



**Concours du second degré**  
**Rapport de jury**

---

**AGREGATION INTERNE**

**PHYSIQUE CHIMIE**

**Session 2014**

Rapport de jury présenté par : Jean-Marc BERROIR  
Professeur des universités

# RAPPORT DU JURY DES CONCOURS D'AGREGATION INTERNE ET DU CAERPA DE PHYSIQUE ET CHIMIE

## SESSION 2014

- 1 - Composition du jury 2014
- 2 - Avant-propos du président
- 3 - Épreuves et programmes 2014
- 4 - Déroulement des épreuves 2014
- 5 - Informations statistiques sur la session 2014
- 6 - Épreuves écrites : qu'attend-on des questions pédagogiques ?
- 7 - Énoncé de la composition de physique 2014
- 8 - Solution de la composition de physique 2014
- 9 - Rapport relatif à la composition de physique 2014
- 10 - Énoncé de la composition de chimie 2014
- 11 - Solution de la composition de chimie 2014
- 12 - Rapport relatif à la composition de chimie 2014
- 13 - A propos des épreuves orales
- 14 - Rapport sur les épreuves orales de physique 2014
- 15 - Rapport sur les épreuves orales de chimie 2014
- 16 - Épreuves et programmes 2015

## 1. Composition du jury

BERROIR Jean-Marc	Professeur des universités, Paris, Président
MAUHOURAT Marie-Blanche	Inspectrice générale de l'éducation nationale, Vice-présidente
OBERT Dominique	Inspecteur général de l'éducation nationale, Vice-président
DE TOURRIS Rodolphe	Professeur agrégé, Paris, représentant de l'enseignement privé
AUZELY-LEXA Catherine	Professeure agrégée, Versailles
BAUDIN Jean-Bernard	Professeur des universités, Paris
BESSY Geneviève	Professeure de chaire supérieure, Bordeaux
BOISGARD Rodolphe	Maître de conférences, Bordeaux
BOULESTEIX Thierry	Professeur agrégé, Douai
BOYER David	IA-IPR, académie de Bordeaux
LISSILLOUR Bertrand	IA-IPR, académie de Versailles
PALACIO Delphine	Professeure agrégée, Paris
PRIEUR Jacques	IA-IPR, académie de Nantes
RÉMY Sophie	Professeure de chaire supérieure, Limoges
RIBIÈRE Philippe	Professeur agrégé, Chartres
ROBERT Vincent	Professeur des universités, Strasbourg
SAVEYROUX Maud	Professeure agrégée, Boulogne-Billancourt
ROLLEY Étienne	Professeur des universités, Paris
SIMON Christiane	IA-IPR, académie de Versailles
ZABULON Thomas	Professeur de chaire supérieure, Orléans

## 2. Avant-propos

*Le rapport du jury des concours de l'agrégation interne et du CAERPA de physique chimie de la session 2014 est mis en ligne sur le serveur du ministère de l'éducation nationale : <http://www.education.gouv.fr/siac/siac2> ainsi que sur le site <http://www.agregation-interne-physique-chimie.org>. Ce rapport est donc rapidement accessible à tous ceux, candidats et formateurs, concernés par ces concours de promotion interne.*

En 2014, 35 postes ont été mis au concours pour le concours public. Ce nombre de postes est sensiblement plus faible que durant les années antérieures (40 postes en 2013, 45 postes de 2006 à 2010). Pour le CAERPA, 12 postes ont été mis au concours en 2014, contre 11 en 2013. La sélectivité des deux concours est toujours très forte. Les ratios « nombre de candidats présents à au moins une épreuve » sur « nombre de postes » sont de 28 pour le concours public et de 16,4 pour le CAERPA (à comparer à 22,2 et 18,3 en 2013). Sur l'ensemble des deux concours, 1167 candidats ont composé à l'écrit. Ce chiffre, en hausse de 10% par rapport à l'année 2013, confirme les observations faites durant les sessions antérieures, et montre à l'évidence le succès d'un concours conçu tant pour contribuer à la promotion interne des professeurs en exercice que pour participer à leur formation continue. A l'issue des épreuves écrites, 96 candidats ont été déclarés admissibles (78 pour le public et 18 pour le CAERPA). La barre d'admissibilité est cette année de 26,2/40 pour le concours public et de 24,2/40 pour le CAERPA. Comme les années précédentes, ces barres reflètent le bon niveau de l'ensemble des candidats admissibles. Ceci a été confirmé par les épreuves orales, à l'issue desquelles l'ensemble des postes offerts au concours public et au CAERPA ont été pourvus. La barre d'admission est de 50,4/80 pour le concours public et de 47,8/80 pour le CAERPA.

L'âge moyen des candidats admis est cette année de 38 ans. Cette valeur confirme l'augmentation de l'âge moyen des admis observée en 2013 et 2012 (37,9 et 37,6) par rapport aux années 2011, 2010 et 2009 (35,5, 36,1 et 35). Cette année, 38% des admis ont 40 ans ou plus. Comme les années précédentes, on observe que de nombreux candidats, qui ont fait le choix d'une immersion professionnelle immédiate après leur succès au CAPES, se présentent au concours interne dès qu'ils remplissent les conditions statutaires requises, en ayant pour nombre d'entre eux continué à préparer les concours externes de l'agrégation. Comme on l'avait déjà remarqué les deux dernières années, la légère augmentation de l'âge moyen des candidats admis résulte sans doute d'une meilleure prise en compte des compétences professionnelles acquises par les candidats au fil des années d'exercice de leur métier d'enseignant. On peut espérer que les réformes importantes apportées depuis 2013 aux épreuves orales du concours qui visent à renforcer les rôles de promotion interne et de formation de l'agrégation interne ont contribué à cette augmentation et permettront d'aller plus loin dans cette direction.

Force est aussi de constater que le déséquilibre des genres parmi les admis est toujours présent, même si, comme en 2013, il est cette année moins important qu'en 2012 (68% d'hommes et 32% de femmes sur l'ensemble des deux concours contre 79% et 21% en 2012). Une fois de plus, la répartition entre hommes et femmes au sein des admis ne reflète absolument pas les proportions constatées dans la profession (45% des certifiés de sciences physiques sont des certifiées). Comme l'année dernière et contrairement aux années antérieures, la répartition hommes-femmes des candidats ayant composé aux épreuves écrites (65% d'hommes et 35% de femmes) est pratiquement identique à celle des admis. Les femmes ont donc aussi bien réussi le concours 2014 que les hommes. Là aussi, on peut espérer que les réformes conduisant à un concours davantage axé sur la prise en compte des compétences professionnelles et favorisant les candidats plus expérimentés ont permis d'améliorer la situation mais ceci reste encore à confirmer.

Nous rappelons que le rapport du jury est un outil d'information, de travail et de conseil pour les futurs candidats ainsi que pour les centres de préparation. Le lecteur trouvera dans ce rapport un ensemble de commentaires et de conseils qu'il conviendra de lire avec attention. Les épreuves écrites font ainsi l'objet d'une correction détaillée, certaines questions faisant l'objet de recommandations ou de commentaires plus précis. Pour les épreuves orales, des considérations générales sur la nouvelle épreuve d'exposé en vigueur depuis 2013 sont suivies d'un rapport circonstancié sur les épreuves de la session 2014.

On peut trouver le rapport du jury ainsi que ceux des années précédentes sur le site <http://www.agregation-interne-physique-chimie.org>. On y trouve également des informations pratiques très utiles pour la préparation des épreuves écrites et orales (annales et corrigés des épreuves écrites, programmes, ressources pédagogiques et informatiques disponibles pendant les épreuves orales...). Le jury incite les futurs candidats à consulter ce site.

Le jury rappelle que la réussite aux concours nécessite une préparation active, durant toute l'année scolaire. Il invite les candidats à mener de front la préparation aux épreuves écrites d'admissibilité et la préparation aux épreuves orales d'admission. Il est parfaitement illusoire de penser que l'on peut réussir à l'oral en ne s'y préparant que quelques jours avant les épreuves. Aussi est-il conseillé avec insistance aux candidats qui ne disposent pas dans leur établissement d'un environnement sur lequel ils peuvent s'appuyer pour conforter leur préparation, de suivre les formations académiques ou universitaires assurant cette préparation.

Comme les années précédentes, il convient d'attirer l'attention des candidats sur le fait qu'en se présentant à un concours, ils se trouvent en compétition les uns avec les autres, et qu'il en résulte obligatoirement une comparaison de leurs prestations individuelles. Toute autoévaluation à la fin d'une épreuve (ou toute évaluation formulée par un observateur extérieur au jury) est ainsi vaine, car non fondée sur une vue globale des prestations de l'ensemble des candidats. Cette remarque doit en particulier inciter ceux d'entre eux qui sont persuadés d'avoir échoué à une épreuve, à ne pas baisser les bras et à terminer le concours. L'expérience montre en effet, d'une part que des candidats admissibles avec un écrit moyen sont reçus dans les tous premiers rangs à l'issue des épreuves orales, et d'autre part que ne pas briller à l'une des épreuves orales n'empêche pas d'être admis.

Le jury a corrigé d'excellentes copies et a assisté, lors des épreuves d'admission, aussi bien pour les exposés que pour les montages, à des prestations remarquables. Il reconnaît et apprécie à leur juste valeur les efforts consentis par l'ensemble des candidats et félicite tout particulièrement les professeurs quadragénaires qui, ayant relevé le défi, ont réussi le concours malgré une formation initiale déjà ancienne. Le jury mesure les sacrifices que la préparation du concours représente et les difficultés rencontrées à mener de front l'exercice normal du métier et cette préparation. Il espère que les modifications apportées aux épreuves inciteront les professeurs très expérimentés à se présenter plus nombreux au concours en leur offrant de meilleures perspectives de réussite. Il encourage également les candidats qui n'ont pas été récompensés lors de cette session à renouveler leurs efforts. Il va de soi qu'il ne faut pas se laisser décourager par une ou plusieurs tentatives infructueuses. L'expérience montre que la persévérance est la plupart du temps récompensée.

### 3. Programme de la session 2014 : il est identique à celui de la session 2013



#### Concours interne de l'agrégation du second degré

#### Concours interne d'accès à l'échelle de rémunération des professeurs agrégés dans les établissements d'enseignement privés sous contrat du second degré (CAER)

#### Section physique - chimie

#### Programme de la session 2013

#### I Épreuves écrites d'admissibilité

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

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

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

##### 1. des classes :

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

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

## II Épreuves orales d'admission

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

Le tirage au sort conduit le candidat à traiter :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dans cette partie, le candidat met en valeur ses compétences pédagogiques et didactiques. Il peut par exemple choisir :

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

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

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

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

### **2. Montage et traitement automatisé 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. Polarisation de la lumière
17. Induction
18. Temps – fréquence
19. Transferts quantiques d'énergie
20. Frottements
21. Transmission de l'information
22. Ondes stationnaires

#### Sujets d'exposé spécifiques

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

#### Sujets de montage spécifiques

- 23m. Filtrage et analyse spectrale
- 24m. Amplification
- 25m. Oscillations spontanées
- 26m. Couplages
- 27m. Régimes transitoires
- 28m. Conversion de puissance
- 29m. Signal analogique et signal numérique

#### **b) Chimie**

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

1. Séparation
2. Liaisons
3. Caractérisations
4. Stéréoisomérisation
5. Solvants
6. Solutions
7. Solubilité
8. Conductivité
9. Mélanges binaires
10. Proportions et stœchiométrie
11. Équilibre chimique
12. Évolution d'un système chimique
13. Conversion d'énergie lors des transformations chimiques
14. Oxydo-réduction
15. Dispositifs électrochimiques
16. Potentiels d'électrode
17. Périodicité des propriétés
18. Solides
19. Métaux
20. Acidité
21. Complexes
22. Polymères

23. Cinétique chimique
24. Catalyse
25. Mécanismes réactionnels
26. Electrophilie et nucléophilie
27. Couleur
28. Modification de groupes fonctionnels
29. Modification de chaîne carbonée

## 4. Déroulement des épreuves

### SESSION 2014

#### Épreuves écrites

Les épreuves écrites se sont déroulées les 30 et 31 janvier 2014.

#### Épreuves orales

##### Conditions matérielles et généralités

Les épreuves d'admission se sont déroulées au Lycée Saint-Louis à Paris du 13 avril au 20 avril 2014. La délibération du jury et la proclamation des résultats ont eu lieu le 21 avril 2014.

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

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

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

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

Ces enveloppes sont ouvertes par le candidat au début de chacune des épreuves, qui commencent dès le lendemain du tirage au sort. Lors de la session 2013, 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 sujet obligatoire pour les exposés, et un sujet à choisir parmi deux proposés pour le montage ;
- 4 h de préparation à l'épreuve ;
- 1 h 20 d'épreuve :
  - pour l'épreuve d'exposé : 50 min pour l'exposé du candidat, le reste du temps pouvant être utilisé par le jury pour les questions.
  - pour l'épreuve de montage : les questions du jury peuvent être posées tout au long 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.

A la fin du tirage au sort, les candidats peuvent visiter les bibliothèques et les collections de matériel de physique et de chimie.

Le matériel ainsi que les livres et documents, vidéos, logiciels et animations numériques 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 proclamation des résultats.

### Les équipes techniques

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

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

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

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

Les techniciens assistent le candidat dans la prise en main du matériel, en particulier, dans celle des appareils dont la diffusion est récente (spectromètres dits « de poche » ou « USB », flexcam, webcam, tableau numérique, vidéoprojecteurs...) et dans celle des outils informatiques ou numériques. Cependant, une connaissance minimale de ces derniers est indispensable au candidat. Tous ces outils, qui sont une aide très appréciable pour les expériences, sont d'une utilisation aisée. Néanmoins, il est possible qu'un candidat soit dérouté par un matériel précis auquel il est peu habitué et les techniciens le font alors bénéficier de leur savoir-faire.

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

La situation est différente au **montage** où il s'agit d'**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.

➤ **Les professeurs préparateurs** ont pour mission de coordonner les travaux de l'équipe technique dans la préparation de chacune des deux épreuves. Leur rôle est également de veiller au bon fonctionnement des appareils durant la préparation. Ils peuvent proposer du matériel spécifique et, plus généralement, des solutions aux problèmes que les candidats peuvent rencontrer.

➤ **Les équipes techniques** (techniciens et professeurs préparateurs) n'ont pas de contact avec le jury. Celui-ci ignore les conditions dans lesquelles se sont déroulées les quatre heures de préparation.

## 5. Informations statistiques

35 places ont été mises au concours de l'agrégation interne, et 12 au CAERPA.

Les tableaux ci-dessous donnent les informations générales relatives aux candidats du concours 2014, et les comparent aux données correspondantes des dix dernières sessions.

### Agrégation interne

Année	Postes	Inscrits	Présents*	Taux de présence	Admissibles	Admis
2004	52	1044	833	80,6%	100	52
2005	54	1121	814	75%	106	52
2006	45	1373	957	69,7%	102	45
2007	45	1374	953	69,4%	101	45
2008	45	1353	962	71,1%	100	45
2009	45	1321	938	71,0%	94	45
2010	45	1484	964	65,0%	97	45
2011	35	1685	895	53,1%	71	35
2012	35	1546	975	63,1%	72	35
2013	40	1407	886	63,0%	83	40
2014	35	1472	983	66,8%	78	35

### CAERPA

Année	Postes	Inscrits	Présents*	Taux de présence	Admissibles	Admis
2004	9	171	135	78,9%	14	7
2005	10	190	131	69%	10	4
2006	10	252	167	66,3%	6	2
2007	9	226	159	70,3%	7	4
2008	7	251	155	61,7%	8	4
2009	8	227	147	64,8%	14	8
2010	11	276	167	60,5%	9	4
2011	8	365	175	47,7%	13	8
2012	9	269	178	66,2%	12	7
2013	11	272	180	66,2%	13	9
2014	12	289	184	63,7%	18	12

\* Présents à au moins une épreuve

## Épreuves écrites

	Agrégation interne	CAERPA
Composition sur la physique :		
Moyenne	7,43	7,03
Ecart-type	3,70	3,26
Note maximale	19,9	19,3
Moyenne des candidats admissibles	14,70	12,80
Ecart-type des admissibles	2,54	3,52
Composition sur la chimie :		
Moyenne	8,30	8,30
Ecart-type	4,01	4,05
Note maximale	20,00	20,00
Moyenne des candidats admissibles	14,43	15,14
Ecart-type des admissibles	2,65	2,35
Barre d'admissibilité	26,2	24,2
Nombre d'admissibles	78	18

## Épreuves orales

Nature de l'épreuve	Moyenne des candidats présents aux épreuves orales	Ecart-type	Note la plus haute	Note le plus basse
Exposé de physique	10,13	3,32	18	5
Exposé de chimie	10,58	2,60	16	6
Montage de physique	10,56	3,91	20	5
Montage de chimie	11,08	3,05	18	6

	Agrégation interne	CAERPA
Barre d'admission	50,4	47,8
Nombre d'admis	35	12

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

Le concours s'adresse à des professeurs en exercice au collège et au lycée. Les questions pédagogiques portent sur l'ensemble des programmes de physique-chimie de collège, de seconde, de 1<sup>ère</sup> et de terminale des séries S, ES, L, ST2S, STI2D, STL (enseignement de spécialité et enseignement de chimie-biochimie-sciences du vivant).

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

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

- adapter un protocole expérimental à un niveau donné ;
- adapter une activité documentaire à un niveau donné ;
- concevoir toute ou partie d'une investigation scientifique : situation déclenchante, question scientifique ou problématique, hypothèse, protocole, validation ou invalidation de l'hypothèse, institutionnalisation du savoir ;
- concevoir une évaluation : expérimentale, sommative, diagnostique, auto-évaluation ;
- élaborer une activité documentaire à partir d'un dossier scientifique, en proposer éventuellement un corrigé ;
- élaborer, adapter et/ou proposer une solution à une résolution de problèmes ;
- analyser un exercice, une activité, une évaluation : progressivité de la complexité, diversité des compétences, indépendance des questions , ... ;
- Analyser une production d'élèves : corrections et proposition de remédiations ;
- justifier des choix en fonction d'un public d'élèves donné : choix d'un scénario pédagogique, choix d'une expérience, choix d'une activité, etc ;
- Elaborer une activité documentaire à partir d'un dossier scientifique ;
- faire preuve d'esprit critique, relever des erreurs scientifiques, des maladresses pédagogiques, etc ;
- ...

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



SESSION 2014

**AGRÉGATION  
CONCOURS INTERNE  
ET CAER**

Section : PHYSIQUE CHIMIE

**COMPOSITION SUR LA PHYSIQUE  
ET LE TRAITEMENT AUTOMATISÉ DE L'INFORMATION**

Durée : 5 heures

*Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.*

*NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.*

Tournez la page S.V.P.

A

## **Autour de la plongée sous-marine...**

On oublie parfois que les premières plongées sous-marines en scaphandre autonome ne datent que de 1943 et ont été rendues célèbres avec la série *Le Monde du silence* de Jacques-Yves Cousteau. Depuis, de nombreux autres documentaires ou films ont contribué à rendre populaire cette activité. Citons *Le grand bleu*, en 1988, ou plus récemment *Océans* sorti en 2010.

On se propose ici d'étudier plusieurs aspects de la plongée sous-marine. Dans une première partie nous nous intéresserons aux fluides et à la notion de pression. Dans une deuxième partie, nous aborderons les conséquences de celle-ci sur la pratique de cette activité avant d'étudier dans une troisième partie, quelques effets relevant de l'optique, de l'acoustique et de la thermique, observés lors d'une évolution en milieu sous-marin.

### **Recommandations**

La clarté, la lisibilité et la concision de la rédaction font partie des éléments d'appréciation de la copie. Le soin apporté aux raisonnements qualitatifs est aussi pris en compte dans le barème.

*Le sujet comporte trois parties largement indépendantes :*

- Partie 1 : Généralités sur les fluides et notion de pression.
- Partie 2 : Application à la plongée sous-marine.
- Partie 3 : L'eau, un milieu non familier.

Les différentes parties sont, dans une large mesure, indépendantes, mais certaines questions font parfois appel à des notions ou à des résultats vus dans une partie antérieure.

*Données, figures et documents :*

Toutes les données numériques nécessaires sont regroupées en début d'énoncé. Il est fortement conseillé d'en prendre connaissance avant de commencer à traiter le sujet car il n'y est pas toujours fait référence lors de la formulation des questions. Toutes les données ne sont pas forcément nécessaires à la résolution de l'ensemble des questions.

Les figures et documents auxquels se réfèrent certaines questions sont également regroupés dans les premières pages. Il est précisé en début de chaque partie quels sont les documents et figures qui s'y rapportent.

*Questions pédagogiques :*

Le sujet comporte des questions pédagogiques clairement identifiées dans le texte par l'abréviation « *QP* », comme par exemple : « 3.*QP* ». L'ensemble des questions pédagogiques représente environ le tiers du total des points accordés à cette épreuve. Les candidats sont donc vivement invités à organiser leur travail en conséquence. Les réponses apportées doivent être suffisamment explicites et concises de façon à mettre en évidence les qualités pédagogiques d'un professeur de physique-chimie.

## Données numériques

On note  $\theta$  les températures exprimées en °C et  $T$  les températures exprimées en K.

### Conversion d'unités :

Pression : 1 bar = 760 mm Hg

### Partie 1

Constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s

Constante de Planck réduite :  $\hbar = h / (2\pi)$

Constante de Boltzmann :  $k_B = 1,38 \times 10^{-23}$  J.K<sup>-1</sup>

Constante des gaz parfaits :  $R = 8,31$  J.K<sup>-1</sup>.mol<sup>-1</sup>

Viscosité dynamique de l'air :  $\eta_{air} = 1,79 \times 10^{-9}$  Pa.s

Température au sommet de l'Everest :  $\theta_{sommet} = -40$  °C

Pression au sommet de l'Everest :  $P_{sommet} = 250$  mm Hg

Température de l'air au niveau de la mer :  $\theta_{surface} = 15$  °C

Pression maximale admissible pour une roche de type silicate :  $P_{max} = 6,5 \times 10^3$  bar

Masse volumique d'une roche de type silicate :  $\rho_{silicate} = 2,5 \times 10^3$  kg.m<sup>-3</sup>

### Partie 3

#### Le grand bleu :

Paramètres du mode électronique :

$$\omega_0 \sim 10^{16} \text{ rad.s}^{-1}$$

$$\tau_a \sim 10^{-12} \text{ s}$$

Longueur d'onde du "bleu" :  $\lambda_{bleu} \sim 450$  nm

#### Caractéristiques acoustiques :

Pour l'eau :

Coefficient de compressibilité adiabatique :  $\chi_{s,eau} = 5,0 \times 10^{-10}$  Pa<sup>-1</sup>

Masse volumique :  $\mu_{0,eau} = 1,0 \times 10^3$  kg.m<sup>-3</sup>

Pour l'air, à 20 °C sous  $P_{atm} \sim 1$  bar

Coefficient de compressibilité adiabatique :  $\chi_{s,air} = 0,7 \times 10^{-5}$  Pa<sup>-1</sup>

Masse volumique :  $\mu_{0,air} = 1,2$  kg.m<sup>-3</sup>

#### Protection thermique :

Caractéristiques du plongeur :

Masse :  $m_p \sim 75$  kg

Capacité thermique massique :  $c_p \sim 4$  kJ.K<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup>

Conductance thermique du plongeur sans combinaison :  $K_p \sim 16$  W.K<sup>-1</sup>

Puissance thermique produite par le corps humain :  $P_{th} \sim 120$  W

Température interne initiale du plongeur :  $\theta_p = 37$  °C

Température de l'hypothermie :  $\theta_{hyp} = 35$  °C

Caractéristiques extérieures :

Température de l'eau :

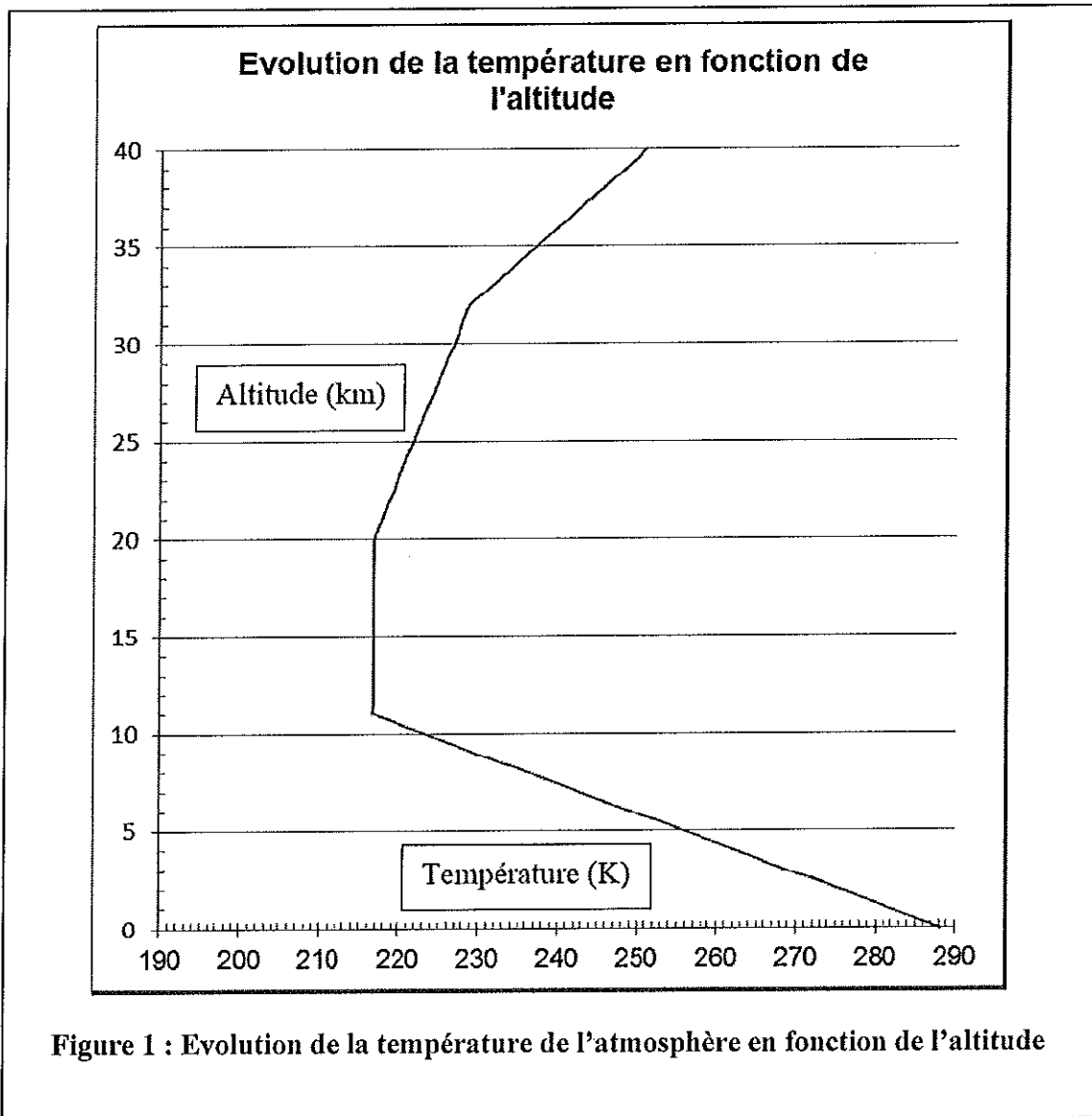
Eau tempérée :  $\theta_{mer,temp} \sim 20$  °C

Eau tropicale :  $\theta_{mer,tropic} \sim 28$  °C

Conductance thermique d'une combinaison de plongée d'épaisseur  $x$  (en m) :

$$K_{comb} \sim 0,1 \cdot x^{-1} \text{ W.K}^{-1}$$

## Documents et figures



NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES ATTENDUES
<p><b>La pression : la pression est une grandeur physique qui permet de comprendre l'influence de l'altitude sur les performances sportives et les effets physiologiques ressentis en plongée subaquatique.</b></p>	
<p>Pression d'un gaz, pression dans un liquide. Force pressante exercée sur une surface, perpendiculairement à cette surface.</p>	<p>Savoir que dans les liquides et dans les gaz la matière est constituée de molécules en mouvement. Utiliser la relation <math>P = F/S</math>, <math>F</math> étant la force pressante exercée sur une surface <math>S</math>, perpendiculairement à cette surface.</p>
<p>Pression dans un liquide au repos; influence de la profondeur.</p>	<p>Savoir que la différence de pression entre deux points d'un liquide dépend de la différence de profondeur. Savoir que la quantité maximale de gaz dissous dans un volume donné de liquide augmente avec la pression.</p>
<p>Dissolution d'un gaz dans un liquide. Loi de Boyle-Mariotte, un modèle de comportement de gaz, ses limites.</p>	<p>Savoir que, à pression et température données, un nombre donné de molécules occupe un volume indépendant de la nature du gaz. Pratiquer une démarche expérimentale pour établir un modèle à partir d'une série de mesures.</p>

**Document 2 : Extrait du BO spécial n°4 du 29 avril 2010  
Programme de la classe de seconde générale et technologique**

<p>Dualité onde-particule Photon et onde lumineuse.</p>	<p>Savoir que la lumière présente des aspects ondulatoire et particulaire.</p>
<p>Particule matérielle et onde de matière ; relation de de Broglie.</p>	<p>Extraire et exploiter des informations sur les ondes de matière et sur la dualité onde-particule. Connaître et utiliser la relation <math>p = h/\lambda</math>. Identifier des situations physiques où le caractère ondulatoire de la matière est significatif.</p>
<p>Interférences photon par photon, particule de matière par particule de matière.</p>	<p>Extraire et exploiter des informations sur les phénomènes quantiques pour mettre en évidence leur aspect probabiliste.</p>

**Document 3 : Extrait du BO spécial n°8 du 13 octobre 2011  
Programme de la classe de terminale de la série scientifique**

« Dans un second article, publié en 1925, Einstein démontra une propriété extraordinaire pour un système de particules matérielles de spin entier : si sa densité spatiale  $n$ , est plus grande que la valeur critique donnée par :

$$n_c \approx \left( \frac{0,166}{h^3} \right) (m \cdot k_B \cdot T)^{3/2}$$

où  $k_B$  est la constante de Boltzmann,  $h$  la constante de Planck réduite et  $m$  la masse des particules, alors une fraction macroscopique des atomes se « condense » dans l'état d'énergie le plus bas, c'est-à-dire l'état d'impulsion nulle pour une enceinte de confinement arbitrairement grande. »

*D'après la revue « Images de la physique 2000 », éditions du CNRS.*

**Document 4 : Condensation de Bose**

Lors d'une mission scientifique en vue d'explorer la faune et la flore de la fosse des Mariannes, le sous-marin dénommé « Yellowsubmarine » progresse et s'enfonce dans des eaux noires et froides de l'océan. Ce sous-marin peut supporter des pressions jusqu'à 500 bars. Dans la salle de commande, le capitaine vérifie les différents afficheurs lui indiquant la pression, la profondeur, la vitesse... Le manomètre indique une pression de 413 bars (tout va bien !!!). L'exploration peut se poursuivre et le capitaine décide de poursuivre la descente. Un peu plus tard le manomètre indique 493 bars et le sonar situe la zone de la plaine abyssale à étudier encore 60 m plus bas. Le sous-marin pourra-t-il se poser, sans risque, pour effectuer des prélèvements de roches ?

*Adaptation d'une activité sur internet proposée en lycée professionnel.*

### Document 5 : Exploration abyssale

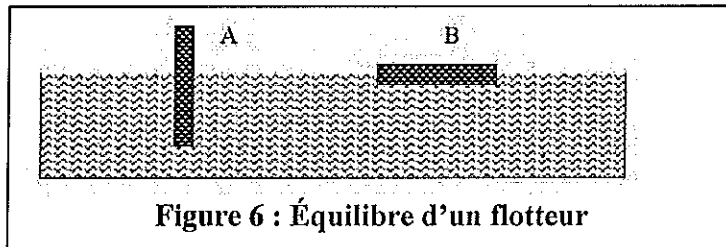


Figure 6 : Équilibre d'un flotteur

### Extrait de la présentation d'un cours pour l'École d'été de physique E2Phy.

*(Physique et sport, 2008)*

La plongée en scaphandre autonome, est qualifiée de « plongée loisir », lorsque qu'elle se limite à des profondeurs de 40 m, voire 60 m, et à l'utilisation de mélanges  $N_2-O_2$  gazeux ne dépassant pas 40 % en dioxygène. Elle se distingue ainsi de la plongée « TEK » ou hyperbare.

Elle peut se pratiquer après une formation spécifique visant à acquérir des techniques afin d'évoluer dans le milieu aquatique en toute sécurité.

En effet, le milieu aquatique modifie nos sens, vision et audition, mais aussi notre façon de respirer, notre mobilité, et la pression subie par l'organisme. Les techniques de la plongée scaphandre sont ainsi majoritairement issues de l'application de lois physiques simples concernant la pression.

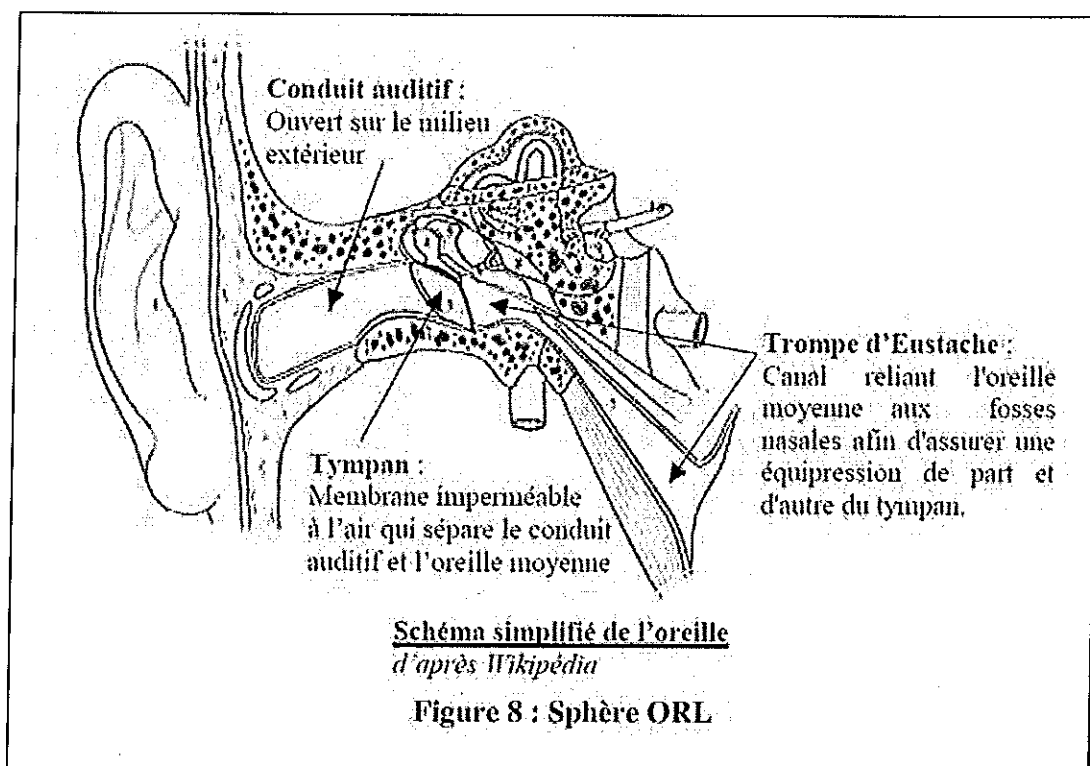
L'hydrostatique et la poussée d'Archimède permettent d'évoluer dans trois dimensions, ce qui est une sensation nouvelle. Cependant l'augmentation de la pression avec la profondeur a des effets physiques sur l'organisme qui peuvent conduire à des accidents graves, voire mortels.

On distingue :

- Les accidents « mécaniques », ou « barotraumatismes », dus à la variation des volumes gazeux de l'organisme.
- Les accidents « bio-chimiques », dus à la toxicité des gaz inhalés, les troubles intervenant au-delà d'une quantité limite, donc d'une pression partielle critique.
- Les accidents « bio-physiques », ou accidents de décompression (ADD), dus à la détente des gaz dissous dans l'organisme lors de la remontée.

Malgré les risques, la plongée loisir pratiquée par des plongeurs avertis et responsables, est une activité passionnante, qui au-delà de simples performances sportives, permet d'expérimenter des sensations nouvelles et de découvrir un univers absolument fabuleux !

### Document 7 - Présentation de la plongée sous-marine



**Extrait de l'énoncé de la composition de physique-chimie du concours général des lycées,  
session 2013.**

*Le placage de masque est un accident barotraumatique fréquemment rencontré chez un plongeur débutant.*

Cet accident survient à faible profondeur chez le plongeur qui ne souffle que par la bouche l'air expiré. Lors de la descente, la pression hydrostatique extérieure augmente et vient comprimer la jupe du masque qui, dans un premier temps, se comporte comme un ressort. Le volume intérieur du masque diminue, jusqu'à ce que la déformation de la jupe ne soit plus possible. Le masque est alors plaqué sur le visage du plongeur. On considère qu'un masque ainsi plaqué (en limite d'élasticité de jupe) a perdu environ un tiers de son volume intérieur. Au-delà, la pression sanguine du plongeur (égale à la pression hydrostatique ambiante) est supérieure à la pression de l'air contenu dans le masque (effet ventouse). Lorsque cette dépression devient supérieure à 0,4 bar, il y a rupture des capillaires de la membrane superficielle de l'œil et de la muqueuse nasale, ce qui entraîne l'apparition d'hématomes sur le visage ou de saignement de nez. Ces troubles sont en général sans gravité et peuvent être évités simplement en soufflant par le nez régulièrement durant la descente pour rééquilibrer la pression à l'intérieur du masque.

**Document 9 - Placage de masque**

D'après la composition de physique-chimie du concours général des lycées, session 2013.

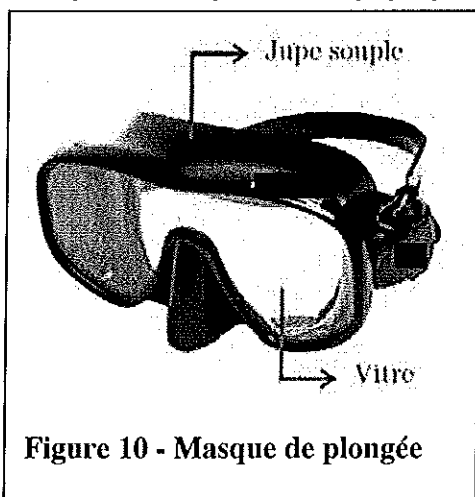


Figure 10 - Masque de plongée

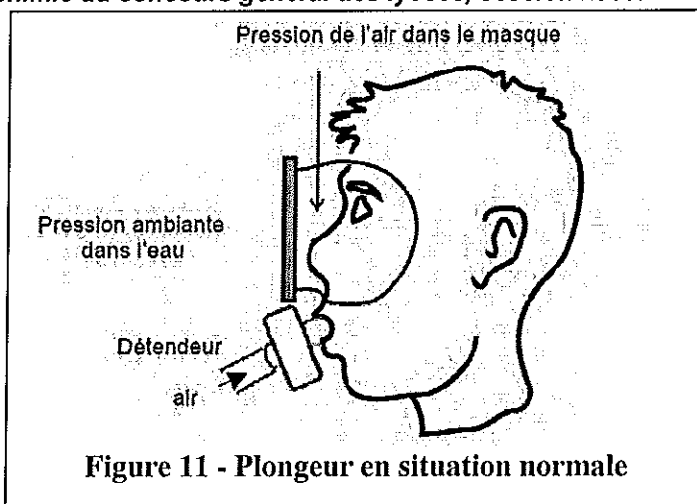


Figure 11 - Plongeur en situation normale

**Question à résoudre :**

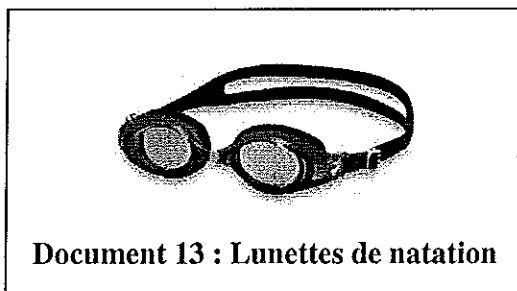
Calculer la profondeur avant laquelle il est indispensable de souffler par le nez pour éviter ces troubles (la valeur attendue est une application numérique).

Pour répondre à cette question il vous appartient de modéliser la situation physique et de mettre cette situation en équation.

Il est par exemple attendu que :

- vous représentiez par un (ou plusieurs) schéma(s) la situation physique étudiée,
- vous choisissiez les notations que vous utilisez en attribuant un nom à chacune des grandeurs physiques que vous êtes amené à introduire,
- vous précisiez les lois physiques que vous appliquez et les éventuelles hypothèses et approximations que vous utilisez,
- les calculs soient menés sous forme littérale, avec pour objectif final d'obtenir une valeur numérique.

**Document 12 - Question du problème**



Document 13 : Lunettes de natation



## Adaptation d'extraits d'un article publié dans le BUP (BUP n°932 p283, avril 2011)

### **Généralités sur le mécanisme de la décompression**

L'accident de décompression - ou ADD - est sans doute le plus connu des accidents encourus par les plongeurs. Il se produit à la remontée et consiste en une détente trop rapide des gaz dissous dans l'organisme. Les bulles soudainement créées peuvent altérer de façon irréversible des tissus et des organes du corps humain.

C'est un accident grave qu'il ne faut pas négliger car il peut entraîner la mort. Les risques peuvent néanmoins être évités en prenant quelques précautions.

Nous considérerons une plongée effectuée à partir du « niveau de la mer », avec de l'air « naturel » dont la composition est 21 % de O<sub>2</sub> et 79 % de N<sub>2</sub>. Pour des calculs d'ordre de grandeur on simplifiera la composition en (20 %, 80 %) et la masse volumique de l'eau à la valeur de  $\mu = 1 \text{ kg/L}$ .

### **-1- Saturation des tissus à la descente**

#### **Processus de saturation**

Les gaz respirés passent dans le sang par l'intermédiaire des alvéoles pulmonaires et se dissolvent dans le liquide sanguin au fur et à mesure de la descente.

*Les molécules de gaz se lient alors avec les molécules de l'eau qui est le constituant majoritaire du sang, puis diffusent dans les « matériaux » plus denses du corps humain : muscles, graisses, os...*

Au bout d'un « certain temps » passé à la profondeur  $h$ , un équilibre s'établit entre la quantité de gaz en phase gazeuse et la quantité de gaz dissous. On parle de **saturation**.

En ce qui concerne la saturation des tissus, point clé de l'accident de décompression, on se focalise principalement sur le diazote, N<sub>2</sub>, non seulement parce qu'il n'est pas métabolisé par l'organisme comme le dioxygène O<sub>2</sub>, et donc se stocke sans aucunement s'éliminer, mais surtout parce qu'il est largement majoritaire. Le diazote est le gaz qui sature majoritairement et qui pose problème en premier.

#### **Tension d'un gaz dissous**

La quantité totale de diazote qui peut « transiter » de la phase gazeuse à la phase aqueuse dépend de la pression extérieure, donc de la profondeur.

La quantité de N<sub>2</sub> en phase gazeuse s'exprime par sa pression partielle, et la quantité de N<sub>2</sub> dissoute dans les phases aqueuses de l'organisme est représentée par une quantité appelée « tension »  $T$ . Afin de comparer cette quantité  $T$  avec celle contenue dans la phase gazeuse en contact dans les poumons, on l'exprime dans la même unité que la pression partielle, par exemple en bar.

Ainsi un plongeur effectuant une plongée respire de l'air comprimé grâce à son détendeur à la pression extérieure environnante. Au bout « d'un certain temps » passé à la profondeur  $h$ , le transfert moléculaire d'azote de la phase gazeuse à la phase aqueuse cesse car la tension d'azote s'équilibre avec la pression partielle de diazote à la profondeur considérée. On appelle la quantité  $T_{sat}^h$  la tension de saturation à la profondeur  $h$ , et la quantité  $T_{sat}^0$  représente la tension de saturation à la surface.

On montre que l'excédent d'azote dissous dans le corps suit une loi d'évolution telle qu'à la date  $t$  la tension d'azote à une profondeur  $h$ ,  $T^h(t)$ , peut s'écrire :

$$T^h(t) = T_{sat}^0 + (T_{sat}^h - T_{sat}^0) \cdot (1 - 2^{-t/\tau})$$

Cette expression traduit ce qu'on a coutume d'appeler la « charge » du tissu en gaz dissous.

Toutes les parties du corps humain n'ont pas le même comportement face à la saturation en gaz. Les parties « fluides » (sang) sont plus réactives que les parties « visqueuses » (graisses).

On définit un « compartiment » comme une partie du corps (organes, tissus physiologiques...) ayant un comportement donné face à la saturation. Chaque compartiment est caractérisé par un « temps caractéristique »  $\tau$  appelé selon le cas « demi-vie » ou « période », qui rend compte de la plus ou moins grande rapidité avec laquelle le tissu se « charge » - mais aussi se décharge - en gaz dissous. Selon les modèles utilisés par les algorithmes de décompression, le nombre de compartiments est plus ou moins élevé. Tous font intervenir des compartiments à courte période et d'autres à périodes plus longues.

### **Document 14 : Processus de saturation**

## -2- Algorithmes de décompression et désaturation à la remontée

Nous utiliserons pour la démonstration un algorithme à 12 compartiments de périodes  $\tau$  réparties entre 5 et 120 minutes.

Ce modèle est utilisé pour l'élaboration des tables couramment utilisées en France : Ref MN 90 (Tables de la Marine Nationale datant de 1990). Cet algorithme se programme très facilement.

A la remontée, les gaz dissous, et notamment le diazote  $N_2$ , repassent à l'état gazeux. C'est un phénomène « naturel » et sans danger pour l'organisme si le passage de l'état dissous à l'état gazeux se fait comme à la descente, à l'échelle microscopique au niveau des alvéoles pulmonaires. Pour pratiquer en toute sécurité, le plongeur doit gérer sa remontée afin que le passage à l'état gazeux des espèces dissoutes se fasse à un rythme qui limite la taille des bulles dans les parties aqueuses à quelques microns. L'expérience montre que ces « micro-bulles » remontent alors les canaux sanguins puis s'éliminent via les poumons sans dégâts physiologiques à condition que leur volume n'atteigne pas une taille critique. Un critère de vitesse de remontée, empirique, est de ne pas dépasser la vitesse des très petites bulles d'air qui entourent le plongeur.

Examinons le cas d'un plongeur ayant passé un temps suffisant à la profondeur  $h$  afin que son compartiment de période  $\tau$  soit saturé. Lorsqu'il entame sa remontée, la tension des tissus doit diminuer, afin que la tension à la nouvelle profondeur  $h'$  s'équilibre à nouveau. Tant que la valeur de la tension reste supérieure à cette valeur asymptotique pour cette nouvelle profondeur  $h'$ , on dit que le tissu est « sursaturé ».

Il est crucial que la vitesse de remontée du plongeur soit adaptée à la cinétique de la désaturation afin d'éviter qu'un tissu se retrouve en « sursaturation ».

En fait, l'expérience montre que la sursaturation devient dangereuse pour l'organisme si le rapport entre la tension et la pression partielle devient supérieur à une certaine valeur.

Pour chaque compartiment, est défini un **coefficient de sursaturation critique en surface**, appelé  $CSc^\circ$ .

Il représente la tension en azote que ne doit pas dépasser un compartiment pour que le plongeur puisse remonter à la surface ( $P_0 = 1$  bar) avec une vitesse « raisonnable ».

Dès que :  $T^h(t) = CSc^\circ$  pour au moins 1 compartiment, appelé le « compartiment directeur », le plongeur doit s'arrêter et attendre que ses tissus « désaturent » au rythme de la loi cinétique. C'est le « palier de décompression » dont la durée se calcule à partir de la loi cinétique.

Les profondeurs de palier retenues par les protocoles sont 12, 9, 6 et 3 m.

On admet qu'il faut attendre au moins 12 h pour une désaturation complète (cf. période des compartiments les plus lents).

Par sécurité on recommande d'attendre 24 h avant de prendre l'avion.

## -3- Plongée sans décompression

Il n'est pas toujours nécessaire d'effectuer des paliers avant de remonter, bien que de nombreux protocoles imposent malgré tout un « palier de sécurité » de 3 min à 5 m, quel que soit le temps passé en immersion.

### **Courbe de sécurité**

On appelle « **courbe de sécurité** », la courbe qui donne la durée maximale passée à une profondeur donnée, pour que la remontée puisse s'effectuer sans palier.

*Cette courbe dépend des systèmes de plongée enseignés, mais les valeurs restent du même ordre de grandeur.*

On porte sur le même graphique les valeurs des coefficients de sursaturation critique en surface,  $CSc^{\circ}$ , et des tensions obtenues pour les différents compartiments en fonction de la durée de plongée.

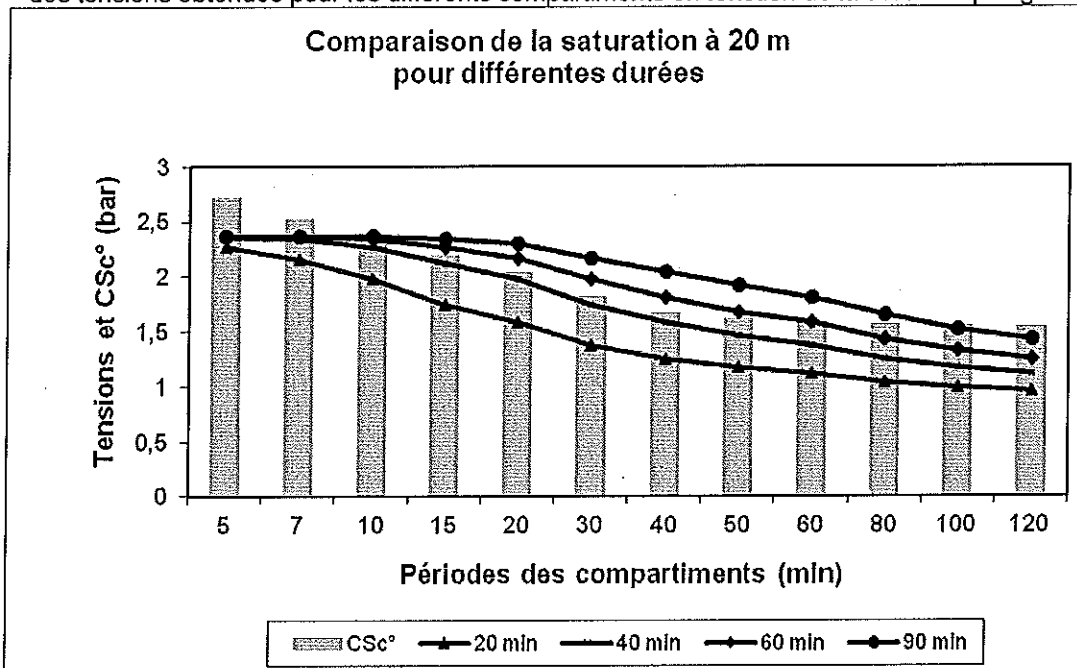


Figure 16 : Comparaison de la saturation à la profondeur de 20 m

On porte sur le même graphique les valeurs des coefficients de sursaturation critique en surface,  $CSc^{\circ}$ , et des tensions obtenues pour les différents compartiments en fonction de la profondeur, cela pour la même durée de plongée.

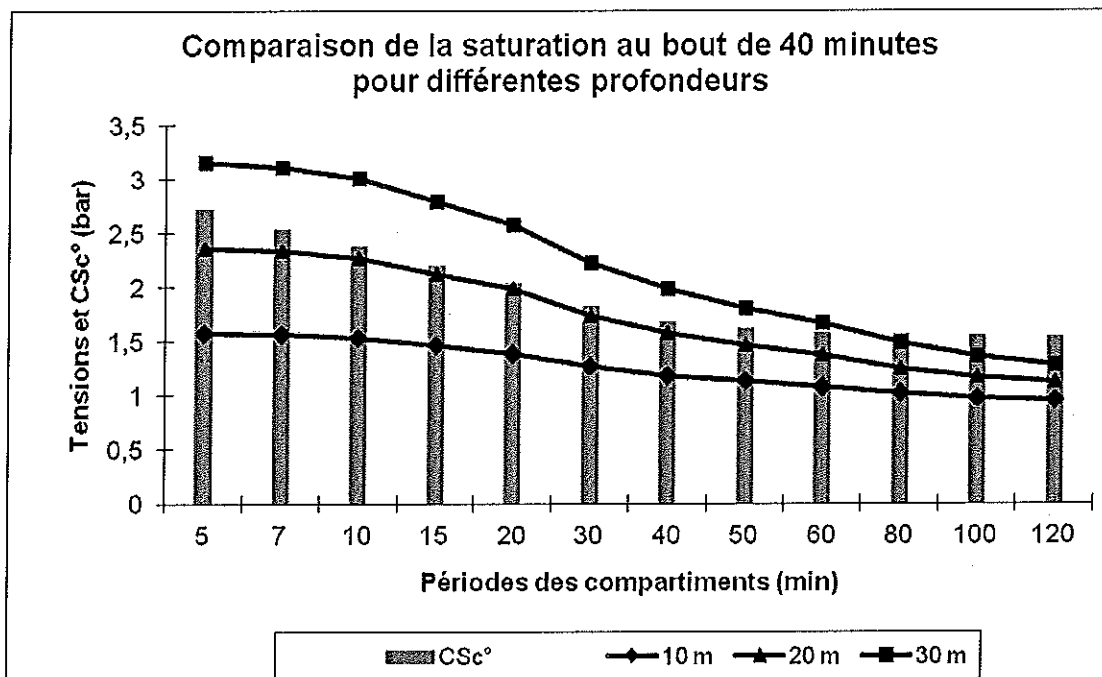
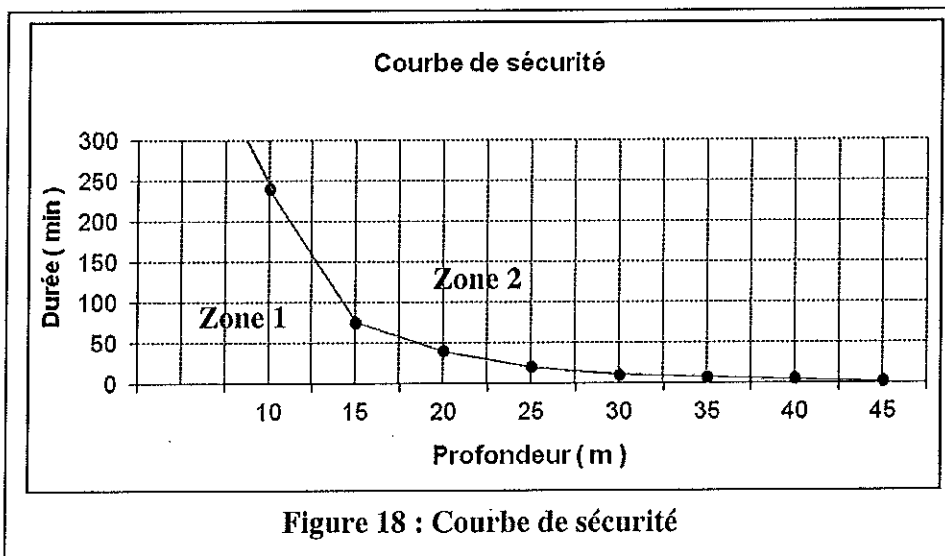
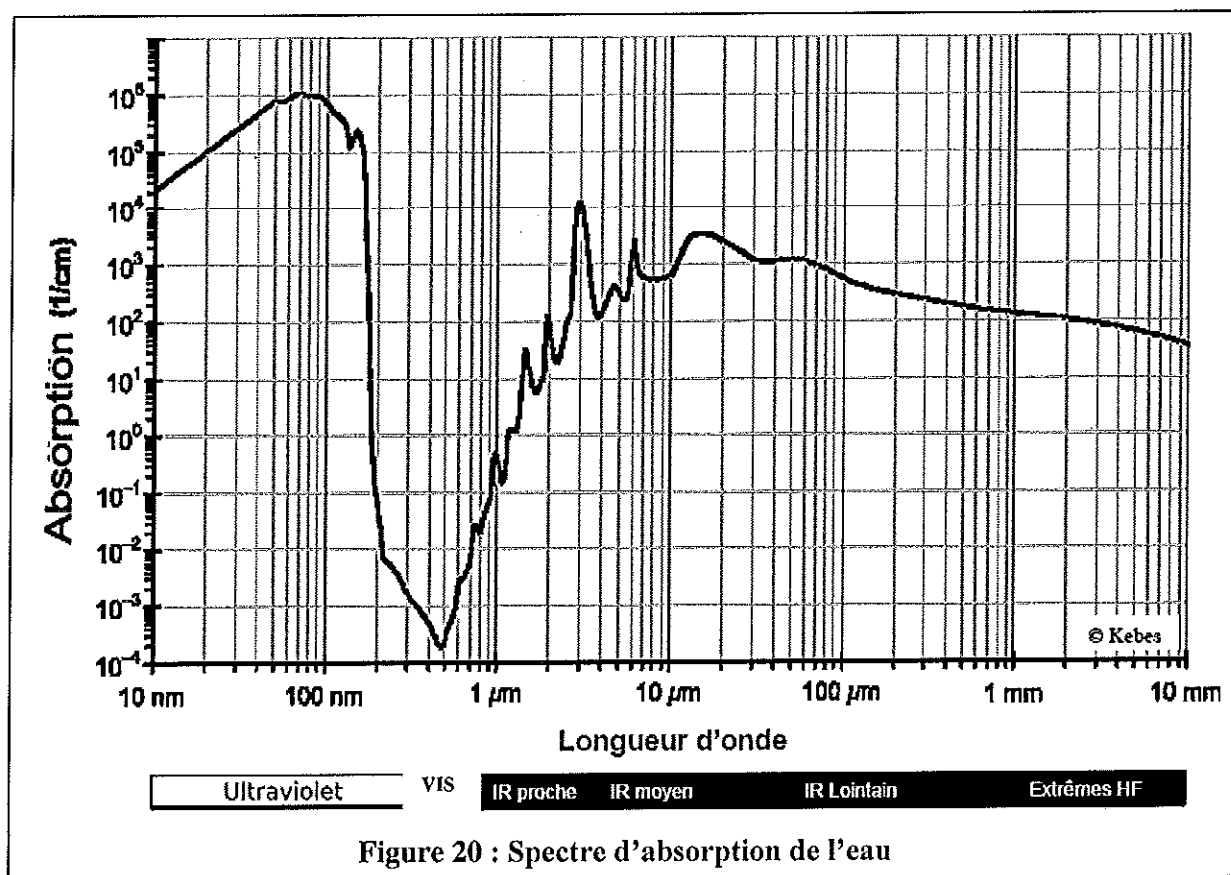


Figure 17 : Comparaison de la saturation pour une durée de 40 min



Conductivité	Métal	Verre	Eau salée	Eau pure	Polymères	Plasma	Air
S.m <sup>-1</sup>	10 <sup>8</sup> - 10 <sup>7</sup>	10 <sup>-8</sup>	5	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-15</sup> - 10 <sup>-17</sup>	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>4</sup>	10 <sup>-14</sup>

**Document 19 : Conductivité électrique de quelques matériaux**



## PARTIE 1 - Généralités sur les fluides et la notion de pression.

Documents et figures 1 à 6

1. Un système fluide monophasé, est décrit comme un système à trois échelles de longueur. Dans le cas d'un liquide et d'un gaz à pression et température ambiante :
  - Citer celles-ci.
  - En s'appuyant sur une situation concrète, donner une valeur numérique caractéristique pour chacune de ces échelles.

2. Afin de modéliser les interactions intermoléculaires, il est parfois fait usage en physique statistique d'un potentiel intermoléculaire  $V(r)$  de type Lennard-Jones :

$$V(r) = E_0 \left( \left( \frac{r_0}{r} \right)^{12} - 2 \left( \frac{r_0}{r} \right)^6 \right)$$

où  $r$  représente la distance intermoléculaire de deux molécules supposées ponctuelles et  $E_0$  une constante positive.

Justifier en quoi ce potentiel permet de modéliser un gaz réel.

3. **QP** Proposer une explication accessible à un élève de terminale S permettant de comprendre l'expression de la densité critique donnée dans l'extrait d'article cité sur le document 4.
4. **QP** En vous aidant éventuellement d'un schéma, décrire en 10 lignes maximum, une expérience de cours destinée à une classe de seconde permettant d'aborder la notion de forces pressantes et de pression due à l'air ambiant.
  - Effectuer en une dizaine de lignes maximum, une interprétation de celle-ci accessible à un élève de seconde.
  - Justifier votre choix.
5. **QP** Déterminer, évaluer ou citer, puis placer sur un axe gradué les pressions suivantes : pression atmosphérique par beau temps, pression de gonflage d'une roue de voiture, pression à la sortie d'une trompe à eau, pression sous 1 m d'eau, pression dans l'œil d'un cyclone, pression exercée sur la neige par une raquette de randonnée, pression exercée par une lame de patin à glace, pression dans une cabine d'avion, pression au centre du Soleil, pression sanguine, pression acoustique, pression de l'ultra-vide, pression du vide interstellaire. **Le candidat a tout intérêt, dans la mesure du possible, à effectuer un raisonnement quantitatif pour chaque pression placée sur l'axe.**
6. En raisonnant sur un élément de volume de fluide homogène de forme parallélépipédique placé dans un champ de pesanteur, établir la relation vectorielle :
$$\overrightarrow{\text{grad}P} = \mu \vec{g}$$
liant, à l'équilibre, le gradient de la pression  $P$  à la masse volumique  $\mu$  du fluide et à l'accélération du champ de pesanteur  $\vec{g}$ .
7. Au sommet de l'Everest et par beau temps, la température est  $\theta_{\text{sommet}}$  et la pression  $P_{\text{sommet}}$ . En s'appuyant sur la figure 1, proposer un modèle quantitatif permettant d'expliquer l'évolution de la pression.
8. Justifier que l'on parle de « la pression » et de « la température » à l'échelle d'une salle de classe.

9. **QP** Commenter la phrase souvent citée : « En plongée on rencontre un bar tous les 10 m. »
10. **QP** On a nommé « pascal » l'unité de pression. Indiquer à quel siècle vécut Blaise Pascal et citer une expérience qu'il a réalisée.
11. Une montagne typique est composée de roches de type silicate de masse volumique  $\rho_{\text{silicate}}$ . Une telle roche ne peut pas supporter une pression supérieure à  $P_{\text{max}}$ . Proposer un modèle permettant d'obtenir un ordre de grandeur pour la hauteur maximale  $h_{\text{max}}$  d'une montagne.
12. **QP** Exposer en une dizaine de lignes, une utilisation, dans le cadre du programme de la classe de seconde générale et technologique, de la situation déclenchante décrite sur le document 5.
- Préciser les objectifs visés.
  - Décrire succinctement les document(s) supplémentaire(s) que vous vous proposez de distribuer aux élèves.
13. **QP** Dans le cadre d'un TPE un groupe d'élèves trouve un protocole déterminant la poussée d'Archimède à l'aide d'une balance. Sans faire appel à la notion de poids apparent et en vous aidant éventuellement d'un schéma, expliquer en une dizaine de lignes comment cette mesure est possible.
14. **QP** Préciser à partir d'arguments accessibles à un élève de lycée laquelle des deux schématisations (A) ou (B) de la figure (6), illustrant la flottaison d'un objet de masse volumique inférieure à celle de l'eau, est correcte.
15. **QP** « Méfiez-vous de l'œuf qui flotte ! »  
Un groupe d'élèves de 5<sup>ème</sup> souhaite présenter au concours C.Génial Collège une tentative d'explication de la « recette de grand-mère » énonçant qu'un œuf périmé flotte alors qu'un œuf frais coule au fond d'un récipient rempli d'eau. Le travail est réalisé dans le cadre d'un atelier scientifique. Proposer des hypothèses et des expériences afin d'étudier cette affirmation.

## **PARTIE 2 : Applications à la plongée sous-marine**

La plongée-loisir est une activité sous-marine (décrite document 7) qui requiert une bonne connaissance de l'évolution de la pression du milieu environnant.

L'océan est supposé isotherme et dans cette partie on considérera le corps du plongeur à la même température que l'eau de mer. Dans les situations étudiées, le plongeur respire de l'air assimilé à un mélange de gaz parfaits, constitué de dioxygène et de diazote, en proportions molaires respectives de 20 % de dioxygène et 80 % de diazote.

### **Accidents mécaniques ou barotraumatismes.**

*Documents et figures 7 à 13*

Ces accidents concernent les espaces aériens du corps humain : sphère ORL, poumons, abdomen.

16. Proposer une explication du mot « barotraumatisme ».

17. Expliquer pourquoi « les espaces aériens » du corps humain, et en particulier la « sphère ORL » (figure (8)), sont vulnérables en plongée sous-marine.

**Un danger souvent méconnu : le placage de masque.**

18. *QP* Les documents 9 et 12 et les figures 10 et 11 sont les éléments constitutifs d'une résolution de problème proposée au Concours Général 2013.
- Proposer une solution au problème proposé par le document 12.
  - Comment modifier l'énoncé (ajout de documents, questions préliminaires...) pour rendre cet exercice accessible à la majorité des élèves d'une classe de Terminale S.

19. Compte-tenu de la valeur de la profondeur obtenue à la question précédente, conseiller vos élèves au sujet de l'usage des lunettes de natation (document 13) afin d'éviter de pareilles déconvenues.

20. Expliquer pourquoi les accidents barotraumatiques mortels concernent majoritairement des plongeurs qui retiennent leur respiration lors de la remontée. Proposer une solution très simple pour les éviter.

21. Dire si ces accidents mortels concernent un plongeur faisant de l'apnée.

**Le problème de la décompression.**

*Documents et figures 14 à 18*

L'accident de décompression est l'accident de plongée le plus connu mais il est tout à fait évitable en suivant les protocoles appropriés.

22. Justifier que la tension de saturation en surface ( $h = 0$ ) vaut :

$$T_{sat}^0 = 0,8 \text{ bar.}$$

23. Proposer une analogie électrique pour la notion de « compartiments ».
24. A l'aide de l'analogie électrique précédente, retrouver l'expression de  $T^h(t)$  proposée sur le document 14.
25. Estimer la durée passée à la profondeur  $h$  à partir de laquelle on peut considérer comme saturé, un compartiment de demi-vie  $\tau$  (appelée « période » dans le texte).

**Protocoles de plongée**

26. Identifier sur la figure 18, en justifiant, quelle zone correspond à une plongée sans palier et celle qui correspond à une plongée avec palier(s).
27. Préciser combien de temps au maximum le plongeur peut rester à une profondeur de 10 m sans avoir à effectuer de palier au cours de la remontée. Citer des causes qui peuvent alors limiter le temps d'immersion.
28. Pour une plongée effectuée à 20 m de profondeur, indiquer, en justifiant, quelles durées d'immersion parmi celles proposées (20, 40, 60 ou 90 minutes), sont acceptables pour pouvoir remonter sans avoir à effectuer de palier. Dans la négative, indiquer les compartiments qui imposent des paliers.
29. Pour une plongée d'une durée de 40 minutes, indiquer les profondeurs auxquelles le plongeur peut rester sans avoir à effectuer de palier lors de la remontée.

30. A l'aide des résultats précédents, proposer une méthode pour obtenir la courbe de sécurité présentée sur la figure 18.

### PARTIE 3 : L'eau, un milieu non familier

Document et figure 19 et 20

#### Le Grand Bleu.

L'interaction « lumière - eau de mer » peut être modélisée par un milieu diélectrique soumis à l'action d'un champ électrique extérieur sinusoïdal  $\vec{E}$  de pulsation  $\omega$ .

31. Une approximation dans la description des diélectriques est appelée « DLHI ». Expliciter cet acronyme et définir chaque adjectif.

32. Citer une caractéristique électrique de l'eau de mer qui pourrait justifier, ou pas, l'hypothèse de modélisation de l'eau de mer par un milieu diélectrique parfait. Argumenter.

La polarisation du milieu est reliée au champ électrique par l'introduction d'une grandeur appelée susceptibilité diélectrique, et dont l'expression complexe dans le cadre d'un modèle simple est donnée ci-dessous :

$$\underline{\chi}_e = \chi_0 \frac{\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2 + i \frac{\omega}{\tau_a}}, \text{ où } i \text{ est tel que } i^2 = -1.$$

Les constantes  $\omega_0$ ,  $\chi_0$ , et  $\tau_a$ , sont des constantes associées au milieu, au type de charges liées excitées par le champ électrique extérieur, ainsi qu'au mode d'excitation.

33. Décrire un exemple de modèle classique associé à une charge liée dans un diélectrique DLHI.

34. Expliciter la condition qui permet de supposer que l'amplitude du champ électrique puisse être uniforme à l'échelle de l'amplitude du mouvement d'une charge liée.

35. Rappeler ce que représentent physiquement  $\omega_0$  et  $\tau_a$ .

36. Représenter et commenter l'allure de  $|\underline{\chi}_e|$ , module de  $\underline{\chi}_e$ , en fonction de  $\omega$ .

37. Exprimer le facteur de qualité  $Q$  en fonction de  $\omega_0$  et  $\tau_a$ . Calculer  $Q$  pour le mode électronique. Commenter.

L'expression complexe de  $\underline{\chi}_e$  s'écrit aussi :  $\underline{\chi}_e = \chi_e' + i\chi_e''$

$$\text{avec : } \chi_e' = \chi_0 \frac{\omega_0^2(\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \left(\frac{\omega}{\tau_a}\right)^2} \quad \text{et} \quad \chi_e'' = -\chi_0 \frac{\omega_0^2 \frac{\omega}{\tau_a}}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \left(\frac{\omega}{\tau_a}\right)^2}$$



On définit pour un tel milieu l'indice complexe  $\underline{n}$  par :  $\underline{n}^2 = \underline{\varepsilon}_r = I + \underline{\chi}_e = \varepsilon_r' + i\varepsilon_r''$ .

38. Interpréter physiquement les parties réelle et imaginaire de l'indice complexe  $\underline{n}$ .

39. Discuter les propriétés électromagnétiques d'un milieu d'indice  $\underline{n}$  en fonction de la fréquence. Interpréter en terme de transparence vis-à-vis des ondes électromagnétiques les qualités du milieu d'indice  $\underline{n}$ .

La figure 20 représente le spectre d'absorption (exprimée en  $\text{cm}^{-1}$ ) de l'eau liquide.

40. Justifier quantitativement qu'à grande profondeur seul le « rayonnement bleu », de longueur d'onde caractéristique  $\lambda_{\text{bleu}}$ , pénètre.

### Ondes acoustiques en milieu marin.

L'eau est considérée ici comme un milieu fluide suffisamment compressible pour que lui soit associé un coefficient de compressibilité isentropique  $\chi_s$  défini par :

$$\chi_s = \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial \mu}{\partial P} \right)_s ; \mu \text{ est la masse volumique, } P \text{ la pression.}$$

41. Justifier l'hypothèse d'une « transformation isentropique » dans le cas de la propagation d'une onde sonore.

On considère une onde sonore se propageant dans un milieu fluide. On néglige les effets de la viscosité et de la pesanteur. En l'absence de l'onde, la masse volumique du milieu vaut  $\mu_0$ , la pression locale  $P_0$ , et le fluide est au repos par rapport au référentiel terrestre supposé galiléen.

Lors du passage de l'onde, le fluide subit une petite perturbation qui modifie localement la masse volumique, la pression et la vitesse  $\vec{v}$  d'une particule mésoscopique de façon suivante :

$$\mu(\vec{r}, t) = \mu_0 + \mu_1(\vec{r}, t) ; \quad P(\vec{r}, t) = P_0 + P_1(\vec{r}, t) ; \quad \vec{v}(\vec{r}, t) = \vec{v}_1(\vec{r}, t).$$

Les grandeurs scalaires ou vectorielles d'indice 1 sont des infiniment petits du premier ordre.

42. Rappeler les hypothèses de « l'approximation acoustique ».

On rappelle l'équation locale de la conservation de la masse obtenue en mécanique des fluides :

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} + \text{div}(\mu \vec{v}) = 0.$$

43. Justifier en quoi cette équation traduit la conservation de la masse.

44. Par analogie avec l'équation locale traduisant la conservation de la masse, écrire deux autres équations locales de conservation rencontrées dans d'autres domaines et préciser pour chacune d'elles sa signification physique.

On rappelle l'équation d'Euler obtenue en mécanique des fluides :

$$\mu \left( \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}) \vec{v} \right) = -\overrightarrow{\text{grad}} P.$$

45. Expliciter ce que traduit cette équation.

46. Rappeler les hypothèses liées à sa validité.

47. En utilisant l'approximation acoustique, linéariser les deux équations ci-dessus ainsi que l'expression de  $\chi_s$ .
48. Établir l'équation aux dérivées partielles vérifiée par la surpression  $P_1(\vec{r}, t)$ .
49. En déduire l'expression de la célérité  $c$  de l'onde en fonction de  $\mu_0$  et  $\chi_s$ .
50. Comparer les valeurs des célérités du son dans l'air  $c_a$ , et dans l'eau,  $c_e$ .

#### Etude de la transmission d'un son à travers le dioptre air-eau.

On considère une onde acoustique *sonore*, plane de fréquence  $\nu$  se propageant dans l'air et arrivant perpendiculairement sur un plan d'eau supposé parfaitement plan.

Chaque milieu, l'air et l'eau, est caractérisé par une impédance acoustique  $Z$ , avec  $Z = \mu_0 c$ ,  $\mu_0$  et  $c$  étant respectivement la masse volumique du milieu au repos et la célérité du son dans ce milieu. On note avec l'indice « a » les grandeurs relatives à l'air, et avec l'indice « e » celles relatives à l'eau.

Les coefficients de réflexion  $R_{ps}$  et de transmission  $T_{ps}$  en puissance représentent la fraction de puissance sonore réfléchie et transmise à l'interface de deux milieux.

Leurs expressions en fonction des impédances de chaque milieu  $Z_a$  et  $Z_e$  sont :

$$R_{ps} = \left( \frac{Z_e - Z_a}{Z_e + Z_a} \right)^2 \quad \text{et} \quad T_{ps} = \frac{4Z_e Z_a}{(Z_e + Z_a)^2}$$

51. Conclure sur la conservation de l'énergie acoustique lors de la transmission d'une onde acoustique lors de la traversée d'un dioptre « eau-air ».
52. Donner la signification de l'expression « adapter les impédances » et la condition que doivent remplir les impédances respectives des deux milieux pour qu'il en soit ainsi.
53. Citer un exemple où cette adaptation est recherchée.

On définit l'indice acoustique  $n_{ac}$  par :

$$n_{ac} = \frac{c_a}{c_e}$$

54. Évaluer l'indice acoustique  $n_{ac}$ .
55. Pour une onde acoustique, expliquer à l'aide d'un schéma si le phénomène de réflexion totale s'observe pour un sens de propagation allant de l'air vers l'eau ou de l'eau vers l'air.
56. Est-il efficace de rappeler des plongeurs en sifflant ou en agitant une cloche depuis le pont d'un bateau ? Pourquoi ? Proposer une meilleure méthode.

#### Protection thermique

Un plongeur (sans combinaison) dont la température interne est initialement  $\theta_p$  se déplace dans de l'eau à la température  $\theta_e$  supposée uniforme et constante.

57. Décrire en quelques lignes les processus possibles de transfert thermique entre le corps du plongeur et le milieu environnant.

58. Donner sans calculs, mais en justifiant, la température du plongeur au bout d'un temps suffisamment long dans le cas où il n'y a aucune source interne d'énergie.

Pour maintenir sa température interne, le corps humain produit une puissance thermique  $P_{th}$  supposée constante. Les échanges entre la surface extérieure de la peau et le milieu fluide environnant, de température constante et uniforme  $T_e$ , sont modélisés par un flux thermique  $\Phi_{p \rightarrow e}$  vérifiant une loi de la forme :

$$\Phi_{p \rightarrow e} = -K(T_e - T),$$

où  $K$  est un paramètre caractéristique,  $T$  la température absolue du plongeur, variable, et  $T_e$  la température absolue du milieu extérieur.

59. Justifier que  $K$  s'appelle la « conductance thermique » du système.

La conductance thermique du plongeur sans combinaison est notée  $K_p$ .

60. Établir, en justifiant toutes les étapes, l'équation différentielle de l'évolution temporelle de la température  $T$  du plongeur supposée uniforme dans tout son corps.

On introduira  $c_p$  la capacité thermique massique du plongeur et  $m_p$  sa masse.

61. En déduire l'évolution temporelle  $T(t)$  de la température du corps du plongeur.

62. Exprimer la constante de temps  $\tau_{th}$  du phénomène et la calculer. Commenter le résultat.

63. Montrer que la température limite  $T_{lim}$  atteinte par le corps est donnée par :  $T_{lim} = T_e + \frac{P_{th}}{K_p}$

La calculer numériquement pour une mer tempérée et une mer tropicale (voir données numériques).

Lorsque la température interne du plongeur atteint  $\theta_{hyp}$ , l'hypothermie peut devenir fatale. Le plongeur utilise donc une combinaison, caractérisée par une conductance  $K_{comb}$ , qui modifie la constante  $K_p$  en  $K'$ .

64. Justifier, en s'aidant éventuellement d'une analogie électrique, que  $K'$  est telle que :

$$\frac{1}{K'} = \frac{1}{K_p} + \frac{1}{K_{comb}}$$

65. Expliquer l'impact de la combinaison sur la constante de temps  $\tau_{th}$  et la température  $T_{lim}$ .

66. Commenter la pertinence du port d'une combinaison en eau tropicale, du point de vue du risque d'hypothermie.

Les combinaisons de plongée couramment utilisées pour des températures d'eau de mer tempérées ou tropicales, sont constituées à base de néoprène poreux d'épaisseur  $x$  (3 mm, 5 mm, ou 7 mm) dont on peut modéliser la conductance  $K_{comb}$  par une loi du type :

$$K_{comb} = ax^{-1}$$

67. Choisir, en argumentant, parmi les trois valeurs proposées, l'épaisseur minimale  $x$  qui évite l'hypothermie dans une mer tempérée.

68. Citer une autre raison pour laquelle il est recommandé de porter une combinaison pour pratiquer la plongée sous-marine, cela quelle que soit la température de l'eau.

Autour de la plongée sous-marine  
Correction

## 1 Généralités sur les fluides et la notion de pression

### • Question 1 : Les 3 échelles d'étude d'un fluide

\* Description des 3 échelles :

\* *Echelle microscopique*  $\ell$

Echelle des distances intermoléculaires (phase condensée) ou libre parcours moyen (gaz)

\* *Echelle macroscopique*  $L$

Echelle du récipient ou de la dimension caractéristique du phénomène.

\* *Echelle mésoscopique*  $l$

Echelle de la "particule de fluide", échelle intermédiaire :  $\ell \ll l \ll L$

Le volume de fluide qui caractérise cette échelle, ou "particule de fluide", doit être suffisamment grand pour contenir assez de molécules (on peut y faire des moyennes) et le faire apparaître comme un milieu continu. Il est en revanche suffisamment petit pour que les paramètres intensifs y soit uniformes (fluctuations insignifiantes).

\* Ordres de grandeurs :

La différence provient surtout du fait qu'on étudie une phase condensée ou non.

\* Echelle macroscopique : Notre échelle  $\Rightarrow L \sim 1m$

\* Echelle microscopique :  $\ell$  dépend du fait qu'une phase est condensée ou non.

*Exemple d'un liquide* : Taille de la molécule d'eau  $\sim 0,1nm \Rightarrow$

Microscopique  $\ell \sim$  taille des molécules, soit  $\ell \sim nm$

$\Rightarrow$  Mésoscopique  $l \sim \mu m$

*Exemple d'un gaz comme l'air ambiant* : Le rapport des masses volumiques ou des densités est de  $\sim 1000$ , ce qui suppose le  $\ell$  au moins 10 fois plus grand que pour une phase condensée.

Microscopique  $\ell \sim 1 - 10nm$

$\Rightarrow$  Mésoscopique  $l \sim 100\mu m$

Echelle	Microscopique $\ell$	Mésoscopique $l$
Liquide	$\ell \sim 0,1 - 1 nm$	$l \sim 1\mu m$
Gaz air ambiant	$\ell \sim 1 - 10 nm$	$l \sim 10\mu m$

### • Question 2 : Potentiel de Lennard-Jones

Par rapport au modèle du gaz parfait, le gaz réel n'est pas constitué de particules strictement ponctuelles et ces particules interagissent entre elles.

Le potentiel de Lennard-Jones prend en compte ces limitations : interactions intermoléculaires et non ponctualité.

- Terme attractif en  $r^{-6}$  de type van des Waals (interactions dipolaires électrostatiques)

$\Rightarrow$  La pression plus faible que pour un gaz parfait.

- Terme répulsif en  $r^{-12}$  dû à l'impossibilité pour les nuages électroniques de se pénétrer

$\Rightarrow$  Il existe un volume propre pour la particule de gaz : volume à disposition  $<$  volume du récipient.

Ce potentiel permet de rendre compte de l'équation empirique pour n moles de gaz de van der Waals :

$$(p + \frac{n^2 a}{V^2})(V + nb) = nRT$$

### • QP Question 3 : Expression de densité critique

#### Résolution

Il faut chercher si le problème se traite dans le monde quantique ou classique, c'est à dire voir comparer la longueur caractéristique du phénomène, à savoir la distance inter-atomique, à la longueur d'onde de de Broglie  $\lambda$  ou à l'extension du paquet d'onde.

$\lambda = \frac{h}{p}$  ; avec p quantité de mouvement que l'on peut écrire :  $p = \sqrt{2mE_c}$  avec  $E_c$  l'énergie cinétique :  $E_c = \frac{3}{2}k_B T$

Par suite :  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m\frac{3}{2}k_B T}}$  Soit :  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{3mk_B T}}$

---

Une densité  $n$  est inversement proportionnelle au volume, donc à une longueur au cube.

$$\Rightarrow \text{Pour une densité quantique : } n \sim \frac{1}{\lambda^3} = \left( \frac{\sqrt{3mk_B T}}{\hbar} \right)^3$$

On retrouve une forme proche de la valeur donnée dans le texte, c'est à dire :  $n \propto \frac{(mk_B T)^{3/2}}{\hbar^3}$

L'expression proposée dans le document 4 appartient bien au monde quantique

### Eléments de réflexion pédagogique

*La problématique est typique de celle rencontrée en TPE pour un professeur de lycée.*

*\(\Rightarrow\) Cette question s'aborde comme une résolution de problème, en la mettant à la portée d'un élève de Terminale S.*

*Pour la mise en oeuvre de la démarche, sont évalués les items suivants :*

✓ Identifier les longueurs caractéristiques du problème, à savoir la longueur d'onde de de Broglie, ou l'extension du paquet d'onde, et la distance intermoléculaire moyenne.

✓ Faire l'hypothèse que pour qu'il y ait un effet quantique (par opposition au modèle du gaz parfait classique), il faudrait qu'il y ait au moins superposition du paquet d'onde de de Broglie d'une particule avec celui de sa voisine.

\(\Rightarrow\) A priori plus les paquets d'onde sont superposés, plus l'effet est grand.

✓ Faire éventuellement la différence entre bosons et fermions.

✓ Identifier clairement les difficultés pour un élève de Terminale S :

- Évaluation de la distance inter atomique par son lien avec la densité de particule.

\(\Rightarrow\) Si  $d$  est la distance moyenne, la densité est en  $1/d^3$ .

- A densité constante faire l'hypothèse que si on veut plus de recouvrement on attend que la longueur de de Broglie augmente quand  $T$  diminue.

- Une fois l'expression littérale de la longueur d'onde de de Broglie en fonction de  $T$  donnée, mentionner la difficulté pour un élève de Terminale S à faire « parler » la formule.

- Interférences si recouvrement des paquets d'ondes associées aux particules. Donc lier  $d$  avec la longueur d'onde de de Broglie.

- Le lien entre  $T$  et agitation thermique est connu qualitativement dès le collège.

En revanche, l'expression pour  $E_c$  en fonction de  $T$  est à donner.

### • QP Question 4 : Expérience sur la notion de pression

*Toute expérience permettant une interprétation simple par les élèves*

*Expériences envisageables :*

• Expérience démonstrative

• La cannette de soda

Une canette vide est remplie avec un fond d'eau portée à ébullition puis brusquement retournée et trempée la tête dans de l'eau au sein d'un cristalliseur.

• Le gant de caoutchouc ou le paquet de chips

Un gant de latex (du type utilisé en chimie) et noué, placé sous la cloche à vide, ou un paquet de chips dans une sac à dos en montagne. Tous deux se gonflent lorsque la pression extérieure diminue ; et inversement.

*Le candidat doit analyser sa pratique à travers de l'expérience qu'il propose afin d'aborder la notion de force pressante et de pression.*

*Pour la mise en oeuvre de la démarche, sont évalués les items suivants :*

\* Description de l'expérience

✓ Utilisation d'un schéma clair et d'un discours adapté à des élèves de seconde.

✓ Prise de précautions afin d'éviter ou de dissiper des éventuels malentendus du fait de la polysémie des mots.

\* Interprétation de l'expérience

✓ Expliquer en quoi l'expérience aide les élèves à surmonter les difficultés précédemment explicitées.

✓ Pertinence des questions posées aux élèves.

\* Justification du choix de l'expérience

- 
- ✓ Caractère réaliste de l'expérience proposée c'est-à-dire réalisable avec du matériel de lycée ou de collège avec un respect des conditions de sécurité.
  - ✓ Efficacité au sens où l'expérience proposée et les modalités de sa mise en oeuvre apportent une réelle plus-value par rapport à l'objectif initial.

- **QP Question 5 : Comparaison de pressions**

*Certaines valeurs sont connues, d'autres demandent un petit raisonnement par ordre de grandeur.*

- **Pression atmosphérique : 1 bar**  
Résultat connu pour la pression atmosphérique.
- **Pression roue de voiture : 2 bars < p < 3 bars.**  
Ce qui s'affiche à la station de gonflage est la surpression !
- **Pression dans un pneu de vélo : 5 < P < 8 bars**  
Le résultat est connu des cyclistes.  
Sinon un rapide ordre de grandeur :  $p \sim \frac{\text{masse du cycliste + vélo}}{\text{surface de contact des pneus}} \sim \frac{75 \text{ kg}}{10 \text{ cm}^2} \sim 7,5 \text{ bar}$   
⇒ Soit de l'ordre de 10 % de la masse du cycliste.
- **Pression à la sortie d'une trompe à eau : quelques % de  $P_{atm}$ , soit quelques 10-20 hPa.**  
Résultat connu ou appréhension avec le théorème de Bernoulli.  
*En fait, la trompe à eau permet d'atteindre la pression de vapeur saturante de l'eau à la température ambiante.*
- **Pression sous 1 m d'eau : 1,1 bar**  
Ce résultat est immédiat avec la loi de l'hydrostatique.
- **Pression dans une cabine d'avion :  $P \sim 0,8 \text{ bar}$**   
Pression équivalente à des altitudes comprises entre 2000 et 2400 m.  
Connu ... ou déductible qualitativement.
- **Pression dans l'œil d'un cyclone : Les plus violents sont autour de 0,9 bar**  
*Raisonnement qualitatif :*  
\* A partir de la vitesse des vents :  
Le théorème de Bernoulli appliqué à l'air, pour des vents de 200 km/h :  
$$\Delta P \sim \rho v^2 / 2 = 1,2 \left( \frac{200 \cdot 10^3}{3600} \right)^2 \sim 3 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$
  
\* A partir de la hauteur de la montée d'eau et de la taille de l'œil  
Dimension du cyclone typique de l'ordre de 30 km et hauteur de montée de l'eau autour de 5 m.  
La dépression est responsable de la montée des eaux, soit :  $h \rho g = \Delta P$   
Soit une dépression de l'ordre de  $5 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ .
- **Pression sous raquette de randonnée : A estimer**  
$$P = \frac{\text{Force}}{\text{Surface}}$$
 Pour une personne de 70 kg, surface  $S = 0,1 \times 0,3$   
On estime :  $P \sim \left( \frac{70 \times 10}{0,1 \times 0,3} \right) = 0,2 \text{ bar}$
- **Pression sous lame de patin à glace : A estimer**  
Surface  $0,2 \times 0,002 \Rightarrow P \sim 20 \text{ bar}$
- **Pression sous un talon aiguille : A estimer**  
Surface  $(0,01)^2$ , mais 50 % du poids  $\Rightarrow P \sim 35 \text{ bar}$
- **Pression ultra-vide : de l'ordre de  $10^{-10} \text{ Pa}$**   
Connu.
- **Pression au centre du Soleil :  $\sim 10^{15} \text{ Pa}$**   
Connus : la masse du soleil  $M_S = 10^{30} \text{ kg}$  et son rayon  $R_S = 700000 \text{ km}$ .

Modèle de statique des fluides, mais avec le champ gravitationnel au lieu du champ de pesanteur :

$$\frac{dP}{dr} = -GM(r)\frac{\rho(r)}{r^2}. \text{ On calcule : } P(r) = (2\pi\rho^2/3)R_S^2(1 - \rho^2/R_S^2)$$

Donc au centre du Soleil :  $P_c = (2\pi\rho^2/3)R_S^2$  ; avec :  $\rho = \frac{3M}{4\pi R^3}$

Température d'allumage des réactions thermonucléaires  $T \sim 10^7 \text{ K}$

Hypothèse du gaz parfait :  $P = \frac{nR}{TV}$  ; puis  $n/V = M_S/M_H \times (4/3\pi R^3)^{-1}$

- Pression sanguine : 10-15 exprimée en cm de mercure, soit  $\sim 0,2 \text{ bar}$   
Connu

- Pression du vide interstellaire : 1 particule par  $cm^3$   
Connu... et on en déduit :  $P \sim 10^{-15} \text{ Pa}$

- Question 6 : Champ de pressions

On considère un parallélépipède de dimensions mésoscopiques ( $dx, dy, dz$ ), au sein d'un fluide.

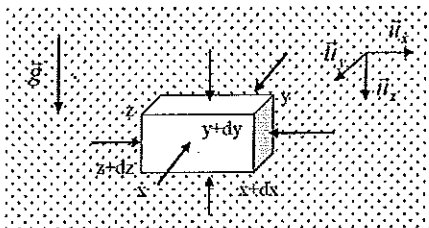
On étudie son équilibre dans le référentiel du laboratoire considéré comme galiléen.

Les seules forces qui s'exercent sont le poids et la résultante des forces de pression qui s'exercent sur ses 6 faces.

**Poids du parallélépipède**

L'échelle étant mésoscopique, la masse volumique  $\mu$  est uniforme sur le volume  $d\tau = dx.dy.dz$

Ainsi pour le poids :  $d\vec{P} = \mu \vec{g} d\tau$ . Il s'exerce au centre d'inertie du volume.



**Résultante des forces de pression**

Evaluons la résultante des forces de pression qui s'exercent sur chacune des 6 faces.

La force pressante s'exerçant sur une face de surface donnée s'exprime en fonction de la pression qui est un scalaire.

Elle est localement uniforme sur la surface d'échelle mésoscopique et est dirigée vers cette surface.

Pour les faces de surface  $dy.dz$  placées respectivement en  $x$  et  $x + dx$  les forces pressantes correspondantes sont :

$$d\vec{F}_x = P(x).dy.dz \vec{u}_x \text{ et } d\vec{F}_{x+dx} = -P(x+dx).dy.dz \vec{u}_x$$

D'où la résultante sur  $du_x$  :  $d\vec{F}_x = (P(x) - P(x+dx)).dy.dz \vec{u}_x = -\frac{\partial P}{\partial x} dx.dy.dz \vec{u}_x$

En procédant de même sur les 2 autres directions on obtient :  $d\vec{F}_P = -gradP.d\tau$

Remarque : Le résultat est indépendant du trièdre  $(\vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$  choisi.

Ainsi, l'équilibre se traduit pas :  $-\vec{grad}P.d\tau + \mu \vec{g} d\tau = \vec{0}$  ;

D'où l'expression demandée :  $gradP = \mu \vec{g}$

- Question 7 : Analyse d'un profil de pression

On cherche à rendre compte des valeurs observées au sommet de l'Everest pour la température et la pression.

Bien souvent pour exprimer  $P(z)$ ,  $z$  étant l'altitude, on utilise le modèle de l'atmosphère isotherme.

⇒ La figure 1 montre clairement que ce modèle ne s'applique pas.

Il faut choisir un modèle linéaire pour  $T(z)$  :  $T(z) = az$

**Loi T(z)**

Déterminons "a", le coefficient directeur de la droite  $T(z)$  entre les altitudes 0 et 10 km.

On lit figure 1 :  $T=223 \text{ K}$  pour  $z=10 \text{ km}$ , et  $T=288 \text{ K}$  pour  $0 \text{ km}$  ⇒  $a = \frac{223 - 288}{10} = -6,5 \text{ K.km}^{-1}$

Modèle pour calculer  $P(z)$

On suppose que l'air est un gaz parfait. On applique la loi de la statique des fluides exprimée à la question 6, en se plaçant dans le référentiel terrestre supposé galiléen, en tenant compte du fait que  $\mu$  n'est plus uniforme.

$$\vec{\text{grad}}P = \mu \vec{g}; \text{ avec } \mu = \frac{PM}{RT} = \frac{PM}{aRz}$$

$$\text{Par suite : } \vec{\text{grad}}P = \frac{PM}{aRz} \vec{g}$$

$$\text{En projection sur l'axe des } z \text{ ascendants : } \frac{\partial P}{\partial z} = -\frac{PM}{aRz}g; \text{ Ce qui donne : } \frac{dP}{P} = -\frac{Mg}{aR} \frac{dz}{z}$$

$$\text{En intégrant : } \ln P = -\frac{Mg}{aR} \ln z + K; K \text{ étant une constante.}$$

La constante K se détermine par les conditions au sommet à  $z = z_e, P = P_e$ ;

$$\text{Soit : } z_e = \frac{233 - 288}{-6,5} = 8,46 \text{ km}$$

$$\text{Ainsi : } \ln P_e + \frac{Mg}{aR} \ln z_e = K$$

$$\text{Par suite : } \ln \frac{P}{P_e} = -\frac{Mg}{aR} \ln \frac{z}{z_e}$$

#### Analyse

Le coefficient directeur donne une altitude pour l'Everest très approximative.  
Il faudrait de meilleures données pour affiner le modèle.

#### • Question 8 : Dans une salle de classe

En supposant l'air isotherme dans la pièce (hypothèse facilement vérifiable), T est constante.  
Evaluons  $\Delta P$  entre le sol et le plafond en utilisant le modèle de l'atmosphère isotherme.

$$\text{Comme précédemment : } \mu = \frac{PM}{RT}; \text{ En intégrant on retrouve la loi de variation : } P = P_0 \exp -\frac{Mgh}{RT}$$

$$\text{Sur une petite hauteur : } \exp -\frac{Mgh}{RT} \sim -\frac{Mgh}{RT}$$

Cela revient à remarquer que la masse volumique de l'air est quasi-uniforme sur l'échelle de hauteur considérée ( $\ll 1$  km).

$$\text{Ainsi, en appliquant la loi de la statique des fluides : } \Delta P = P_0 \frac{Mg}{RT} h$$

$$\text{Ordre de grandeur : } \Delta P \sim 10^5 \frac{29 \cdot 10^{-3} \times 10}{8,31 \times 300} \times 3 \sim 30 \text{ Pa}$$

$$\text{Soit une variation relative de } \Delta P/P \sim 3 \cdot 10^{-4}$$

La variation de P sur 3 m de haut, voire davantage donne une variation de  $\Delta P$  imperceptible.

#### • QP Question 9 : Variation de P sur 10 m d'eau

On connaît la loi de l'hydrostatique :  $P - P_{atm} = \mu_{eau}gh$

L'ordre de grandeur de  $\mu_{eau}gh$  pour  $h = 10$  m est :  $10^3 \times 10 \times 10 = 10^5$  Pa.

Donc sur une hauteur d'eau de 10 m la pression augmente d'un bar; d'où la citation.

#### • QP Question 10 : Blaise Pascal

Blaise Pascal a vécu au 17<sup>ième</sup> siècle (1623 -1662)

Outre des apports en mathématiques, Blaise Pascal a contribué à de nombreux travaux en physique, souvent à partir d'expériences restées historiques.

*Citons par exemple :*

- Expériences au Puy de Dôme qui ont prouvé l'existence de la pression atmosphérique.
- L'expérience du tonneau de Pascal qui illustre la pression hydrostatique.
- Quelques réalisations technologiques comme la presse hydraulique ou les systèmes d'assèchement du Marais Poitevin.

#### • Question 11 : Hauteur d'une montagne

Un premier ordre de grandeur peut être obtenu directement en utilisant la loi de la statique des fluides appliquée au fluide "masse rocheuse" :  $P_{max} - P_{atm} = \rho_{silicate} \cdot g \cdot h_{max}$



---

Ce qui donne :  $h_{max} = \frac{P_{max} - P_{atm}}{\rho_{silicate} \cdot g}$ .

AN : soit  $h_{max} = \frac{(6,5 \cdot 10^3 - 1)10^5}{2,5 \cdot 10^3 \times 10}$ . Soit :  $h_{max} = 26 \text{ km}$

Remarque : Sur Terre la montagne la plus haute ( $\sim 10 \text{ km}$ ) est inférieure à cette hauteur.

• **QP Question 12 : Exploration abyssale**

On attend non pas la réponse à l'exercice, mais l'exposé de l'utilisation - ou pas - du document en classe de seconde générale et technologique.

Les choix exposés doivent-être justifiés de façon claire.

Citation des objectifs :

- ✓ Enoncer et préciser les objectifs (qui sont des capacités) attendus au regard du BO de la classe de seconde :  
« Savoir que la différence de pression entre deux points d'un liquide dépend de la différence de profondeur ».
- ✓ Préciser s'il est adopté, ou pas, une démarche d'investigation de nature expérimentale.
  - Si c'est le cas, mentionner aussi la capacité :  
« Pratiquer une démarche expérimentale pour établir un modèle à partir d'une série de mesures ».
  - Si ce n'est pas le cas, expliquer la raison du rejet.
- ✓ Critique du texte pour une utilisation, ou pas, comme situation déclenchante (ou situation de contextualisation) d'une activité de résolution de problème en séance d'activité expérimentale afin de déterminer l'évolution de la pression en fonction de la profondeur.

Pertinence de la situation déclenchante :

Faire - ou pas - des aménagements pertinents au regard des objectifs visés.

- ✓ Mentionner la nécessité d'expliquer les mots comme "abysses", "plaine abyssale", "fosse des Mariannes", de façon à ce que les élèves aient bien compris de quoi on parle.
- ✓ Mentionner une liste de prérequis et/ou une évaluation diagnostique afin de s'assurer que les élèves aient bien compris ceux-ci.
- ✓ Choisir de distribuer des documents supplémentaires pertinent au regard des objectifs et /ou des difficultés des élèves auxquels on s'attend à ce que les élèves éprouvent.
- ✓ Mentionner éventuellement un lien avec d'autres disciplines : SVT, Histoire-Géographie.  
*Exemple de documents possibles* : carte situant la fosse des Mariannes, document définissant une fosse abyssale, une mention en rapport avec le programme des SVT sur l'étude de la tectonique, une notice d'un ou plusieurs appareils utilisés lors de la prise des mesures, une liste de matériel, une grille de compétences de façon à ce que l'élève s'auto-évalue.
- ✓ Description d'un scénario permettant aux élèves d'exprimer et de confronter à la réalité leurs représentations initiales
- ✓ On peut commencer à décrire une séance expérimentale avec une élaboration et réalisation d'un protocole consistant à étudier la variation de l'évolution de la pression au sein d'un fluide dans une éprouvette graduée d'une cinquantaine de centimètres de hauteur.  
Or dans le texte on parle de variation de profondeur de 60 m.
- ✓ Mentionner l'hypothèse d'une extrapolation valable.
- ✓ Expliciter cette hypothèse aux élèves, la discuter.

Pertinence et authenticité des documents proposés

- ✓ L'utilisation ou pas du texte doit être explicite et pertinente au regard des arguments avancés.
- ✓ La description de l'activité doit être faite au regard des objectifs visés.

• **QP Question 13; Poussée d'Archimède**

- ✓ Explication aux élèves qu'une balance est un dynamomètre :  
Mention qu'une balance est un dynamomètre à partir de l'indication duquel on affiche la masse.
- ✓ Pesée du bécher avec l'eau : lecture première inscription, de la masse du système (eau + bécher) que la balance a déterminée à partir du poids du système (eau + bécher). On tare la balance puisqu'on s'intéresse à la poussée d'Archimède.

- 
- ✓ Pesée du bécher dans lequel on immerge la masse sans qu'elle touche le fond. La balance indique alors la valeur de la masse dont le poids correspond à la poussée d'Archimède exercée sur l'eau sur l'objet immergé.
  - ✓ Justification de la lecture à l'aide troisième loi de Newton et schéma ou diagramme objet-interaction sur le système (eau-balance) du fait que la balance affiche une valeur quand on immerge l'objet dans l'eau.
  - ✓ Justification du choix pertinent du système pour application 3ème loi de Newton

La mesure du volume de l'objet permet d'identifier le poids du volume d'eau déplacé avec la valeur de la poussée d'Archimède précédemment déterminée.

- **QP Question 14 : Flottaison**

On étudie la flottaison d'un corps dont la masse volumique est inférieure à celle de l'eau.  
Le schéma B est la solution attendue.

La situation réponse correspond à celle d'un corps en situation d'équilibre.

Les actions s'appliquant sur celui-ci consistent en la poussée d'Archimède, inconnue des élèves de lycée, et le poids connu dès la troisième.

Questionnement au sujet de la stabilité vis-à-vis d'un déplacement - comme une rotation - par rapport à la situation d'équilibre, sachant que les élèves ne connaissent pas la notion de moment d'une force.

Énoncer le théorème d'Archimède, l'appliquer sur la partie immergée dans l'eau et mentionner que la poussée d'Archimède sur la partie immergée dans l'air est négligée devant celle s'appliquant sur la partie immergée dans l'eau (rapport des masses volumiques). Préciser clairement les points d'application du poids ainsi que de la poussée d'Archimède.

Représenter les forces sur un schéma clair permettant de montrer la stabilité de façon qualitative vis-à-vis du roulis (à définir).

Conclure que si le centre de gravité est placé en dessous du centre de poussée l'objet « flotte » de façon stable vis-à-vis du roulis.

⇒ Faire remarquer l'utilité de la quille d'un bateau.

- **QP Question 15 : L'œuf qui flotte**

On suppose que si l'uf s'est mis à flotter, on a deux possibilités :

1ère hypothèse :

La masse de l'œuf diminue, le volume restant constant.

La poussée d'Archimède étant constante, le poids diminuant l'œuf remonte.

2ème hypothèse :

La masse de l'œuf reste constante mais le volume augmente

Le professeur ne change qu'un seul paramètre à la fois et est cohérent dans sa démarche, et la façon dont il la met en oeuvre avec les élèves.

## 2 Applications à la plongée sous-marine

### 2.1 Accidents mécaniques

- **Question 16 : Barotraumatismes**

La définition est lue dans le doc 7 :

Traumatisme dû aux variations de volume gazeux engendré par les variations de pression au cours de la plongée.

- **Question 17 : Espaces aériens vulnérables**

La sphère ORL, mais aussi l'abdomen et surtout les poumons, sont des espaces occupés par des gaz, donc très facilement déformables. Ces espaces sont compressibles à la descente et dilatables à la remontée, d'où des traumatismes possibles lorsque l'on atteint la limite d'élasticité ou de déformation.

---

Ce type d'accident intervient a priori à la descente comme à la remontée mais se manifeste différemment selon les organes.

Concernant la sphère ORL, on sait qu'il faut souffler pour rééquilibrer les oreilles à la descente. Lors de la remontée le rééquilibrage se fait spontanément, sans manœuvre volontaire.

• **Question 18 : Placage de masque**

\* **Solution du problème**

Calculons la pression extérieure pour que le masque ait perdu 1/3 de son volume, puis pour que la dépression entre l'intérieur et l'extérieur vaille 0,4 bar.

En supposant la température de l'eau constante et uniforme, la loi de Boyle-Mariotte s'applique :  $PV=Cte$ .

Si V diminue de 1/3, alors P augmente ;  $P_0V_0 = P'V' = P'V_0(1 - 1/3) = P'V_02/3$

Donc :  $P' = P_03/2$

Par suite  $P_{ext} = 1,5 \text{ bar}$

Il faut ensuite rajouté 0,4 bar de dépression supportable.

⇒ Lorsque ce barotraumatisme apparait, la pression extérieure vaut 1,9 bar.

Pour de l'eau de masse volumique 1kg/L, la profondeur est de 9 m.

\* **Activité en TS**

✓ Situer l'activité de façon cohérente avec la réforme du lycée.

Ex : Activités d'approfondissement en Accompagnement Personnalisé de Tle S en vue de « préparer » le Concours Général ou alors en TPE de 1ère S.

Un traitement en Seconde Générale semble peu crédible.

✓ Faire référence de façon explicite à des capacités et/ou des compétences travaillées. Ex : S'approprier, analyser, réaliser, valider, communiquer. - Prise en compte des difficultés de maniement de la langue des élèves et nécessité de la bonne compréhension du texte par les élèves.

- Détailler les questions pour amener les élèves à s'approprier le problème

- Organisation de l'activité qui incite les élèves à l'autonomie.

- Mention de l'existence de documents mis à la disposition des élèves de façon différenciée en fonction de leur profil

Ex : Rappel de la loi de Boyle Mariotte, un rappel de l'évolution de la différence de pression entre deux points d'un liquide en fonction de la profondeur.

✓ Pertinence du choix des documents avec une justification de leur usage au regard des objectifs et/ou des difficultés rencontrées par les élèves.

✓ Pertinence du questionnement des élèves.

Ex : Document audio, vidéo, écrit, de type applet pour simulation ou autre ; Expérience de cours visant à appuyer le propos.

• **Question 19 : Usage de lunettes**

Une réponse rapide consisterait à dire que 9 m est suffisamment profond pour que le problème ne s'observe pas dans une piscine.

MAIS en observant le document 13 on constate que les lunettes n'ont pas la même élasticité qu'un masque et sont très rigides.

On peut imaginer que le problème arrive pour une valeur de  $P_{ext}$  dès 1,4 bar, soit à 4 m de profondeur.

Comme elles ne permettent pas de souffler dans les espaces aériens, le placage et le phénomène des "yeux rouges" s'observe dès des profondeurs de 4-5 mètres, et peut-être même avant.

Comme leur nom l'indique, les lunettes de natation ont un usage réservé à la surface, et ne doivent pas être utilisées en profondeur.

• **Question 20 : Accidents à la remontée**

A la remontée, la surpression principalement concerne les poumons.

En effet en profondeur, l'air inhalé occupe les poumons avec une pression P supérieure à la pression en surface.

En vertu de "PV=cste", si la pression extérieure qui s'exerce sur la cage thoracique diminue, alors le volume des poumons va augmenter... jusqu'à une limite de rupture qui peut engendrer des saignements voire des lésions plus graves.

---

⇒ Il est donc indispensable de ne pas retenir sa respiration lors de la remontée.

• **Question 21** : Comparaison avec l'apnée

La plongée en apnée se fait sans apport de gaz autre que celui embarqué dans les poumons lors de l'immersion. Les problèmes liés à la surpression extérieure (équilage des oreilles, placage de masque...) demeurent mais ne sont pas mortels en soi.

Les problèmes dus à surpression intérieure (surpression pulmonaire lors de la remontée) n'existent plus, puisque le volume de gaz dans les poumons a diminué au cours de la plongée en apnée.

## 2.2 Le problème de la décompression

• **Question 22** : Tension de saturation

La tension de saturation concerne la pression partielle en diazote, soit  $0,8 P_{tot}$ .  
En surface elle vaut donc  $0,8 \times 1 \text{ bar} = 0,8 \text{ bar}$ .

• **Question 23** : Analogie électrique

L'expression donnée pour la tension d'azote est de la forme :  $T(t) = cte_1 + cte_2 \exp -t/\tau$

On note une loi exponentielle décroissante, caractéristique d'une cinétique d'ordre 1 .

La charge et la décharge en diazote de l'organisme peuvent se comparer à la charge et la décharge d'un condensateur dans un circuit RC série

• **Question 24** : Expression de  $T^h(t)$

La tension d'azote à une profondeur h est la somme de la tension d'azote en surface, avant l'immersion, et de la quantité dissoute,  $Q^h(t)$ , du fait de l'augmentation de pression :  $T^h(t) = T_{sat}^0 = Q^h(t)$

La quantité dissoute  $Q^h(t)$  suit une loi exponentielle d'ordre 1.

L'intégration donne :  $Q^h(t) = A' \exp -t/\tau'$  ou peut se mettre sous la forme :  $Q^h(t) = A \times 2^{-t/\tau}$

Les constantes A et A' se déterminent grâce à des conditions temporelles particulières; et  $\tau$  et  $\tau'$  sont des constantes de dimension "temps", avec  $\tau = \tau' \times \ln 2$

Les conditions aux limites sont telles que :  $T^h(0) = T_{sat}^0$  (surface) et  $T^h(\infty) = T_{sat}^h$  (profondeur h).

• **Question 25** : Estimation de la durée

Comme dans le cours d'électricité, on peut prendre  $5\tau'$ , peu différent de  $5\tau$ .

## 2.3 Protocoles de plongée

• **Question 26** : Zones sans paliers

La «Zone 1» correspond à une plongée qui ne nécessite pas de palier : durée et profondeur suffisamment faibles

La «Zone 2» concerne des plongées de durées plus longues, ou plus profondes, qui vont donc nécessiter des paliers.

• **Question 27** : Durée maximale à 10 m

D'après le figure 18, la durée maximale pour une plongée sans palier à 10 m est de 240 min, soit 4 heures...

Les causes qui peuvent alors limiter la durée de l'immersion sont la capacité en air, le froid, ou l'ennui...

• **Question 28** : Durées maximales à 20 m

---

Pour répondre aux questions suivantes on regarde si un ou plusieurs compartiment sont affectés par la saturation, c'est à dire si les tensions sont inférieures - ou pas - aux valeurs limites CSc°.

D'après la figure 16, on observe que pour des durées de 20 et 40 minutes aucun des compartiments n'est affecté par la saturation.

Ce n'est pas le cas pour des durées plus longues :

- Pour 60 min d'immersion, les compartiments 10 à 50 min posent problème
- Pour 90 min, ce sont des compartiment de périodes comprissent entre 10 et 80 min.

• **Question 29** : Profondeur maximale pour une durée de 40 min

On procède de même en cherchant quels sont les compartiments affectés - ou pas - par la saturation.

Une plongée à 10 ou 20 m ne pose pas de problème pour 40 min d'immersion, alors que pour une plogée à 30 m les compartiment de périodes courtes sont tous affectés ( $\tau < 80min$ ).

• **Question 30** : Obtention de la courbe de saturation

La figure 18 s'obtient en croisant les schémas précédents. Ainsi pour 40 min, il apparait que 20 m est la profondeur maximale pour une plongée sans palier cf figures 16 et 17).

On obtient la figure 18 en comparant soit des courbes de durée, soit des courbes de profondeur.

### 3 L'eau, milieu non familier

#### 3.1 Le grand bleu

• **Question 31** : Milieu DLHI

DLHI est l'acronyme de Diélectrique linéaire homogène isotrope  
Diélectrique : Isolant électrique, ne contient pas de cahrges "libres"  
Linéaire : Les conséquence sont proportionnelles aux causes  
Homogène : propriétés indépendantes du point  
Isotrope : propriétés indépendante de la direction

• **Question 32** : Eau de mer

En général, un milieu diélectrique est un isolant électrique.

La table du document 19 permet de comparer la conductivité de différents matériaux.

L'eau de mer ne peut donc pas entrer dans cette catégorie si on la compare à des matériaux comme l'air ou les polymères.

Néanmoins sa conduction électrique est très inférieure à celle de matériaux considérés comme "conducteurs" : métaux, plasma...

L'eau apparait comme un cas intermédiaire, pour lequel le modèle DLHI est néanmoins utilisé.

• **Question 33** : Modèle classique

On utilise généralement le modèle de l'électron élastiquement lié : charge (électron) soumise à la force de rappel du noyau, soumise à une forme de frottement de type visqueux représentant la dissipation (rayonnement, chocs inélastiques...)

Excitée par un champ électrique harmonique  $\vec{E}$ , la réponse s'exprime par une fonction de transfert complexe  $\chi_e$

• **Question 34** : Condition

La longueur d'onde du champ électromagnétique appliqué est  $\gg$  à l'amplitude du mouvement de l'électron élastiquement lié.

On peut alors négliger la variation spatiale du champs électrique incident à l'échelle du système.

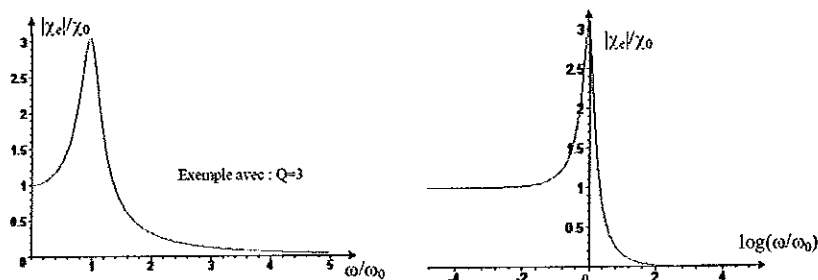
*Remarque* : Cela revient à ce placer dans le cadre de l'ARQS.

• **Question 35 : Constantes caractéristiques**

On reconnaît les constantes caractéristiques du problème :  
 $\omega_0$  pulsation propre, caractéristique de l'oscillateur  
 $\tau_a$  constante de temps caractéristique de l'amortissement.

• **Question 36 : Allure du module de  $\chi_e$**

On trace  $|\chi_e|/\chi_0$  en fonction de  $\omega/\omega_0$ , puis de  $\log(\omega/\omega_0)$   
 Les courbes sont caractéristiques d'une fonction de transfert d'un filtre d'ordre 2.



On remarque un maximum pour  $\omega = \omega_0$ ; maximum d'autant plus piqué que  $Q$  est élevé.  
 Pour  $\omega \ll \omega_0$ ,  $\chi_e \sim \chi_0$  : le milieu est transparent  
 Pour  $\omega \gg \omega_0$ ,  $\chi_e \sim 0$  : rien ne passe

• **Question 37 : Facteur de qualité**

La susceptibilité a la forme d'un filtre passe-bas du deuxième ordre.  
 On obtient le facteur de qualité à partir du terme d'ordre 1 du dénominateur.

En posant :  $x = \frac{\omega}{\omega_0}$ , la fonction  $\chi_e(\omega)$  devient :  $\chi_e(x) = \chi_0 \frac{1}{1 + j\frac{x}{\omega_0\tau_a} + (jx)^2}$

$Q$  apparaît dans le terme d'ordre 1 (amortissement) et est d'autant plus grand que l'amortissement est faible.  
 Par identification :  $Q = \frac{1}{\omega_0\tau_a}$ ; AN :  $Q = 10^4$

Valeur très élevée, on peut observer une résonance pour une excitation au voisinage de la fréquence propre.

• **Question 38 : Indice complexe**

La partie réelle est l'indice de réfraction utilisé en optique géométrique (Lois de Snell-Descartes)  
 Il représente le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide sur la vitesse dans le milieu.

La partie imaginaire représente l'absorption du milieu (si milieu passif) ou l'amplification (si milieu actif).  
 Pour un diélectrique tel que l'eau, le milieu est absorbant.

• **Question 39 : Propriétés électromagnétiques**

On étudie le comportement de  $\chi_e$ , puis de  $n$  en fonction de la pulsation ou de la fréquence.

\* A basse fréquence ( $\omega \ll \omega_0$ )

$\chi_e \sim \chi_e' = \chi_0$  Donc :  $n^2 = 1 + \chi_0$

La contribution de la partie imaginaire  $\chi_e''$  est négligeable dans cette zone.  
 l'indice est réel; il n'y a pas d'absorption : Le milieu est "transparent"

\* A haute fréquence ( $\omega \gg \omega_0$ )

$\chi_e \sim -\chi_0 \frac{\omega_0^2}{\omega^2}$  Donc  $n^2 \sim 1$

---

La contribution de la partie imaginaire  $\chi_e''$  est négligeable dans cette zone.

Le milieu est aussi "transparent" : les ondes électromagnétiques le traverse comme si c'était du vide, c'est à dire sans le voir

Autour de la fréquence propre  $\omega \sim \omega_0$

Dans la zone fréquentielle autour de la pulsation propre, la partie imaginaire de  $\chi_e$  devient prépondérante.

La partie imaginaire de  $n^2$  joue alors un rôle majeur. La partie imaginaire de l'indice est donc non nulle.

On observe l'absorption de l'onde par le milieu.

♣ La partie imaginaire de l'indice n'est pas la racine de la partie imaginaire de  $n^2$

#### • Question 40 : Absorption

L'étude de la figure 20 montre un minimum d'absorption pour  $\lambda \sim 400 - 500nm$

Le rayonnement "bleu" autour de 450 nm est donc celui qui pénètre une plus grande profondeur d'eau.

### 3.2 Ondes acoustiques en milieu marin

#### • Question 41 : Transformation isentropique

Pour établir l'équation de propagation d'une onde sonore, on a besoin d'une relation liant la pression au volume ou à la masse volumique.

Cette relation s'exprime par un coefficient de compressibilité, noté « $\chi$ » en thermodynamique.

Les débuts de la modélisation ont utilisé un modèle isotherme, assez naturel a priori.

La précision des mesures était telle que le modèle suffisait pour rendre compte de la valeur de la vitesse du son.

Cependant la précision des mesures s'améliorant, le modèle s'avéra insuffisant et l'hypothèse "isentropique", introduisant le facteur " $\gamma$ ", se releva meilleure.

On suppose le milieu suffisamment élastique et parfait pour que les effets de la viscosité soient négligeables.

De plus, la transformation s'avère être adiabatique : la durée caractéristique de la diffusion thermique est bien plus grande que la durée caractéristique de la variation temporelle des grandeurs étudiées.

Les transferts thermiques n'ont pas le temps de s'établir.

Une transformation adiabatique et réversible étant isentropique, l'emploi du coefficient  $\chi_S$  est donc bien adapté.

#### • Question 42 : Approximation acoustique

On considère un fluide en équilibre perturbé par une onde sonore.

On considère que les conséquence de la perturbation, c'est à dire les écarts aux valeurs des champs  $P$  et  $\mu$  à l'équilibre sont des infiniment petits du premier ordre.

Cela permet alors de linéariser les équations utilisées.

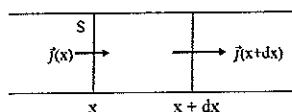
Remarque : en ce qui concerne le champ de vitesse  $\vec{v}$ , il faut comparer et  $\vec{v}_1$  à la vitesse du son dans le milieu.

#### • Question 43 : Conservation de la masse

La relation de conservation de la masse traduit que la masse d'un système (cellule mésoscopique de fluide) qui se déforme (dont le volume varie ici) est conservée.

On peut l'établir en faisant un bilan à une dimension entre deux instant  $t$  et  $t+dt$ , et en comptant ce qui entre et ce qui sort à l'aide d'un vecteur courant de masse  $\vec{j} = \mu \vec{v}$  :

Etudions une portion de fluide de section  $S$  et de longueur  $dx$  :



La masse du volume  $d\tau = Sdx$  est :  $dm = \mu d\tau$

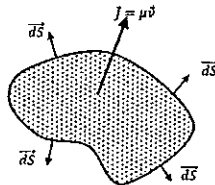
La variation de masse  $d^2m$  pendant  $dt$  s'écrit :  $d^2m = \frac{\partial \mu}{\partial t} dt d\tau$

Cette variation est due au flux de masse qui entre en  $x$  et qui sort en  $x+dx$  :

Ainsi :  $d^2m = (j(x) - j(x + dx))Sdt = -\frac{\partial j}{\partial x} dx S dt$

En égalisant, on obtient :  $\frac{\partial \mu}{\partial t} + \frac{\partial j}{\partial x} = 0$

Autre méthode : Bilan global à l'aide du théorème de Green-Ostrogradski



Considérons un volume qui échange de la masse à travers sa surface.

Pendant  $dt$  la masse échangée est :  $dm = \left( \iint \frac{\partial \mu}{\partial t} d\tau \right) dt$

La masse "perdue" se quantifie par le flux sortant de  $\vec{j} = \mu \vec{v}$  à travers la surface fermée qui définit le volume.

Soit :  $dm = -\left( \oint \vec{j} \cdot d\vec{S} \right) dt = -\left( \iiint \text{div} \vec{j} d\tau \right)$  (Thm de Green-Ostrogradski)

D'où la relation :  $\text{div}(\mu \vec{v}) + \frac{\partial \mu}{\partial t} = 0$

• Question 44 / Autres équations de conservation

On retrouve ce type d'équation à chaque fois que l'on a à effectuer un bilan :

Conservation de la charge : électrocinétique ou électromagnétisme.

Conservation de l'énergie : électromagnétisme dans le vide.

Bilan en diffusion : diffusion de particules et conduction thermique en l'absence de sources.

• Question 45 : Equation d'Euler

L'équation d'Euler utilisée en mécanique des fluides traduit la deuxième loi de Newton à une cellule de fluide :

$$\mu \vec{a} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \text{grad}) \cdot \vec{v} = \sum(\vec{f}_{\text{volumique}})$$

L'accélération particulaire possède ici 2 termes.

Accélération locale :  $\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}$

Accélération convective :  $(\vec{v} \cdot \text{grad}) \cdot \vec{v}$

Les forces volumiques  $\sum(\vec{f}_{\text{volumique}})$  regroupent les forces de pression exprimées de façon volumique à l'aide de  $\text{grad}P$ , le poids volumique  $\mu \vec{g}$  ou d'autres forces (électrostatique, etc...).

On peut aussi y inclure les forces de viscosité exprimées de façon volumiques

Dans le cas d'un écoulement de cisaillement on obtient alors l'équation de Navier-Stokes.

• Question 46 : Hypothèses

Pour le problème considéré qui est l'étude d'une onde acoustique, on néglige la viscosité et l'effet de la pesanteur.

La seule force volumique à prendre en compte se limite alors au gradient de pression.

On trouve donc l'expression proposée.

• Question 47 : Linéarisation

Compte-tenu des hypothèses et approximations on part des 3 équations suivantes :

\* Equation d'Euler :  $\mu \vec{a} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \text{grad}) \cdot \vec{v} = \text{grad}P$

$\Rightarrow \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + o(v_1) = \text{grad}P$ . Soit :  $\frac{\partial v_1}{\partial t} = \text{grad}P_1$  (Eq 1)

\* Conservation de la masse :  $\frac{\partial \mu}{\partial t} + \text{div}(\mu \vec{v}) = 0$

$\frac{\partial \mu}{\partial t} + \mu \text{div}(\vec{v}) = 0$ . Soit :  $\frac{\partial \mu_1}{\partial t} + \mu_0 \text{div}(\vec{v}_1) = 0$  (Eq 2)



\* Transformation isentropique :  $\chi_S = \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial \mu}{\partial P} \right)_S$   
 $\Rightarrow \chi_S = \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial \mu}{\partial P} \right)_S$ . Soit :  $\chi_S = \frac{1}{\mu_0} \left( \frac{\mu_1}{P_1} \right)_S$  (Eq 3)

Ainsi :  $\mu_1 = \chi_S \mu_0 \times P_1$

• **Question 48 : Equation aux dérivées partielles**

On dérive (Eq 2) par rapport au temps :  $\frac{\partial^2 \mu_1}{\partial t^2} + \mu_0 \frac{\partial \text{div}(\vec{v}_1)}{\partial t} = 0$

Mais  $\frac{\partial \text{div}(\vec{v}_1)}{\partial t} = \text{div} \frac{\partial \vec{v}_1}{\partial t}$  (Eq 4)

Ainsi : (Eq 4) et (Eq 1) conduisent à :  $\text{div}(\vec{\text{grad}} P_1) = \frac{\partial^2 \mu_1}{\partial t^2} = \chi_S \mu_0 \frac{\partial^2 P_1}{\partial t^2}$

On arrive ainsi à l'équation demandée :  $\Delta P_1 = \chi_S \mu_0 \frac{\partial^2 P_1}{\partial t^2}$

Remarque : A une dimension le calcul donne :  $\frac{\partial^2 P_1}{\partial x^2} = \chi_S \mu_0 \frac{\partial^2 P_1}{\partial t^2}$

• **Question 49 : Célérité**

On reconnaît une équation de d'Alembert pour laquelle la célérité est  $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \chi_S}}$

• **Question 50 : Valeurs des célérités**

On effectue l'application numérique :

Dans l'air :  $c_a = 345 \text{ m.s}^{-1}$

Dans l'eau :  $c_e = 1,4 \cdot 10^3 \text{ m.s}^{-1}$

Etude de la transmission d'un son à travers le dioptré air-eau

• **Question 51 : Conservation de l'énergie acoustique**

Pour calculer les coefficients de transmission et de réflexion à l'interface air-eau, nous devons d'abord calculer les impédances caractéristiques de chaque milieu.

Par définition :  $Z = \mu_0 \times c$  pour chaque milieu.

Par suite :  $Z_a = 414 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  et  $Z_e = 1,4 \cdot 10^6 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$

Il est immédiat que :  $Z_a \ll Z_e$

On calcule alors les coefficients de transmission et de réflexion en puissance :

$T_{P_s} = 1,2 \cdot 10^{-3}$  et  $R_{P_s} = 0,9988 \sim 1!$

Seulement 0,1 % de la puissance sonore est transmise, c'est très peu !

• **Question 52 : Adaptation des impédances**

Adapter les impédances signifie faire en sorte qu'à l'interface entre 2 milieux la transmission de la puissance soit maximale.

C'est loin d'être le cas pour l'interface air-eau !

Pour que la condition soit remplie, il faut que le coefficient de transmission soit proche de 1 et le coefficient de réflexion soit proche de 0 (par conservation : T+R=1)

C'est à dire que les impédances de chaque milieu soient du même ordre de grandeur.

• **Question 53 : Exemple**

On peut citer des exemples variés.

Onde ultra-sonore : utilisation d'un gel intermédiaire pour les échographies.

En acoustique : utilisation des pavillons acoustiques sur les instruments de musique.

En électricité : adaptation des résistances de charges à celles de l'alimentation.

Etc...

• **Question 54 : Indice acoustique**

Calcul de  $n_{ae}$ . AN :  $n_{ae} = 0.25$

• **Question 55 : Réflexion totale**

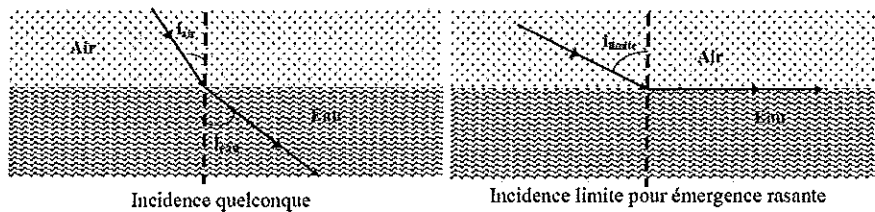
Pour satisfaire au principe de moindre action, l'angle de réfraction - compté à partir de la normale au dioptré - est plus faible dans le milieu où la vitesse est la plus faible.

On peut appliquer le même raisonnement avec les ondes sonores.

Ainsi, la vitesse du son dans l'air étant plus faible que dans l'eau, la réfraction est plus importante du côté de l'air... et la réfraction totale s'observe dans l'air et non dans l'eau, contrairement à la lumière.

⇒ La figure de réfraction des ondes acoustiques est donc inversée par rapport à celle de l'optique géométrique.

On peut aussi en conclure que l'indice acoustique de l'air est plus élevé que celui de l'eau.



• **Question 56 : Appel de plongeurs**

Nous avons vu que le coefficient de transmission était quasiment nul dans le sens air-eau.

Il est donc vain d'appeler des plongeurs en agitant une cloche depuis un bateau.

⇒ Il vaut mieux taper sur la coque sous la ligne de flottaison.

### 3.3 Protection thermique

• **Question 57 Transferts thermiques**

Les 3 modes de transferts thermiques sont la conduction, la convection et le rayonnement.

Conduction : Transport de proche en proche de l'énergie cinétique liée à l'agitation thermique.

Convection : Transport de l'énergie par mouvements de matière.

Transfert radiatif : Transport de l'énergie par rayonnement électromagnétique.

• **Question 58 : Température limite**

S'il n'y a aucune source d'énergie interne, le corps du plongeur va atteindre l'équilibre thermique avec le milieu environnant.

Au bout d'un temps suffisant, sa température est donc :  $T_e$

• **Question 59 : Conductance thermique**

Par définition la résistance thermique est le rapport :  $\frac{T_1 - T_2}{\Phi_{1 \rightarrow 2}}$

On reconnaît ici la quantité inverse, K est donc une conductance.

• **Question 60 : Equation différentielle**

Un bilan thermique sur le corps du plongeur conduit s'effectue comme celui réalisé pour la masse, question 43.

Pendant  $dt$ , l'énergie interne du plongeur varie de  $dU = m_p c_p \frac{dT}{dt} dt$

Cette variation est due aux échanges, modélisés par le flux  $\Phi$  et à la production interne quantifiée grâce à la puissance  $P_{th}$ .

Ainsi :  $dU = \Phi dt + P_{th} dt = (-K_p(T - T_{eau}) + P_{th}) dt$

Et par suite :  $m_p c_p \frac{dT}{dt} = -K_p(T - T_e) + P_{th}$

• **Question 61 : Evolution temporelle**

L'équation différentielle précédente s'écrit :  $m_p c_p \frac{dT}{dt} + K_p(T - T_e) = P_{th}$  ou  $\frac{dT}{dt} + \frac{K_p}{m_p c_p}(T - T_e) = \frac{P_{th}}{m_p c_p}$

Dont la solution est :  $T(t) - T_e = A \exp(-\frac{K}{m_p c_p} t) + \frac{P_{th}}{K_p}$ , A la constante d'intégration.

Or , à  $t = 0$ ,  $T \sim T_p$  ; Donc :  $A = T_p - T_e - \frac{P_{th}}{K_p}$

Par suite :  $T(t) = (T_p - T_e - \frac{P_{th}}{K_p}) \exp(-\frac{K}{m_p c_p} t) + T_e + \frac{P_{th}}{K_p}$

• **Question 62 : Constante de temps**

$$\tau_{th} = \frac{m_p c_p}{K_p} = 18750s = 5,2h$$

C'est "long" devant le temps usuel de plongée, souvent  $\leq 1h$  (cf. partie 2)

• **Question 63 : Température limite**

A partir de la solution établie question 61, la température limite est immédiate :  $T_{lim} = T_e + \frac{P_{th}}{K_p}$

Il est normal de trouver une température limite supérieure à la température de l'eau en présence de puissance thermique corporelle.

Les applications numériques donnent :

Mer tempérée (20 °C) : 27,5 °C

Mer tropicale (28 °C) : 35,5 °C

• **Question 64 : Conductance**

Dans le cas présent, le flux, sortant du corps du plongeur, traverse la combinaison.

C'est donc la grandeur commune.

Les résistances thermiques sont ainsi en série, et par suite on additionne l'inverse des conductance.

D'où l'expression demandée :  $\frac{1}{K'} = \frac{1}{K_p} + \frac{1}{K_{comb}}$

• **Question 65 : Combinaison**

Avec la combinaison, la conductance passe de la valeur  $K_p$  à la valeur  $K'$  qui lui est inférieure :  $K' < K_p$

Compte-tenu des expressions de  $\tau$  et de  $T_{lim}$  alors :  $\tau_{th} \nearrow$  et  $T_{lim} \nearrow$

La combinaison sert bien évidemment à diminuer les pertes, donc à rallonger le temps d'immersion et relever la température limite.

• **Question 66 : Pertinence**

Les valeurs numériques précédentes montrent que pour une eau tropicale à 28 °C il n'y a pas de risque d'hypothermie.

La combinaison n'est pas utile de ce point de vue là.

• **Question 67 : Epaisseur minimale**

On veut  $T_{lim} = T_{hyp} = T_{eau} + \frac{P_{th}}{K'(x)}$  ;

En remplaçant  $K_{comb}$  par son expression, on en déduit :  $x = a \left( \frac{T_{hyp} - T_{eau}}{P_{th}} - \frac{1}{K_p} \right)$

On calcule :  $x = 6 \text{ mm}$  pour 20 °C  $\rightarrow$  On choisit l'épaisseur de 7 mm

---

*Cela dit compte-tenu des temps caractéristiques, bien supérieurs aux durées de plongée de l'ordre d'une heure, on peut supposer que 5 mm serait suffisant.*

*Evidemment, l'hypothermie n'est pas le seul facteur limitant... la sensation de "froid" peut se manifester bien avant !*

• **Question 68 : Autres raisons**

Une combinaison sert aussi de protection dermique...

Et puis il y a la sensation de confort face au froid...

**Remarques**

*Les valeurs numériques sont "indicatives" et seuls les ordres de grandeurs comptent.*

*Il y a différents modèles pour la résistance thermique du corps, et donc des valeurs sensiblement différentes.*

*De même, la puissance thermique est variable selon les individus, l'effort, l'âge, l'alimentation...*

## 9. Rapport sur l'épreuve écrite de Physique

Le sujet a pour fil conducteur la plongée sous-marine. Dans une première partie, il s'intéresse aux fluides et à la notion de pression, puis aborde dans une deuxième partie, quelques effets de la pression en lien avec la pratique de la plongée sous-marine. Enfin, une troisième partie traite de thèmes relevant de l'optique, de l'acoustique et de la thermique, dans le contexte d'un milieu sous-marin.

Aucune connaissance spécifique sur la pratique de la plongée n'est nécessaire ; les réponses attendues doivent s'appuyer au contraire sur des raisonnements physiques ou des exploitations de documents.

### Remarques générales

Le sujet comporte environ un tiers de questions à caractère didactique regroupées d'une part dans la première partie « Généralités sur les fluides et la notion de pression » et d'autre part dans la deuxième partie avec l'élaboration d'une solution d'un exercice de type résolution de problème issu du sujet du concours général 2013 portant sur le thème de la plongée sous-marine. Les questions pédagogiques concernent aussi bien le collège que le lycée général et technologique. Des questions de niveau post-bac et/ou nécessitant un recours à des documents sont également proposées aux candidats.

Le jury s'étonne comme l'année précédente qu'assez peu de candidats soient en mesure de traiter de manière approfondie des questions relatives à leur pratique professionnelle.

Le jury rappelle que les candidats sont invités par ces questions dites « pédagogiques » à montrer l'étendue de la réflexion dont ils font preuve dans l'exercice de leur fonction de professeur.

Le jury souligne qu'un problème d'agrégation n'est pas une succession d'énigmes dont une amorce de solution se cacherait dans un mot de l'énoncé. Ces questions nécessitent une réelle appropriation et une réflexion certaine conduisant à l'élaboration d'une démarche bâtie sur une maîtrise des concepts de la physique du collège jusqu'au niveau classe préparatoire ou deuxième année de licence. Le jury attire l'attention sur le fait que trop de candidats se contentent d'une lecture superficielle de l'énoncé, allant pour certains jusqu'à ignorer les documents fournis.

Le jury indique également qu'une réelle expertise scientifique ne peut se limiter à une vague idée des concepts et des modèles et doit comprendre une aptitude certaine à discuter les hypothèses d'un modèle classique de niveau deuxième année de licence. Par discussion, le jury s'attend à trouver, quand cela est nécessaire, une étude des conditions de validité, de la qualité des approximations et de la pertinence du modèle utilisé. S'ajoute à cette expertise la maîtrise des techniques calculatoires de base, assortie de schémas clairs définissant les grandeurs introduites, en particulier vectorielles. Par ailleurs, le jury recommande vivement aux candidats de ne pas recourir à des expressions dans lesquelles une partie des grandeurs littérales ont été remplacées par leur valeur numérique.

La qualité des réponses aux questions nécessitant l'analyse de documents fournis, dépend clairement du temps et de l'attention consacrés par les candidats à l'exploitation des textes et graphiques fournis. D'une manière générale, ces questions sont souvent traitées de façon logique et conduisent à de bons résultats.

Plus généralement, même si le temps semble manquer au candidat, celui-ci doit se convaincre qu'il a de meilleures chances de réussir l'épreuve en apportant la preuve qu'il maîtrise les questions abordées et ne se contente pas de réponses hâtives ou superficielles.

La qualité de la communication écrite, aussi bien dans la richesse de son contenu que dans sa forme, est prise en considération avec attention par le jury :

- les schémas doivent être réalistes et légendés ;
- les lettres grecques sont convenablement formées : un  $\mu$  n'est ni un  $\pi$  ni un  $\rho$  ;
- l'orthographe des termes physiques doit être correcte et les fautes d'accord sont difficilement acceptables ;
- les lignes de calculs doivent être articulées par des phrases et/ou des connecteurs logiques ;
- les réponses doivent être précises et argumentées, et au-delà de la justesse de la réponse il s'agit de montrer sa capacité à expliciter les subtilités de son raisonnement ;
- un commentaire sur les résultats obtenus est toujours apprécié et montre la capacité d'analyse réflexive du professeur. Il convient d'éviter le lapidaire « C.Q.F.D. » qui positionne le candidat en exécutant d'une commande, plutôt que dans une attitude réfléchie sur ce qu'il peut démontrer ou expliquer.

Précisons enfin que la qualité de la copie : présentation, orthographe et rigueur rédactionnelle, intervient dans la note finale attribuée au candidat.

### **Conclusion**

Le présent rapport, y compris les remarques de détail consignées ci-dessous, souligne majoritairement les difficultés rencontrées par les candidats dans un contexte de concours. Néanmoins le jury se réjouit d'avoir corrigé d'excellentes copies traitant des aspects didactiques avec finesse et montrant une réelle maîtrise scientifique, ainsi qu'une capacité d'analyse efficace de documents.

Le jury prodigue tous ses encouragements aux candidats des prochaines sessions ; il leur conseil de prendre connaissance des rapports des années antérieures qui restent pleinement d'actualité.

### Remarques ponctuelles

#### **Généralités sur les fluides et la notion de pression**

Cette première partie rassemble la plupart des questions pédagogiques, et a pour but d'explorer quelques aspects de ce délicat concept à différents niveaux : du collège au post-bac.

Les questions proposées au candidat mobilisent, selon le cas, plutôt des compétences professionnelles ou plutôt des connaissances et savoir-faire académiques. Manifestement cette dualité de compétences mobilisées durant l'épreuve gêne un grand nombre de postulants. Le jury les encourage à s'habituer à cette exigence.

#### **Question 1 :**

Il est étonnant qu'un nombre significatif de candidats répondent « pression, température et volume » en guise de « longueurs caractéristiques ». Lorsque la question est comprise, les ordres de grandeur sont rarement justifiés correctement.

#### **Question 2 :**

Si les candidats savent dans l'ensemble identifier les termes répulsifs et attractifs du potentiel proposé, le jury est surpris de la difficulté pour certains d'entre eux à en donner une interprétation physique satisfaisante.

### **Question pédagogique 3 :**

Le jury a bien conscience de la difficulté pour un enseignant du secondaire à aborder un phénomène du type de la condensation de Bose en phase gazeuse. Il ne peut qu'encourager les candidats à consulter des revues gratuites, ou mises à disposition gratuitement au bout d'un certain temps, comme le BUP, « Reflets de la physique », ou encore les pages internet « grand public » de sites que proposent certaines équipes de recherche de premier plan. En effet il est courant qu'il y soit proposé des raisonnements basés sur des ordres de grandeur accessibles à des élèves de Terminale S.

<http://www.refletsdelaphysique.fr/>

<http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/>

<http://www.udppc.asso.fr/bupdoc/index.php>

Cette question est exigeante et les candidats qui la traitent marquent clairement des points. Le jury constate que peu de réponses montrent une réelle appropriation par les candidats des documents mis à leur disposition. Trop de candidats se contentent d'explications qualitatives peu rigoureuses qui n'ont aucune chance de convaincre un élève de Terminale S.

Accompagnant le raisonnement conduisant à une expression du même type que celle donnée dans le texte, le jury attend une réflexion du candidat autour des difficultés potentielles éprouvées par un élève de Terminale S auquel on présente ce raisonnement. Il s'agit d'évaluer dans ce type de question la capacité du candidat à mener une analyse réflexive sur sa pratique autour d'une question intéressante d'un point de vue scientifique.

### **Question pédagogique 4 :**

Le jury apprécie quelques propositions d'expériences authentiques témoignant de réelles qualités pédagogiques. Les interprétations restent souvent superficielles. À la lecture de certaines copies, le jury se demande si certains candidats ont bien saisi la différence entre forces pressantes et pression.

Enfin nous rappelons que le mercure est interdit dans les établissements scolaires.

### **Question pédagogique 5 :**

Le jury ne peut qu'encourager les candidats à travailler leurs réflexions autour de l'évaluation des ordres de grandeur et de son utilisation avec des élèves du secondaire. Si l'évaluation de certaines valeurs de pression demandent un peu de réflexion, voire de culture, d'autres font davantage partie du quotidien d'un enseignant. Le jury est surpris par certaines réponses comme la pression à la sortie de la trompe à eau supérieure à 1 bar ou encore une pression sous un mètre d'eau égale à 10 bars.

La présentation des résultats sur une échelle a été majoritairement peu soignée. L'utilisation d'une échelle linéaire, visiblement peu pertinente, rend ces résultats difficilement exploitables.

### **Question 6 :**

Cette question classique de niveau post-bac est globalement assez mal traitée. Peu de candidats prennent la peine de faire un dessin clair mentionnant les différentes forces s'exerçant sur les six faces, ceci en les représentant vectoriellement.

### **Question 7 :**

Certains candidats montrent une réelle difficulté à proposer une solution à un problème classique de niveau post-bac.

La question n'est correctement traitée que sur quelques copies. La plupart du temps, les candidats s'arrêtent à l'exploitation du graphique en extrayant l'équation de la température en fonction de l'altitude. Peu continuent en remarquant que l'air est un gaz compressible. Dans tous les cas, une analyse du modèle est la bienvenue.

Quelques candidats réitèrent par ailleurs le calcul dans les conditions de l'atmosphère isotherme.

**Question 8 :**

Le jury attire l'attention des candidats sur l'utilité de l'analyse de longueurs caractéristiques dans un problème de physique.

**Question pédagogique 9 :**

Il faut bien sûr éviter toute paraphrase mais justifier les valeurs annoncées.

**Question pédagogique 10 :**

L'époque est globalement bien située, mais souvent à un siècle près. La Renaissance et le XIX<sup>ème</sup> siècle sont aussi des réponses assez fréquentes.

**Question 11 :**

L'ordre de grandeur est obtenu sans difficulté, mais souvent maladroitement et sans justifier le raisonnement mis en œuvre. Il est parfois intéressant de prendre du recul et de critiquer un modèle très simple qui donne un ordre de grandeur pour autant correct.

**Question Pédagogique 12 :**

Le jury rappelle que, dans la définition des objectifs, le retour au bulletin officiel de l'éducation nationale (BOEN) est un élément incontournable.

Une fois les objectifs choisis, il semble indispensable de s'assurer de la cohérence de la démarche proposée (analyse documentaire, démarche expérimentale...) avec les objectifs énoncés. On ne peut raisonnablement choisir un objectif comme par exemple : « Savoir que la différence de pression dans un liquide dépend de la profondeur » et proposer une question de départ comme « Pourquoi la pression augmente-t-elle avec la profondeur ? ».

En effet, avant de s'intéresser aux raisons de cette évolution, on pourrait peut-être s'intéresser à caractériser proprement l'évolution de la pression avec la profondeur.

Le jury laisse à la réflexion des candidats le bien-fondé d'une réflexion autour des obstacles dans les représentations des élèves qui vont intervenir dans cette séance. Sur ce point par exemple, un professeur qui a enseigné plusieurs fois ce chapitre peut aisément valoriser son expérience professionnelle.

Le jury attend également du candidat qu'il soit en mesure de justifier les documents qu'il met à la disposition des élèves. Il peut être intéressant de considérer l'élève dans sa globalité et de ne pas limiter les documents à un ensemble de textes donnant de manière trop explicite la solution au problème posé.

Pour finir le jury rappelle que la physique-chimie est une discipline expérimentale qui est aussi présente au lycée professionnel.

**Question pédagogique 13 :**

De nombreuses propositions sont inexactes, attestant ainsi de la subtilité de la notion de poussée d'Archimède dans ce contexte expérimental.

La détermination de la poussée d'Archimède avec une balance ne peut d'ailleurs pas se résumer à une mesure du volume par une mesure de masse.

**Question pédagogique 14 :**

Cette question est rarement bien traitée. Si la solution donnée est souvent correcte, les arguments associés sont physiquement inexacts.

Sans aller jusqu'à introduire la notion de métacentre, il serait intéressant qu'un candidat à l'agrégation s'interroge sur les raisons de la stabilité d'un bateau de manière un peu rigoureuse.

**Question pédagogique 15 :**

Les propositions sont nombreuses, certaines étant très originales. Rappelons que si on veut former efficacement les élèves du collège à la démarche scientifique, il est sans doute pertinent de ne changer qu'un seul paramètre à la fois.



## Applications à la plongée sous-marine

### Accidents mécaniques ou barotraumatismes

Les questions qui suivent demandent au candidat de s'approprier des documents. Les questions documentaires demandent des qualités de lecture et de reformulation. Le jury ne peut qu'engager les candidats à s'y intéresser.

#### Question 16 :

On attend ici une réponse sobre, qui ne soit toutefois pas de la paraphrase. Très souvent la réponse est accompagnée d'une référence étymologique.

#### Question 17 :

Cette question exige une explication convaincante basée sur les propriétés des gaz.

#### Question 18 :

L'exercice du concours général 2013 des lycées pose de réelles difficultés à de nombreux candidats. Le jury rappelle qu'au-delà de la valeur numérique de la profondeur limite, il accorde également beaucoup d'importance à la clarté du raisonnement employé. Cela étant, est-ce que rendre un exercice accessible se réduit au fait d'ajouter des questions intermédiaires de façon à imposer à l'élève le même algorithme de résolution que celui utilisé par le professeur pour résoudre le problème ?

#### Question 19 :

La réponse est liée à la valeur obtenue précédemment et le jury a apprécié la cohérence de l'ensemble du raisonnement, généralement bien mené.

#### Question 20 :

Au lieu de s'approprier la thématique du paragraphe et les documents proposés, certains candidats, croyant sans doute gagner du temps, se limitent à des réponses générales sur les accidents de plongée, confondant barotraumatismes et accidents de décompression. Même si ce dernier est le plus connu, il n'est hélas pas le seul, loin de là ! Les candidats accordant quelques minutes d'attention aux documents fournis traitent quant à eux la question avec pertinence.

#### Question 21 :

Pour les mêmes raisons que précédemment, les candidats qui se sont appropriés la thématique n'ont aucun problème pour expliquer la différence entre un plongeur qui respire de l'air et un plongeur qui pratique l'apnée.

### Le problème de la décompression

Cette partie est en général bien traitée par les candidats ayant pris le temps de lire les textes et d'analyser les figures.

#### Question 22 :

Cette question introductive ne pose aucun problème, et la réponse est dans l'ensemble bien justifiée.

Rappelons qu'une valeur numérique brute sans autre commentaire ni explication, n'est jamais une réponse satisfaisante.

#### Question 23 :

L'analogie électrique, souvent assortie d'un schéma comparatif, est globalement bien traitée.

**Question 24 :**

La résolution, qui demande quelques calculs, est souvent maladroite, même en s'aidant de l'analogie électrique.

Le jury est surpris par l'explication du « 2 » apparaissant dans la formule, certains candidats affirment parfois qu'il s'agit d'un arrondi du nombre d'Euler « e » ou d'une erreur de frappe.

**Question 25 :**

Cette question est sans difficulté si l'on se réfère à l'analogie électrique.

Néanmoins, plusieurs candidats cherchent, sans succès, à résoudre une équation bien compliquée pour obtenir une valeur de  $\tau$ .

**Protocoles de plongée**

Ces questions se basent sur des analyses de documents et ne nécessitent aucune connaissance particulière sinon juste un peu de bon sens. Elles sont majoritairement bien traitées par les candidats.

En revanche, les candidats qui, croyant gagner du temps, se basent sur de vagues connaissances dans le domaine de la plongée sous-marine, ne formulent pratiquement jamais de réponse pertinente.

**Question 26 :**

Cette question est aisément abordable avec un peu d'attention et de bon sens. Les réponses formulées sans justification ne sont pas prises en compte.

**Question 27 :**

Cette question aborde des aspects plus pratiques.

**Questions 28 et 29 :**

La figure 18 donne une première réponse, mais les figures 16 et 17 sont nécessaires pour la compléter, en particulier pour identifier les compartiments directeurs.

**Question 30 :**

Cette question est bien traitée lorsque les figures 16 et 17 sont comprises et exploitées.

**L'eau, un milieu non familier**

Cette dernière partie s'appuie principalement sur des connaissances de niveau post-bac. L'aspect calculatoire est volontairement réduit pour privilégier le contrôle de la compréhension des phénomènes et l'analyse des lois et hypothèses associées. Si certains candidats sont très à l'aise dans les calculs techniques, ils témoignent régulièrement d'un manque de recul vis-à-vis des équations qu'ils manipulent.

**Le grand bleu**

Les questions sont davantage centrées sur la compréhension et l'analyse de résultats que sur la technicité calculatoire.

**Question 31 :**

L'acronyme est généralement explicité, mais le sens des termes pas toujours compris. La définition de diélectrique pose souvent problème.

**Question 32 :**

La question nécessite une brève discussion, en s'appuyant par exemple sur le document 19. Certains candidats le font avec bonheur, d'autres formulent des généralités sans réelle conclusion.

**Question 33 :**

Les modèles proposés sont souvent décrits hâtivement et de manière non convaincantes. Rappelons aux candidats qu'il peut être efficace et rentable de passer quelques minutes de plus afin d'exposer clairement une idée.

**Question 36 :**

Cette question est fréquemment traitée, mais souvent les commentaires apportés sont maladroits.

**Question 35 :**

On attend une interprétation physique des grandeurs proposées, qui rappelons-le sont liées à la nature du milieu et non celle de l'onde excitatrice. Des réponses simplement liées à la dimension, et non à une caractéristique physique du milieu, ne sont pas prises en compte.

**Question 36 :**

Il est plus habile de commencer par une rapide analyse asymptotique. De nombreux candidats se réfugient à tort dans des calculs lourds qui ne débouchent sur rien. Les commentaires sont en général limités, et peu de candidats exploitent les valeurs numériques pour révéler la présence d'une résonance. Quelques candidats reconnaissent la forme d'un filtre passe bas d'ordre 2, ce qui leur facilite grandement la tâche.

**Question 37 :**

L'expression de  $Q$  a souvent été retrouvée grâce à l'analyse dimensionnelle. Les candidats ayant compris la signification physique du « facteur de qualité », donnent son expression dans le bon sens. Une unité accompagne parfois l'application numérique.

**Questions 38 et 39 :**

Ces questions de cours sont assez traditionnelles et peuvent être reliées avec la courbe tracée question 36. Le jury attend évidemment un minimum d'explications.

**Question 40 :**

Ici encore, le jury attend une réponse argumentée. Le bleu n'est pas « à 400 nm », le rouge n'est pas « à 800 nm ». Les documents et valeurs proposés en début d'énoncé sont destinés à aider les candidats. Il est dommage que la majorité d'entre eux ne les exploitent pas suffisamment.

### Ondes acoustiques en milieu marin

Cette partie se situe résolument à un niveau post-bac et exige une bonne compréhension du modèle ainsi qu'une assimilation suffisante des concepts.

Le jury constate qu'une approche quantitative des ondes sonores, présentes dans les programmes de lycée, pose des difficultés aux candidats.

**Questions 41 et 42 :**

Il est ici fondamental de comprendre les hypothèses et les limites d'un modèle pour l'appliquer à bon escient.

Les réponses sont souvent vagues et peu justifiées. Affirmer que « les molécules se compriment et se détendent » n'a pas de sens. Les expressions « fluide incompressible », « régime stationnaire » ou « écoulement irrotationnel » sont citées un grand nombre de fois, ce qui atteste d'une maîtrise insuffisante des concepts sous-jacents.

**Questions 43 et 44 :**

Lorsqu'ils sont effectués, les bilans unidimensionnels sont correctement menés. Il n'en est pas de même des bilans tridimensionnels. Il serait bon de se rappeler qu'une surface s'oriente et de préciser si elle est - ou pas - fermée. Ici encore un schéma s'impose.

Les deux autres exemples sont illustrés de façons diverses, mais généralement acceptables.

**Questions 45 et 46 :**

Les différents termes de l'accélération sont connus et identifiés. En revanche, les hypothèses liées au théorème de Bernoulli comme « incompressible » et « stationnaire », sont citées de façon tout aussi hors propos.

**Questions 47 et 48 :**

Le jury est conscient de la difficulté de certains calculs, toutefois exigibles à un niveau post-bac. Les correcteurs soulignent un manque de rigueur dans la conduite des calculs, ainsi l'équation de propagation des ondes acoustiques n'est-elle correctement établie que dans de rares copies.

**Questions 49 et 50 :**

Le jury accepte bien sûr que la réponse soit donnée de mémoire lorsqu'elle n'est pas établie précédemment. Les valeurs numériques sont généralement correctes, et parfois assorties d'un court commentaire pertinent.

**Question 51 :**

Cette question classique est en général bien traitée à partir des coefficients précités.

**Questions 52 et 53 :**

Cette question de compréhension générale est traitée de façon très inégale. Les exemples donnés sont pertinents.

**Questions 54 et 55 :**

Nombreux sont les candidats qui comparent les vitesses de propagation et appuient leur raisonnement au moyen d'un schéma démonstratif. Certains rebondissent sur la signification de l'indice acoustique.

**Question 56 :**

Cette question est bien traitée à la suite des précédentes, y compris pour la solution proposée, ce qui montre qu'un nombre significatif de candidats arrive à exploiter des résultats pour des applications pratiques.

### Protection thermique

Cette partie est fréquemment abordée avec un certain succès. Elle ne présente pas de difficulté particulière et n'exige pas de connaissances spécifiques, si ce n'est pour la question d'introduction.

**Question 57 :**

Cette question de cours classique est traitée très correctement par les candidats qui font un effort de rédaction.

**Question 58 :**

Cette question est régulièrement résolue correctement. Rappelons néanmoins que le jury ne tient pas compte des réponses non justifiées.

**Question 59 :**

La plupart des réponses se sont basées sur une analogie électrique pertinente.

**Question 60 :**

La question nécessite un bilan construit proprement, en détaillant les étapes, ce que malheureusement de nombreux candidats omettent de faire. Le jury rappelle une fois de plus qu'un minimum de rigueur s'impose dans toute démonstration. Une suite d'équations présentées sans soin et sans explications n'a aucune valeur.

**Questions 61 et 62 :**

Ces questions sont correctement traitées à la suite de la précédente. Les rares discussions sur la valeur de la constante de temps sont en général pertinentes. Quelques-uns mettent cette valeur en relation avec les temps limites obtenus dans la partie 2, manifestant ainsi une compréhension globale de l'épreuve.

**Question 63 :**

L'expression se déduit facilement des résultats des questions précédentes. Les applications numériques sont évidentes. On peut toutefois regretter l'absence de commentaires spontanés sur les valeurs obtenues.

**Question 64 :**

Cette question est généralement bien traitée, en continuité avec la question 59.

**Questions 65 et 66 :**

Ces questions sans difficultés sont également bien et souvent traitées.

**Question 67 :**

La question est fréquemment abordée, et en général bien résolue.

**Question 68 :**

Cette dernière question, que peut poser un élève curieux, ne demande aucune connaissance scientifique particulière et les réponses sont souvent satisfaisantes et révèlent du bon sens.

.

SESSION 2014

---

**AGRÉGATION  
CONCOURS INTERNE  
ET CAER**

**Section : PHYSIQUE - CHIMIE**

**COMPOSITION SUR LA CHIMIE ET LE TRAITEMENT  
AUTOMATISÉ DE L'INFORMATION**

Durée : 5 heures

---

*Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.*

*NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.*

## Quelques aspects de la chimie des cosmétiques

« L'art cosmétologique a connu une constante prospérité au sein de la plupart des civilisations. Aujourd'hui, la science cosmétologique rassemble les approches ayant pour but l'entretien et l'embellissement du visage et du corps. La pratique cosmétique (du grec *kosmêtikos*, relatif à la parure) est l'acte d'embellir, d'entretenir et de se protéger. »

*Les molécules de la beauté, de l'hygiène et de la protection – P. Le Perchec - CNRS éditions Nathan*

Actuellement, le marché mondial de la cosmétique est estimé à plus de 300 milliards d'euros prix de vente distributeur (source : Euromonitor International, 2009).

En France, la « Cosmetic Valley », représentée sur la figure 1, a pour mission le développement de la filière cosmétique et parfumerie en France. Située au sud et à l'ouest de Paris, elle est le premier centre de ressources mondial de la parfumerie cosmétique, en matière de savoir-faire, recherche et formation.

La Cosmetic Valley, c'est au niveau de la recherche :

- 84 projets de Recherche et Développement labellisés par le pôle pour 200 Millions € (au 31/12/2012) ;
- 7 universités ;
- 200 laboratoires publics ;
- 8 600 chercheurs (publics et privés).

Au niveau industriel, la filière cosmétique emploie environ 63 000 personnes.

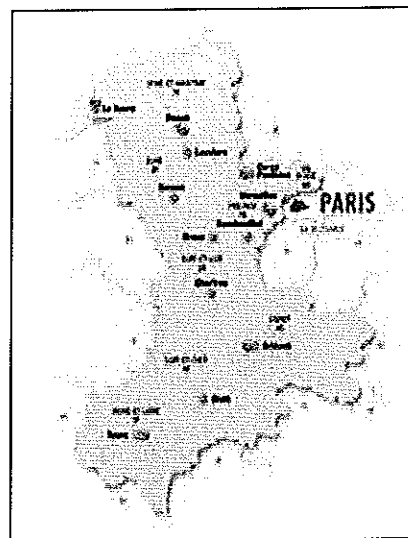


Figure 1

Le sujet permet d'aborder quelques aspects de la chimie des cosmétiques, des égyptiens à nos jours. Il est composé de quatre parties indépendantes :

**Partie A. L'hygiène ; les savons**

**Partie B. L'apport de la chimie moderne à la cosmétique ; les liposomes**

**Partie C. La protection ; les antioxydants**

**Partie D. L'embellissement ; les fards**

Le sujet comporte des questions pédagogiques clairement identifiées dans le sujet par le repère **QP** après le numéro de la question, comme par exemple **3.QP**.

L'ensemble des questions pédagogiques représente le tiers du total des points accordés à cette épreuve. Les candidats sont donc vivement invités à consacrer le temps nécessaire en rapport avec l'importance accordée à ces questions.

Les réponses doivent toutes être explicites, concises et justifiées de façon à mettre en avant les qualités scientifiques et pédagogiques d'un professeur de physique-chimie.

Une classification périodique des éléments et les extraits des programmes et des textes officiels de collège et de lycée nécessaires sont fournis en annexe.

## Partie A. L'hygiène ; les savons

Avant d'embellir le corps ou le visage, on peut le nettoyer à l'aide d'un savon par exemple.

### A.I. Synthèses de savons

- Première synthèse

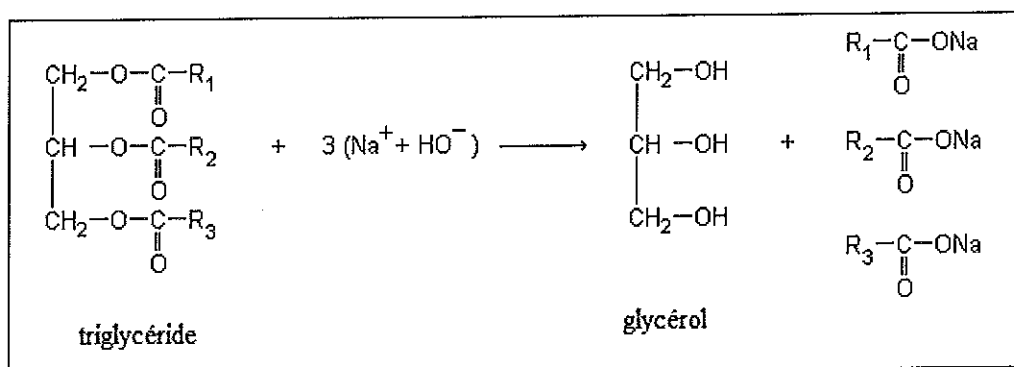
On se propose de réaliser la synthèse d'un savon. Pour ce faire, on cherche à élaborer un protocole de synthèse du savon à partir d'un mode opératoire trouvé sur Internet qui permet d'obtenir des acides gras et du glycérol à partir d'huile d'olive.

Mode opératoire :

- Peser 5 g d'huile, les placer dans un ballon ; réaliser un montage à reflux.
- Ajouter 50 mL de solution de soude alcoolique à 40 g.L<sup>-1</sup>.
- Porter à reflux pendant 15 minutes.
- Éliminer environ 30 mL d'alcool (éthanol) par distillation simple.
- Dissoudre le concentrat dans 150 ml d'eau chaude, le mélange mousse à l'agitation.
- Acidifier avec HCl à 12%. Contrôler au papier pH.
- Tiédir jusqu'à ce que les acides gras se séparent.
- Transvaser dans une ampoule à décanter.
- Retirer la couche aqueuse.
- Après évaporation de l'eau, on obtient 0,41 g de glycérol.

Données :

Equation de la réaction de saponification



Les acides gras qui peuvent être obtenus à partir de l'huile d'olive sont :

- l'acide palmitique  $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$
- l'acide stéarique  $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$
- l'acide oléique  $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$
- l'acide linoléique  $\text{C}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}$





Données Acros Organics® :

	<i>Solubility in water</i>	<i>Melting Point (°C)</i>	<i>Boiling Point (°C)</i>	<i>Density (g/cm<sup>3</sup>)</i>
<i>Stearic acid</i>	<i>slightly soluble</i>	<i>67-69</i>	<i>361</i>	<i>0.84</i>
<i>Linoleic acid</i>	<i>insoluble</i>	<i>-5</i>	<i>229-230 (p=16mmHg)</i>	<i>0.90</i>
<i>Palmitic acid</i>	<i>insoluble</i>	<i>59-63</i>	<i>351.1</i>	<i>0.85</i>
<i>Oleic acid</i>	<i>negligible</i>	<i>13</i>	<i>360</i>	<i>0.89</i>
<i>Glycerol</i>	<i>&gt;500 g/L (20°C)</i>	<i>18</i>	<i>290</i>	<i>1.26</i>

1. Schématiser les différentes étapes du mode opératoire apparaissant en gras dans le texte extrait d'Internet et modéliser, par des réactions, les transformations mises en œuvre. Indiquer la composition des différentes phases présentes à chacune de ces étapes.
2. Citer deux applications du glycérol.
3. **QP** Corriger les éventuels écueils scientifiques présents dans le texte et apporter les compléments nécessaires pour pouvoir proposer ce protocole en travaux pratiques à des élèves de lycée.
4. **QP** A partir du texte, rédiger :
  - un protocole de synthèse d'un savon adapté à la classe de 3<sup>ème</sup> et au matériel habituellement disponible au collège. Justifier les choix faits.
  - une fiche d'auto-évaluation de cette situation expérimentale, en précisant les capacités du socle commun et du programme évaluées, ainsi que les critères de réussite.
  - *Deuxième synthèse*

*Dans certains protocoles de synthèse de savons, on utilise du bromure de tétrabutylammonium, un « catalyseur par transfert de phase » :*

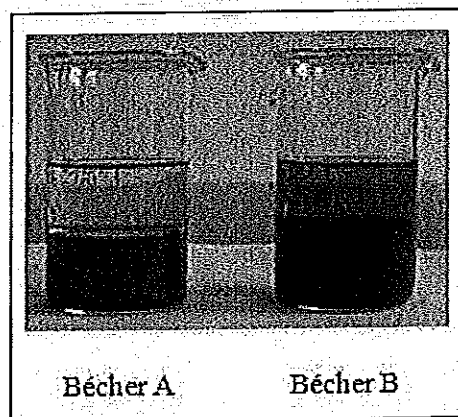
*« Préparer une solution aqueuse de soude en ajoutant 15 g de soude en pastilles à 50 mL d'eau distillée. Dans un grand bécher, introduire 100 g d'huile alimentaire, puis, tout en agitant au moyen de l'agitateur chauffant, ajouter doucement la solution de soude aqueuse. Additionner ensuite un peu de bromure de tétrabutylammonium et agiter vigoureusement tout en chauffant au bain-marie. Au bout de quelques temps, on observe la disparition des gouttes d'huile... »*

*D'après chimie organique expérimentale – Hermann*

5. Citer les différents types de catalyse chimique et donner des exemples issus de l'industrie, de la vie courante et du vivant (10 lignes maximum). En expliquer le principe à l'aide de diagrammes énergétiques.

On peut mettre en évidence « la catalyse par transfert de phase » à l'aide de l'expérience suivante : dans deux béchers notés A et B, on introduit 50 mL d'éther diéthylique et 50 mL de solution aqueuse de permanganate de potassium à  $10^{-3}$  mol/L. Dans le bécher B, on ajoute une pointe de spatule de bromure de tétrabutylammonium ( $\text{Br}^-$ ,  $\text{Bu}_4\text{N}^+$ ).

Après quelques secondes d'agitation, on obtient le résultat suivant :



Données : d'après Acros organics®



General		Physical	
Product Name	Diethyl ether Ether Ethoxyéthane	Density ( $\text{g/cm}^3$ )	0.714
CAS RN	60-29-7	Refractive index	1.351-1.353
Structure		Boiling Point ( $^{\circ}\text{C}$ )	34.6
		Melting Point ( $^{\circ}\text{C}$ )	-116

6. Proposer une interprétation physico-chimique pour rendre compte des différences d'aspect des solutions dans les deux béchers.
7. En déduire le rôle catalytique de l'ion tétrabutylammonium dans cette deuxième synthèse de savon. Un schéma illustrant les transferts des différentes espèces entre phases est attendu.
8. Les éthers-couronnes sont d'autres exemples de catalyseurs par transfert de phase.
- Représenter un éther-couronne
  - Justifier sa propriété de catalyseur par transfert de phase
  - Quel chercheur français a été récompensé par le prix Nobel pour ses travaux sur ces molécules ?
9. Les données générales sur le diéthyléther font apparaître « CAS RN 60-29-7 ». Quel intérêt présentent ces numéros ?

## A.II. Formulation des savons

Voici les compositions de quelques savons commerciaux relevées sur les étiquettes :

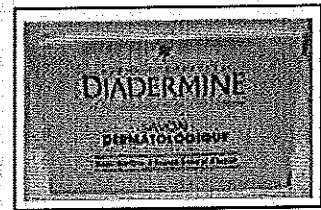
### N°1 Le Petit Olivier® extra doux à l'huile d'olive

Sodium palmate ; sodium palm kernelate ; aqua (water) ; parfum (fragrance) ; palm acid ; palm kernel acid ; glycerin ; olea europaea (olive) fruit oil ; avena sativa (oat) kernel extract ; helianthus annuus (sunflower) seed oil ; rosmarinus officinalis (rosemary) leaf extract ; PEG-60 hydrogenated castor oil ; sodium chloride ; potassium sorbate ; sodium benzoate ; tetrasodium EDTA ; tetrasodium etidronate ; suca ; CI 77492 (iron oxides) ; CI 77288 (chromium oxide greens) ; CI 77491 (iron oxides) ; CI 77499 (iron oxides) ; linalool ; limonene ; geraniol ; coumarin ; cinnamal ; citronellol ; citral ; benzyl benzoate.



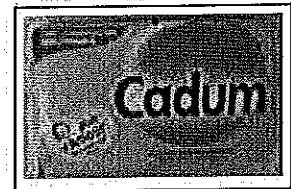
### N°2 Diadermine® savon dermatologique

Sodium tallowate ; sodium cocoate, aqua, talc ; coconut acid ; glycerin ; sodium myreth sulfate ; parfum ; decyl glucoside ; persea gratissima oil ; prunus amygdalus dulcis oil ; sodium lactate ; sodium chloride ; BHT ; tetrasodium EDTA, tetrasodium etidronate ; CI 77891.



### N°3 Cadum® à l'huile d'amandes douces bio

Sodium tallowate ; sodium palm kernelate ; aqua ; glycerin ; parfum, olea europaea oil ; prunus amygdalus dulcis oil ; sodium chloride ; lauric acid ; tetrasodium glutamate diacetate ; CI 77891 ; rosmarinus officinalis extract ; caprylic/capric triglycerides ; hexyl cinnamal ; benzyl salicylate ; butylphenyl methylpropional ; citronellol ; geraniol ; linalool ; coumarin ; limonene ; alpha-isomethyl ionone ; benzyl alcohol.



Données :

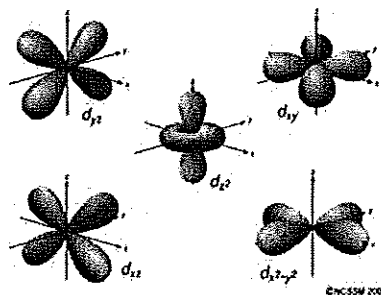
CI 77891 : dioxyde de titane

CI 77288 : oxyde de chrome(III)

CI 77492, CI 77491, CI 77499 : oxydes de fer

10. La plupart des savons contiennent de l'eau, qui peut être mise en évidence par le test « au sulfate de cuivre ». Comment expliquer le changement de couleur observé lors de ce test ?

Donnée : représentation conventionnelle des orbitales 3d



11. *QP* Le test « au sulfate de cuivre » peut servir de support à une démarche d'investigation en classe de 5<sup>ème</sup>.

- Proposer le scénario pédagogique d'une démarche d'investigation autour des cosmétiques : situation déclenchante, question scientifique, exemple de liste de matériel et de protocole expérimental attendu, conclusion.
- Indiquer les atouts présentés par le choix des cosmétiques comme objets d'étude.

12. Identifier cinq familles d'ingrédients présentes dans la formulation des trois savons, les espèces physico-chimiques appartenant à ces familles et en expliquer les rôles respectifs.

### A.III. Mode d'action d'un savon

*On cherche à comprendre l'action dégraissante d'un savon.*

13. Justifier la place prise par le savon dans un mélange eau/huile au repos.

14. Expliquer la phrase suivante : « en absence d'une des phases, les savons forment des micelles directes dans l'eau et micelles inverses dans l'huile ». Faire le schéma de ces deux types de micelles et interpréter leur formation.

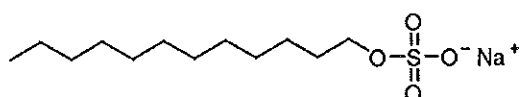
15. Proposer une interprétation au caractère dégraissant du savon indiqué sur l'étiquette.

16. Citer et illustrer les analogies et différences entre savons et détergents.



*Une micelle ne se forme qu'à partir d'une concentration suffisante en tensio actif, appelée Concentration Micellaire Critique (CMC). Au-delà de cette concentration, le système est constitué de micelles et de tensioactifs à la concentration micellaire critique.*

*On peut déterminer la CMC, à température donnée, d'un tensioactif, comme le dodecylsulfate de sodium (noté SDS, de structure donnée ci-dessous), par conductimétrie.*



*On mesure la conductivité  $\sigma$  de plusieurs solutions aqueuses de SDS dont les concentrations apportées sont comprises entre  $2 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  et  $2 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .*

*Le graphe  $\sigma = f(c)$  (figure 2) représente l'évolution de la conductivité  $\sigma$  en fonction de la concentration  $c$  apportée en SDS.*

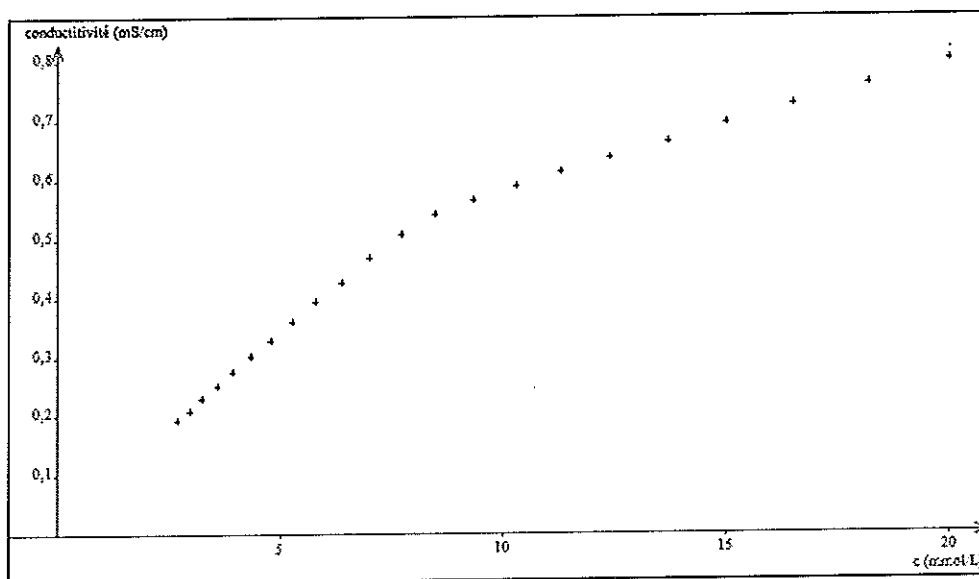


Figure 2

17. Déterminer la valeur de la concentration micellaire critique du SDS. Justifier, par une modélisation théorique, la possibilité d'utiliser le graphe pour obtenir cette valeur en considérant que :

- une micelle est formée de  $n$  entités tensioactives,
- les ions  $\text{Na}^+$  sont libres en solution, que la micelle soit formée ou non.

## Partie B. L'apport de la chimie moderne à la cosmétique ; les liposomes

### Document 1

A liposome is a tiny bubble (vesicle), made out of the same material as a cell membrane. Liposomes can be filled with drugs, and used to deliver drugs for cancer and other diseases. Membranes are usually made of phospholipids, which are molecules that have a head group and a tail group. The head is attracted to water, and the tail, which is made of a long hydrocarbon chain, is repelled by water.

In nature, phospholipids are found in stable membranes composed of two layers (a bilayer). In the presence of water, the heads are attracted to water and line up to form a surface facing the water. The tails are repelled by water, and line up to form a surface away from the water. In a cell, one layer of heads faces outside of the cell, attracted to the water in the environment. Another layer of heads faces inside the cell, attracted by the water inside the cell. The hydrocarbon tails of one layer face the hydrocarbon tails of the other layer, and the combined structure forms a bilayer.

When membrane phospholipids are disrupted, they can reassemble themselves into tiny spheres, smaller than a normal cell, either as bilayers or monolayers. The bilayer structures are liposomes. The monolayer structures are called micelles.

<http://www.news-medical.net/health/What-is-a-Liposome.aspx>

### Document 2

Les liposomes sont employés dans l'industrie comme vecteurs de substances cosmétologiques. Ils sont aussi parfois utilisés comme vecteurs de thérapie génique, pour délivrer des médicaments ou encore comme support de vaccins. Les liposomes constituent surtout un bon modèle membranaire et sont largement employés pour mieux comprendre les mécanismes intervenant au niveau de la membrane (...).

De nombreuses substances utilisées en cosmétologie (antioxydants, collagène, etc.) sont en général appliquées localement sous forme d'émulsion huileuse ou de solution alcoolique. L'huile et l'alcool peuvent endommager la peau en cas d'application prolongée. L'encapsulation dans des liposomes permet de contourner ce problème (...). Aussi, en plus de la diffusion passive et continue du produit au travers des bicouches des liposomes, ceux-ci peuvent fusionner avec les cellules de la peau et libérer le principe actif dans la cellule et augmenter son efficacité.

D'après *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2004 8 (3), 163-176

### Document 3

Liposomes are spherical, self-closed structures formed by one or several concentric lipid bilayers with an aqueous phase inside and between the lipid bilayers. (...)

Attractive biological properties of liposomes :

- Liposomes are biocompatible.
- Liposomes can entrap water-soluble (hydrophilic) pharmaceutical agents in their internal water compartment and water-insoluble (hydrophobic) pharmaceuticals into the membrane.
- Liposome-incorporated pharmaceuticals are protected from the inactivating effect of external conditions, yet do not cause undesirable side reactions.
- Liposomes provide a unique opportunity to deliver pharmaceuticals into cells or even inside individual cellular compartments.
- Size, charge and surface properties of liposomes can be easily changed simply by adding new ingredients to the lipid mixture before liposome preparation and /or by variation of preparation methods.

Nature reviews, drug discovery, volume 4, February 2005

### Document 4

Définition d'un phosphoglycéride : phospholipide constitué de glycérol estérifié par des chaînes d'acides gras sur les carbones 1 et 2, le carbone 3 portant un groupement phosphate dont un des oxygènes est lié à un groupe alkyle (-R), conduisant à un groupe -OR.

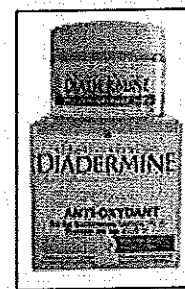
18. *QP* En classe de première STL, dans le cadre de l'enseignement « chimie biochimie science du vivant » (CBSV), le thème 1 « Les systèmes vivants présentent une organisation particulière de la matière » amène à étudier les structures et propriétés des entités chimiques présentes dans les organismes vivants.

- Représenter la formule semi-développée d'un phosphoglycéride.
- Illustrer et expliciter les connaissances et capacités attendues des élèves de première STL à l'aide de l'extrait de programme officiel fourni en annexe.

19. *QP* A l'aide des documents fournis, ainsi que de l'extrait de programme du pôle « chimie et santé » de la classe de terminale ST2S fourni en annexe, rédiger une situation d'évaluation sommative et son corrigé portant sur la partie 10.2 « Applications : micelles, liposomes ».

## Partie C. La protection ; les antioxydants

Les substances actives dans les produits cosmétiques peuvent être des antioxydants, comme dans certaines crèmes de beauté. Dans d'autres cas, aux substances principales actives, des additifs, tels que des antioxydants, peuvent être ajoutés.



20. Citer un exemple d'antioxydant utilisé dans de la vie quotidienne et expliquer son mode d'action.

### C.I. Synthèse d'un antioxydant

D'après la thèse de Damien Habrant intitulée « Synthèse et caractérisation de nouveaux antioxydants, dérivés mono-aromatiques d'acides pulviniques, pour des applications en dermo-cosmétique ».

Les dérivés de l'acide pulvinique, dont la structure est représentée sur la figure 3, sont des molécules qui se révèlent être de très bons antioxydants.

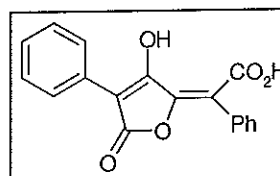


Figure 3

On se propose d'étudier la synthèse du composé **G**, (représenté sur la figure 4) un dérivé lipophile de l'acide pulvinique :

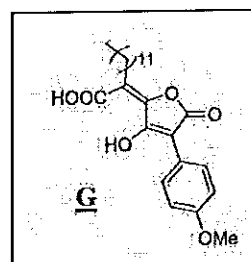


Figure 4

Le schéma de synthèse du composé **G** est représenté sur la figure 5 :

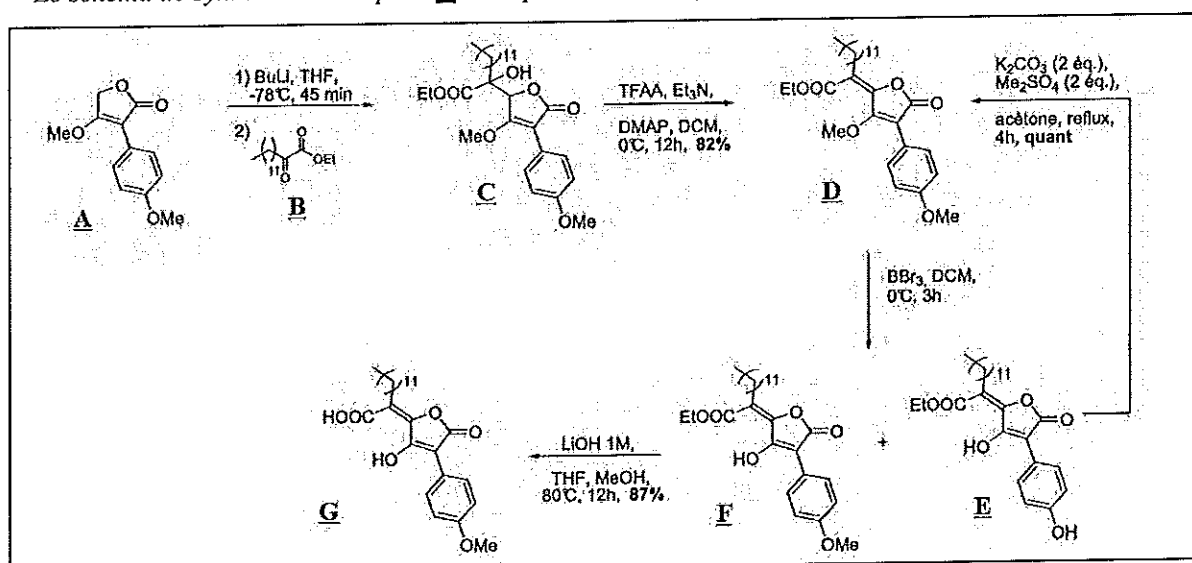
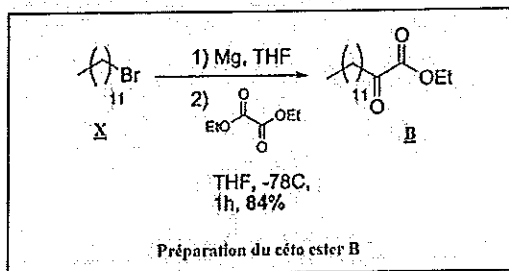


Figure 5

• **Première étape : synthèse du cétoester B**



Le bromure de dodécyle X est traité avec du magnésium, puis le produit formé réagit avec l'oxalate de diéthyle, à  $-78^{\circ}\text{C}$  dans le tétrahydrofurane (THF). Le cétoester B est obtenu avec un rendement de 84%.

Données à 298K :

	Mg(s)	MgO(s)	O <sub>2</sub> (g)
$\Delta_f H^{\circ}$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )		-602	
$S^{\circ}$ (J.K <sup>-1</sup> .mol <sup>-1</sup> )	32,7	26,9	205

$$pK_A \quad (RH/R) \simeq 40 \quad (ROH/RO) \simeq 18 \quad (H_2O/HO) = 14 \quad (H_3O^+/H_2O) = 0$$

$$R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$$

Solvants utilisés en chimie organique : THF, éthoxyéthane (éther diéthylique), acétone, éthanol, cyclohexane.

Tétrahydrofurane (THF) :



21. Ecrire les équations des réactions mises en jeu dans les deux étapes de synthèse du cétoester B.
22. Déterminer la valeur de l'affinité chimique de la réaction d'oxydation du magnésium solide par le dioxygène à température et pression ambiantes. Quelle conséquence pour la synthèse réalisée peut-on en déduire ?
23. Justifier, à l'aide d'un diagramme de prédominance entre autres, les conditions expérimentales choisies pour cette synthèse.
24. En l'absence de THF, quel autre solvant peut-on utiliser pour la synthèse du réactif B ?

• **Deuxième étape : synthèse de l'alcool C**

Le protocole proposé dans la thèse est le suivant :

« Une solution de *n*-BuLi (1,5 mol.L<sup>-1</sup> dans l'hexane, 5,7 mL, 8,52 mmol, 1,5 eq) dans 10 mL de THF est refroidie à  $-78^{\circ}\text{C}$ . L'acide tétronique protégé A (1,25 g, 5,68 mmol, 1eq) dans 20 mL de THF est ajouté lentement. La solution est agitée 30 min à  $-78^{\circ}\text{C}$  puis le cétoester B (3,07 g, 11,36 mmol, 2 eq) est ajouté. Après 30 min d'agitation à  $-78^{\circ}\text{C}$ , la solution est laissée revenir à température ambiante. Après deux heures d'agitation à température ambiante et ajout d'une solution aqueuse saturée en chlorure d'ammonium, la phase aqueuse est extraite à l'acétate d'éthyle. La phase organique est séchée sur sulfate de magnésium anhydre et concentrée. Le brut réactionnel est purifié par chromatographie sur gel de silice (éluant : Cy/AcOEt : 95/5 à 60/40). L'alcool C (2,21 g, 79%) est obtenu sous forme d'une huile jaune, mélange de formes diastéréoisomères (...) ».

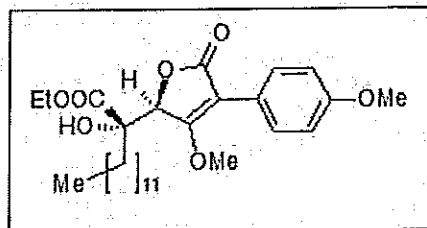
Le spectre RMN <sup>1</sup>H (300MHz, CDCl<sub>3</sub>) d'un des deux diastéréoisomères présente des signaux dont on donne les déplacements chimiques : 0,81-0,84 (m, 3H) ; 1,22-1,48 (m, 23H) ; 1,82-2,03 (m, 2H) ;



3,70(s, 3H) ; 3,75 (s, 3H) ; 4,25 (t, J=6,9 Hz, 2H) ; 4,87 (s, 1H) ; 6,85 (d, J=8,4 Hz, 2H) ; 7,25 (d, J=8,4 Hz, 2H).

25. Ecrire le mécanisme de formation de l'alcool C en justifiant la chimiosélectivité de la réaction sur le cétoester.

26. « L'alcool C (...) est obtenu sous forme d'une huile jaune, mélange de formes diastéréoisomères ». Préciser les descripteurs stéréochimiques du stéréoisomère suivant :



27. Expliquer le rôle des différents traitements effectués à l'issue de la réaction.

28. La purification s'effectue sur colonne de gel de silice. Effectuer une présentation comparative (en montrant notamment les analogies et différences) de la CCM sur silice et de la chromatographie sur colonne de gel de silice, deux techniques pouvant être utilisées au lycée.

Dans la thèse figure la description du signal en RMN <sup>1</sup>H d'un des diastéréoisomères synthétisé.

29. Expliquer le principe de la spectroscopie RMN (15 lignes maximum).

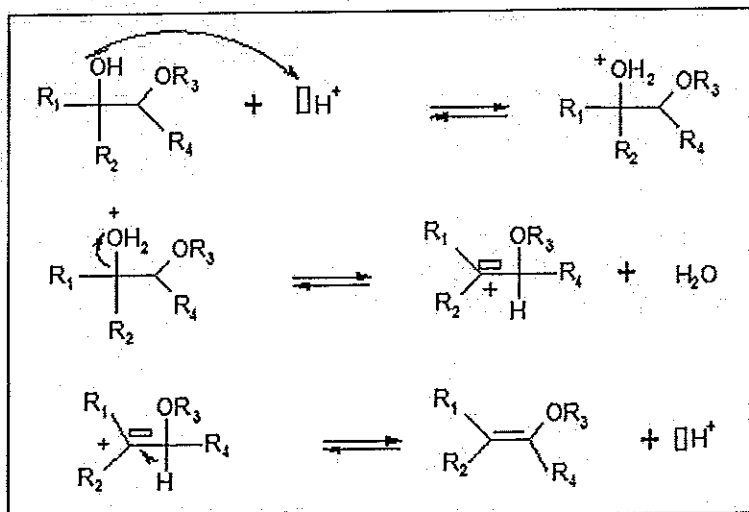
30. Pourquoi les spectres RMN font-ils apparaître les déplacements chimiques et non les fréquences de résonance ? (réponse quantitative attendue).

31. *QP* Comment expliquer à un élève de terminale S ce que signifient les lettres *m*, *s*, *d* ?

32. En 15 lignes maximum, expliquer l'origine de la caractéristique « d » d'un signal à un niveau post baccalauréat.

• *Troisième étape : synthèse du composé D*

Le composé D est obtenu par déshydratation de l'alcool C. On obtient deux isomères *Z* et *E* (*E/Z* : 70/30) que l'on sépare par chromatographie sur gel de silice. Le mécanisme de la déshydratation d'un alcool comme l'alcool C est donné en CPGE sous la forme représentée ci-contre :



33. *QP* Quelles notions du programme de terminale S peuvent être illustrées à l'aide de ce mécanisme ?

34. Expliquer la régiosélectivité observée dans cette réaction de déshydratation conduisant au composé **D**.

- *Quatrième étape : synthèse du composé F*

Dans cette étape, on protège le groupe hydroxyle OH.

35. Pourquoi a-t-on protégé le groupe caractéristique hydroxyle dans cette synthèse ?

36. Citer un autre exemple de groupement protecteur pour un alcool.

- *Cinquième étape : obtention du composé G, dérivé de l'acide pulvinique*

37. Quelle est la nature de la réaction mise en œuvre pour passer de **F** à **G** ?

## C.II. Mesure de l'efficacité des antioxydants

Après avoir synthétisé des antioxydants, il faut en tester l'activité.

### C.II.1. Première méthode : capture de l'ion superoxyde

L'ion superoxyde,  $O_2^-$  est produit par notre organisme. Il est « détruit » en partie par une enzyme, la superoxyde dismutase. Cependant, les ions échappant à cette destruction donnent lieu à la production de « radicaux libres », comme  $HO^\bullet$ , à l'origine de l'oxydation des constituants cellulaires.

L'ion superoxyde peut aussi réagir avec le monoxyde d'azote pour donner l'anion peroxydinitrite  $^-\text{OONO}$  qui est un agent très réactif. Il conduit également à la formation de radicaux  $HO^\bullet$ .

38. Proposer une structure de Lewis de l'ion superoxyde  $O_2^-$ , du monoxyde d'azote et de l'anion peroxydinitrite.

On peut évaluer l'activité antioxydante d'un composé, en étudiant la capture de l'ion superoxyde par l'antioxydant considéré.

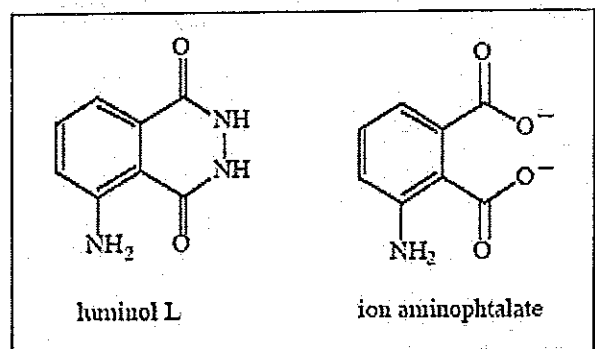
#### Document 1

En présence de dioxygène et de lumière UV, le luminol L produit l'ion superoxyde selon le schéma :



#### Document 2

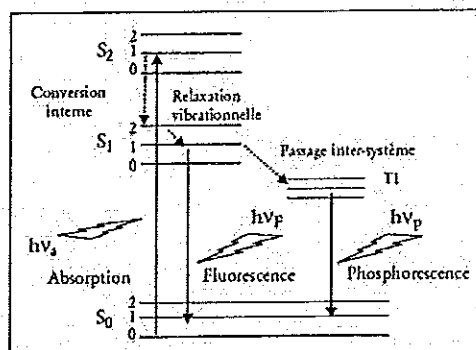
Le luminol réagit avec l'ion superoxyde pour former l'ion aminophthalate. Cet ion est produit dans un état excité. Sa déséxcitation entraîne l'émission d'une radiation lumineuse de longueur d'onde  $\lambda = 351 \text{ nm}$ .



### Document 3

#### Diagramme simplifié de Perrin-Jablonski

Les états électroniques singulets sont notés  $S_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$  et l'état triplet  $T_1$ . Les flèches en pointillés correspondent à des pertes énergétiques non radiatives.



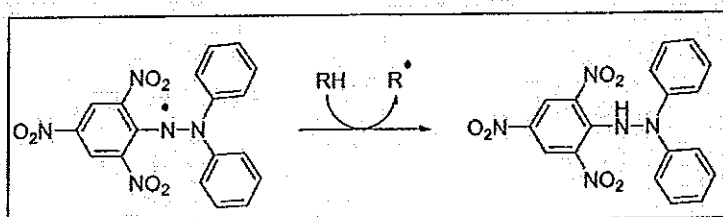
### Document 4

On peut relier l'intensité  $I_f$  de fluorescence à la concentration  $c$  de l'espèce fluorescente :  $I_f = K.I_0.c$ .  $I_f$  étant l'intensité de fluorescence,  $I_0$  l'intensité de la radiation excitatrice,  $c$  la concentration de l'espèce fluorescente et  $K$  un facteur dépendant de la longueur de la cuve et du coefficient d'absorption molaire entre autre. Cette relation est valable pour les faibles concentrations.

39. *QP* A l'aide d'un diagramme simplifié, expliquer le principe de la fluorescence comme vous le feriez à des élèves d'une classe de première S.
40. A partir des 4 documents fournis, proposer, en 15 lignes maximum, une méthode de mesure de l'activité antioxydante du dérivé de l'acide pulvinique synthétisé précédemment, en précisant le rôle des différentes espèces.

#### C.II.2. Deuxième méthode : capture du radical DPPH

A simple method that has been developed to determine the antioxidant activity utilizes the stable 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical. The structure of DPPH and its reduction by an antioxidant are shown below.



The odd electron in the DPPH free radical gives a strong absorption maximum at 517 nm and is purple in color. The color turns from purple to yellow as the molar absorptivity of the DPPH radical at 517 nm reduces from 9660 to 1640  $\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$  when the odd electron of DPPH radical becomes paired with a hydrogen from a free radical scavenging antioxidant to form the reduced DPPH-H. The resulting decolorization is stoichiometric with the respect to number of electron captured.

D'après Medallion Labs, Antioxidant activity

41. Justifier la manière dont le DDPH permet de tester l'efficacité d'un antioxydant.

42. QP Proposer une expérience quantitative utilisant cette méthode en classe de première S.

## Partie D. L'embellissement ; les fards

Les fards regroupent les fonds de teint (application sur la peau), les crayons, les khôls (application sur le pourtour de l'œil), les rouges à lèvres...

Les fards s'obtiennent par dispersion de pigments colorés dans une phase solide ou semi-solide. Dans cette partie, on s'intéresse à quelques pigments naturels et synthétiques utilisés au cours de l'histoire pour la fabrication des fards.

### D.I. Les sels de plomb dans les fards de l'Égypte ancienne : le début de la chimie

L'analyse des fards égyptiens témoigne de la présence de galène (sulfure de plomb), solide noir, et d'un mélange blanchâtre composé de cérusite (carbonate de plomb), laurionite ( $\text{Pb}(\text{OH})\text{Cl}$ ) et phosgénite ( $\text{Pb}_2(\text{CO}_3)\text{Cl}_2$ ). Galène et cérusite sont des pigments facilement accessibles. En revanche, la laurionite et la phosgénite sont très rares dans la nature, en quantité trop faible pour qu'elles aient pu être intensément utilisées comme base de cosmétique pendant une longue période. Les égyptiens ont en fait synthétisé ces deux espèces. La méthode de synthèse a été décrite par Dioscoride, médecin et scientifique grec ; elle est directement transcrite des enseignements transmis par les Grands Prêtres Égyptiens.

D'après La Chimie et l'art - Christian Amatore - EdP Sciences

On se propose d'étudier la manière dont les égyptiens, en synthétisant la laurionite, ont utilisé les lois de modération (déplacement des équilibres chimiques) sans le savoir.

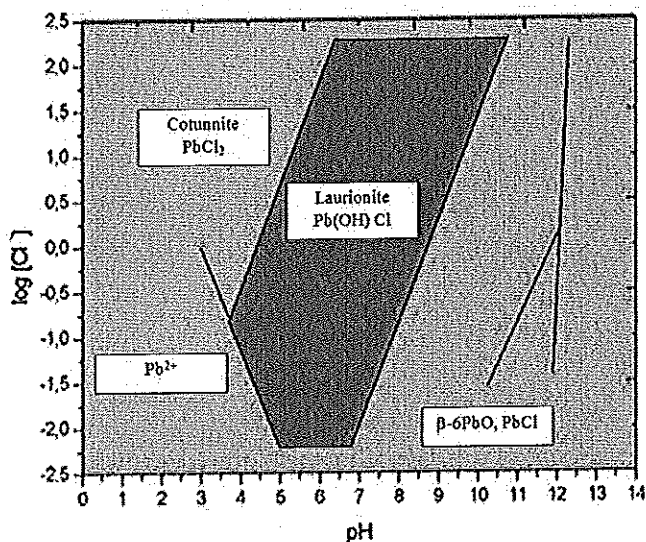
#### Document 1

« Après avoir mélangé une livre d'écume d'argent ( $\text{PbO}$ ) à cinq drachmes de sel de roche ( $\text{NaCl}$ ), verser de l'eau tiède, et remuer très vigoureusement trois fois par jour (...). Laisser le mélange reposer, éliminer l'excès d'eau, puis ajouter du sel de roche et de l'eau tiède. Répéter l'ensemble de ces opérations trois fois par jour pendant trente jours jusqu'à ce que la solution ait perdu toute sa causticité. »

Recette de Dioscoride

#### Document 2

Diagramme de Pourbaix des chlorures de plomb :  $\log([\text{Cl}^-]) = f(\text{pH})$



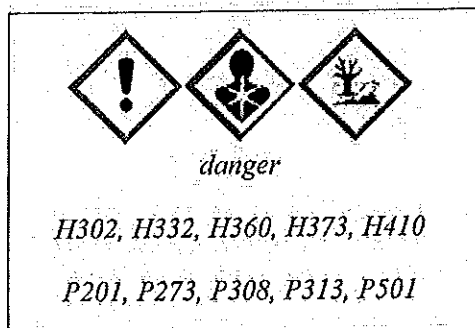
43. Ecrire l'équation de la réaction de synthèse de la laurionite.
44. Comment, avec les techniques actuelles, pourrait-on s'assurer que la solution a perdu toute sa causticité ?
45. Reproduire l'allure du diagramme et illustrer sur celui-ci l'évolution du mélange lors de la synthèse de la laurionite selon la recette de Dioscoride.
46. A l'aide des documents, expliquer en quoi la synthèse mise au point par les égyptiens illustre les lois de modération. Un raisonnement utilisant l'affinité chimique serait bienvenu.

#### D.II. La céruse : un pigment utilisé pour blanchir la peau, des romains jusqu'au XVIIème siècle

*Le mot « céruse » est emprunté au latin cerussa, qui signifie « plomb blanc ». La cérusite ou carbonate de plomb existe naturellement. Ce minéral constitue une réserve importante de minéral de plomb, mais n'a pas été exploité comme source de pigment blanc. La « céruse » est en fait un carbonate de plomb de formule  $2PbCO_3, Pb(OH)_2$  que l'on peut synthétiser. Il va prendre, au cours des siècles, une importance considérable comme pigment dans la peinture mais aussi dans les cosmétiques. Dans de très nombreuses cultures, le blanc est symbole de noblesse, de pureté et la blancheur de la peau est un canon esthétique et social. L'emploi du blanc de plomb comme fard est attesté dès l'antiquité gréco-romaine : les femmes s'en enduisaient le visage et les épaules pour masquer leurs rides.*

*D'après Couleur métal – Edisud*

Pictogrammes de danger du plomb :



47. Que signifient :
- ces trois pictogrammes ?
  - les lettres « H », « P » ?
48. Quelle maladie l'ingestion de plomb provoque-t-elle ? Pourquoi de nombreux enfants en ont été atteints ?
49. Quel pigment blanc est actuellement utilisé dans les peintures ?

*Fin de l'énoncé*

## Quelques aspects de la chimie des cosmétiques

### Correction

1.

- montage à reflux :

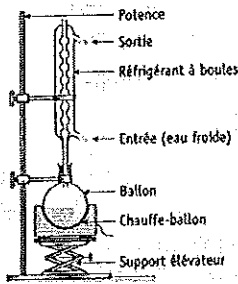


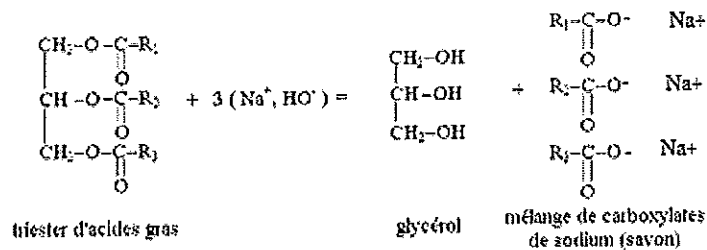
schéma : ballon + réfrigérant à boules + alimentation en eau + 2 pinces + potence

montage en hauteur ; support élévateur + plaque chauffante (ou chauffe ballon)

EI : huile, soude alcoolique

EF : glycérol, ions carboxylate, sodium,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HO}^-$ , EtOH (en supposant la transformation totale et la soude alcoolique en excès – sinon, reste d'huile)

Modélisation de la transformation effectuée :



- distillation simple :

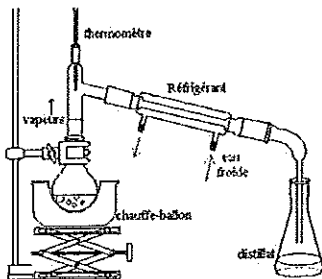


schéma : ballon, colonne, thermomètre, réfrigérant droit, erlenmeyer, pinces (une pour le ballon, une pour le réfrigérant), noix, potence, support élévateur, chauffe-ballon ou plaque chauffante

EF dans le ballon : glycérol, ions carboxylates,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HO}^-$ , reste d'EtOH

- ampoule à décanter :

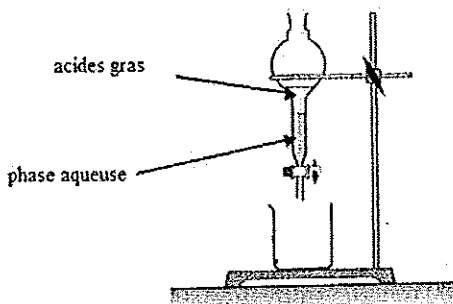


schéma : ampoule, support, béc

EI avant séparation :

phase supérieure : acides gras ( $d < 1$ ), formés lors de l'ajout d'acide chlorhydrique

phase inférieure : eau, glycérol, ions ( $d > 1$ )

2. applications du glycérol (=glycérine) : cosmétiques (agent hydratant, solvant, lubrifiant), industrie des explosifs (nitroglycérine), lubrifiant (suppositoires), dentifrices, polymères ...
3. QP Erreurs scientifiques :
- ml au lieu de mL
  - HCl au lieu de solution d'acide chlorhydrique
  - $R_1COONa$  au lieu de  $R_1COO^- + Na^+$
  - Mal exprimé : « les acides gras se séparent »
  - Chiffres significatifs incohérents (5g d'huile – 0,41 g de glycérol obtenu)

Remarque : density se traduit par masse volumique.

Compléments de protocole pour des élèves de lycée (cf schémas ci-dessus) :

Montage à reflux : support élévateur, fixation du réfrigérant à boules à une potence avec deux noix, entrée de l'eau dans le réfrigérant à boules. On chronomètre 15 minutes à partir du moment où le reflux est observé.

Distillation : remplacement du réfrigérant à boules par une colonne de distillation, un thermomètre, un réfrigérant à eau, une allonge coudée au-dessus d'un erlenmeyer. L'embout du thermomètre doit être au niveau du réfrigérant.

Des fiches annexes concernant ces montages auront par exemple été distribuées pendant l'année aux élèves.

Décantation : agiter l'ampoule puis ouvrir le robinet pour dégazer.

Pictogrammes et conseils de sécurité : soude alcoolique et acide chlorhydrique : corrosifs, à manipuler avec des gants (et bien sûr des lunettes de sécurité). Acide chlorhydrique : irritant pour les voies respiratoires, à manipuler sous la hotte.

4. QP Synthèse d'un savon en classe de 3<sup>ème</sup> :

Matériel : ballon et chauffe ballon, réfrigérant à air, spatule, verre de montre, éprouvettes, verre à pied, entonnoir sur support et papier filtre, tube à essais, lunettes (obligatoires), pinces, noix.

*Le réfrigérant à eau est rarement disponible en collège, tout comme les ampoules à décanter. En cas d'absence de chauffe-ballon, la réaction peut être réalisée dans un erlenmeyer ou un tube à essais au bain-marie surmonté d'un réfrigérant à air.*

Substances : huile d'olive, éthanol, pastilles de soude, eau salée.

Protocole : Dans un ballon de 250 mL dans lequel le professeur a introduit 10 g de soude, verser 20 mL d'huile d'olive et 20 mL d'éthanol.

*La manipulation des pastilles de soude est interdite aux mineurs.*

*La mesure d'un volume d'huile à l'éprouvette graduée est plus simple au collège qu'avec les balances électroniques en nombre limité.*

Adapter un réfrigérant à air sur le ballon et chauffer le mélange réactionnel pendant 15 minutes au bain marie. Verser le contenu du ballon dans un verre à pied contenant de l'eau salée afin de faire précipiter le savon.

Le relargage permet de faire précipiter le savon qui pourra ensuite être récupéré par filtration.

Ensuite filtrer le mélange obtenu. Mettre à sécher les morceaux de savon récupérés dans le filtre.

Préciser aux élèves que le savon obtenu contient encore de la soude ; il ne faut pas l'utiliser directement sur la peau.

Caractérisation du produit obtenu : Prélever un peu du savon obtenu et l'introduire dans un tube à essais. Ajouter de l'eau et agiter.

Le savon est caractérisé par son caractère moussant.

Exemple de fiche d'auto-évaluation :

Capacité du socle commun et du programme	Critères de réussite	A/ EA/NA ☺ ☹ ☹
Rechercher, extraire, organiser l'information utile	<ul style="list-style-type: none"> <li>J'ai lu attentivement la liste du matériel, le protocole expérimental et les consignes de sécurité</li> </ul>	
Réaliser Suivre le protocole permettant de réaliser la synthèse d'un savon. Identifier les risques correspondants, respecter les règles de sécurité.	<ul style="list-style-type: none"> <li>J'ai mesuré avec soin à l'éprouvette graduée des volumes d'huile d'olive et d'éthanol</li> <li>J'ai su réaliser le montage à reflux et j'ai surveillé le chauffage du mélange</li> <li>J'ai versé prudemment le contenu du ballon dans un verre à pied contenant l'eau salée</li> <li>J'ai su filtrer et récupérer le savon sur le papier filtre</li> <li>J'ai su caractériser le savon formé par son caractère moussant</li> <li>J'ai respecté les consignes de sécurité.</li> </ul>	
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> <li>J'ai rédigé mes observations avec des phrases courtes et compréhensibles.</li> </ul>	
Autonomie et initiative	<ul style="list-style-type: none"> <li>Je me suis impliqué dans le travail en équipe</li> <li>J'ai travaillé de manière autonome.</li> </ul>	

## 5.

Différents types de catalyse :

- catalyse homogène : réactifs et catalyseur dans la même phase  
exemple : catalyseur de Wilkinson (hydrogénation des alcènes – PN 1973) :  $\text{RhCl}(\text{PPh}_3)_3$   
catalyse acide lors de l'estérification.
- catalyse hétérogène : réactifs et catalyseur dans deux phases différentes  
exemple : synthèse ammoniac (Fe), pots catalytiques (Pt, Rh – Ertl PN 2007)...
- catalyse enzymatique : catalyse grâce à une enzyme (protéine). C'est une catalyse homogène très sélective.  
exemple : amylase de la salive (permet d'hydrolyser l'amidon en glucose) ; protéase et amylase (fabrication de la bière).



Diagramme énergétique :

Exemple considéré :

sans catalyseur : réaction élémentaire (1 étape)

avec catalyseur : 2 étapes ; énergies d'activations plus petites ; énergies de l'EI et EF inchangées

Les énergies d'activations sont plus faibles que précédemment : la réaction est plus rapide.

d'après « les cours de P.Arnaud », ed Dunod

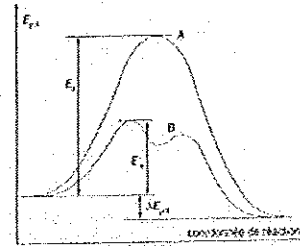


Figure 23.9 - Modification du profil énergétique d'une réaction par la catalyse.

A : réaction non catalysée. B : formation transitoire d'un complexe tétramoléculaire (une réaction simple est remplacée par une réaction complexe qui se fait en deux étapes ayant chacune une énergie d'activation plus faible).  
Dans tous les cas l'énergie de réaction  $\Delta E_{rx}$  reste inchangée, de sorte que les caractéristiques thermodynamiques de la réaction ne sont pas modifiées. La catalyse abaisse l'énergie d'activation d'une réaction en modifiant son mécanisme réactionnel ; ceci est vrai pour la réaction directe et pour la réaction opposée qui se font toutes les deux avec une énergie d'activation plus basse que dans le cas de la réaction non catalysée (exercice 23.3).

6.

eau (incolor) : inorganique, très polaire, fait des LH	} Non miscibles
éther (incolor) : organique, peu polaire	
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , ion inorganique donc	

- soluble dans l'eau (interactions ion-dipôle + LH)
- non soluble dans l'éther

Ainsi, le béccher A présente deux phases ; la phase inférieure est aqueuse (d=1) et celle supérieure étherée (d<1). L'ion permanganate est présent uniquement en phase aqueuse, d'où la couleur violette de la phase aqueuse et l'absence de couleur de la phase organique.

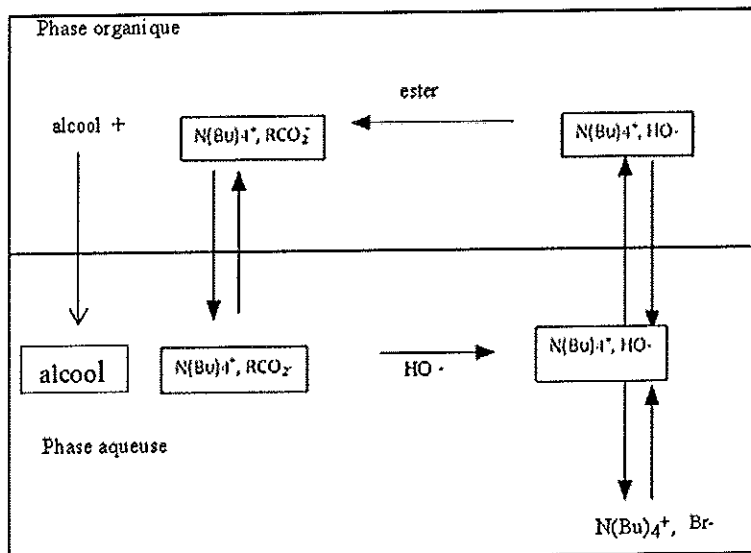
Ion tétrabutylammonium : soluble dans l'eau car ionique et dans l'éther grâce à ses longues chaînes organiques  
Cet ion peut donc passer en phase organique, accompagné d'un anion (neutralité des phases) comme l'ion permanganate (échange de contre ion), qui colore alors la phase organique.

7.

La réaction met en jeu une solution aqueuse de soude et l'huile. Les deux réactifs sont présents dans deux phases différentes (eau et huile non miscibles) ; la réaction est relativement lente puisqu'elle n'a lieu qu'à l'interface.

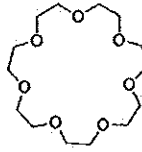
L'ion tétrabutylammonium, soluble en phase aqueuse et organique, emmène l'ion HO<sup>-</sup> de la phase aqueuse vers la phase organique (huile) et permet ainsi aux réactifs d'être dans la même phase d'où une réaction plus rapide.

Rem : l'alcool formé est soluble dans l'eau ; ainsi la phase organique disparaît...



8.

- schéma d'un éther couronne



- catalyseur par transfert de phase car soluble en phase aqueuse et organique : sa très longue chaîne organique le rend soluble en phase organique. Les oxygènes peuvent solvater un cation, l'ensemble devenant alors ionique et donc soluble en phase aqueuse.
- Jean-Marie Lehn a obtenu le prix Nobel de chimie en 1987.

9.

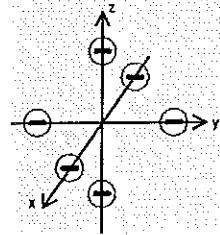
Les n° de CAS sont internationaux et permettent de s'affranchir de la nomenclature.

10.

Théorie du champ cristallin dans la cadre d'un complexe octaédrique (modélisation choisie) :

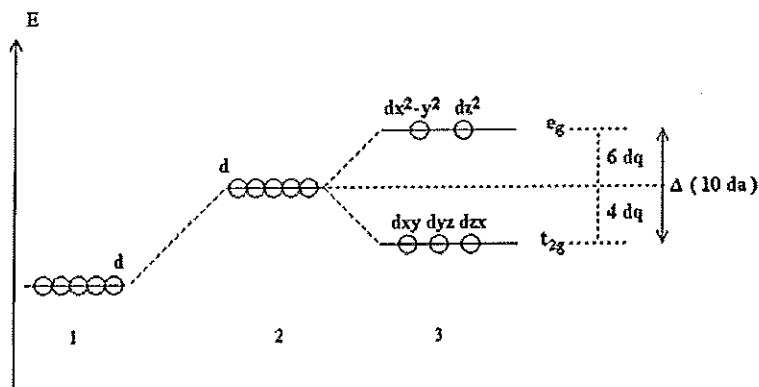
- Le complexe  
 $M + 6L \rightarrow ML_6$

Géométrie du complexe  $ML_6$  :  
 Les ligands sont positionnés sur les  
 Axes Ox, Oy et Oz.



Remarque : l'aqua complexe formé avec l'ion Cu(II) n'adopte pas une vraie symétrie octaédrique ; on choisit de travailler avec la modélisation la plus simple.

- Levée de dégénérescence des orbitales 3d :



Situation n°1 : ion à symétrie sphérique (ion libre) ; les OA 3d sont dégénérées.

Situation n°2 : ion plongé dans une sphère négative (symétrie sphérique conservée) : les OA 3d restent dégénérées mais d'énergie supérieure à la situation précédente (répulsion entre les charges de la sphère).

Situation n°3 : passage en symétrie octaédrique : levée de dégénérescence des OA 3d  
Les charges sont maintenant rassemblées en 6 ligands sur les axes Ox, Oy et Oz.  
Les OA  $3dx^2-y^2$  et  $3dz^2$  sont déstabilisées (répulsion avec les ligands).  
Les OA  $3dxy$ ,  $3dyz$  et  $3dxz$  sont stabilisées (conservation de l'énergie).

Peut alors se produire une transition entre les deux groupes d'orbitales, transition dont la longueur d'onde associée appartient au visible, d'où la couleur.

## 11. QP

Exemple de situation déclenchante :

Présentation de publicités et d'étiquettes de différents shampoings : shampoing à la verveine, au romarin, à l'huile d'olive, à l'huile d'avocat, à la vanille ; shampoings pour cheveux gras, anti-chute... Certains shampoings indiquent dans leur composition la mention « Aqua ».

Question scientifique : Tous les shampoings contiennent-ils de l'eau ?

Liste de matériel : coupelles, compte-gouttes, béchers, sulfate de cuivre anhydre, shampoings à tester.

Exemple de protocole expérimental proposé par un groupe d'élèves : Dans chaque coupelle, déposer un peu de sulfate de cuivre anhydre. Verser à l'aide du compte-gouttes quelques gouttes du shampoing à tester. Observer

*Prérequis* : le test d'identification de l'eau a déjà été étudié.

Conclusion : les shampoings contiennent tous de l'eau.

Atouts des cosmétiques pour la mise en œuvre du test de reconnaissance de l'eau par le sulfate de cuivre anhydre :

- L'eau joue un rôle très important dans les formulations cosmétiques. Par exemple, une crème de soin contient de 60 à 90 % d'eau ; les lotions, gels-douche et shampoings jusqu'à 95 %.
- Autre intérêt : découverte d'une branche professionnelle (industrie des cosmétiques) qui a une image positive auprès du grand public et qui est pourvoyeuse d'emplois, ce qui peut donc susciter des vocations scientifiques.

## 12.

savon (sodium palmate par ex) : nettoyage de la peau

parfum (linalool, limonene...) : pour parfumer le savon

colorants(oxydes de fer, oxydes de chrome...) : pour colorer le savon

complexant (EDTA) : pour éviter la précipitation du savon par complexation des ions  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  présents dans l'eau

détergent (sodium myreth sulfate) : pour nettoyer la peau

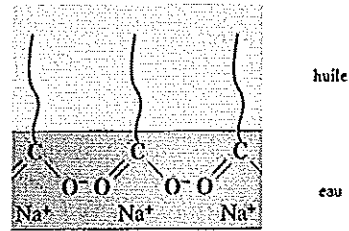
antioxydant (sodium benzoate) : destruction des radicaux libres, conservateur

eau (aqua) : hydratation, solvant

adoucissant (glycerine) : hydratation, douceur de la peau

13.

Le savon se place à l'interface du mélange eau-huile : la tête hydrophile dans l'eau, la queue hydrophobe dans l'huile pour maximiser les interactions attractives avec le solvant :



Queue-solvant organique : interaction de London

Tête ionique-eau : interaction ion-dipôle + LH

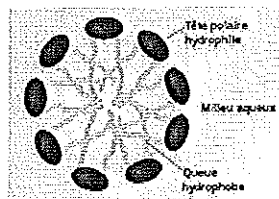
14.

En l'absence d'une des phases, les molécules de savon s'orientent de manière à maximiser les interactions attractives avec le solvant.

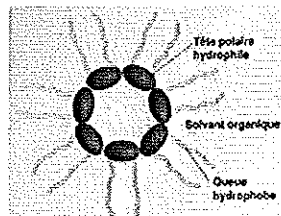
En phase aqueuse, les chaînes organiques se rassemblent, les têtes hydrophiles sont à l'extérieur de la sphère.

En phase organique, c'est l'inverse d'où les deux types de micelles :

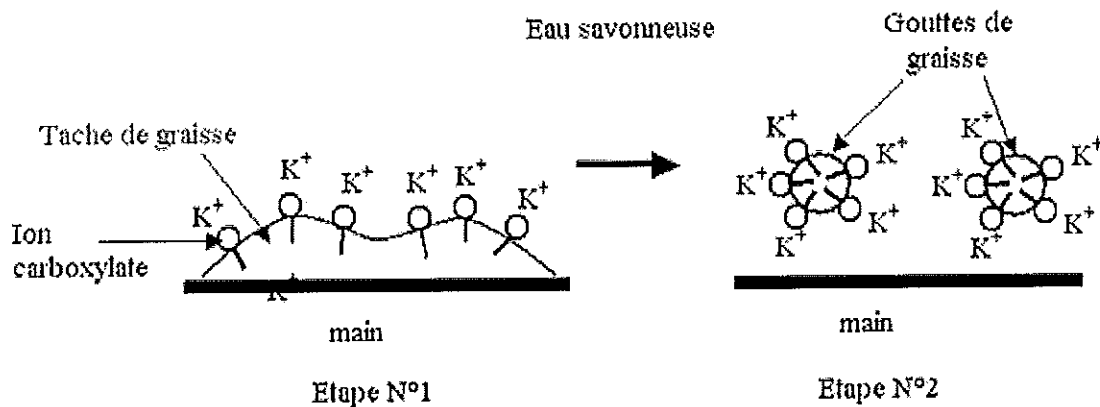
Micelle directe :



Micelle inverse :



15.



Action du savon : la micelle directe arrive sur la tâche de graisse, la micelle "s'ouvre" ; la tâche de graisse est emprisonnée à l'intérieur de la micelle (cœur hydrophobe) et est ainsi éliminée.

16.

<i>Analogies entre savons et détergents</i>	<i>Différences entre savons et détergents</i>
Composé amphiphile	Savon = carboxylate. La tête hydrophile est chargée négativement. Détergent : la tête polaire peut être neutre, cationique ou anionique
Dégraissant	Obtention : Savon : par saponification Détergent : issu du pétrole
Nettoyant	Savon : uniquement agent de nettoyage Détergent : agent de nettoyage et désinfectant

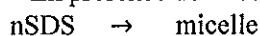
17.

- En l'absence de micelle ( $C < CMC$ )

$$\sigma = (\lambda_{SDS} + \lambda_{Na^+})C$$

$$\sigma = f(C) \text{ est une droite de pente } \lambda_{SDS} + \lambda_{Na^+}$$

- En présence de micelle ( $C > CMC$ ) :



$$EI \quad C \quad 0$$

$$EQ \quad C - nx \quad x$$

$$\text{avec } C - nx = CMC \text{ d'où } x = (C - CMC)/n$$

$$\sigma = \lambda_{SDS} \cdot (CMC) + \lambda_{micelle} \cdot (C - CMC)/n + \lambda_{Na^+} \cdot C$$

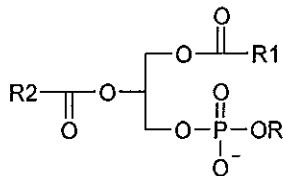
$$\sigma = (\lambda_{SDS} - \lambda_{micelle}/n) \cdot CMC + (\lambda_{micelle}/n + \lambda_{Na^+}) \cdot C$$

$$\sigma = f(C) \text{ est une droite de pente } \lambda_{micelle}/n + \lambda_{Na^+}$$

Or,  $\lambda_{micelle}/n < \lambda_{SDS}$  car la micelle est moins mobile que le tensioactif libre. On observe donc une rupture (diminution) de pente lorsque la micelle se forme d'où  $CMC = 8,5 \text{ mmol.L}^{-1}$ .

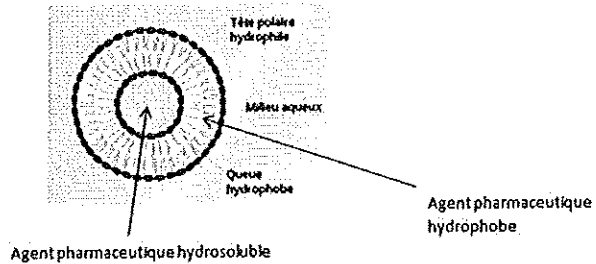
18. QP En classe de 1<sup>ère</sup> STL, en CBSV :

Un phosphoglycéride est un phospholipide, dérivant formellement du glycérol dont deux fonctions alcool sont estérifiées par des acides gras et la troisième par un groupe dérivant de l'ion phosphate.

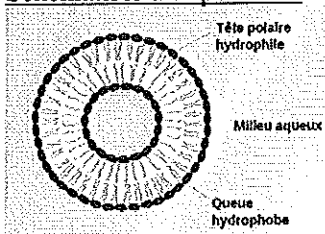


## Capacités attendues :

Analyser la structure de quelques phosphoglycérides pour :



- Repérer la chaîne carbonée hydrophobe (double queue hydrophobe : groupes R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub>) et la partie hydrophile (groupe phosphate et le reste de la molécule)
- Interpréter les associations de phospholipides en micelles et en bicouches : la tête hydrophile est en contact avec les molécules d'eau, ce qui aboutit à des structures en bicouche lipidique (2 couches avec les parties hydrophobes à l'intérieur et les parties hydrophiles vers l'extérieur) ou en micelle (ou liposomes : petites sphères creuses ou vésicules, les têtes hydrophiles sont dirigées vers l'extérieur et vers l'intérieur, les queues hydrophobes forment une membrane).
- Schématiser un liposome :



## 19. QP Programme TST2S : 10.2 Saponifications. Applications : micelles, liposomes. Niveau taxonomique 2 « l'élève sait en parler ».

Exemples d'évaluations sommatives :

1. Que signifie hydrophile ? *qui a une affinité pour l'eau.*
2. Que signifie hydrophobe ? *qui est repoussé par l'eau.*
3. Dessiner un liposome
4. Expliquer pourquoi un liposome peut transporter aussi bien des agents pharmaceutiques hydrosolubles que des agents pharmaceutiques hydrophobes. *Un agent pharmaceutique hydrophile peut se loger dans la cavité du liposome, un hydrophobe dans la membrane.*
5. Expliquer pourquoi le transport d'un médicament par un liposome permet d'améliorer son efficacité.

*Un liposome a une structure proche de celle des cellules. Il peut donc transporter un médicament et libérer le principe actif dans la cellule (ce qui augmente l'efficacité du principe actif).*

*Le médicament encapsulé dans le liposome est protégé lors de son transport et ne peut donc subir d'altération, par le milieu extérieur.*

- OU légende d'un schéma de liposome avec les termes : bicouche de phospholipides, région hydrophile, région hydrophobe, médicament hydrosoluble + question n°5.

- OU étude de texte :

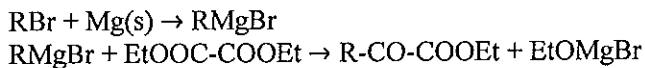
*Les liposomes sont de plus en plus développés dans la recherche pharmaceutique comme vecteurs de médicaments. Un liposome est une petite sphère creuse ou vésicule délimitée par une double couche de molécules phospholipidiques enfermant un petit volume de solvant. Une molécule phospholipidique comporte une tête hydrophile et une double queue hydrophobe. La principale application des liposomes est le transport de substances biologiques ou chimiques préalablement encapsulées dans le liposome. Des médicaments peuvent être ainsi véhiculés jusqu'à leur lieu d'action sans être altérés.*

1. Expliquer les termes : vecteur de médicament, hydrophile, hydrophobe.
2. Expliquer comment un liposome peut encapsuler un médicament hydrosoluble ? Un médicament liposoluble ?
3. Donner deux autres avantages des liposomes.

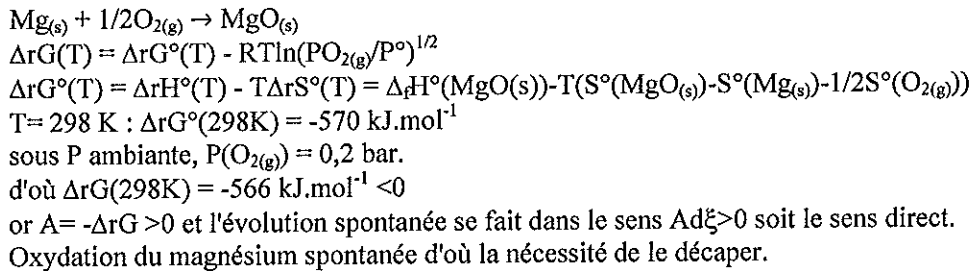
20.

L'acide ascorbique (vitamine C) est un antioxydant utilisé dans la vie courante. Il empêche l'oxydation des composés organiques (par la destruction des radicaux libres).

21.

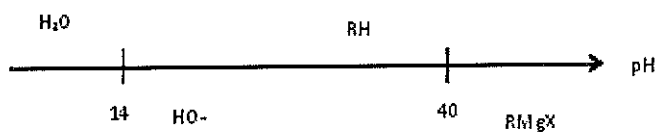


22.

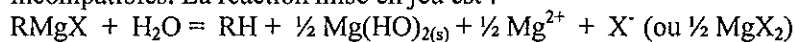


23.

- absence d'eau et de toute espèce protique :



L'eau et l'organomagnésien présentent des domaines de prédominance disjoints. Ils sont donc incompatibles. La réaction mise en jeu est :



- THF : solvant organique, peu polaire, aprotique, basique au sens de Lewis, ce qui lui permet de solvater le magnésien
- basse température pour se limiter à une seule addition sur le diester

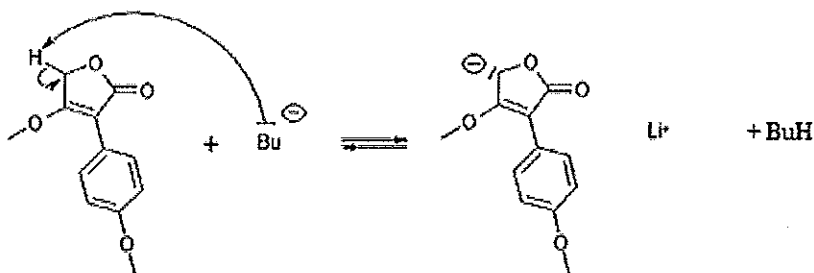
24.

En l'absence de THF, il faut choisir un solvant organique, peu polaire aprotique et basique au sens de Lewis qui ne réagisse pas avec l'organomagnésien : l'éthoxyéthane.

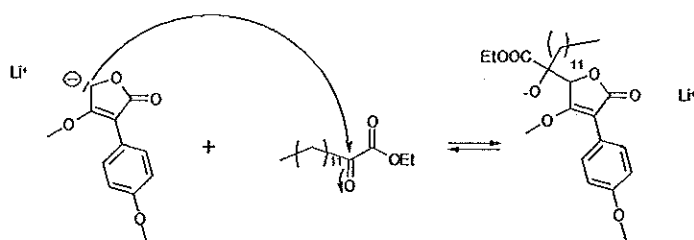
25.

Mécanisme de formation de C :

- Réaction acido-basique conduisant à la base fortement stabilisée par mésomérie :



- Addition nucléophile sur B :



- Par protonation avec le chlorure d'ammonium, on obtient C.

Justification de la régiosélectivité :

L'addition nucléophile peut se faire soit sur la fonction cétone, soit sur la fonction ester. Cette dernière est moins électrophile à cause des effets mésomères donneurs de  $-\text{OEt}$ . D'où le résultat.





28.

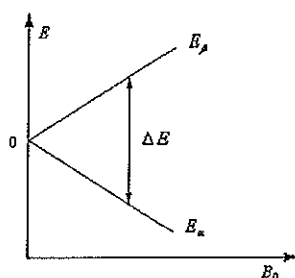
Chromatographie sur gel de silice	CCM
Chromatographie d'adsorption – compétition entre l'adsorption des composés à séparer sur la phase fixe et leur solubilité dans la phase mobile	
Une phase fixe, une phase mobile (éluant)	
L'éluant migre par gravité	L'éluant migre par capillarité
Un seul éluant (pouvant être un mélange de solvants)	Plusieurs éluants successifs peuvent être utilisés afin de récupérer toutes les espèces.
Technique de séparation de produits	Technique d'analyse (identification et pureté)
Utilisation de grandes quantités d'espèces à séparer	Utilisation de petites quantités d'espèces à analyser

29.

Principe de la RMN : les spins nucléaires  $I$  se comportent comme de petits aimants capables d'interagir avec un champ magnétique.

En l'absence de champ magnétique extérieur, il y a dégénérescence des niveaux associés aux nombres quantiques  $m_I = \frac{1}{2}$  et  $-1/2$ .

En présence de champ magnétique, il y a levée de dégénérescence des niveaux énergétiques :



- Cas du proton libre

Des noyaux dans l'état  $E_\alpha$  peuvent alors absorber de l'énergie (par exemple sous forme de photons) pour passer dans l'état  $E_\beta$ . La fréquence des photons (= fréquence de Larmor) de l'onde électromagnétique qui permettent cette transition (ou d'entrer en résonance) est telle que :

$$h\nu_0 = \Delta E = \hbar\gamma B_0$$

soit

$$\nu_0 = \frac{\gamma B_0}{2\pi}$$

- Cas d'un proton d'une molécule

Lorsque l'atome d'hydrogène est engagé dans une liaison, le champ magnétique régnant au niveau du noyau est différent du champ magnétique appliqué  $B_0$  :  $B_{\text{effectif}}$  est le champ auquel est soumis le noyau.  $B_{\text{effectif}} < B_0$ .

$$\overrightarrow{B_{\text{effectif}}} = \overrightarrow{B_0}(1 - \sigma)$$

Avec  $\sigma$  : constante d'écran, indépendante du champ magnétique appliqué, mais fonction de l'environnement chimique du noyau.

Condition de résonance :

La résonance du noyau X se produit donc lorsque :

$$h\nu_X = \Delta E = \hbar\gamma B_{\text{effectif}} = \hbar\gamma B_0(1 - \sigma)$$

$$\text{Soit } \nu_X = \frac{\gamma B_0(1-\sigma)}{2\pi} \text{ ou } B_0 = \frac{2\pi\nu_X}{\gamma(1-\sigma)}$$

### 30.

Définition du déplacement chimique :

$$\delta = \frac{\Delta\nu}{\nu_0} \cdot 10^6 \text{ en ppm}$$

Avec  $\nu_0 = \frac{\gamma B_0}{2\pi}$  ;  $\nu_R$  la fréquence de résonance de la référence

$$\Delta\nu = \nu_X - \nu_R = \frac{B_0\gamma}{2\pi} (\sigma_R - \sigma_X)$$

$$\text{Soit } \delta = (\sigma_R - \sigma_X) \cdot 10^6$$

Le déplacement chimique permet de s'affranchir de  $B_0$  donc de l'appareil utilisé.

### 31. QP

Les lettres m, s, d, signifient multiplet, singulet, doublet. En TS, les élèves étudient la règle des « n+1 » uplets (multiplicité du signal) et doivent savoir relier la multiplicité du signal au nombre de voisins. Singulet = 0 voisin ; doublet = 1 voisin...

### 32.

Origine du doublet à un niveau post bac :

On considère une interaction entre un proton  $H_A$  et  $H_X$  voisins de déplacements chimiques assez différents.



Le signal correspondant au proton  $H_A$  apparaît sous forme d'un doublet.

- Lorsqu'un proton  $H_A$  est en interaction avec le proton  $H_X$  d'énergie  $E_\alpha$  ou  $E_\beta$  tout se passe comme si le champ magnétique

$$\vec{B}_{\text{effectif}} = \vec{B}_0(1 - \sigma)$$

était remplacé par un champ

$$\vec{B}_1 = \vec{B}_0(1 - \sigma) \pm \vec{b}_X$$

avec  $\vec{b}_X$  le champ local colinéaire à  $\vec{B}_{\text{effectif}}$  et créé par  $H_X$ . Le proton  $H_A$  peut donc résonner à deux fréquences différentes (puisque deux valeurs de champ magnétique), d'où le doublet.

33. QP Notions du programme de terminale S illustrées par ce mécanisme :

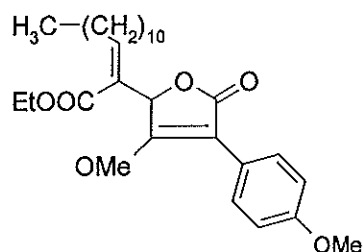
- Grandes catégories de réactions en chimie organique : élimination.
  - Site donneur et site accepteur de doublets d'électrons
  - Interaction entre des sites donneurs et accepteurs de doublets d'électrons ; représentation du mouvement d'un doublet d'électrons à l'aide d'une flèche courbe lors d'une étape d'un mécanisme réactionnel.
  - Catalyse homogène
- Remarque : la notion de lacune électronique est hors programme en terminale S.

34.

Lors de la déshydratation on obtient en majorité l'alcène le plus stable.

On peut également obtenir par déshydratation de C,

le composé D' :



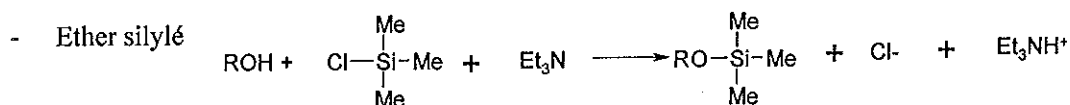
D est fortement stabilisé par mésomérie (délocalisation avec ester et oxygène du cycle), alors que D' l'est moins (seulement avec l'ester).

D est donc le composé le plus stable. Il est donc majoritaire.

35. On a protégé le groupe hydroxyle dans cette synthèse pour éviter qu'il ne réagisse avec le BuLi, lors de la synthèse de C.

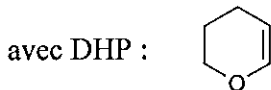
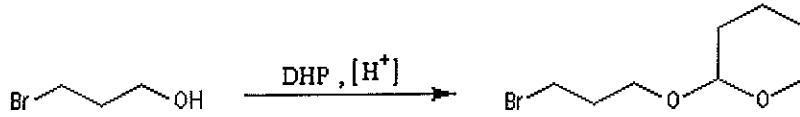
36.

Autre exemple de groupement protecteur de la fonction HO- :

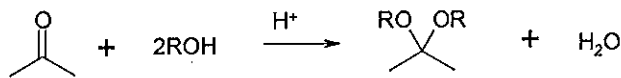


- THP,

protection de l'alcool par réaction avec le DHP en catalyse acide pour conduire à un éther de tétrahydropyranyle



- Acétal



37.

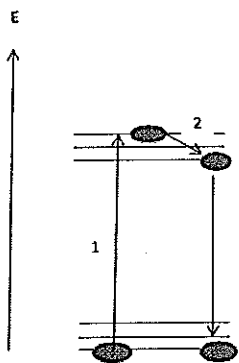
Le passage de F à G met en jeu une saponification.

38.

Ion superoxyde  $\text{O}_2^-$  (13 électrons à répartir)  $\ominus \text{ | } \overline{\text{O}}-\overline{\text{O}} \cdot$

Monoxyde d'azote (11 électrons à répartir) :  $\text{ | } \overline{\text{N}}=\overline{\text{O}}$

Peroxynitrite -OONO, (24 électrons à répartir) :  $\ominus \text{ | } \overline{\text{O}}-\overline{\text{O}}-\overline{\text{N}}=\overline{\text{O}}$



39. QP

- Prérequis : interaction lumière-matière ; quantification des niveaux d'énergie de la matière
- Le diagramme énergétique d'une molécule a l'allure simplifiée ci-contre

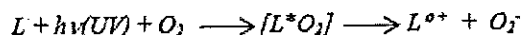
- Une molécule dans son état fondamental (état le plus stable) absorbe un photon d'énergie  $h\nu_A$  qui la fait passer dans un état excité d'énergie supérieure (1). La molécule a tendance à perdre l'énergie gagnée afin de se stabiliser. Ceci s'effectue en deux étapes :

- transition vers un niveau d'énergie inférieure sans émettre de radiation (de lumière) (2),
- puis transition vers l'état le plus stable, avec émission d'un photon d'énergie  $h\nu_F$  de plus faible énergie donc de plus grande longueur d'onde que le photon absorbé (3).

40.

Mesure de l'activité oxydante de l'acide pulvinique :

Le radical superoxyde est généré photochimiquement, par excitation d'un photosensibilisateur, le luminol L, en présence de dioxygène :



En présence d'une espèce antioxydante, une partie des radicaux  $O_2^-$  va être captée ; les radicaux restés libres vont être ensuite détectés par luminescence (fluorescence), grâce au luminol. L'intensité de fluorescence est proportionnelle à la concentration de l'espèce luminescente, soit à la concentration en radicaux superoxydes n'ayant pas réagi.

Par comparaison avec une mesure de l'intensité fluorescente, réalisée en l'absence d'antioxydant ou avec un composé référent, on peut donc déterminer la quantité d'ions superoxyde n'ayant pas réagi et donc l'efficacité de l'antioxydant étudié.

Le luminol joue un double rôle : il permet la formation

- de l'ion superoxyde, ion utilisé pour évaluer l'activité antioxydante de l'acide pulvinique
- de l'ion aminophtalate, par réaction avec les radicaux superoxydes non consommés par l'antioxydant, ion fluorescent.

41.

Quand le DPPH (radical violet, fortement absorbant à 517 nm) est réduit par l'antioxydant, il se transforme en DPPH<sub>2</sub>, jaune et faiblement absorbant à 517 nm. La quantité de matière de DPPH<sub>2</sub> formé est égale au nombre de moles d'électrons échangés soit à la quantité de matière d'antioxydant ayant réagi, ce qui détermine son efficacité.

Grâce à un suivi spectrophotométrique à 517 nm, on peut donc déterminer l'efficacité de l'antioxydant, en mesurant la diminution de l'absorbance, proportionnelle à la concentration restante en DPPH :

en notant AH, l'antioxydant

DPPH	+	AH	=	DPPH <sub>2</sub>	+	A
C <sub>0</sub>		C <sub>1</sub>				
C <sub>0-x</sub>		C <sub>1-x</sub>		x		x

On a  $A = |\epsilon([DPPH]_0 - [DPPH_2])|$  à 517 nm.

#### 42. QP

En 1<sup>ère</sup> S, la compétence attendue est : Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la concentration d'une espèce colorée à partir d'une courbe d'étalonnage en utilisant la loi de Beer-Lambert.

On peut utiliser, par exemple, comme anti-oxydant l'acide ascorbique. On peut ainsi vérifier la teneur d'ampoules de Lascorbine 1000 de 5mL.

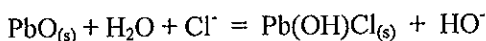
- On dilue 20 fois le contenu d'une ampoule à l'aide d'une fiole jaugée de 100 mL.
- On réalise une gamme d'étalonnage à partir d'acide ascorbique de concentration  $2,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  ;  $4,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  ;  $6,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  ;  $8,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  ;  $1,00 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ .
- Longueur d'onde de travail : 265 nm ou 400 nm si le spectrophotomètre ne fonctionne qu'en lumière visible.
- A partir de la droite d'étalonnage et de l'absorbance de la solution diluée de Lascorbine, on détermine la concentration de la solution de Lascorbine, puis la teneur de l'ampoule de Lascorbine.

Soit :

- Fabrication de la gamme étalon
- Choix de la longueur d'onde de travail
- Traçage de la droite d'étalonnage
- Détermination de la concentration

#### 43.

Equation de la réaction de la synthèse de la Laurionite :



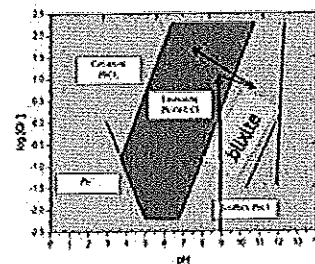
#### 44.

Pour s'assurer que la solution a perdu toute sa causticité, on peut utiliser du papier pH ou un pH-mètre.

#### 45.

Lorsqu'on ajoute du chlorure de sodium à PbO, on forme la laurionite, ainsi que de la soude. Ainsi, on tend à sortir du domaine d'existence de la laurionite, pour arriver dans celui de la blixite.

Afin de parer à ce problème, les égyptiens ont éliminé l'eau (et donc l'hydroxyde) et réajouté du chlorure de sodium, diminuant ainsi le pH ce qui permet de bien se retrouver dans le domaine de stabilité de la laurionite.



46.

$$Q = \frac{[HO^-]}{[Cl^-]}$$

L'affinité chimique vaut  $A = RT \ln \frac{K}{Q}$ .

A l'équilibre chimique  $A=0$  :  $Q=K$

Lorsque l'on retire l'eau (et donc  $HO^-$ ),  $[HO^-]$  diminue ; on ajoute alors du sel de roche donc  $[Cl^-]$  augmente.




Bilan  $Q$  diminue, alors  $Q < K$  et  $A > 0$ .

L'évolution se fait dans le sens  $A.d\xi > 0$  soit le sens direct.

L'équilibre est donc déplacé dans le sens de formation de la laurionite.

Rem : n'ayant aucune information sur l'enthalpie standard de la réaction, nous ne pouvons discuter du rôle de la température de l'eau ajoutée.

47.

 nocif ou irritant	 danger pour la santé	 dangereux pour l'environnement
---	--	---

Lettre « H » = hazard (danger) dans le système SHG (système général harmonisé)

Lettre « P » = conseil de prudence dans le système SHG

48.

Une ingestion de plomb provoque le saturnisme. De nombreux enfants en ont été atteints car la céruse a un goût sucré ; ils mangent les écailles de peinture...

49.

Le pigment blanc actuellement utilisé dans les peintures est l'oxyde de titane.



## 12. Rapport sur l'épreuve écrite de Chimie

L'épreuve abordait quelques aspects de la chimie des cosmétiques. Le jury a eu la volonté d'évaluer, non seulement des connaissances scientifiques classiques de niveau post-baccalauréat, mais aussi, comme depuis plusieurs années à l'agrégation interne, des compétences pédagogiques affirmées chez les candidats attestant de pratiques en adéquation avec celles préconisées lors des dernières réformes, tant au collège, qu'au lycée général et technologique. En outre, il est attendu des enseignants une bonne culture générale et un intérêt pour les découvertes et innovations dans le domaine scientifique. C'est pourquoi, il a été choisi de pondérer les différentes questions en fonction des catégories auxquelles elles appartenaient, ce qui a conduit à attribuer :

- Aux questions pédagogiques : 1/3 des points
- Aux questions de niveau post-bac : 1/3 des points
- Aux questions de niveau lycée, questions de culture générale ou questions nécessitant une appropriation de données nouvelles : 1/3 des points

### Remarques générales :

Le jury rappelle que, conformément aux consignes précisées en début de sujet, les réponses doivent toutes être explicites, concises et justifiées de façon à mettre en avant les qualités scientifiques et pédagogiques d'un professeur de physique-chimie et notamment à s'exprimer clairement en utilisant un vocabulaire précis et rigoureux.

Pour la deuxième session, le sujet comportait des questions pédagogiques affichées comme telles. Globalement, elles n'ont pas été traitées avec suffisamment de réflexion personnelle. Les réponses sont souvent restées trop descriptives et n'ont pas été assez assorties d'analyses réelles des activités étudiées ni des pratiques professionnelles. Les futurs candidats devront s'approprier les attentes de ce type de question qui sont décrites dans l'en-tête commun, relatif aux questions pédagogiques, rédigé spécialement à cet effet.

Bien que classiques et souvent en lien avec les contenus des programmes des collèges et lycées, les questions d'un niveau post-baccalauréat ne sont pas, en général, assez détaillées et justifiées.

Les questions d'appropriation (par exemple, mesure de l'efficacité des antioxydants) n'ont été que trop rarement abordées. Ce type de question nouvellement introduit depuis la réforme, dans l'enseignement de physique-chimie au lycée doit être maîtrisé par les professeurs à un niveau supérieur, puisqu'ils vont eux-mêmes en proposer à leurs propres élèves.

Enfin, il est attendu d'un professeur une bonne culture générale scientifique dans sa discipline mais aussi dans les disciplines connexes, afin de contextualiser l'enseignement qu'il dispense, d'établir des liens entre les sciences et d'autres disciplines et de susciter l'intérêt et la curiosité des élèves.

### Partie A. L'hygiène : les savons

La première partie était consacrée à l'étude des savons : synthèse, mode d'action, composition.

La première question avait pour but de vérifier la maîtrise des montages de base de chimie organique. Le jury est étonné d'avoir trouvé, dans un nombre non négligeable de copies, des montages à reflux comportant un réfrigérant bouché ou un montage à distillation sans thermomètre en haut de colonne.

La question 3 visait à exercer une analyse critique du protocole fourni : il s'agissait de repérer des écueils scientifiques (ml, nombre de chiffres significatifs,...) et d'apporter des compléments pour le rendre réalisable au lycée. Il était attendu des candidats que ceux-ci précisent un certain nombre de points (sécurité, notion de reflux...) et non qu'ils se contentent de recopier le protocole. Le jury invite donc les candidats à bien lire les consignes et à y répondre avec le plus de rigueur possible.

La question 4 nécessitait d'adapter le protocole fourni conduisant aux acides gras au niveau collège, en vue de faire réaliser la synthèse d'un savon. Il fallait donc limiter le protocole à l'obtention du seul savon, et proposer un mode opératoire en adéquation avec le matériel présent au laboratoire et les conditions de sécurité inhérentes à une classe de 3ème.

Une feuille d'autoévaluation par compétences, à destination des élèves, était attendue ; les candidats avaient pour cela à leur disposition un large extrait du livret personnel de compétences ainsi que le programme officiel de collège. Peu de grilles répondant aux attentes ont été réellement proposées. Pour mémoire, le socle commun de connaissances et de compétences a été introduit en 2008 en collège et son appropriation doit désormais être effective de tous les enseignants.

Les différents types de catalyse sont en général connus des candidats même si les diagrammes énergétiques proposés n'ont pas toujours été satisfaisants, car la présence de catalyseur n'amène pas toujours à modifier le nombre d'intermédiaires réactionnels. La catalyse par transfert de phase n'a pas souvent été correctement analysée ; les candidats se doivent de faire preuve de davantage de rigueur dans leur argumentation.

L'interprétation du changement de couleur lors du « test au sulfate » de cuivre nécessitait l'introduction, de la part du candidat d'un modèle, comme celui du champ cristallin, et une explication précise de la levée de dégénérescence des orbitales 3d lors de la formation du complexe était attendue.

La question 11 a été bien traitée. Le jury se réjouit de constater l'appropriation de la notion de démarche d'investigation par les candidats.

Concernant le mode d'action du savon, la majorité des candidats sont capables de dessiner une micelle, même si l'agencement des chaînes n'est pas toujours cohérent avec le solvant au sein duquel se forment les micelles.

Enfin, la détermination de la concentration micellaire critique n'a que rarement été bien effectuée ; le jury attendait des candidats non seulement la détermination de la valeur de la CMC, mais également une justification rigoureuse de la manière de la déterminer à l'aide de la courbe d'évolution de la conductivité.

## **Partie B. L'apport de la chimie moderne à la cosmétique ; les liposomes**

Cette partie, plus complexe mais bien valorisée, avait pour but d'évaluer chez les candidats des compétences propres à l'exploitation des documents scientifiques : il est attendu d'un professeur la capacité d'extraire d'articles de haut niveau, et éventuellement en anglais-langue scientifique internationale-, des informations et d'exploiter ces documents pour élaborer des textes pouvant être exploités par les élèves en fonction du niveau taxonomique attendu dans la classe concernée (ST2S).

Très peu de candidats sont parvenus à dessiner un liposome et à construire une évaluation qui utilise tout ou une partie des textes mis à disposition. Le jury a néanmoins rencontré des

propositions très pertinentes.

### **Partie C. La protection ; les antioxydants**

Cette partie abordait la synthèse d'un antioxydant et deux méthodes d'analyse de son efficacité.

Il apparaît parfois dans les copies une confusion entre enthalpie libre standard et enthalpie libre, à la question 22. Peu de candidats ont lié le calcul théorique demandé à la nécessité de décapage du magnésium avant la synthèse de l'organomagnésien.

Le diagramme de prédominance acido-basique permettant de justifier la nécessité d'un milieu anhydre a été rarement tracé.

Le mécanisme de formation du composé C a en général été bien écrit. Le jury se réjouit de constater une plus grande rigueur dans l'écriture des mécanismes réactionnels en chimie organique.

Les traitements à analyser à la question 27 n'ont pas toujours été bien analysés.

La question 28 attendait une approche comparative de deux types de chromatographie. La majorité des candidats a compris les techniques mises en oeuvre, mais peu d'entre eux ont formulé la réponse en terme de comparaison entre ces techniques. Une fois encore, le jury engage vivement les candidats à bien lire les questions.

L'étude de spectres RMN est au programme des classes de terminale S et STL ; il est souhaitable que les professeurs connaissent le principe physique lié à cette spectroscopie. Le jury a été surpris de constater qu'un nombre non négligeable de candidats assimilent la RMN à une théorie vibrationnelle.

Venait ensuite l'étude de la mesure de l'efficacité d'un antioxydant. Les candidats devaient s'appropriier des données et des phénomènes a priori inconnus afin de les réinvestir. Peu s'y sont engagés.

### **Partie D. L'embellissement ; les fards**

Cette dernière partie abordait une synthèse historique dont les protocoles pouvaient être analysés à l'aide des modèles de la thermodynamique. De nombreux candidats ont en général compris cette synthèse, même si les réponses se sont révélées imprécises et approximatives.

Le sujet finissait par quelques questions sur la sécurité, en particulier sur la signification des nouveaux pictogrammes et phrases H et P, dont la majorité des candidats connaissent globalement le sens.

### **Conclusion**

L'épreuve écrite de chimie de la session 2014 s'est inscrite dans la continuité du changement engagé en 2013 en termes d'importance de la place accordée aux questions pédagogiques. Outre les connaissances et savoir-faire scientifiques attendus au niveau post-baccalauréat, les futurs candidats doivent aussi faire porter leurs efforts sur les compétences attendues d'un professeur titulaire en termes de pédagogie, d'appropriation, et de culture générale.

### **13. À propos des épreuves orales**

Les épreuves orales, au nombre de deux, s'intitulent « exposé consistant en une présentation d'un concept et son exploitation pédagogique » et « montage et traitement de l'information ».

Pour la chimie et en grande partie pour la physique, les sujets sont communs aux épreuves d'exposé et de montage ; ils ont été publiés au BOEN le 23 mars 2012 et sont accessibles en section 3 de ce rapport, ainsi que sur le site du ministère de l'éducation nationale. Ce recouvrement permet aux candidats, lors de leur préparation, d'aborder simultanément, pour un domaine donné, les fondements théoriques, les modèles, les illustrations expérimentales et de les coupler avec des approches scientifiques et pédagogiques. De plus, souvent énoncés sous la forme d'un mot-clé, ces sujets portent sur un domaine, une notion ou un concept de la physique ou de la chimie et offrent aux candidats une part d'initiative importante. Pour la session 2015, le programme des épreuves orales est accessible dans la section 16 de ce rapport.

L'objectif de ces épreuves est de donner aux enseignants en activité, la possibilité de valoriser, notamment dans le cadre de l'épreuve d'exposé, leurs compétences professionnelles acquises par l'expérience et une pratique éprouvée.

Les structures des deux épreuves, les conditions matérielles, les attentes en termes de contenus et de présentation sont décrites ci-dessous. A l'issue de la session 2014, quelques remarques générales ont été faites sur l'exposé. La lecture des éléments qui suivent sur les épreuves orales, ainsi que celle des rapports des épreuves orales de physique (section 14) et de chimie (section 15) apporteront de précieux conseils aux futurs candidats pour se préparer de manière efficace.

#### **Conditions matérielles de préparation et de présentation des épreuves**

Pendant les 4 heures de préparation des épreuves et lors de la présentation devant le jury, chaque candidat dispose d'un ordinateur et de dispositifs de projection (vidéoprojecteur, flexcam) et d'un tableau blanc interactif pour l'épreuve d'exposé. Par ailleurs, le candidat a accès à un grand nombre d'ouvrages scientifiques, de manuels scolaires, de livres de données à la bibliothèque et à des documents numériques sur l'ordinateur mis à sa disposition. Chaque poste informatique comporte un dossier numérique constitué de :

- textes officiels : programmes, documents ressources pour la classe (site national Eduscol, etc.), rapports du jury ;
- logiciels de présentation (diaporama, cartes mentales, etc.), d'acquisition, de traitement de données, de simulation ;
- animations numériques et vidéos scientifiques.

Les listes de l'ensemble de ces documents sont publiées sur le site de l'agrégation interne. Chaque candidat peut, au début de la session orale, amener des documents si ceux-ci sont référencés et peuvent être accessibles à tous les autres candidats (des productions personnelles et tout document annoté sont interdits) ; il doit alors les laisser pendant toute la durée de la session orale.

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

### **Sujet de l'épreuve**

L'épreuve porte sur un des sujets de physique ou de chimie figurant en section 3.

### **Structure de l'épreuve**

L'épreuve est constituée d'un exposé effectué par le candidat, d'une durée maximale de 50 minutes, suivi d'un entretien avec le jury, d'une durée maximale 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 associé au sujet, 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 qui doit en informer le jury en début d'épreuve. Une grande liberté est également laissée concernant la forme de la présentation et les points particuliers mis en exergue. Pour autant, le concept reste à aborder de la manière la plus exhaustive possible.

L'illustration expérimentale est naturellement possible dans chacune des parties de cette épreuve ; néanmoins, le montage reste l'épreuve durant laquelle le candidat est évalué sur ses qualités d'expérimentateur, et dans cette épreuve c'est plutôt le critère de pertinence des expériences pour accompagner les propos qui sera jugé.

### ***Partie relative au concept scientifique (durée : 25 minutes)***

Dans cette partie, le candidat met en valeur ses compétences scientifiques, sa maîtrise de la discipline et sa culture en physique-chimie ainsi que dans les disciplines connexes. Il présente d'une part une vision d'ensemble du concept et développe d'autre part un point particulier, de son choix, évoqué dans la vision d'ensemble.

La présentation d'ensemble du concept, dont la durée n'excède pas 10 à 15 minutes, peut prendre différentes formes : plan séquencé, schéma conceptuel, carte mentale, etc. Cette présentation permet de cerner le concept scientifique et d'en aborder les différents aspects, du fondamental aux applications, les liens avec les différents domaines. Le candidat montre sa capacité à construire un exposé scientifique structuré et rigoureux, en mettant en œuvre des outils de communication adaptés.

Le candidat doit être en mesure d'approfondir, à la demande du jury lors de l'entretien, l'ensemble des points abordés dans cette présentation.

Le développement d'un point particulier revêt une forme plus classique, typiquement celle d'un exposé magistral, d'une durée comprise entre 10 et 15 minutes. Le candidat y approfondit un des aspects du concept à un niveau post-baccalauréat, en mettant en valeur sa capacité à explorer et à manipuler lois, modèles et formalismes. Pour autant ce travail ne se résume pas à la résolution formelle d'équations sans qu'elles ne viennent en réponse à une problématique bien identifiée ; cette étude doit rester fidèle à la manière dont un scientifique aborde un problème et doit s'inscrire dans une démarche authentique au cours de laquelle, la résolution analytique est reliée à un modèle choisi pour rendre compte d'un phénomène et le résultat analytique obtenu confronté au réel.

**Partie relative à un aspect pédagogique de l'enseignement du concept (durée : 25 minutes)**

Dans cette partie, le candidat présente une ou plusieurs activités pédagogiques, discute ses choix de manière explicite en fonction des objectifs d'apprentissage ou de remédiation visés pour les élèves.

Le candidat peut par exemple choisir de décrire et d'analyser :

- une séquence d'enseignement ;
- une activité expérimentale ;
- une activité documentaire ;
- une activité d'évaluation (diagnostique, formative, sommative, certificative) ;
- une activité visant à travailler sur un obstacle didactique ;
- des activités illustrant la progressivité de l'enseignement du concept du collège au lycée ;
- ...

Limiter le nombre d'activités permet de consacrer davantage de temps pour mener une étude approfondie sur leur intérêt et pour les mettre en perspectives des enjeux assignés à l'enseignement en collège et en lycée qui s'appuient notamment des compétences à faire acquérir aux élèves dans le cadre du socle commun, des enseignements d'exploration, des enseignements de tronc commun, et des enseignements de spécialité ; une bonne connaissance du vocabulaire et des problématiques inhérentes à la mise en œuvre des programmes est attendue.

Les supports choisis peuvent être des productions personnelles ou des extraits de livres ou de manuels scolaires ; dans tous les cas, une justification des choix et une analyse critique doit être effectuée, comme le candidat est habitué à le faire dans le cadre de sa mission d'enseignant.

Cette partie permet au candidat de mettre en valeur ses compétences pédagogiques et didactiques.

**L'entretien**

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

**Remarques générales sur l'épreuve d'exposé**

D'une manière générale, à l'occasion de la deuxième session de l'agrégation renouvelée, le jury souhaite indiquer que les candidats ont dans l'ensemble compris les objectifs de cette épreuve d'exposé et bon nombre de prestations l'attestent. Le schéma de l'épreuve donne donc entière satisfaction, il permet de valoriser à la fois l'excellence professionnelle et les compétences disciplinaires des candidats.

Afin de faciliter la préparation des candidats pour la session 2015, le jury juge utile d'insister sur quelques points :

- concernant la partie relative au concept scientifique, la présentation d'ensemble du concept au moyen par exemple d'un plan séquencé, d'un schéma conceptuel ou d'une carte mentale, ne doit pas constituer l'essentiel du propos ; il convient de laisser un temps suffisant au développement d'une partie à un niveau post-bac. Par ailleurs, ce développement ne doit pas se réduire à une simple phase calculatoire, le candidat doit justifier son choix de présentation et montrer, qu'au-delà de sa maîtrise du formalisme associé, il est en mesure de dégager les idées-clés qu'il sous-tend.
- pour la partie relative à la présentation d'un aspect pédagogique de l'enseignement du concept, le candidat est amené à faire des choix susceptibles de mettre en valeur ses compétences en matière de didactique et de pédagogie de la discipline. Le candidat ne peut pas se limiter à la simple description d'une activité mais il doit l'analyser

au regard des objectifs visés et des résultats attendus. La référence aux compétences de la démarche scientifique doit être conduite avec finesse et de manière authentique ; la présentation d'une grille de compétences et/ou la mention de celles-ci au sein d'une activité restent parfois artificielles et dénuées de sens. Soulignons enfin que le jury a eu le plaisir d'assister à des développements au niveau collègue à la fois passionnants et pertinents.

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

### **Sujet de l'épreuve**

L'épreuve porte sur un des sujets de physique ou de chimie figurant en section 3. Le candidat choisit un sujet parmi les deux sujets qui lui sont proposés.

### **Structure de l'épreuve**

L'épreuve est constituée d'un montage effectué par le candidat devant le jury, d'une durée maximale 1h 20 minutes égale à la durée de l'épreuve, tout ou partie de l'entretien prenant place tout au long de la présentation du montage, sans pour autant que la part dévolue à la présentation du candidat ne soit diminuée (50 minutes).

Au cours de l'épreuve les candidats présentent, réalisent et exploitent qualitativement et quantitativement quelques expériences qui illustrent le sujet retenu. Une attention toute particulière doit être portée à la mesure et aux incertitudes associées. À cet égard, il est recommandé de prendre connaissance de l'annexe « mesures et incertitudes » du rapport de l'Inspection générale de l'éducation nationale : « activités expérimentales en physique-chimie : enjeux de formation ».

## 14. Rapport sur les épreuves orales de Physique

### Généralités

D'une manière générale, adopter une présentation dynamique et faire montre de conviction dans le ton, est bien souvent une preuve de la bonne appropriation du sujet proposé au candidat et à ce titre en général apprécié du jury ; il est inutile pour autant de forcer le trait. Par ailleurs, s'il est bien entendu normal de jeter un coup d'œil sur ses notes pour vérifier un résultat ou extraire une donnée numérique, il faut pour autant éviter de recopier ses notes au tableau en tournant le dos au public pendant de longues minutes ; il s'agit des mêmes formes de communication que celles que l'on doit adopter devant une classe, ce que tout enseignant chevronné doit maîtriser. Enfin, soulignons que le candidat doit préjuger du fait que le jury est *a priori* bienveillant dans la formulation de ses questions. L'objectif de l'entretien n'est pas de piéger le candidat par des questions mais toujours de chercher à éclaircir les propos, les concepts ou les expériences qui ont été présentés.

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

Pour cette seconde année de déroulement de cette épreuve orale rénovée de l'agrégation interne, on constate que la plupart des candidats ont bien intégré le découpage de l'exposé en deux parties bien distinctes : une partie présentant les concepts et assortie d'un développement post-baccalauréat, et une autre partie proposant une ou plusieurs séquences pédagogiques. Il est néanmoins apparu quelques écueils récurrents qu'il nous semble important de signaler.

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

Concernant le concept, il n'est pas nécessairement judicieux de faire une liste exhaustive de tous les mots clés qui se rapportent au thème du sujet. Il est au contraire conseillé de dégager quelques idées fortes qui permettent d'illustrer les points essentiels du thème. Ainsi, dans l'exemple du thème « grandeurs électriques », l'objectif n'est pas de dresser une liste de tous les dipôles courants mais peu utiles mais au contraire d'en choisir quelques-uns représentatifs de la grandeur que l'on désire illustrer.

Le développement post-baccalauréat doit être l'occasion d'explorer des notions qu'il n'est pas possible d'aborder dans le cadre de l'enseignement secondaire, en général en raison d'outils mathématiques et de techniques calculatoires associées trop complexes. Ce développement s'est avéré souvent décevant, les candidats se contentant de dérouler des calculs sans intérêt et sans en extraire le sens physique. Il faut éviter de s'appesantir sur les développements techniques mais plutôt essayer de faire ressortir les hypothèses du modèle utilisé et les conséquences du calcul ou de la « formule » établie.

A l'inverse, il n'est pas recevable de se contenter de développer comme exemple post-baccalauréat des situations qui étaient encore au programme de terminale, il y a encore quelques années seulement : charge d'un condensateur à travers une résistance et décroissance radioactive pour ne citer que ces deux exemples. Ceci est d'autant moins judicieux s'il ne s'agit que d'explicitier ce qu'autrefois on traitait, sans se soucier des objectifs des programmes actuels du supérieur.

#### Partie pédagogique

Beaucoup de candidats se contentent de prendre des exemples d'activités pédagogiques extraites d'un manuel et vidéo-projetées, sans plus-value ni regard critique. S'il est bien entendu tout à fait possible d'extraire d'un ou plusieurs manuels des illustrations à des fins pédagogiques, il est de la responsabilité du candidat de rédiger ou tout au moins d'adapter la progression ou les questions à sa problématique. De plus, il est du plus mauvais effet de proposer un questionnement à destination des élèves pour lequel on n'aurait pas soi-même les réponses comme le jury a parfois pu le constater.



De belles prestations, dont certaines ont été développées au niveau collège, ont permis aux candidats qui les ont présentées de faire la preuve de la qualité de leur réflexion pédagogique. Les activités décrites étant, dans ce cas, authentiques et bien justifiées. Il était alors aisé pour le jury de valoriser le candidat, en faisant émerger l'expertise de sa pratique professionnelle par des questions s'inscrivant autour des apprentissages décrits.

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

Cette épreuve consiste à choisir parmi un grand nombre d'expériences, un sous-ensemble pertinent de manipulations permettant d'illustrer le thème choisi. Si des expériences qualitatives peuvent être les bienvenues en introduction ou en conclusion, le cœur du montage doit comporter une ou plusieurs expériences quantitatives qui permettent au candidat d'illustrer un savoir-faire expérimental.

Le jury formule ci-dessous quelques recommandations :

- il est suggéré au candidat d'indiquer en introduction la ou les idées qui lui ont servi de guide pour choisir les manipulations qu'il entend présenter ;
- indiquer le plan et un titre au tableau est une initiative pertinente pour que le jury puisse se repérer au mieux tout au long de la présentation du montage. Il est également judicieux de consigner au tableau les résultats numériques importants ainsi que les valeurs numériques caractérisant les grandeurs des composants utilisés : résistances, condensateurs, longueurs d'onde, fréquences, etc. ;
- il est inutile et parfois contreproductif de reproduire sur plusieurs expériences des techniques identiques. Il est au contraire recommandé de varier les approches ce qui permet au candidat de montrer une gamme de compétences plus étendue et de pouvoir le cas échéant conduire des comparaisons ;
- réaliser des expériences suppose bien entendu que les aspects théoriques sous-jacents soient maîtrisés et en particulier les domaines de validité des lois ou des concepts utilisés. Citons par exemple le cas visant à illustrer la propagation des ondes électromagnétiques et présenté à de nombreuses reprises, de 2 fils métalliques placés à dix centimètres l'un de l'autre dont le premier est alimenté par un GBF et le second est relié à un oscilloscope. Un simple calcul d'ordre de grandeur montre que les longueurs d'ondes sont de plusieurs kilomètres et qu'on n'est donc pas dans domaine propagatif. Reproduire sans regard critique ce genre d'expériences parfois extraites de manuels expose les candidats à des questions embarrassantes ;
- le jury rappelle qu'une mesure quantitative doit être assortie d'une évaluation de son incertitude en balayant avec discernement les sources d'erreur. Deux comportements sont observés : ou bien aucune estimation de cette incertitude n'est conduite, c'est la situation la plus courante, ou bien le candidat utilise un arsenal théorique parfois disproportionné et régulièrement mal maîtrisé. Nous recommandons de suivre une voie médiane où le bon sens coexiste avec l'économie de moyen.

Soulignons que le jury a également eu le plaisir d'assister à d'excellentes prestations attestant de solides compétences expérimentales et conduites avec dynamisme.

## 15. Rapport sur les épreuves orales de Chimie

### Introduction

Le présent rapport a pour objet de rendre compte du déroulement des deux épreuves orales de chimie. Ce rapport et les versions précédentes sont utiles à la préparation des candidats et doivent les aider à construire leurs exposés en fonction d'un format modifié lors de la session 2013.

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

A l'issue des 4 heures de préparation, les candidats sont avertis par le jury, en début de présentation, que l'exposé comporte deux parties d'égale importance :

- exposé du concept, suivi de la présentation d'un point particulier de ce thème relevant du niveau post-baccalauréat (25 minutes) ;
- présentation d'une question pédagogique de niveau collège ou lycée, à préciser (25 minutes).

L'ordre de ces deux parties n'est pas imposé, même si la séquence ci-dessus semble la plus judicieuse. Les candidats sont alertés lorsque le temps qui leur est réservé est quasiment atteint. Nous recommandons aux candidats de déclarer clairement les transitions entre les différents moments de l'exposé. Nous les invitons également à ne pas présenter l'exposé avec une main dans la poche ou assis au bureau face à l'ordinateur portable.

A l'issue de cet exposé au cours duquel le candidat n'est pas interrompu, une séance de questions permet de reprendre certains points, d'approfondir les thèmes abordés afin de mesurer la maîtrise du sujet.

Outre le tableau "noir" et les craies, la salle de préparation/présentation comporte plusieurs autres outils de communication : caméra de bureau permettant de projeter des documents, ordinateur portable muni de logiciels de présentation, de traitement de textes, de conception de cartes mentales. Le jury a constaté avec satisfaction que la majorité des candidats savaient utiliser ces outils, pour certains avec une grande aisance. Soulignons que l'usage maîtrisé d'un outil et de la fonction que lui réserve un candidat est déterminant. Les candidats sont responsables des documents ou des expériences qu'ils choisissent de présenter. Tous les textes, séquences pédagogiques, expériences proposés dans les ouvrages scolaires ou autres ne sont pas d'égale qualité, ni nécessairement adaptés à toutes les situations pédagogiques. Les choix des candidats sont pour le jury l'expression de leur jugement scientifique et pédagogique.

Après une année de transition, le format de la partie "**exposé du concept**" semble à présent assimilé. Le jury tient à féliciter les candidats pour cette capacité manifeste à sortir d'un cadre qui prévalait depuis longtemps. En pratique, la lecture d'une carte mentale est un moyen d'appréhender la thématique dans sa généralité, pour annoncer le point particulier qui sera détaillé à un niveau post-baccalauréat. Cet exercice requiert des capacités de synthèse sur des sujets parfois très vastes, mais aussi une aptitude à identifier le point qui sera développé. Les meilleurs candidats se distinguent par cette aptitude à personnaliser l'exposé tant sur le niveau scientifique que dans la forme adoptée.

Le jury est attentif au recul dont peuvent faire preuve les enseignants, en particulier à ceux n'hésitant pas à sortir de l'épure pour élargir le débat et susciter l'intérêt des élèves, la chimie étant incontestablement une discipline à l'interface de la physique et de la biologie.

Concernant le déroulement de cette partie, le jury recommande une brève présentation du concept, qui ne doit pas être trop longue pour laisser suffisamment de temps au

développement scientifique post-baccalauréat. Des expériences peuvent aussi être réalisées, si le sujet s'y prête, sans transformer l'exposé en montage, bien évidemment.

Les attentes du jury concernant la deuxième phase "**partie pédagogique**" sont également à présent mieux comprises. Il s'agit en effet d'évaluer les qualités pédagogiques des candidats, d'apprécier leur compréhension des objectifs des programmes et leur capacité à justifier des choix pédagogiques dans le cadre de séquences à un niveau donné.

Ce moment ne doit pas se réduire à la présentation des objectifs, des contenus et des aides éventuelles (documents, matériels) que l'enseignant peut apporter, des interactions élèves/professeur et de leur dynamique durant la séance. Le jury a apprécié les candidats n'hésitant pas à partager leur vécu, leur capacité à gérer d'éventuelles situations délicates face à une classe hétérogène. Pour autant, la partie pédagogique ne doit pas se résumer à cela. Un candidat ne peut se prévaloir d'enseigner en collège pour s'excuser de sa méconnaissance des objectifs et des compétences du lycée, et réciproquement.

Une conclusion sur les compétences mobilisées et évaluées, les prolongements éventuels (exercice, activité documentaire, séance expérimentale) permet de revenir pour terminer sur le thème général de l'exposé.

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

Lors de cette épreuve, le candidat a le choix entre deux sujets figurant dans la liste publiée au bulletin officiel de l'éducation nationale. En pratique, après 4 heures de préparation avec l'aide d'une équipe technique, la durée de l'épreuve est de 1h20 au maximum et la part globale dévolue à la présentation du candidat est de 50 minutes. Pendant les 10 premières minutes, le jury n'intervient volontairement pas pour offrir le temps nécessaire au candidat de lancer sa présentation. Les questions sont ensuite posées au fil de la séance. Les candidats doivent savoir que les questions ne sont pas destinées à les déstabiliser, mais à les amener à débattre d'un choix d'expériences, d'une technique mise en œuvre, ou à imaginer une séquence qu'ils réaliseraient devant une classe constituée. Les remarques du rapport précédent ont été suivies, le jury a apprécié le choix courageux de montages de chimie organique. De même, il apprécie les montages présentant des expériences de chimie minérale et organique, ce que permettent la majorité des thèmes proposés, sans cloisonnement des disciplines (par exemple, les thèmes « oxydo-réduction » ou « acidité » se prêtent à ce traitement « mixte »). Il est essentiel d'avoir réfléchi à l'avance à la conclusion générale du montage, trop souvent improvisée.

Voici quelques recommandations très générales sur l'organisation pratique de l'épreuve :

- avant l'arrivée du jury, le plan du montage doit être écrit au tableau ou projeté sur écran, ainsi que les équations des réactions chimiques présentées et les éventuelles relations utilisées pour l'analyse des résultats. L'utilisation du vidéoprojecteur qui facilite la lecture des résultats est maintenant généralisée et favorise l'échange avec le jury ;
- tout au long de la préparation et de la présentation, le candidat doit respecter les règles de sécurité en vigueur dans un laboratoire de chimie : port systématique d'une blouse et de lunettes de sécurité, de gants si nécessaire, manipulation sous hotte aspirante en fonctionnement lors de l'utilisation de produits toxiques volatils ;
- durant la phase préparatoire, le candidat doit s'efforcer de préparer les manipulations afin de réaliser des gestes techniques variés devant le jury : extraction, prise de température de fusion, utilisation d'un logiciel type *Regressi*, calcul d'un rendement, dosage, détermination d'une concentration ou d'une grandeur caractéristique, exploitation des spectres. L'utilisation d'ouvrages spécialisés d'expériences plutôt que des protocoles donnés dans les ouvrages scolaires est vivement recommandée. Il est important de réfléchir à la présentation des manipulations, par exemple en préparant à l'avance une solution aqueuse qui sera utilisée pour un dosage, et en évitant d'avoir à effectuer cette opération devant

le jury. C'est un élément pris en compte dans l'évaluation des qualités pédagogiques du candidat ;

- la gestion du temps est en grande partie laissée aux candidats, même si le jury, dans la mesure du possible, s'efforce de rythmer l'échange pour ne pas sacrifier la présentation de certaines manipulations.

Les questions du jury portent sur des justifications de gestes expérimentaux, sur les interprétations de manipulations, sur les incertitudes de mesure, mais aussi sur les situations d'enseignement au lycée ou au collège en lien avec le sujet du montage.

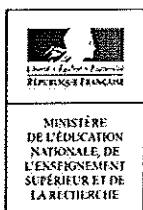
Les candidats doivent impérativement :

- limiter la présentation d'expériences trop élémentaires (une seule expérience qualitative pour mettre en évidence un phénomène peut suffire en début de montage) ;
- présenter des expériences donnant lieu à des mesures (ce qui suppose d'avoir réfléchi à ce qui est mesuré, avec quel instrument et quelle précision) ;
- être capable d'interpréter les phénomènes observés, à un niveau post-baccalauréat, surtout si ceux-ci sont en apparence très courants (piles, chromatographie, estérification) ;
- il est conseillé d'éviter la répétition d'une même expérience. Ainsi par exemple, le montage « Conductimétrie » doit fournir l'occasion de réaliser des expériences variées utilisant la conductimétrie : dosage par conductimétrie, suivi cinétique par conductimétrie, etc.

Rappelons enfin que les mécanismes réactionnels des réactions présentées, les calculs d'incertitude, doivent pouvoir être présentés rigoureusement et succinctement par les candidats.

## **Conclusion**

Le jury a eu le plaisir d'assister à de remarquables exposés et des montages qui manifestaient une excellente maîtrise expérimentale, une bonne réflexion pédagogique et grande rigueur dans la communication orale.



## Concours interne de l'agrégation et CAER - PA

### Section physique - chimie

### Programme de la session 2015

#### 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.**



## Concours interne de l'agrégation et CAER - PA

### Section physique - chimie

### Programme de la session 2015

---

#### 2. Épreuves orales d'admission

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

Le tirage au sort conduit le candidat à traiter :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dans cette partie, le candidat met en valeur ses compétences pédagogiques et didactiques. Il peut par exemple choisir :

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

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

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

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



## Concours interne de l'agrégation et CAER - PA

### Section physique - chimie

### Programme de la session 2015

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

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

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

##### a) Physique

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

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

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

##### Sujets d'exposé spécifiques

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

##### Sujets de montage spécifiques

- 23m. Filtrage et analyse spectrale
- 24m. Amplification
- 25m. Oscillations spontanées
- 26m. Couplages
- 27m. Régimes transitoires



**Concours interne de l'agrégation et CAER - PA**  
**Section physique - chimie**  
**Programme de la session 2015**

---

28m. Conversion de puissance

29m. Polarisation de la lumière

**b) Chimie**

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

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