève s'emparer des documents et de les exploiter sans consigne, ce qui correspond à un niveau expert. Ainsi, la différenciation peut à la fois répondre aux difficultés de certains et à la maîtrise d'autres élèves, au service de la réussite de tous.
- proposer une synthèse simple et les spectres de RMN, IR des produits/réactifs voire une analyse élémentaire (pour faire trouver la formule brute au lieu de la donner), en lien avec les parties du programme "transformation en chimie organique", "stratégie de la synthèse organique", "sélectivité en chimie organique" par exemple, pour proposer une situation d'utilisation de l'analyse spectroscopique "en contexte".

ITEM 3 : des éléments de correction bien structurés autour du raisonnement à mettre en œuvre pour analyser un spectre de RMN (logigramme ou carte mentale) et de l'analyse effective des deux spectres avec attribution des composés correspondants.



Une carte mentale possible

Une trace écrite possible :

Le spectre de RMN1 présente trois parties différentes associées à trois groupes d'atomes d'hydrogène équivalents :

- le singulet correspond à l'atome d'hydrogène sans voisin, donc à l'atome d'hydrogène du groupe fonctionnel ;
- le quadruplet correspond aux deux atomes d'hydrogène équivalents portés par le même atome de carbone (CH_2) et avec trois voisins (CH_3) ;
- le triplet correspond aux trois atomes d'hydrogène portés par le même atome de carbone (CH_3) et avec deux voisins (CH_2).

La molécule est donc constituée d'un groupe éthyle CH_3-CH_2- et d'un atome d'hydrogène sans voisin. Les courbes d'intégration correspondent bien à cette analyse :

- à 5 mm pour le singulet, ce qui correspond à un atome d'hydrogène ;
- à 10 mm pour le quadruplet, soit le double que le singulet, donc à deux atomes d'hydrogène équivalents ;
- à 15 mm pour le triplet, donc à trois hydrogènes équivalents.

Donc le spectre de RMN1 correspond au méthanoate d'éthyle puisqu'il s'agit d'un ester. Le spectre de RMN2 est constitué de deux singulets, donc deux CH_3 . Comme il s'agit aussi d'un ester, on identifie l'éthanoate de méthyle.

1.2 Obtention d'une huile végétale : trituration et raffinage

QP5. Éléments de correction en trois items :

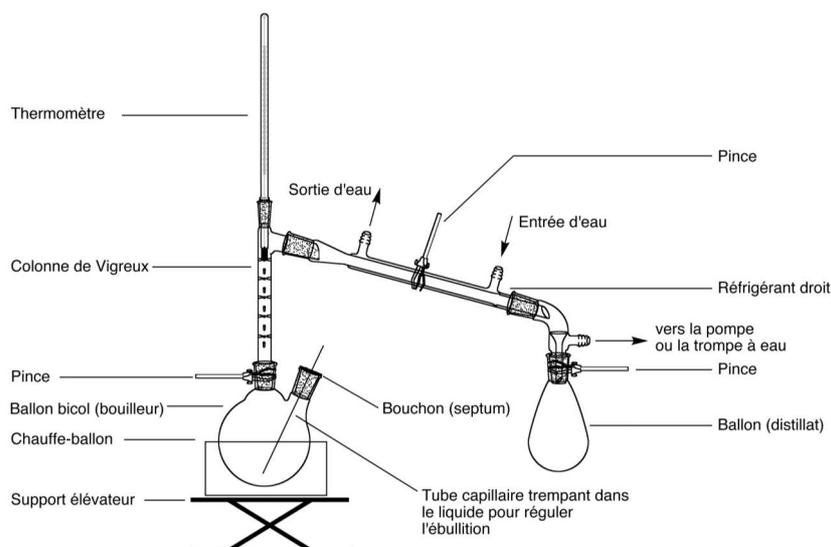
ITEM 1 : pertinence des situations d'apprentissages : des consignes, des actions élève et professeurs ainsi que la solidité de la trace écrite ;

ITEM 2 : description claire de la ressource supplémentaire et/ou des modifications proposées pour aborder des connaissances et compétences associées que les documents ne peuvent amener, comme la notion de masse volumique ;

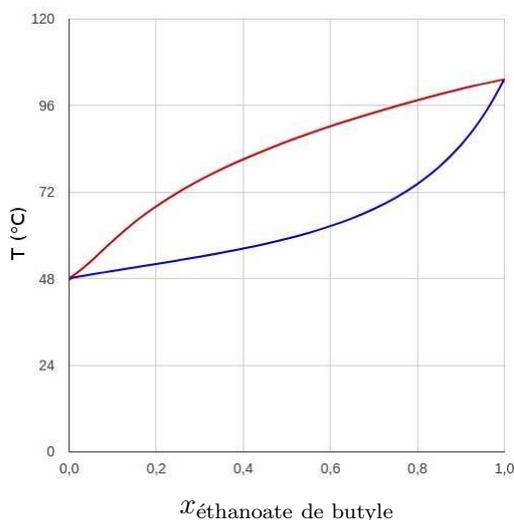
ITEM 3 : distinction sans ambiguïté des objectifs recherchés lors du cycle 3 et lors du cycle 4 en termes de modélisation en particulier.

Cycle	Situations d'apprentissages			Connaissances et compétences associées
	Consignes(s) donnée(s) et actions des élèves	Actions du professeur et utilisation des ressources	Trace écrite finale	
3	Mélange le solide et l'eau et rédige un compte rendu de ton expérience : titre, question possible, matériel utilisé, schémas de l'expérience (début et fin), observations, argumentation et conclusion.	Le professeur distribue : <ul style="list-style-type: none"> de l'eau et du sable à certains groupes d'élèves, de l'eau et du chlorure de sodium à d'autres groupes. Il fait remarquer que ce dernier mélange peut représenter les mers et les océans.	Le sable n'est pas soluble dans l'eau car après mélange nous distinguons encore le sable dans l'eau. Le chlorure de sodium est soluble dans l'eau car nous ne distinguons qu'une seule phase après mélange.	Quelques propriétés de la matière solide ou liquide : solubilité La matière qui nous entoure (à l'état solide, liquide ou gazeux), résultat d'un mélange de différents constituants
3	Quel est le constituant qui se dissout dans les océans ? Que se passe-t-il alors ?	Le professeur distribue le document 1 de la ressource "fil rouge".	Le dioxyde de carbone se dissout dans les océans. Il réagit avec d'autres constituants pour former de l'acide.	Introduire la notion de mélange de constituants pouvant conduire à une réaction (transformation chimique)
4	Repérer dans le document des constituants de matière sous les différents états	Le professeur distribue le document 1 et le document 2 de la ressource "fil rouge".	L'air et le dioxyde de carbone sont sous forme gazeuse, les océans sont sous forme liquide, la coquille des mollusques est sous forme solide.	Caractériser les différents états de la matière (solide, liquide et gaz).
4	Propose un protocole expérimental pour distinguer de l'eau "pure" de l'eau salée.	Le professeur propose : <ul style="list-style-type: none"> un document reliant la flottabilité et la teneur en sel de certaines mers comme situation déclenchante. un document de référence qui définit la masse volumique pour un corps pur. Il distribue deux échantillons d'eau pure et du chlorure de sodium ; les élèves doivent dissoudre le sel dans un des échantillons.	Pour un volume identique, l'eau salée a une masse plus élevée que l'eau "pure". On peut définir pour chaque constituant une masse volumique qui est le rapport de la masse par le volume d'un échantillon de ce constituant. Seuls les corps purs ont une masse volumique caractéristique et donc tabulée.	Exploiter des mesures de masse volumique pour différencier des espèces chimiques. <ul style="list-style-type: none"> Espèce chimique et mélange. Notion de corps pur.
4	Les élèves tentent d'associer une animation avec un état en justifiant leur proposition à partir de leurs connaissances (Vues lors du cycle 2 et réactivées en cycle 3)	Le professeur propose des animations permettant de se donner une représentation des différents états au niveau microscopique. Les changements d'état pourront être étudiés sous les angles macroscopique et microscopique.	Les entités (atomes, molécules, ions) sont : <ul style="list-style-type: none"> en contact et immobiles dans l'état solide ; en contact et mobiles dans l'état liquide ; éloignées et en mouvement dans l'état gazeux. 	
4	Détermine la variation du pH d'une eau en soufflant à travers une paille dans cette eau. Rédige un compte rendu suivant la procédure habituelle. Explique alors le phénomène décrit par le document	Le professeur distribue le document 1 et le document 2 de la ressource "fil rouge". Le pH a été défini dans une autre situation et sa mesure a été mise en œuvre.	Le dioxyde de carbone se dissout dans les océans. Il réagit avec d'autres constituants pour former de l'acide, acide qui a son tour attaque la coque des mollusques. Certains mélanges provoquent une transformation chimique des constituants mis en contact	Concevoir et réaliser des expériences pour caractériser des mélanges.

Q6. Le montage permettant de mettre en œuvre une distillation sous pression réduite au laboratoire est schématisé ci-dessous :



Q7. On donne ci-dessous le diagramme binaire isobare d'équilibre liquide-vapeur du mélange d'hexane et d'éthanoate de butyle tracé pour une pression $P = 0,5$ bar :



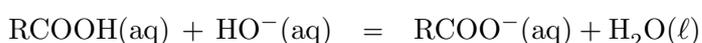
Q8. On peut identifier au moins deux avantages à réaliser la distillation du miscella sous pression réduite :

- en abaissant la température nécessaire à la réalisation de la distillation, l'industriel fait des économies en diminuant la facture énergétique de l'opération ;
- une température moins élevée permet de limiter la dégradation de certaines espèces chimiques présentes, en particulier les vitamines.

Q9. Une espèce zwitterionique est une molécule dont la structure fait apparaître des charges opposées portées par des atomes non adjacents, une phosphatidylcholine est donc bien une espèce zwitterionique.

Q10. Les phosphatidylcholines peuvent être utilisées comme émulsifiant car ce sont des tensioactifs, propriété liée au fait qu'il s'agit de molécules amphiphiles c'est-à-dire possédant une partie apolaire et une partie polaire.

Q11. Lors de l'étape de neutralisation alcaline, le sous-produit principal formé est un mélange de carboxylates de sodium, il se produit en effet la réaction d'équation :



où RCOOH représente un acide gras libre présent dans l'huile non raffinée. Les pâtes de neutralisation peuvent donc être valorisées dans l'industrie cosmétique, un savon étant un mélange de carboxylates de sodium.

QP12. Éléments de correction en trois items

ITEM 1 : concernant la correction et les commentaires du professeur

ITEM 2 : concernant la détermination de la compétence travaillée et du niveau d'expertise des réponses des élèves

ITEM 3 : concernant le traitement – au moins qualitatif – des incertitudes

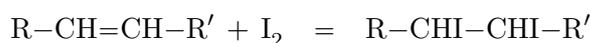
Production des élèves	Correction et commentaires du professeur	Compétence travaillée	Évaluation			
			A	B	C	D
<p>Introduction : mission à réaliser. Nous devons déterminer si une huile répond aux caractéristique affichée par son fabricant.</p>	<p>Une mauvaise analyse du problème à traiter : il s'agit de vérifier la masse de soude à utiliser pour neutraliser une tonne d'huile d'acidité oléique de 1 %. Quelques fautes d'orthographe.</p>	S'approprier				X
<p>Données disponibles et utilisation : Définition du degré Baumé pour déterminer la densité de la solution de soude et donc la quantité de matière mise en jeu</p>	<p>À cela, il faut ajouter la masse molaire de l'acide oléique, 1 t d'huile d'acidité oléique à 1 %, 10 kg de lessive de soude à 20 °Baumé (166,7 g/L).</p>	Analyser		X		
<p>Information à rechercher : Formule développée de l'huile concernée pour déterminer sa formule brute et donc sa masse molaire. Nous pourrions ensuite déterminer la quantité de matière d'huile contenue dans l'échantillon</p>	<p>Il faut rechercher la formule développée de l'acide oléique et non celle de l'huile. Par ailleurs, la recherche de la masse molaire de l'acide oléique n'est pas utile car fournie dans les données.</p>	Analyser		X		
<p>Connaissances à mobiliser :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Équation de la réaction support du titrage : $AH + HO^- \longrightarrow A^- + H_2O$ • Relation entre quantités de matière à l'équivalence : $n_{AH} = n_{A^-}$ 	<p>Si l'équation de la réaction de neutralisation est correcte, il ne s'agit pas de réaliser un titrage, parler d'équivalence est donc maladroit. De plus, la relation utile est : $n_{AH} = n_{HO^-}$.</p>	Analyser			X	
<p>Stratégie de résolution : Il s'agit donc de déterminer deux quantités de matière et de vérifier que leurs valeurs sont égales, aux incertitudes de mesures près.</p>	<p>Convenable mais il faut être plus précis : quelles quantités de matière faut-il calculer ?</p>	Analyser	X			

Production des élèves	Correction et commentaires du professeur	Compétence travaillée	Évaluation			
			A	B	C	D
<p>Détermination de n_{AH} : Nous disposons de 1 tonne d'huile composé à 1 % d'acide oléique, soit 10 kg d'acide oléique. Or la formule brute de cette acide est $\text{C}_{18}\text{O}_2\text{H}_{34}$, donc la masse moléculaire est de 282 g. Donc 10 kg d'acide contiennent 35,5 mol d'acide.</p>	<p>Attention à l'orthographe! La suite des liens logiques est bien explicitée sans erreur de calcul. La masse molaire doit être donnée en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Il faut poser le calcul : $n_{\text{C}_{18}\text{O}_2\text{H}_{34}} = 0,01 \frac{m_{\text{C}_{18}\text{O}_2\text{H}_{34}}}{M_{\text{C}_{18}\text{O}_2\text{H}_{34}}}$.</p>	Réaliser		X		
<p>Détermination de n_{HO^-} : En supposant que la soude soit plus dense que l'eau, la définition nous donne : $d = 145(145 - 20) = 1,16$. Donc 10 kg de lessive de soude occupent un volume de 8,62 L. Or cette lessive est à 166,7 g de soude par litre, donc nous disposons de 1436,95 g de NaOH de masse molaire égale à 40 g/mol. Donc 10 kg de lessive correspondent à 35,9 mol de NaOH et donc 35,9 mol de OH^-.</p>	<p>L'ensemble des données est bien traité par une succession d'étapes logiquement présentée mais il faut privilégier l'utilisation de formules littérales. Une erreur d'inattention pour l'expression de la densité : $d = \frac{145}{145-20} = 1,16$.</p>	Réaliser		X		
<p>Conclusion : Nous devons donc comparer $n_{\text{OH}^-} = 35,9$ mol et $n_{\text{AH}} = 35,5$ mol. Ces deux valeurs sont à peu près égales : nous pouvons donc conclure que l'indication du fabricant est correcte.</p>	<p>L'erreur relevée sur l'égalité entre quantités de matière est corrigée. On pouvait calculer l'écart relatif entre la valeur calculée et la valeur indiquée par le document (qui est de 1 %) pour vérifier que l'indication est bien correcte.</p>	Valider		X		
<p>Communication :</p>	<p>L'expression est claire mais il faut être plus attentif à l'orthographe.</p>			X		
<p>Appréciation globale du professeur : un bon travail malgré quelques erreurs d'inattention. Les différentes étapes d'un calcul sont à présenter grâce à des expressions littérales, la détermination de la valeur numérique intervenant à la toute fin. Attention à l'orthographe!</p>						

2 Les lipides saturés, insaturés et polyinsaturés

2.1 Détermination de l'indice d'iode d'un lipide

Q13. La réaction du diiode avec un lipide insaturé a pour équation (non attendue) :



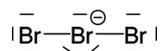
elle appartient donc à la grande famille des additions.

Q14. La méthode de Wijs ne peut être mise en œuvre au lycée, elle possède en effet plusieurs inconvénients :

- en terme de sécurité : elle suppose la manipulation de tétrachlorure de carbone (solvant classé cancérigène), d'acide éthanoïque pur (corrosif et irritant pour les voies respiratoires) et de monochlorure d'iode (oxydant puissant) ;
- en terme d'organisation de la séance : le temps d'attente de 30 minutes semble trop long pour que l'ensemble de la manipulation soit réalisée sereinement lors d'une séance de travaux pratiques.

Pour une réalisation dans le cadre d'un projet (type TPE ou TIPE et en classe non entière), il faut s'assurer qu'il est possible de remplacer le tétrachlorure de carbone par un autre solvant.

Q15. Le schéma de Lewis de l'ion tribromure est le suivant :



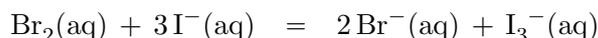
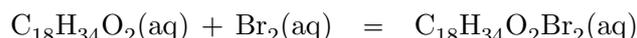
D'après la méthode VSEPR, l'atome de brome central est du type AX_2E_3 , il possède un environnement électronique bipyramidal à base triangulaire. Deux géométries sont donc envisageables : soit la molécule adopte une géométrie coudée (avec un angle entre les deux liaisons de 90°) soit la molécule adopte une géométrie linéaire. C'est cette dernière possibilité qui est la plus favorable énergétiquement car les doublets non liants plus volumineux y sont les plus éloignés les uns des autres.

Q16. L'indice d'iode d'un lipide peut être déterminé à l'aide de tout réactif ayant une réactivité analogue à celle du diiode, une méthode de dosage adaptée permet ensuite de déterminer la quantité de matière de ce réactif consommé par l'échantillon de lipide, puis d'en déduire la masse de diiode qu'aurait consommée cet échantillon et, enfin, la masse de diiode qu'aurait consommée 100 g de lipide.

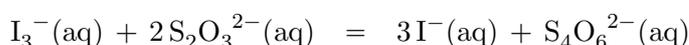
Q17. Pour déterminer la **valeur attendue** de l'indice d'iode de l'acide oléique, il suffit de déterminer la masse de diiode susceptible de réagir avec 100 g d'acide oléique :

$$m_{\text{I}_2} = n_{\text{I}_2} M_{\text{I}_2} = n_{\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2} M_{\text{I}_2} = \frac{m_{\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2}}{M_{\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2}} M_{\text{I}_2}$$

On obtient un indice d'iode de $100 \times 253,8/282,5 = \underline{89,8}$ (l'indice d'iode est présenté sans dimension). Pour déterminer la **valeur expérimentale**, écrivons les équations des réactions ayant lieu dans l'erenmeyer avant que ne soit réalisé le titrage :



L'équation de la réaction support du titrage du diiode formé par les ions thiosulfate s'écrit :



À l'équivalence du titrage, on a :

$$n_{\text{I}_3^-}{}_{\text{formé}} = \frac{1}{2} n_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}}{}_{\text{versé}}$$

Or

$$n_{\text{I}_3^-}{}_{\text{formé}} = n_{\text{Br}_2}{}_{\text{restant}} \quad \text{d'où} \quad n_{\text{Br}_2}{}_{\text{restant}} = \frac{1}{2} n_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}}{}_{\text{versé}}$$

et on a

$$n_{\text{Br}_2}{}_{\text{introduit}} = n_{\text{Br}_2}{}_{\text{consommé}} + n_{\text{Br}_2}{}_{\text{restant}} \quad \text{d'où} \quad n_{\text{Br}_2}{}_{\text{consommé}} = n_{\text{Br}_2}{}_{\text{introduit}} - n_{\text{Br}_2}{}_{\text{restant}}$$

on obtient finalement

$$n_{\text{Br}_2}{}_{\text{consommé}} = n_{\text{HPyrBr}_3} - \frac{CV_E}{2}$$

où C est la concentration de la solution de thiosulfate de sodium donnée par :

$$C = \frac{1,58}{158 \times 0,100} = 0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

et V_E le volume à l'équivalence. Le calcul donne :

$$n_{\text{Br}_2}{}_{\text{consommé}} = 0,928 \times \frac{0,55}{319,8} - \frac{0,100 \times 15,9 \cdot 10^{-3}}{2} = 8,01 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

L'indice d'iode est donc donné par :

$$\frac{100 \times n_{\text{Br}_2}{}_{\text{consommé}}}{0,23} \times M_{\text{I}_2} = \underline{88,4}$$

Les masses de tribromure de pyridinium et de l'échantillon de lipide étant données au centième de gramme, on peut, pour une première approche, considérer que les incertitudes liées aux autres sources que ces pesées sont ici négligeables, l'incertitude sur la valeur de l'indice d'iode est donc donnée par :

$$88,3 \sqrt{\left(\frac{\Delta m_{\text{HPyrBr}_3}}{m_{\text{HPyrBr}_3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_{\text{huile}}}{m_{\text{huile}}}\right)^2} = 88,3 \sqrt{\left(\frac{0,005}{\sqrt{3} \times 0,55}\right)^2 + \left(\frac{0,005}{\sqrt{3} \times 0,23}\right)^2} = 1,20$$

Pour un intervalle de confiance de 95 %, l'incertitude élargie est donnée par $2 \times 1,20 = 2,4$, l'indice d'iode vaut donc bien, en ne gardant qu'un chiffre significatif pour l'incertitude élargie (qui doit être majorée), $\underline{88 \pm 3}$.

QP18. Éléments de correction en trois items

ITEM 1 : Problématique

Il s'agit d'une détermination d'une valeur expérimentale par un titrage indirect de réactif restant suite à une transformation inconnue des élèves. La valeur est accompagnée d'une incertitude, qui sera aussi à évaluer. Les élèves doivent mobiliser les capacités suivantes :

- traduire le protocole en équations de réaction ;
- distinguer ce qui relève de la transformation principale de ce qui relève du titrage ;
- identifier la grandeur à évaluer ;
- exploiter les résultats d'un titrage ;
- identifier et quantifier les incertitudes prédominantes.

ITEM 2 : points de vigilance

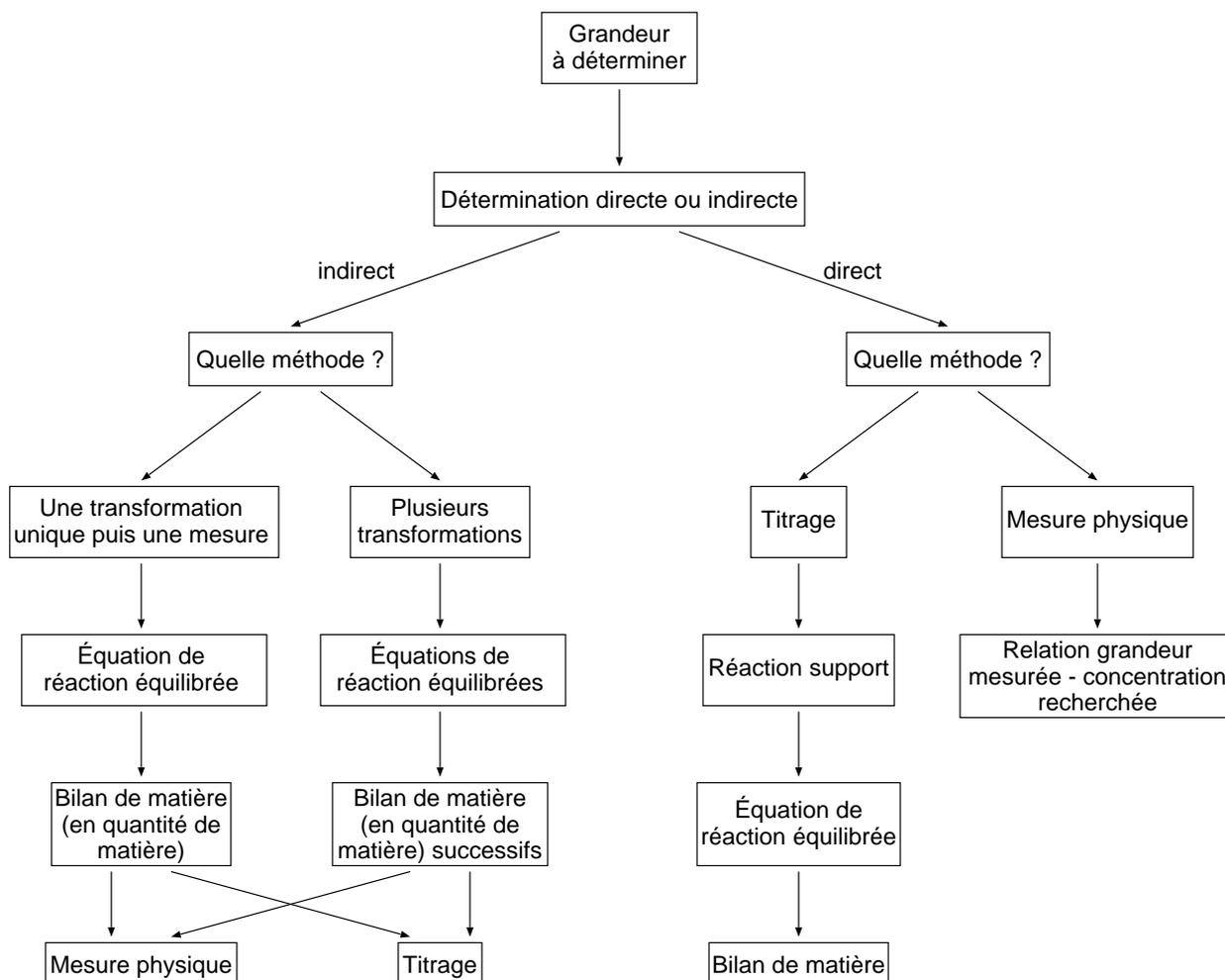
- savoir comment repérer l'équivalence ;
- écrire des équations de réaction équilibrées (des recherches sur les réactivités peuvent être nécessaires – quantitatives ou qualitatives) ;
- réaliser des bilans de matière en quantité de matière et non en concentration ;
- nommer les grandeurs manipulées avec précision (n_i formé/restant/consommé) ;
- évaluer une incertitude quantitativement ;

ITEM 3 : questionnement transposable

On peut proposer à l'élève :

- recherche sur la réactivité du tribromure de pyridinium ;
- écriture de l'équation de réaction de cette transformation principale ;
- utilisation du logigramme ci-dessous, transposable à d'autres analyses de protocole ;
- écriture des équations des réactions suivantes ;
- réalisation de bilans de matière pour les transformations quantitatives (transformation principale puis consommation du tribromure restant par l'iodure) puis pour le titrage du diiode formé par le thiosulfate et écriture des relations littérales entre quantités de matière impliquées ;
- application numérique et analyse critique ;
- évaluation de l'incertitude : identification des sources, comparaison des contributions, calcul par formule de propagation fournie.

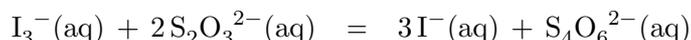
Logigramme possible :



On peut imaginer une stratégie qui impliquerait les élèves dans le choix du niveau d'autonomie de l'aide (ou joker) demandée. Cette stratégie est tout à fait transposable à une autre situation : elle met en jeu la métacognition et engage les élèves à convenir si le groupe doit mobiliser une aide ou pas.

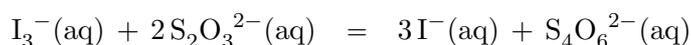
Retrouver les valeurs :

- Joker 1. Écrire l'équation support du dosage permettant de déterminer la quantité de diiode produite. Niveau d'autonomie : B
- Joker 2. Retrouver que l'équation support du dosage permettant de déterminer la quantité de diiode produite est :



Niveau d'autonomie : C

- Alors que l'équation support du dosage permettant de déterminer la quantité de diiode produite est :



la quantité de diiode ainsi dosé est de 0,795 mmol. Niveau d'autonomie : D

Retrouver les valeurs :

- Joker 1. La propagation des incertitudes est à étudier. Niveau d'autonomie : A
- Joker 2. Si une balance d'analyse de laboratoire permet de peser à $\pm 0,1$ mg près, retrouver que les pesées ne contribue pas de façon significative à la propagation des incertitudes. Niveau d'autonomie : B
- Joker 3. A partir des informations fournies, une équipe de professeurs a déterminé et consigné dans le cahier du laboratoire deux valeurs de l'indice d'iode de l'acide oléique : "Le dosage permet de déterminer un indice d'iode de 88 ± 3 alors que la valeur attendue est de 90." Niveau d'autonomie : D

Q19. La réaction d'addition du dibrome sur la double liaison carbone-carbone étant thermodynamiquement favorisée, elle consomme le dibrome, produit de la réaction



déplaçant ainsi cet équilibre dans le sens direct.

Q20. Les ions iode introduits ont pour rôle de consommer la totalité du dibrome restant, le titrage du diiode formé au cours de la réaction permettant d'accéder à cette quantité de matière. La quantité de matière d'ions iode introduite doit donc être au moins trois fois (en prenant en compte la formation des ions triiode) supérieure à celle du dibrome restant. La quantité de matière de tribromure de pyridinium introduit vaut :

$$n_{\text{HPyrBr}_3} = 0,928 \times \frac{0,55}{319,8} = 1,6 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

il pourra donc rester, au maximum, $1,6 \times 10^{-3}$ mol de dibrome à consommer et la quantité de matière d'ions iode à introduire serait donc de $4,8 \times 10^{-3}$ mol. Ici, on a introduit $9,0 \times 10^{-3}$ mol d'ions iode qui sont donc bien en excès.

2.2 Hydrogénation catalytique des huiles végétales

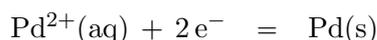
Q21. Lorsque l'on compare les informations nutritionnelles de l'huile de tournesol (liquide à température ambiante) et de la margarine (solide à température ambiante) fournies, on remarque que ce changement

de propriété est à attribuer, en particulier, à l'augmentation de la proportion d'acides gras saturés. Par comparaison le beurre, moins tendre à température ambiante, est lui encore plus riche en acides gras saturés. Le but recherché par les industriels est donc d'obtenir, à partir d'huiles végétales facilement accessibles et peu coûteuses, des matières grasses solides à température ambiante.

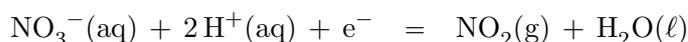
Q22. Un métal noble est un métal qui est résistant à l'oxydation et à la corrosion.

Q23. D'après les potentiels standard d'oxydoréduction des couples mis en jeu, l'oxydation du palladium par les ions nitrate pour donner des ions palladium (II) n'est pas thermodynamiquement favorisée puisque l'on a $E^\circ(\text{Pd}^{2+}/\text{Pd}) > E^\circ(\text{NO}_3^-/\text{NO}_2)$. Elle forme toutefois une très faible quantité d'ions Pd^{2+} qui seront consommés par complexation avec les ions chlorure au cours d'une réaction thermodynamiquement très favorisée, déplaçant ainsi dans le sens direct l'équilibre d'oxydation du palladium.

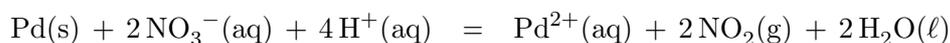
Les demi-équations d'oxydoréduction associées aux couples oxydant/réducteur sont :



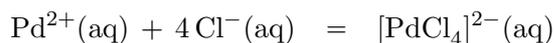
et



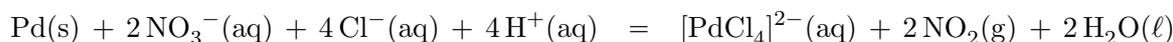
La réaction d'oxydation du palladium par les ions nitrate a donc pour équation :



La réaction de complexation du palladium (II) par les ions chlorure a pour équation :



L'équation de la réaction expliquant la dissolution aisée du palladium métallique dans l'eau régale s'écrit :



Déterminons la constante thermodynamique d'équilibre associée à la réaction précédente :

$$-RT \ln K^\circ = 2FE^\circ(\text{Pd}^{2+}(\text{aq})/\text{Pd}(\text{s})) - 2FE^\circ(\text{NO}_3^-(\text{aq})/\text{NO}_2(\text{g})) - RT \ln \beta_4$$

d'où

$$\ln K^\circ = \frac{2F}{RT} [E^\circ(\text{NO}_3^-(\text{aq})/\text{NO}_2(\text{g})) - E^\circ(\text{Pd}^{2+}(\text{aq})/\text{Pd}(\text{s}))] + \ln \beta_4$$

Numériquement, on obtient :

$$\ln K^\circ = 20,8 \quad \text{soit} \quad K^\circ = 8,6 \times 10^8$$

La réaction précédente peut donc bien être considérée comme étant quasi quantitative.

Q24. Catalyseur et réactifs ne se trouvant pas dans la même phase, la transformation décrite appartient à la catalyse de type hétérogène.

Q25. Un autre catalyseur couramment utilisé au laboratoire pour réaliser une hydrogénation est le nickel de Raney. Il s'agit d'un alliage de nickel et d'aluminium finement divisé puis activé par une lixiviation basique (traitement par une solution d'hydroxyde de sodium très concentrée). La lixiviation a pour effet de consommer une grande partie de l'aluminium, transformé en ions complexes tétrahydroxoaluminate (III) $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ (aq), il reste alors un solide très poreux constitué en majorité de nickel.

Q26. Lors de la préparation du catalyseur, on cherche à augmenter sa surface spécifique (rapport de la superficie réelle du solide et de sa masse).

Q27. L'échantillon de 0,106 g d'huile de maïs apporterait :

- $4 \times 0,106/14 = 3,03 \times 10^{-2}$ g d'acide oléique ;
- $8 \times 0,106/14 = 6,06 \times 10^{-2}$ g d'acide linoléique.

Cela correspondrait à une quantité de matière de :

- $3,03 \times 10^{-2}/282,47 = 1,07 \times 10^{-4}$ mol d'acide oléique ;
- $6,06 \times 10^{-2}/280,46 = 2,16 \times 10^{-4}$ mol d'acide linoléique.

La quantité de matière de dihydrogène nécessaire pour réaliser l'hydrogénation totale de l'échantillon est donc donnée par :

$$n_{\text{H}_2, \text{max}} = 1,07 \times 10^{-4} + 2 \times 2,16 \times 10^{-4} = 5,39 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

Q28. Déterminons la quantité de matière consommée lors de l'expérience réalisée, pour cela, utilisons la loi du gaz parfait :

$$PV_{\text{H}_2} = n_{\text{H}_2}RT \quad \text{d'où} \quad n_{\text{H}_2} = \frac{PV_{\text{H}_2}}{RT}$$

On obtient :

$$n_{\text{H}_2, \text{exp}} = \frac{1,0 \times 10^5 \times 14,8 \times 10^{-6}}{8,314 \times 298} = 5,97 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

Le rendement de la réaction d'hydrogénation est donc donné par :

$$\rho = \frac{n_{\text{H}_2, \text{exp}}}{n_{\text{H}_2, \text{max}}} = \frac{5,97 \times 10^{-4}}{5,39 \times 10^{-4}} = 111 \%$$

Le rendement est donc supérieur à 100 % ce qui n'est pas possible ; pour expliquer ce résultat surprenant, on peut par exemple envisager un problème d'étanchéité du montage (fuite de dihydrogène), une adsorption ou une absorption du dihydrogène par le palladium (voir question suivante), etc.

Q29. Déterminons l'habitabilité des sites octaédriques et tétraédriques de la structure cubique à faces centrées formée par le palladium. Pour cela, on commence d'abord par déterminer le paramètre a de la maille conventionnelle. La masse volumique du solide est donnée par :

$$\rho = \frac{Zm_{\text{Pd}}}{a^3} = \frac{ZM_{\text{Pd}}}{N_A a^3}$$

avec Z la population de la maille. Le paramètre a de la maille est donc donné par :

$$a = \sqrt[3]{\frac{ZM_{\text{Pd}}}{N_A \rho}}$$

Pour une maille cubique à faces centrées on a :

$$Z = 8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$$

et on obtient finalement

$$a = 389 \text{ pm}$$

De plus, en supposant une structure compacte pour le réseau hôte constitué par les atomes de palladium, on a contact entre ces atomes suivant les diagonales des faces du cube donc :

$$4R_{\text{Pd}} = a\sqrt{2} \quad \text{d'où} \quad R_{\text{Pd}} = \frac{a\sqrt{2}}{4}$$

Les sites octaédriques sont situés au milieu des arêtes du cube et au centre du cube, on a donc :

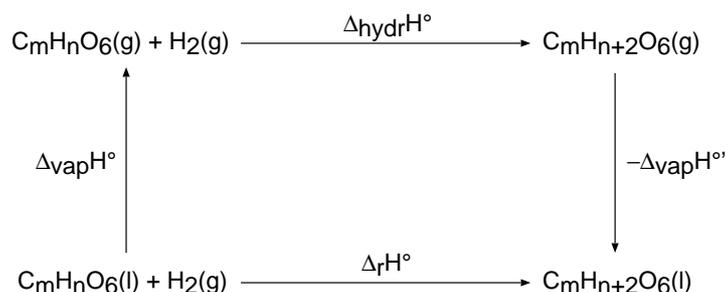
$$2R_{\text{Pd}} + 2r_{\text{O}} = a \quad \text{d'où} \quad r_{\text{O}} = \frac{a}{2} - R_{\text{Pd}} = \frac{a}{2} - \frac{a\sqrt{2}}{4} = \frac{(2 - \sqrt{2})a}{4}$$

Le calcul donne $r_{\text{O}} = 57$ pm. Les sites tétraédriques sont quant à eux situés au centre de chaque petit cube d'arête $a/2$, on a donc :

$$R_{\text{Pd}} + r_{\text{T}} = \frac{a\sqrt{3}}{4} \quad \text{d'où} \quad r_{\text{T}} = \frac{a\sqrt{3}}{4} - R_{\text{Pd}} = \frac{a\sqrt{3}}{4} - \frac{a\sqrt{2}}{4} = \frac{(\sqrt{3} - \sqrt{2})a}{4}$$

On obtient numériquement $r_{\text{T}} = 31$ pm. Le rayon de l'atome d'hydrogène étant de 37 pm, on peut supposer que les atomes d'hydrogène occupent tous les sites octaédriques du réseau cubiques à faces centrées constitué par le palladium. On a utilisé 15 mg de palladium sur charbon à 10 % de palladium ce qui représente $n_{\text{Pd}} = 1,5 \times 10^{-3} / 106,42 = 1,4 \times 10^{-5}$ mol ; pour occuper tous les sites octaédriques, il faut donc $n_{\text{H}_2} = \frac{n_{\text{Pd}}}{2} = 7,0 \times 10^{-6}$ mol. Cette hypothèse, ne permet pas d'expliquer, à elle seule, le résultat précédent puisque $n_{\text{H}_2, \text{exp}} - n_{\text{H}_2, \text{max}} = 5,8 \times 10^{-5}$ mol $>$ $7,0 \times 10^{-6}$ mol. On peut donc supposer que le dihydrogène restant est adsorbé à la surface du métal ou que certains sites tétraédriques sont occupés, si la structure obtenue n'est pas compacte. On peut aussi remarquer que la masse volumique du palladium utilisée pour mener ce raisonnement n'est peut-être pas la bonne à considérer pour ce catalyseur.

Q30. Cherchons à déterminer l'enthalpie standard de la réaction de dihydrogénation d'un triglycéride insaturé de formule brute $\text{C}_m\text{H}_n\text{O}_6$, pour cela, réalisons le cycle thermodynamique suivant :



On a donc :

$$\Delta_r H^\circ = \Delta_{\text{vap}}H^\circ + \Delta_{\text{hydr}}H^\circ - \Delta_{\text{vap}}H^\circ$$

avec

$$\Delta_{\text{hydr}}H^\circ = - [2\Delta_{\text{dis}}H^\circ(\text{C-H}) + \Delta_{\text{dis}}H^\circ(\text{C-C}) - \Delta_{\text{dis}}H^\circ(\text{C=C}) - \Delta_{\text{dis}}H^\circ(\text{H-H})]$$

En considérant que $\Delta_{\text{vap}}H^\circ \approx \Delta_{\text{vap}}H^\circ$, on obtient :

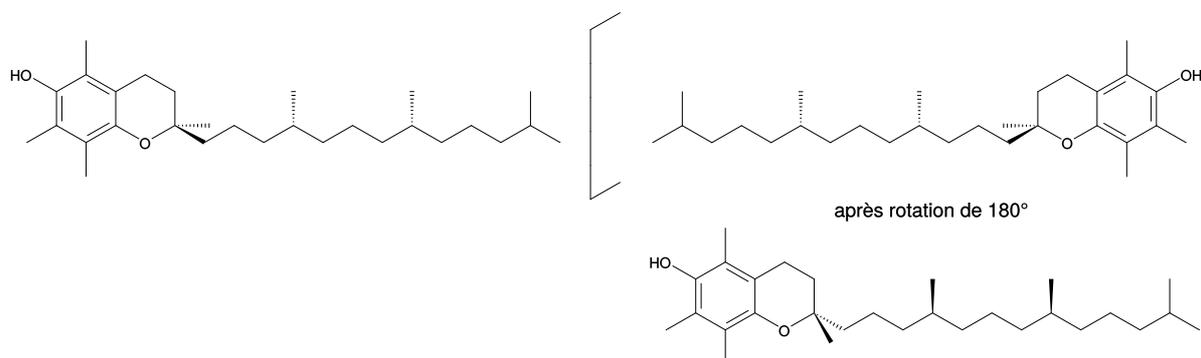
$$\Delta_r H^\circ = -124 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

La réaction d'hydrogénation est donc exothermique, elle s'accompagnera donc d'une augmentation de température du milieu réactionnel. Dans l'expérience présentée, le tube conique est plongé dans un bain d'eau maintenu entre 40 et 60 °C, l'objectif est vraisemblablement de diminuer la viscosité du milieu pour en faciliter l'agitation mais aussi d'accélérer la réaction.

3 Les huiles végétales source de vitamine E

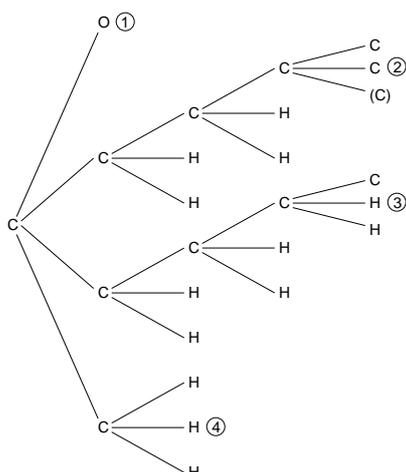
3.1 Présentation

Q31. L' α -tocophérol est chiral car il n'est pas superposable à son image dans un miroir plan, en effet :



Q32. L' α -tocophérol présentant trois atomes de carbone stéréogènes dont les configurations sont indépendantes et sans symétrie, il possède donc $2^3 - 1 = 7$ stéréoisomères de configuration.

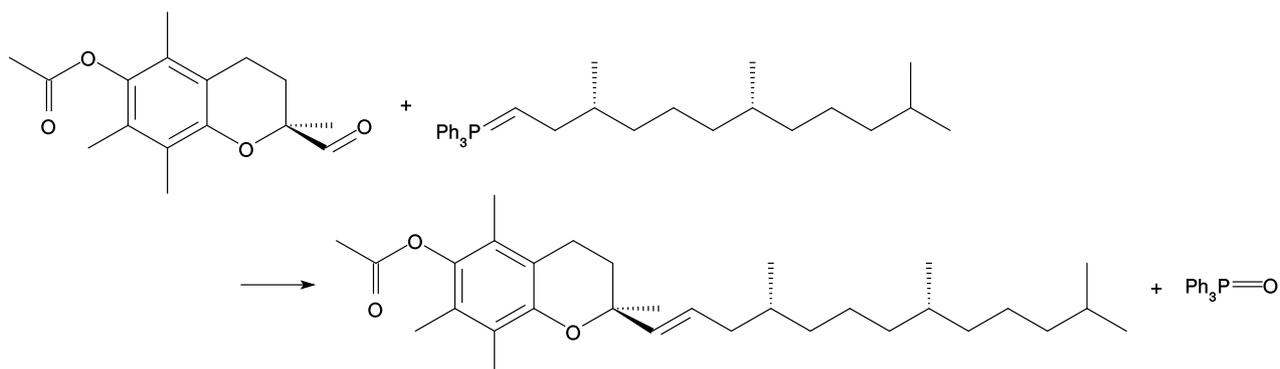
Q33. Déterminons le descripteur stéréochimique de l'atome de carbone stéréogène inclus dans le cycle. Classons ses substituants par ordre de priorité selon les règles séquentielles de Cahn, Ingold et Prelog :



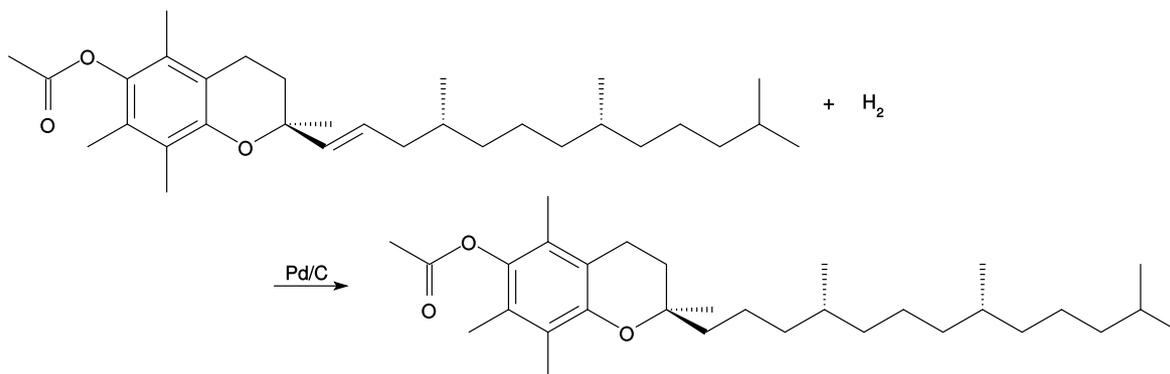
La rotation ① \longrightarrow ② \longrightarrow ③ s'effectue dans le sens horaire alors que le substituant de plus faible priorité se trouve en arrière du plan, le descripteur stéréochimique de cet atome de carbone stéréogène est donc (*R*).

3.2 Synthèse de la vitamine E

Q34. On réalise d'abord une réaction de Wittig :



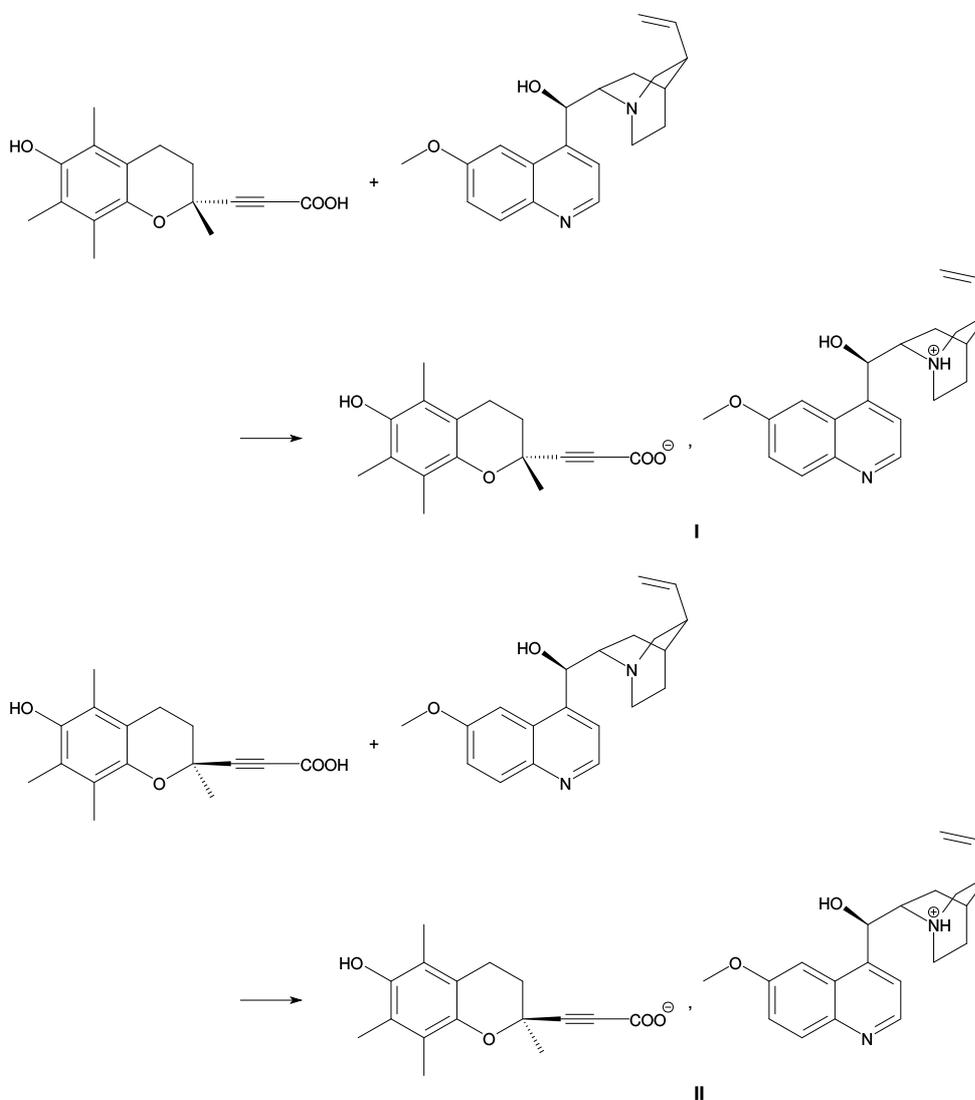
puis l'hydrogénation catalytique de la double liaison carbone-carbone obtenue :



Q35. Un mélange racémique est un mélange, en proportions égales, de deux énantiomères.

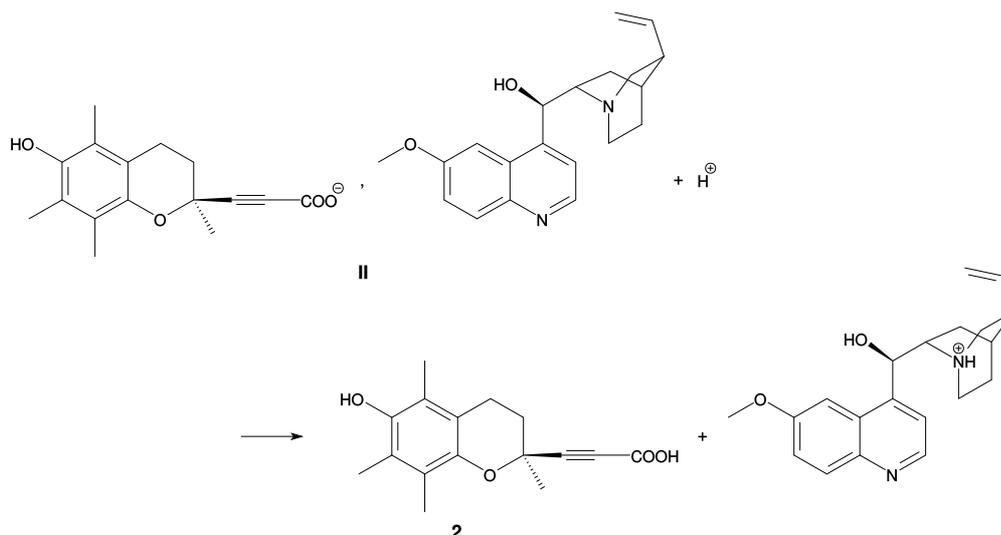
Q36. Les étapes à mettre en œuvre pour réaliser le dédoublement racémique de l'acide carboxylique **1** sont :

- réaction de l'acide carboxylique **1** (sous forme de mélange racémique) avec la quinine :



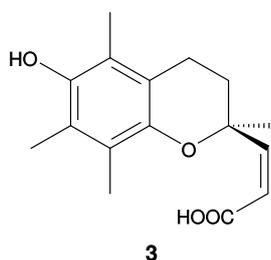
- séparation des sels diastéréoisomères **I** et **II** obtenus ;

- obtention de **2** par traitement en milieu acide du sel II :



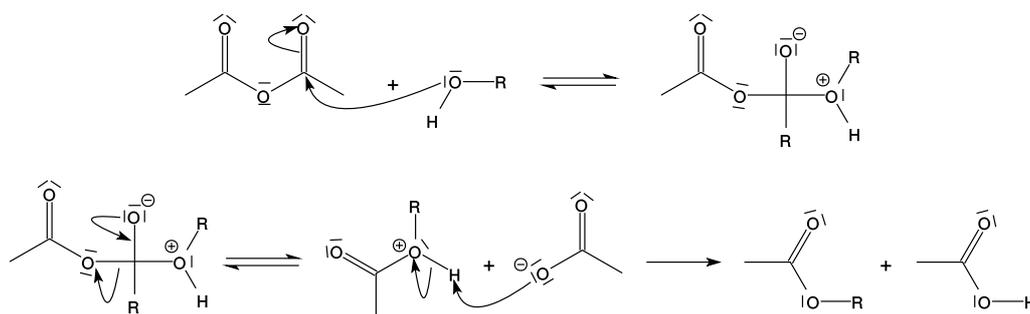
Q37. Des énantiomères ont des propriétés physiques (sauf vis-à-vis d'une onde lumineuse polarisée rectilignement) et chimiques (sauf vis-à-vis d'espèces chimiques elles-mêmes chirales) identiques et ne peuvent pas être séparés par des méthodes classiques. Des diastéréoisomères ont, au contraire, des propriétés physiques (températures de fusion et d'ébullitions, solubilité, par exemple) différentes, il est donc aisé de les séparer.

Q38. **3** est obtenu par dihydrogénation catalytique en présence de palladium de Lindlar (catalyseur empoisonné), on obtient :

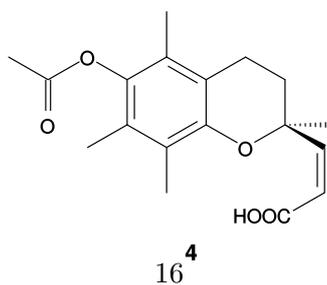


L'alcène obtenu est de stéréochimie (*Z*) puisque la réaction est stéréospécifique *syn*.

Q39. En notant R'-OH l'intermédiaire **3**, le mécanisme de la formation de **4** s'écrit :



La structure de **4** est donc :



Q40. La transformation $4 \rightarrow \mathbf{A}$ est un clivage oxydant de la double liaison carbone-carbone de 4 , pour la mener à bien on peut réaliser une réaction de Lemieux-Johnson : 4 est mis à réagir en présence d'une quantité catalytique de tétraoxyde d'osmium avec 2 équivalents de periodate de sodium dont le rôle est double :

- réaliser le clivage oxydant du diol formé par action du tétraoxyde d'osmium sur l'alcène ;
- régénérer le tétraoxyde d'osmium.

Cette étape peut également être réalisée grâce à une ozonolyse en milieu réducteur (ozonation suivie d'une hydrolyse en présence de zinc, par exemple).

Q41. Commentons, en termes de chimie verte, la voie de synthèse de l'intermédiaire \mathbf{A} :

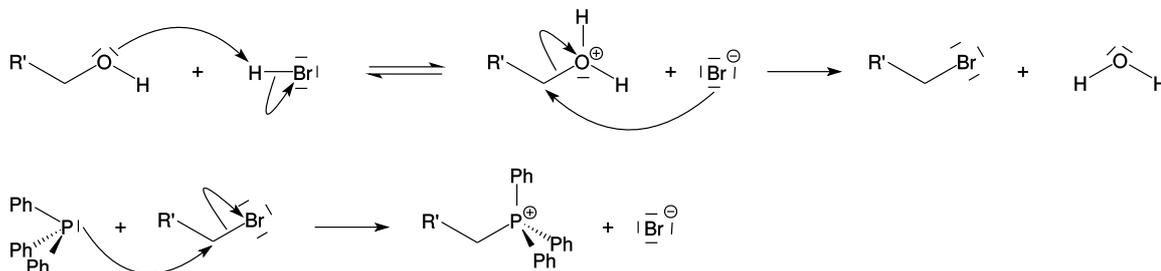
- principe 2 : ce principe n'est ici pas respecté puisque
 - \mathbf{A} est obtenu après un dédoublement racémique de l'acide carboxylique $\mathbf{1}$;
 - la transformation $4 \rightarrow \mathbf{A}$ implique une coupure oxydante qui gaspille deux atomes ;
- principe 9 : on utilise pour l'obtention de \mathbf{A} à partir de 4 du tétraoxyde d'osmium en quantité catalytique, ce principe est donc satisfait.

QP42. De manière à faire réinvestir les notions de première année à ses étudiants, l'enseignant peut, dans le cadre d'une séance sur la réaction de Wittig, leur proposer les questions suivantes :

1. Détailler, en justifiant les choix réalisés, le mécanisme des étapes $5 \rightarrow 6$ et $6 \rightarrow 7$.
2. Commenter cet enchaînement réactionnel en vous appuyant sur la notion d'activation des groupes fonctionnels.

Les réponses attendues sont les suivantes :

1. Le mécanisme des étapes $5 \rightarrow 6$ et $6 \rightarrow 7$ est le suivant :



Dans les deux cas, le mécanisme limite majoritaire sera une substitution nucléophile bimoléculaire S_N2 car tant l'ion alkyloxonium $R'-CH_2-OH_2^+$ que le dérivé bromé $R'-CH_2-Br$ sont des substrats primaires et qu'aucune stabilisation par conjugaison du carbocation $R'-CH_2^+$ ne peut être envisagée.

2. Cet enchaînement réactionnel peut appeler les commentaires suivants :

- malgré le caractère polarisé de la liaison C-O, l'alcool 5 ne peut pas subir directement de réaction de substitution nucléophile car le groupe hydroxyle est un mauvais groupe partant ; sa protonation préalable permet d'obtenir un bon groupe partant, la molécule d'eau, on réalise donc ici une activation *in situ* du caractère électrophile de l'alcool 5 .
- en considérant la transformation $5 \rightarrow 7$ plus globalement, le passage de 5 à 6 peut être vu comme une activation *ex situ* de l'alcool 5 , puisqu'il s'agit de transformer préalablement l'alcool 5 , qui serait peu réactif vis-à-vis de la triphénylphosphine, en un dérivé bromé plus réactif.

3.3 Activité anti-oxydante des vitamines E et C

Q43. D'après la description du fonctionnement de l'électrode de Clark, le courant circule de l'électrode de platine vers l'électrode d'argent, les électrons circulent donc de l'électrode d'argent qui est donc siège d'une oxydation et joue le rôle d'anode à l'électrode de platine qui est donc siège d'une réduction et joue le rôle de cathode.

Q44. À la cathode de platine les réactions susceptibles de se produire sont :

- réduction du dioxygène selon :



- réduction de l'eau selon :



À l'anode d'argent les réactions susceptibles de se produire sont :

- oxydation de l'argent constituant l'électrode selon :



- oxydation des anions chlorure selon :



- oxydation de l'eau selon :



Q45. Calculons le potentiel d'oxydoréduction associé à chaque couple mis en jeu

$$E_A = E_E = E^\circ(\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}) + \frac{0,06}{4} \log \frac{p(\text{O}_2)}{P^\circ} - 0,06\text{pH}$$

en prenant $p(\text{O}_2) = 0,2$ bar et $\text{pH} = 7,0$, on obtient $E_A = 0,80$ V.

$$E_B = E^\circ(\text{H}^+/\text{H}_2) - 0,06\text{pH}$$

où on a pris $p(\text{H}_2) = 1$ bar, ce qui donne $E_B = -0,42$ V.

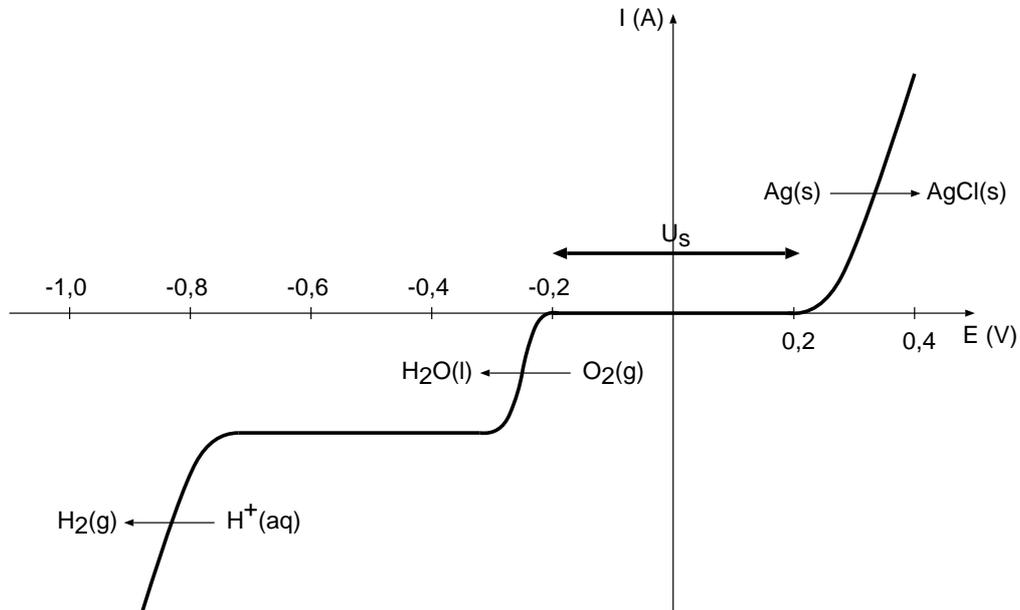
$$E_C = E^\circ(\text{AgCl}/\text{Ag}) + 0,06 \log \frac{1}{[\text{Cl}^-]}$$

avec $[\text{Cl}^-] = \frac{175}{74,6} = 2,35$ mol·L⁻¹, le calcul donne $E_C = 0,20$ V.

$$E_D = E^\circ(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) + \frac{0,06}{2} \log \frac{p(\text{Cl}_2)}{P^\circ [\text{Cl}^-]^2}$$

en prenant $p(\text{Cl}_2) = 1$ bar et avec $[\text{Cl}^-] = 2,35$ mol·L⁻¹, on a $E_D = 1,34$ V.

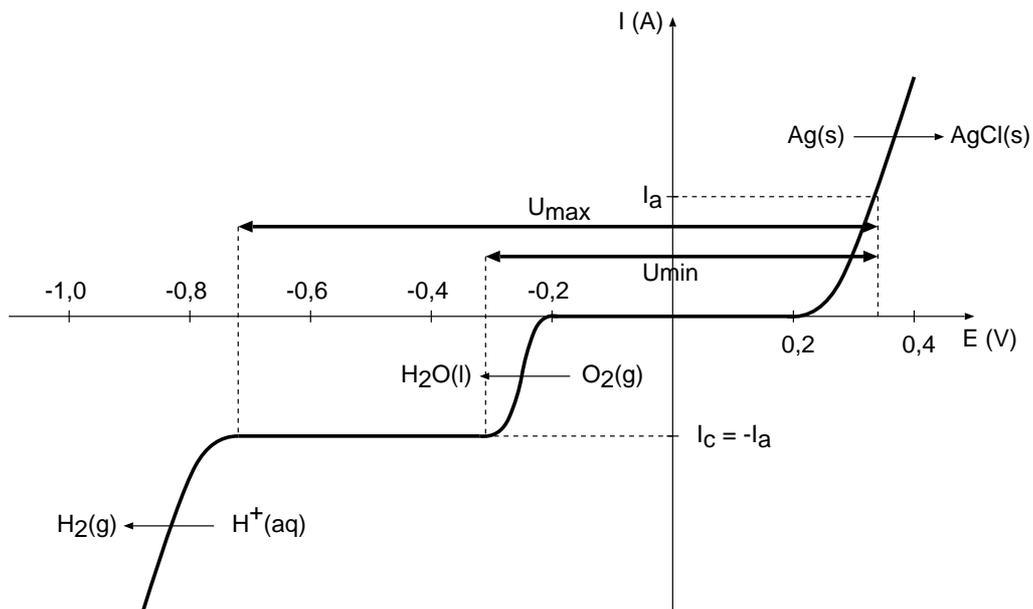
L'oxydation des ions chlorure et de l'eau aura lieu à des potentiels supérieurs à l'oxydation de l'argent constituant l'électrode (pas de limitation du courant par diffusion) et ne sera pas observée. La réduction du dioxygène aura lieu, en tenant compte des surtensions, pour des potentiels inférieurs à $0,80 - 1 = -0,2$ V et le courant mesuré sera limité par la diffusion du dioxygène alors que la réduction de l'eau aura lieu pour des potentiels inférieurs à $-0,42 - 0,3 = -0,72$ V. Les courbes courant-potential permettant de décrire le fonctionnement de l'électrode de Clark ont donc pour allure :



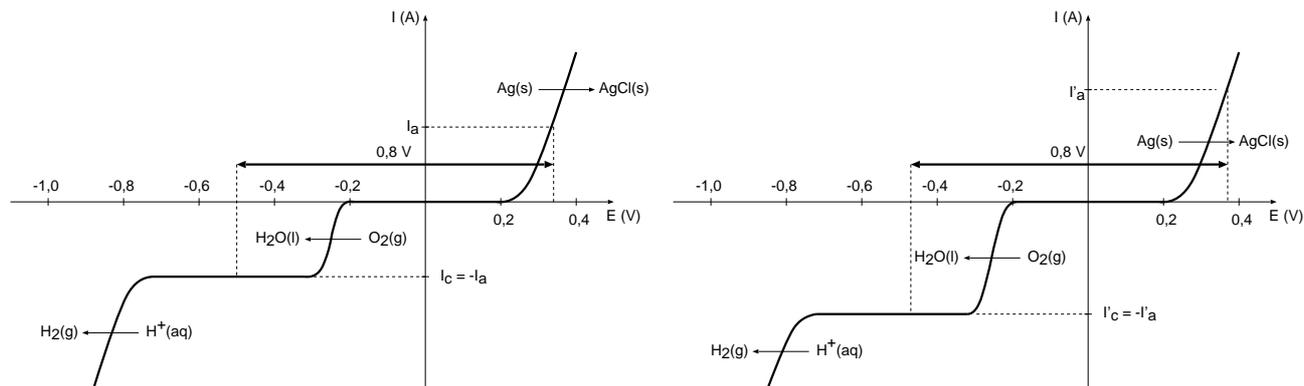
Q46. La valeur minimale de la tension, notée U_s sur le schéma précédent, à imposer pour qu'un courant non nul soit détecté est d'environ :

$$U_s = 0,21 - (0,80 - 1) = 0,41 \text{ V}$$

Q47. D'après les courbes courant-potential, pour une concentration donnée en dioxygène, le dispositif sera traversé par un courant sensiblement constant pour une tension comprise entre $U_{\min} \approx 0,6$ V et $U_{\max} \approx 1,0$ V (voir ci-dessous).



Q48. La valeur absolue du courant limite de diffusion étant proportionnelle à la concentration de l'espèce chimique consommée, ici le dioxygène, les courbes courant-potentiel obtenues pour deux concentrations différentes en dioxygène (supérieure dans le cas de droite) ont pour allure :



L'intensité du courant traversant le dispositif est donc proportionnelle à la concentration en dioxygène.

Q49. En supposant que le dispositif soit traversé par un courant constant de $I = 1 \mu\text{A}$, la charge traversant le circuit durant la durée Δt est donnée par :

$$Q = I\Delta t$$

La quantité d'électrons, en mol, n_{e^-} est alors donnée par :

$$n_{e^-} = \frac{Q}{F} = \frac{I\Delta t}{F}$$

et, d'après l'équation de la réaction de réduction du dioxygène, on a :

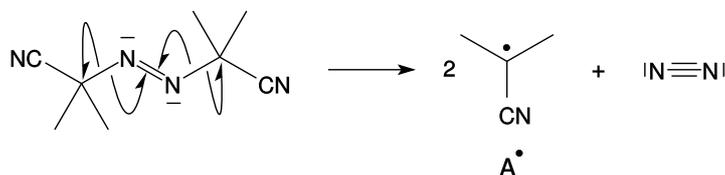
$$n_{\text{O}_2} = \frac{n_{e^-}}{4} = \frac{I\Delta t}{4F}$$

Finalement la masse de dioxygène consommée est donnée par :

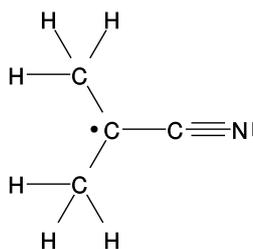
$$m_{\text{O}_2} = n_{\text{O}_2} M_{\text{O}_2} = \frac{I\Delta t M_{\text{O}_2}}{4F}$$

Le calcul donne $m_{\text{O}_2} = 8,3 \times 10^{-11} \text{ g}$ ce qui est cohérent avec l'information donnée par le constructeur.

Q50. L'entité A^\bullet est formée au cours de la réaction :

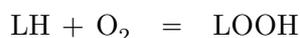


et a pour schéma de Lewis :



Q51. Le radical porteur de chaîne est l'espèce LOO^\bullet qui est consommée dans l'étape (4) puis régénérée dans l'étape (5). Les étapes (1), (2) et (3) sont donc les étapes d'amorçage, les étapes (4) et (5) sont les étapes de propagation, enfin, l'étape (6) est l'étape de terminaison.

Q52. Usuellement, dans ce type de mécanisme, lorsque le radical porteur de chaîne est formé, il peut donner lieu à un grand nombre de répétitions de la boucle de propagation avant d'être consommé par la réaction de terminaison, on pourra donc négliger la consommation du dioxygène et du linoléate de méthyle par les étapes d'amorçage devant la consommation du dioxygène et du linoléate de méthyle par les étapes de propagation. De plus, en faisant la somme des deux étapes de propagation, on obtient :



on a donc

$$v_{\text{disp,LH}} = v_{\text{disp,O}_2}$$

le suivi temporel de la concentration en dioxygène est donc bien une mesure indirecte de la consommation de linoléate de méthyle au cours du temps.

Q53. D'après le mécanisme proposé, on a :

$$v = v_{\text{disp,O}_2} = -\frac{d[\text{O}_2]}{dt} = v_2 + v_3 + v_5$$

La vitesse v étant imposée par la propagation, cela signifie que v_5 est grande devant v_2 et v_3 , l'expression précédente se simplifie sous la forme :

$$v \approx v_5$$

Appliquons l'approximation de l'état quasi stationnaire aux radicaux A^\bullet , AOO^\bullet , LOO^\bullet et L^\bullet , intermédiaires réactionnels qui sont formés au cours d'actes élémentaires cinétiquement difficiles et consommés au cours d'actes élémentaires cinétiquement faciles :

$$\begin{aligned} \frac{d[\text{A}^\bullet]}{dt} &= 2v_1 - v_2 = 0 \\ \frac{d[\text{AOO}^\bullet]}{dt} &= v_2 - v_3 = 0 \\ \frac{d[\text{LOO}^\bullet]}{dt} &= v_3 - v_4 + v_5 - 2v_6 = 0 \\ \frac{d[\text{L}^\bullet]}{dt} &= v_4 - v_5 = 0 \end{aligned}$$

En faisant la somme des expressions obtenues, on a :

$$2v_1 - 2v_6 = 0 \quad \text{soit} \quad k_1[\text{A-N=N-A}] = k_6[\text{LOO}^\bullet]^2$$

ce qui permet d'exprimer la concentration en radical $[\text{LOO}^\bullet]$:

$$[\text{LOO}^\bullet] = \sqrt{\frac{k_1[\text{A-N=N-A}]}{k_6}}$$

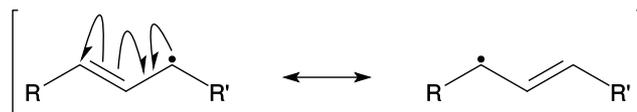
Finalement :

$$v = v_5 = v_4 = k_4[\text{LOO}^\bullet][\text{LH}] = k_4\sqrt{\frac{k_1}{k_6}}[\text{LH}][\text{A-N=N-A}]^{1/2}$$

soit :

$$v = k[\text{LH}][\text{A-N=N-A}]^{1/2} \quad \text{avec} \quad k = k_4\sqrt{\frac{k_1}{k_6}}$$

Q54. Pour un lipide insaturé, l'espèce L^\bullet est stabilisée par conjugaison :



ce qui n'est pas le cas pour un lipide saturé. Le radical L^\bullet est donc plus facile à former dans le cas d'un lipide insaturé qui est donc plus facile à oxyder qu'un lipide saturé.

Q55. En présence de vitamine E, les courbes montrant l'évolution de la concentration en dioxygène au cours du temps présentent deux régimes :

- dans une première phase, la concentration en dioxygène diminue relativement lentement, la durée de cette première phase étant d'autant plus grande que la concentration en vitamine E est grande ;
- puis, dans une seconde phase, la concentration en dioxygène diminue rapidement, la courbe obtenue ayant la même pente qu'en absence de vitamine E.

La vitamine E introduite est susceptible de réagir avec le radical LOO^\bullet selon les réactions (7) et (8) ; en présence de cette espèce inhibitrice, le nombre de boucles de propagation pouvant être engendrées par un radical LOO^\bullet formé lors de l'étape (3) est donc bien plus faible qu'en son absence, la concentration du dioxygène diminue donc lentement. Une fois toute la vitamine E consommée, le radical LOO^\bullet ne peut plus être consommé que par l'étape de terminaison (6), la concentration en dioxygène diminue alors plus rapidement car la boucle de propagation principale (4-5) reprend.

Q56. La vitamine C est une petite molécule qui présente de nombreux groupes hydroxyle, elle sera donc bien soluble dans les solvants protiques polaires, comme l'eau ou les alcools à courte chaîne (la vitamine C fait d'ailleurs partie de la famille des vitamines hydrosolubles). Au contraire, la vitamine E possède une longue chaîne carbonée et sera donc bien soluble dans les solvants peu polaires (la vitamine E fait partie de la famille des vitamines liposolubles). Le mélange de solvants utilisé dans cette série d'expériences permet donc qu'y soient solubles à la fois la vitamine C et la vitamine E.

Q57. En présence de vitamine C seule, on note que la concentration en dioxygène diminue plus rapidement qu'en présence de vitamine E seule, on peut donc en conclure que la vitamine E semble plus efficace pour ralentir l'oxydation de linoléate de méthyle. De plus, on note qu'en présence d'un mélange des deux vitamines, la phase durant laquelle la concentration en dioxygène diminue lentement est allongée et que la pente est identique à celle obtenue en présence de vitamine E uniquement, et ce, durant toute la durée de la phase. Cette dernière observation sera expliquée à la question suivante.

Q58. Les deux dernières figures montrent que, tant qu'il y a encore de la vitamine C dans le mélange réactionnel, la concentration en vitamine E est sensiblement constante. Pourtant, on a vu à la question précédente que la vitamine la plus efficace pour inhiber l'oxydation du linoléate de méthyle est la vitamine E. En présence d'un mélange de vitamines E et C, c'est donc bien la vitamine E qui intervient en tant qu'inhibiteur dans les étapes (7) et (8), la vitamine C ayant pour rôle de régénérer la vitamine E.

Q59. L'étude a été réalisée avec un mélange de solvants permettant aux vitamines E et C d'être bien solubles. Dans les milieux biologiques, on peut penser que vitamine C (hydrosoluble) et vitamine E (liposoluble) se trouvent dans des phases différentes, ce qui peut limiter la transférabilité des conclusions de l'étude aux systèmes biologiques.