

	Secrétariat Général Direction générale des ressources humaines Sous-direction du recrutement	MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
---	---	---

Concours du second degré – Rapport de jury

Session 2008

CAPES
Externe

Sciences Physiques

**Sciences Physiques et chimiques fondamentales et appliquées
2008**

**Rapport de jury présenté par Claude BOICHOT
Inspecteur général de l'éducation nationale
Président de jury**

Les rapports des jurys des concours sont établis sous la responsabilité des présidents de jury

RENSEIGNEMENTS STATISTIQUES

	CAPES	CAFEP
Postes mis au concours	491	135
Présents à l'écrit	2201	417
Moyenne des candidats ayant composé	8,4	7,2
Admissibles	1096	148
Moyenne des candidats admissibles	11,3	10,7
Admis	491	68
Moyenne générale des candidats admis	12,2	11,8

ORIGINE DES CANDIDATS ADMISSIBLES
ORIGINE DES CANDIDATS ADMIS
(liste principale pour le CAPES)

Centres d'écrit	CAPES		CAFEP	
	Admissibles	Admis	Admissibles	Admis
AIX-MARSEILLE	58	28	9	4
AMIENS	24	12	2	1
BESANCON	19	8	1	1
BORDEAUX	56	32	6	5
CAEN	15	8	2	0
CLERMONT	21	12	6	3
CORSE	1	0	0	0
DIJON	20	9	4	2
GRENOBLE	55	28	5	2
LILLE	79	33	6	5
LIMOGES	8	6	1	0
LYON	79	28	20	6
MONTPELLIER	35	12	7	2
NANCY- METZ	40	21	2	2
NANTES	43	20	15	8
NICE	33	12	4	2
ORLEANS-TOURS	29	15	2	1
PARIS - CRETEIL - VERSAILLES	204	85	24	12
POITIERS	29	16	2	0
REIMS	14	8	0	0
RENNES	57	24	24	11
ROUEN	24	9	0	0
STRASBOURG	53	22	1	0
TOULOUSE	63	32	4	1
GUADELOUPE	12	4	0	0
GUYANE	0	0	0	0
LA REUNION	20	7	0	0
MARTINIQUE	3	0	0	0
POLYNESIE FRANCAISE	2	0	1	0

RÉPARTITION PAR SEXE : Admissibilité - Admission

CAPES : Admissibles 607 H, 494 F

Admission 252 H, 239 F

CAFEP : Admissibles 78 H, 70 F

Admission 39 H, 28 F

COMPOSITION DU JURY

Président				
M.	Claude	BOICHOT	IGEN	MEN
Secrétaire général				
M.	Jean-Marc	LAGUILLIER	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE CRETEIL
Vice-présidents				
Mme	Nathalie	AUDIBERT	Professeur agrégé	ACADEMIE DE GRENOBLE
Mme	Françoise	DUJARDIN	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE POITIERS
M.	Dominique	OBERT	Professeur de chaire supérieure	ACADEIE DE BESANCON
M.	Stéphane	VINCEC	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE LILLE
Membres du jury				
M.	Yannick	ALMERAS	Professeur agrégé	ACADEMIE DE NANTES
M.	Hervé	ANCELET	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE LILLE
M.	Jean-Claude	ANDRE	Professeur agrégé	ACADEMIE DE NICE
M.	Daniel	ASSOULINE	IGEN	MEN
Mme	Agnès	AUBERLET DELLE-VEDOVE	Professeur agrégé	ACADEMIE DE PARIS
M.	Jean-Luc	AZAN	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE BORDEAUX
Mme	Edith	BACHER	Professeur agrégé	ACADEMIE DE BESANÇON
Mme	Véronique	BARRET	Professeur agrégé	ACADEMIE DE NANTES
Mme	Françoise	BEGUIN	Professeur de chaire supérieure	ACADEMIE DE BORDEAUX
M.	Frédéric	BLASCO	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE BORDEAUX
Mme	Monique	BOTTIN	Professeur de chaire supérieure	ACADEMIE DE VERSAILLES
M.	Christian	BRUNEL	Professeur agrégé	ACADEMIE DE NANTES
Mme	Anne	CASTAGNA	Professeur agrégé	ACADEMIE DE LILLE
Mme	Claire	CHALNOT	Professeur agrégé	ACADEMIE DE BESANÇON
M.	Etienne	CLAUDEL	Professeur de chaire supérieure	ACADEMIE DE CAEN
M.	Daniel	COURDESSES	Professeur agrégé	ACADÉMIE DE LILLE
M.	Pierre	DAUSSIN	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADÉMIE D'AMIENS

M.	Bruno	DE MARTEL	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADÉMIE DE POITIERS
Mme	Gaëlle	DE PONTAUD	Professeur agrégé	ACADÉMIE DE TOULOUSE
M.	Nicolas	DEMANGEON	Professeur agrégé	ACADEMIE DE PARIS
Mme	Frédérique	DIGUES	Professeur agrégé	ACADÉMIE DE REIMS
M.	Gérard	DIVOUX	Professeur certifié	ACADÉMIE DE STRASBOURG
Mme	Evelyne	EXCOFFON	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADÉMIE DE LYON
M.	Patrick	FAUCONNIER	Professeur agrégé	ACADEMIE DE CRETEIL
Mme	Brigitte	FOURNIER	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADÉMIE DE STRASBOURG
Mme	Karine	FOURNIER	Professeur agrégé	ACADEMIE DE CLERMONT-FERRAND
M.	Jean-Olivier	GARNIER	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE CAEN
M.	Jean-Pierre	GENEVIEVE	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE VERSAILLES
M.	Bruno	GIROUX	Professeur certifié	ACADEMIE DE DIJON
M.	ALAIN	GOURSAUD	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE D'ORLEANS-TOURS
M.	Anthony	GUINE	Professeur agrégé	ACADEMIE D'ORLEANS-TOURS
M.	Vincent	GUIRAL	Professeur agrégé	ACADÉMIE DE GRENOBLE
M.	Bernard	GUYOT	Professeur agrégé	ACADÉMIE DE POITIERS
M.	Pascal	HABERT	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE D'AIX-MARSEILLE
M.	Didier	HOTTOIS	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE LILLE
M.	Daniel	JOZ	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE MONTPELLIER
M.	Bernard	KERIVIN	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADÉMIE DE RENNES
Mme	Caroline	LAJOIE	Professeur chaire de supérieure	ACADEMIE DE NICE
M.	Michel	LAMBET	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE DIJON
Mme	Odile	LE CANN	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE RENNES
M.	Alain	LE RILLE	Professeur agrégé	ACADEMIE DE VERSAILLES
Mme	Laurence	LEBOUTET	Professeur agrégé	ACADEMIE DE LIMOGES
M.	Nicolas	LEMOINE	Professeur agrégé	ACADEMIE DE LILLE
M.	Luc	LEPICIER	Professeur agrégé	ACADÉMIE DE REIMS
M.	Bernard	LEROUX	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE NANTES
M.	François	MACQUAIRE	Professeur agrégé	ACADEMIE DE CAEN
Mme	Noëlle	MAMERI	Professeur agrégé	ACADÉMIE DE CRETEIL
M.	Dominique	MARCAILLLOU	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE PARIS
M.	Patrice	MARCHOU	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE TOULOUSE
Mme	Madeleine	MASLE	Professeur agrégé	ACADÉMIE DE CRETEIL
Mme	Jocelyne	MAYNARD	Professeur agrégé	ACADEMIE DE VERSAILLES
M.	Michel	MAZAUDIER	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE BESANÇON

M.	Daniel	MEUR	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADEMIE DE VERSAILLES
Mme	SHEILA	MEYER	Professeur agrégé	ACADEMIE DE POITIERS
Mme	Hélène	MICHEL	Professeur agrégé	ACADEMIE DE RENNES
M.	Hervé	PERRIN	Professeur agrégé	ACADEMIE DE BORDEAUX
M.	Denis	PICARD	Professeur agrégé	ACADÉMIE DE POITIERS
M.	Patrick	PIERENS	Professeur agrégé	ACADEMIE D'AMIENS
Mme	Nathalie	PILLON	Professeur agrégé	ACADÉMIE DE DIJON
M.	Christian	PRAT	Professeur agrégé	ACADEMIE DE GRENOBLE
M.	Jacques	PRIEUR	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADÉMIE DE NANTES
M.	Michel	RAMPONI	Professeur agrégé	ACADEMIE D'AIX-MARSEILLE
M.	Christophe	REHEL	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADÉMIE DE NANTES
Mme	Gaëlle	RINGOT	Professeur agrégé	ACADEMIE DE LILLE
M.	Mathieu	RUFFENACH	Professeur agrégé	ACADEMIE DE MONTPELLIER
M.	Guillaume	SAGET	Professeur agrégé	ACADÉMIE DE DIJON
Mme	Maud	SAVEYROUX	Professeur agrégé	ACADEMIE DE VERSAILLES
M.	Arnaud	SCHMITTBUHL	Professeur agrégé	ACADEMIE DE MONTPELLIER
M.	Denis	SELLIER	Professeur agrégé	ACADEMIE DE NANCY-METZ
M.	Gérard	SEURAT	Inspecteur d'académie – inspecteur pédagogique régional	ACADÉMIE DE NICE
M.	Bruno	SIMON	Professeur agrégé	ACADÉMIE DE REIMS
Mme	Sylvie	TARGOWLA	Professeur agrégé	ACADEMIE DE CRETEIL
Mme	Karine	VASSEUR	Professeur agrégé	ACADEMIE DE LYON
M.	Philippe	VITALE	Professeur agrégé	ACADÉMIE DE PARIS
M.	Thomas	ZABULON	Professeur agrégé	ACADEMIE D'ORLEANS-TOURS

RAPPORT DE SYNTHESE DU PRESIDENT DU JURY

Claude BOICHOT
Inspecteur général

La session 2008 du CAPES Externe de Sciences Physiques et Chimiques s'est déroulée dans des conditions respectant les dispositions législatives et réglementaires relatives aux concours de recrutement de la fonction publique de l'Etat et conformément aux règles jurisprudentielles afférentes aux procédures des concours.

Toutes les dispositions prises ont par ailleurs été explicitées lors de la rencontre organisée par le président du jury à l'intention des centres de préparation le 19 décembre 2007.

Cette session s'est déroulée dans des modalités légèrement différentes des sessions précédentes pour ce qui concerne l'organisation pratique (deux établissements d'accueil : Lycée Janson de Sailly et Lycée Saint Louis ; horaires ouvrables de bureau 8h30-18h30).

Les candidats ont tous été accueillis, pour l'opération rituelle et renouvelée tous les deux jours (160 candidats par appel), de tirage au sort, au lycée Janson de Sailly où, par ailleurs se déroulaient toutes les épreuves concernant la physique. Cette prise de contact avait en particulier pour objet de placer les candidats dans les meilleures conditions psychologiques pour aborder leurs épreuves des jours suivants ; elle a aussi permis au président de jury et à l'équipe d'encadrement de tracer devant les candidats les perspectives de recrutement et les modalités de l'évaluation mise en œuvre pour opérer celui-ci.

Les perspectives de recrutement se retrouvent dans les données statistiques actualisées ou cumulées. Par exemple en 1998 ce sont 5550 candidats qui se disputaient 550 places alors qu'en 2008 ce ne sont plus que 2200 candidats qui convoitent 491 places offertes public seul sans compter les 135 places du CAFEP). Ces données doivent être intégrées par les futurs candidats qui doivent savoir qu'au bout de leurs efforts il y aura une large possibilité de réussite. La notion de réussite différée remplace celle d'échec pour celles et ceux qui veulent s'en donner la peine en montrant un engagement déterminé à embrasser la fonction de professeur.

Les enjeux doivent être clairement perçus et ainsi, mieux relativisés. La connaissance de ces enjeux permet aux candidats d'aborder plus sereinement les épreuves du concours. La différence entre les deux notions d'examen et de concours doit être explicitée pour amener chaque candidat à intégrer l'idée que la compétition met en œuvre la comparaison des prestations individuelles et donc relativise celles-ci : toute auto-évaluation à la fin d'une épreuve est vaine et tout « jugement » (ou plutôt opinion ...) porté par tel ou tel observateur extérieur au jury qui ne possède donc pas une vue globale des prestations est naturellement infondé, tronqué ou inadapté et ne porte donc aucun sens.

Le recrutement de professeurs qui auront en charge pendant une quarantaine d'années le développement de l'appétence scientifique des jeunes élèves et donc l'avenir de notre pays, n'est pas une démarche aisée. Il faut simultanément s'assurer de connaissances maîtrisées, mais déjà « presque mortes » et de la capacité de transmettre pendant de nombreuses années un message scientifique évolutif. Le jury constitué en partie d'inspecteurs d'académie-inspecteurs pédagogiques régionaux (un inspecteur général et/ou un IA-IPR par commission), rompus aux situations effectives en classe, experts de l'évaluation des professeurs et des élèves, a placé cette dimension de l'évaluation dans ses appréciations. Il est clair que la formation doit prendre son plein épanouissement en apprenant les étudiants à penser. Il est inutile, vain et nettement contre-productif de les engager dans la voie des recettes ou des attitudes simplement mémorisées que l'on "régurgiterait" en s'aidant abusivement de documents personnalisés.

La session 2008 a été placée sous la double approche d'une pratique de l'équité de traitement des candidats d'une part et d'autre part de l'expression d'une certaine éthique. Il appartient au président de jury de veiller au respect du principe d'égalité des candidats. Le respect de ce principe essentiel, qui est une conséquence du principe d'égalité d'accès aux

emplois publics, s'impose tout particulièrement lors du déroulement des épreuves. C'est en application de ce principe que certains « manuels », certaines « notices » ou certains appareils ont été écartés de la mise à disposition des candidats, de tous les candidats. Certains fascicules de « montages » qui porteraient des données stratégiques plus que scientifiques avec des références précises et répétées à des pages d'ouvrages par ailleurs présents dans la bibliothèque seront écartés. Le président de jury a donc pris la décision de ne pas mettre à disposition des candidats tous les documents jugés non conformes à l'éthique du concours (voir jurisprudence). Les documents écartés possédaient pour certains un numéro ISBN mais cette qualité n'est pas suffisante au regard de l'équité de traitement des candidats. Le service du concours a fourni systématiquement des calculatrices aux candidats en interdisant l'usage de machines personnelles dans les mémoires desquelles auraient pu être stockées des informations stratégiques et scientifiques. En cohérence avec cette démarche il est clair que tout ouvrage qui relierait de façon explicite et donc standardisée un montage référencé dans le bulletin officiel de l'éducation nationale à une liste de manipulations et/ou à un ensemble de questions/réponses serait écarté de la bibliothèque du CAPES indépendamment de l'intérêt que certains peuvent lui porter dans le temps de la formation. La prestation au concours ne saurait se restreindre à une restitution de plans types. Cette notion est d'ailleurs étrangère aux attentes du jury qui apprécie la prise en charge personnelle des sujets par les candidats. Les manuels scolaires ne doivent pas être confondus avec des documents officiels. Ces manuels ont été écrits sous la seule responsabilité des auteurs qui ont souvent pris des options didactiques et pédagogiques particulières. Il est toujours bon de prendre de la distance avec telle ou telle approche scolaire en revenant aux ouvrages scientifiques de portée générale. Il en va ainsi par exemple quand la multiplicité des ouvrages scolaires dédiés à une filière semble réduite.

Il convient de rompre définitivement avec des habitudes qui dénaturent la formation et installent les conditions propices à un bachotage même si celui-ci est recherché ou demandé par les étudiants en quête de facilité et de sécurité.

Le jury évalue la prestation des candidats à partir de leur intelligence des situations, leur capacité de réflexion, leur autonomie, leur esprit critique. L'échelle de notation va de zéro à vingt. Les interrogations du jury sont construites pour valoriser le candidat et non pour l'amener perfidement à dire des bêtises. Les notes basses ou très basses sont le reflet d'une situation instantanée où plusieurs questions simples pour ne pas dire élémentaires n'ont pas eu de réponses satisfaisantes. Il n'existe pas de pratique de question « mort subite » et ceci quelle que puisse être l'énormité de la réponse. La note zéro n'a pas été attribuée. Chacun a bien conscience du stress et du manque de lucidité souvent attachés à une situation d'oral à enjeu. Le métier de professeur et singulièrement celui de professeur de sciences physiques et chimiques n'est pas simple mais il ne tolère pas de prendre des libertés avec l'honnêteté scientifique : il faut toujours nous soumettre à l'expérience et aux exigences de ses résultats constatés. Les élèves ne porteront aucun respect au professeur qui adroitement ou maladroitement travestira la réalité des observations faites en classe et tordra cette réalité pour la rendre conforme à un modèle préconstruit et inadéquat. Les étudiants qui, par calcul ou désinvolture, se dispensent de rigueur et d'honnêteté sont lourdement pénalisés. Le métier de professeur peut dans certains cas être réduit à sa dimension de "débiteur" de sciences, il faut espérer que le plus souvent il prenne la grandeur de Maître et d'Exemple. Il serait grave et désespérant de ne plus constater l'exemplarité à l'Ecole qui est le creuset de la Nation.

L'organisation et la surveillance des épreuves sont placées sous la responsabilité du président du jury. Toutes les dispositions prises visent à garantir la sérénité et le calme pour les candidats. En effet ce sont eux qui sont au cœur des préoccupations de l'équipe d'encadrement du jury. Les épreuves orales d'un concours ont en principe un caractère public, cela pour garantir l'impartialité du jury, et le public doit pouvoir y assister. Le candidat doit voir son droit à l'expression et à l'image protégé et cela interdit donc aux spectateurs de prendre des traces écrites, sonores ou filmées de la séance d'interrogation. Les candidats doivent d'ailleurs rester libres d'écrire ce qu'ils jugent utile au tableau. Les titres de montages écrits par les candidats n'engagent qu'eux mêmes.

Le président du jury peut limiter l'accès du public à la salle de concours (réponse jurisprudentielle). Ces mesures limitatives ont été prises en fonction de considérations techniques (taille des salles...) et de la capacité de l'équipe d'encadrement à assurer le contrôle et le suivi des auditeurs. Le nombre des personnes qui transitent en une journée au CAPES (dans l'un des centres) ne permet pas le moindre relâchement dans la surveillance et la moindre approximation avec l'ordre, il y va de la sécurité du concours. Toute comparaison entre les différents concours devrait avoir été faite en intégrant cette dimension pourtant évidente.

Les candidats sont assistés d'une équipe technique dont ils ont loué eux-mêmes maintes et maintes fois la qualité et la disponibilité. L'assistance ne doit pas se comprendre comme un transfert de responsabilité : le candidat est seul responsable de ses préparations et prestations. Le personnel technique sait interpréter une demande de matériel si et seulement si celle-ci est conçue à partir des fonctionnalités et des spécificités techniques ou technologiques des appareils. La provenance géographique ou l'origine commerciale ne sont pas des critères d'identification retenus par le jury. La maîtrise suffisante des possibilités d'une chaîne informatisée, pour apporter du confort et de la pertinence au traitement de telle ou telle question, suppose un long apprentissage surtout si on veut se détacher des spécificités des matériels. Il est vital de se souvenir que le but d'un montage est avant tout de présenter des expériences et des mesures et non de présenter des systèmes « presse-bouton ». Ces pseudo-montages ne conduisent souvent qu'à des situations qu'il est impossible d'exploiter et de valider.

Dans les sciences physiques et chimiques la notion de sécurité est permanente qu'elle soit d'ordre chimique, électrique, environnemental, etc.. Le souci de cette sécurité doit être présent dans tous les actes, y compris les actes réputés être élémentaires. Cela ne signifie pas que les candidats doivent être tétanisés par des questions relatives à ce champ car celles-ci garderont toujours un poids relatif. La meilleure éducation à la sécurité est celle de l'appréhension intelligente et raisonnablement anticipée des situations.

Cette année, tous les candidats se sont vus proposer un entretien-rencontre avec un délégué du président, un vice-président ou le président. Cet entretien facultatif est destiné à favoriser l'entrée dans le métier et à en éclairer les nombreux aspects administratifs, réglementaires, didactiques, pédagogiques, etc... Cet entretien personnalisé est strictement déconnecté des épreuves réglementaires, il a été particulièrement apprécié des candidats qui ont souhaité en profiter.

Des qualités aussi simples et évidentes que convivialité, respect des règles et des autres, courtoisie, politesse sont montrées par la quasi totalité des candidats. Un nombre non négligeable d'entre eux a fait preuve, en cours de préparation, un moment de désarroi ou de découragement. Dans chaque cas le personnel technique a tenté de persuader le candidat de surmonter son stress et a fait appel à un vice-président. Le nombre d'abandons en cours d'épreuve a finalement été très restreint.

La vie ne commence pas seulement avec l'admissibilité et elle ne se termine ni avec l'admission immédiate ni avec une admission retardée. La science se construit tous les jours et le chantier mérite que de plus en plus de jeunes filles et de jeunes garçons s'y engagent. L'image que tous les acteurs de ce CAPES ont tenté de donner est justement une image porteuse des vertus cardinales liées à la Science : modestie, humilité et honnêteté scientifique. Je remercie tous ceux, y compris les candidats, qui ont apporté leur concours à cette entreprise réussie.

ÉPREUVES ÉCRITES

Épreuve écrite de physique

Présentation du sujet

Le sujet de l'épreuve écrite de physique traite, en deux parties indépendantes, de deux techniques avancées de microscopie. La première partie concerne la microscopie optique confocale et fait essentiellement appel à des connaissances d'optique (géométrique, ondulatoire...) ; elle comporte aussi quelques questions pratiques. La seconde s'intéresse, quant à elle, à la microscopie électronique à balayage et s'appuie sur des connaissances de mécanique, d'électronique ainsi que d'électromagnétisme.

Le sujet est globalement d'une difficulté raisonnable et met en avant des raisonnements physiques sans excès de technicité. La plupart des questions peuvent être abordées avec les connaissances de base que doit maîtriser un enseignant de sciences physiques de collège et de lycée.

Remarques particulières

Partie A.I Étude de la source lumineuse

Les questions de culture scientifique obtiennent un succès variable. Peu de candidats savent que la notion de spectre est abordée dès le collège. La question A.I.2.b n'est pas toujours traitée schéma à l'appui, alors que celui-ci est explicitement demandé.

Partie A.II Rôle du séparateur de faisceau

L'énoncé des lois de la réflexion est généralement incomplet ou manque de rigueur. Dire que « le rayon réfléchi est contenu dans le même plan que le rayon incident » est certes vrai mais insuffisant.

La construction de l'image d'un point objet réel par un miroir plan est généralement bien effectuée mais la justification de la virtualité de celle-ci est rarement correcte.

Partie A.III Éléments d'optique géométrique autour de l'objectif de microscope

La définition de la distance focale est régulièrement incomplète. En ce qui concerne les méthodes de focométrie, les descriptions sont souvent confuses et émaillées d'erreurs. Il est plus simple de décrire un protocole avec l'aide d'un schéma.

Les questions A.III.5.a et A.III.5.b ne posent pas trop de difficultés. Par contre, l'expression de l'incertitude relative est souvent erronée ; l'évaluation des incertitudes est pourtant un élément clé de l'expérimentation en physique. Les applications numériques qui suivent révèlent des incohérences au niveau des chiffres significatifs compte tenu de l'incertitude absolue estimée.

Partie A.IV Résolution optique du microscope

Les excès de chiffres significatifs dans les applications numériques sont pénalisés. Par ailleurs, les candidats ne pensent pas assez à la nécessité d'un angle maximum u important afin de recueillir plus de lumière.

La définition de la limite de résolution d'un instrument d'optique est souvent imprécise. À la question A.IV.2.b, une réponse concise et claire peut être apportée en s'appuyant sur un schéma soigné. Les questions concernant le réseau et le critère de Rayleigh sont rarement réussies.

Ensuite, la définition de la profondeur de champ est généralement citée de façon incomplète : son évaluation est relative à l'espace objet. Le calcul des profondeurs de champ à partir de la figure 3 est régulièrement faussé par l'oubli d'un facteur 2.

La question A.IV.3.d donne lieu à des réponses surprenantes. La technique de balayage (technique d'ailleurs évoquée dans la partie B...) n'est proposée que dans les meilleures copies.

Parties A.V et A.VI Fluorescence ; synthèse

Ces questions ne demandant aucun calcul permettent de mettre en avant les candidats qui savent mener des raisonnements physiques construits.

Les synthèses pertinentes sur le microscope confocal, destinées à un élève, ne sont faites que dans les meilleures copies.

Partie B.I Pouvoir séparateur du microscope électronique

À propos de la nationalité du physicien De Broglie, trop de réponses sont données au hasard. Ensuite, l'explication de la dualité onde-corpuscule est fréquemment incomplète : celle-ci ne concerne pas que la lumière.

Peu de candidats songent à l'effet photoélectrique (entre autres possibilités) pour citer un exemple d'expérience s'interprétant par l'aspect corpusculaire de la lumière.

La question B.I.3.a est, de façon surprenante, mal traitée : incohérences dans les orientations, représentations horizontales du canon (alors que le sujet demande explicitement une figure avec des électrons accélérés de haut en bas).

Les applications numériques de la question B.I.3.b sont une nouvelle fois données avec trop de chiffres significatifs dans de nombreuses copies. Il en est de même dans les questions B.I.4 et B.I.6 certes plus rarement abordées.

Le rôle du vide poussé dans l'enceinte donne généralement lieu à des réponses correctes. Par contre, dire que l'on ne peut augmenter sans limitation la tension accélératrice des électrons parce que ceux-ci ne peuvent avoir une vitesse dépassant la célérité de la lumière est inexact.

Partie B.II Etude d'un générateur de balayage

Les questions B.II.1 et B.II.2 ne présentent pas de difficulté particulière. Le tracé de la caractéristique de la diode idéale est souvent correct mais certains candidats oublient de préciser sur un schéma annexe demandé la convention récepteur. Par contre, le tracé de la caractéristique de l'amplificateur opérationnel idéal est plus rarement réussi : trop de candidats oublient qu'en régime linéaire, la tension différentielle d'entrée est nulle du fait de l'idéalité du composant.

La question B.II.3 permet de mettre en avant les capacités d'analyse qualitative de quelques candidats.

La suite est souvent traitée sans aucune figure, ce qui rend les démonstrations incomplètes ou totalement erronées. L'énoncé donnant un certain nombre de résultats intermédiaires, les candidats peuvent progresser dans l'étude du dispositif. Néanmoins, rares sont ceux qui parviennent à son terme avec succès, en produisant une exploitation pertinente des courbes expérimentales des figures 8, 9 et 10 de l'énoncé.

Partie B.III Étude d'une lentille magnétique

Cette partie fait appel aux coordonnées cylindriques qui posent problème à certains candidats qui ne savent pas les représenter. On peut apporter des réponses concises aux questions B.III.2 et B.III.3, à condition de penser à utiliser les symétries et invariances des sources de courant. La loi de Biot et Savart est à juste titre évoquée pour l'obtention du champ magnétique sur l'axe d'une spire circulaire (son écriture n'est toutefois pas toujours correcte). La représentation de la composante de ce champ doit être soignée avec des axes légendés.

Les définitions des termes référentiel et référentiel galiléen doivent être énoncées avec la rigueur scientifique attendue. Ce sont là des notions essentielles en mécanique.

Trop de candidats donnent une expression de la force magnétique subie par l'électron avec une erreur de signe et/ou une expression de l'accélération en coordonnées cylindriques fausse. Le jury pénalise ceux d'entre eux qui parviennent malgré tout à obtenir, en commettant d'autres erreurs, les formules (8), (9) et (10) citées dans l'énoncé.

Les questions suivantes, plus difficiles, sont rarement traitées correctement. Quelques candidats utilisent les formules données à la question B.III.7 pour identifier la nature de la lentille magnétique et effectuer des applications numériques pertinentes.

Remarques générales et conseils aux candidats

Le jury regrette le manque d'honnêteté scientifique observé parfois dans certaines copies. Un tel comportement n'est pas celui d'un futur enseignant et est, bien entendu, pénalisé comme il se doit.

Les bonnes réponses sont d'autant mieux valorisées par les correcteurs qu'elles sont *claires, concises* et *précises*. Ces trois termes ont tout leur sens au regard des compétences pédagogiques attendues d'un professeur. Par exemple, le recours à des figures explicatives soignées n'est pas assez fréquent dans les copies ; pourtant, il aurait évité à certains candidats de longs récits, généralement confus.

Le jury félicite les candidats qui ont su produire, en allant à l'essentiel sans nuire à la rigueur des raisonnements, des copies de bonne présentation, mettant ainsi en relief leurs solides connaissances en physique.

Épreuve écrite de chimie

L'épreuve de chimie était composée de trois parties :

- une étude faisant appel à l'oxydoréduction mais aussi à la cinétique de l'eau oxygénée ;
- une étude théorique et pratique de différentes opérations de laboratoire ;
- l'étude d'une partie d'une synthèse asymétrique.

Les différentes parties étaient par ailleurs subdivisées en nombreuses sous parties largement indépendantes ce qui permettait aux candidats d'aborder de nombreux domaines de la chimie.

En remarque préliminaire le jury tient à signaler que lorsqu'un candidat veut vérifier que des valeurs expérimentales sont en accord avec ses calculs théoriques la plus grande honnêteté intellectuelle est nécessaire. Toute affirmation du style « on trouve bien une droite » alors qu'il est tout à fait impossible qu'avec son travail le candidat trouve un tel tracé est la preuve d'un manque total d'esprit scientifique. Tout professeur doit entre autre développer chez ses élèves des facultés d'analyse des résultats expérimentaux et leur apprendre qu'en aucun cas on ne peut falsifier un résultat. Il est donc souhaitable qu'il s'applique à lui même ces règles.

Partie A : autour de l'eau oxygénée

A-I : Les peroxydes comme source de radicaux et les peracides comme réactifs permettant d'obtenir des époxydes sont trop rarement connus.

A-II-2 : Alors que le couple acido-basique de l'eau oxygénée avait été bien écrit par les candidats ceux-ci n'envisagent pas deux domaines lors du tracé du diagramme potentiel-pH ($\text{pH} < \text{pK}_a$ et $\text{pH} > \text{pK}_a$).

Il était d'autre part précisé que l'on attendait une justification de la stabilité de l'eau oxygénée, celle-ci était absente d'un très grand nombre de copies.

A-II-3 : Les candidats devraient connaître des termes courants tels que « eau oxygénée à 10 volumes » et savoir qu'ils donnent accès au volume de dioxygène dégagé par dismutation d'un litre de solution d'eau oxygénée.

A-II-4 : Alors que l'utilisation de tableaux d'avancement est au programme des classes du secondaire, les candidats ne maîtrisent pas de tels outils.

D'autre part, de trop nombreux candidats ne savent pas faire l'étude d'un dosage potentiométrique, oubliant, entre autre, qu'à tout moment lors du dosage, $E(\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}_2) = E(\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+})$ du fait de l'unicité du potentiel. Certains d'entre eux, heureusement peu nombreux, confondent même les notions de potentiel et de différence de potentiel.

A-III-3 : Une réaction d'ordre *un* est un exemple classique de cinétique qui ne devrait présenter aucune difficulté.

Partie B : quelques opérations de laboratoire et leurs approches théoriques

B-I-2 : La vérification du caractère quantitatif de la réaction n'a été correctement traitée que sur un petit nombre de copies. Elle nécessite en effet le calcul de la constante d'équilibre.

Les hypothèses permettant les calculs de pH sont trop rarement vérifiées.

B-I-3 ... B-I-5 : Dans toutes les questions concernant le coefficient de partage, trop de candidats ont travaillé avec des nombres de moles alors que les volumes des deux phases étant différents. On ne pouvait utiliser que les concentrations

B-I-6 : Le soxhlet est un montage inconnu de presque tous les candidats

B-II : Toutes les questions nécessitant le calcul de la variance ont été en général traitées de façon maladroite et imprécise. La signification physique de la valeur de la variance paraît d'autre part méconnue dans de très nombreuses copies.

Les candidats devraient maîtriser le tracé et l'utilisation des différents diagrammes binaires liquide-vapeur. Ceci est en effet nécessaire pour choisir judicieusement les manipulations des élèves mais aussi afin de mieux comprendre les problèmes que ceux-ci pourront rencontrer lors de séance de travaux pratiques.

Partie C : stéréochimie et synthèse asymétrique

C-I : Le terme « superposer » pour comparer d'éventuels énantiomères est mal compris. Beaucoup de candidats n'en retiennent que le fait de « poser l'un au-dessus de l'autre » en ayant oublié qu'on cherche aussi à montrer que les groupes superposés sont identiques.

L'expérience de mise en évidence de l'activité optique d'une substance a été dans un grand nombre de copies très mal traitée. De plus, là encore, utiliser un langage scientifique précis était fondamental : ce n'est pas la lumière qui tourne mais le plan de polarisation d'une

lumière polarisée rectilignement.

Le jury a, cette année, été surpris par le grand nombre d'erreurs apparues lors de la recherche de la configuration absolue d'un carbone asymétrique. L'utilisation du numéro atomique pour classer les groupes paraît méconnue. On a même noté très souvent l'utilisation de grandeurs comme l'électronégativité !

C-II : La synthèse organique du (+) disparlure a révélé une méconnaissance regrettable des réactions fondamentales de chimie organique rencontrées dans les programmes. En particulier l'action du borohydrure de sodium sur une cétone n'a été que très rarement traitée. L'action de l'aluminohydrure de sodium sur un ester est par ailleurs ignorée du plus grand nombre.

Remarques générales et conseils aux candidats

On attend du candidat qu'il donne des réponses claires, concises en utilisant un langage scientifiquement correct. Il est fondamental que de futurs enseignants sachent s'exprimer clairement avec une orthographe correcte et sachent expliquer leur démarche. Toute affirmation doit bien évidemment être justifiée.

Un minimum de connaissances élémentaires est attendu en mathématiques : savoir par exemple gérer une équation traduisant une cinétique du premier ordre.

Rappelons d'autre part qu'il est indispensable que le niveau de connaissances du professeur dépasse nettement celui de son enseignement afin qu'il puisse choisir avec pertinence des progressions aptes à faire avancer ses élèves. Ces connaissances lui permettront aussi de réagir devant des situations inattendues en TP ou devant des questionnements d'élèves curieux.

Nous tenons par ailleurs à féliciter un certain nombre de candidats dont les copies montrent à l'évidence qu'ils possèdent de solides bases en chimie et qu'ils savent les valoriser.

ÉPREUVES ORALES

Épreuves orales de physique

Montage

Rappelons tout d'abord quelques règles relatives au déroulement complet de l'épreuve du montage de physique.

Après avoir pris connaissance du sujet à traiter, les candidats sont amenés en bibliothèque où ils peuvent sélectionner les ouvrages ou références officiels qui pourraient leur être utile. Chacun est ensuite conduit dans la salle correspondant à son montage. La durée totale de préparation inclut le temps passé en bibliothèque. La durée maximale de présentation est de trente minutes. Un entretien avec le jury suit la présentation.

Il va de soi que le matériel mis à disposition des candidats est en état de fonctionnement, et pas seulement durant le temps dévolu à la préparation.

Tous les membres du jury ont eu le plaisir, cette année encore, d'assister à de remarquables prestations de candidats manifestement bien entraînés à cette épreuve expérimentale exigeante. En effet, celle-ci nécessite notamment des capacités d'observation, une aptitude à la mesure et le sens de la modélisation.

Nous livrons ici quelques-unes des qualités appréciées par les jurys et susceptibles de fournir quelques pistes de travail aux futurs candidats.

Il n'est pas indispensable bien entendu, de disposer de toutes ces compétences, ni même d'en faire étalage au meilleur niveau, pour réussir l'épreuve de montage.

Les rubriques ici développées ne sont en rien exclusives, ou exhaustives et ne constituent en aucune façon des « passages obligés ».

La forme

Le montage, comme les autres épreuves du concours, vise à recruter de futurs enseignants. S'agissant d'une épreuve orale, le jury attend du candidat qu'il témoigne de qualités pédagogiques garantes de clarté et de rigueur dans l'expression : vocabulaire correctement choisi, français bien maîtrisé...

Un tableau bien structuré, des schémas soignés, des grandeurs physiques exprimées avec leurs unités, sont des éléments intervenant aussi dans l'évaluation de l'épreuve.

Les manipulations doivent être pertinentes, en lien direct avec le sujet et agencées selon un fil directeur choisi par le candidat. Bien sûr, introduction et conclusion ne se résument pas à une énumération des expériences à venir ou réalisées.

Les expériences présentées seront visibles par le plus grand nombre. Les instruments de mesure et écrans divers sont logiquement tournés vers l'auditoire.

Le vocabulaire utilisé à l'oral comme à l'écrit doit être précis et employé à bon escient. Une différence est notamment à faire entre grandeurs tabulée, mesurée, expérimentale et théorique.

La gestion du temps

Si trente minutes peuvent paraître longues, il convient malgré tout de les exploiter au mieux, et d'en profiter pour mettre en avant les avantages de certaines méthodes par rapport à d'autres, ou de se livrer à l'évaluation raisonnée d'incertitudes de mesures.

Afin d'optimiser ce temps, les données expérimentales peuvent avoir été partiellement recueillies en préparation et être complétées en présence du jury.

Les expériences qualitatives

Elles sont judicieusement utilisées afin d'introduire rapidement un phénomène, ou servent plus rarement de transition entre deux expériences exploitées de manière plus conséquente. Parfois, il s'agit uniquement d'illustrer un point qui ne pouvait être étudié quantitativement. Bien sûr, les présentations ne sauraient rester totalement qualitatives.

Les ordres de grandeur

Leur maîtrise dans la plupart des domaines courants s'avère un atout précieux pour de nombreux candidats qui peuvent ainsi commenter avec pertinence les résultats obtenus et les replacer dans un contexte réel. Garder à l'esprit le positionnement relatif de certaines de ces grandeurs permet notamment de détecter rapidement la validité des résultats issus de l'expérience.

Le traitement informatisé des données

Certains candidats utilisent de manière fort pertinente l'outil informatique. L'acquisition des données est faite de manière judicieuse, en mettant en évidence le fait que le matériel utilisé possède des limitations (bande passante, fréquence d'échantillonnage...), qui conduisent logiquement à certains choix expérimentaux. Un complément d'information sur le montage étudié est parfois apporté à l'aide de l'oscilloscope, que l'on choisira de préférence numérique, hors des zones de fonctionnement du module d'acquisition.

Lors de l'emploi d'une webcam ou d'une caméra numérique, il convient de soigner particulièrement le positionnement, l'étalonnage et le réglage des paramètres d'acquisition.

Les incertitudes de mesure, la modélisation

Au cours du montage, le candidat doit démontrer sur une des expériences au moins, qu'il est capable d'estimer l'erreur associée à chaque mesure faite et de la propager à la grandeur qu'il cherche à déterminer.

Lorsque la régression linéaire est utilisée, si possible sur un ensemble de valeurs supérieur à deux, l'obtention d'un coefficient de corrélation proche de l'unité ne constitue pas l'ultime critère de satisfaction.

La présentation finale des résultats, entachés ou non d'incertitudes de mesure, est l'occasion de montrer que l'on comprend la notion de chiffres significatifs.

Des remarques thématiques

Dans la réalisation des montages relevant du domaine *électrique*, il peut être intéressant de d'utiliser des fils électriques de couleur. Il peut également s'avérer pertinent de ne pas câbler systématiquement tous les montages devant le jury.

La présence systématique d'un oscilloscope est conseillée, ne serait-ce que pour vérifier la conformité des signaux effectivement présents en entrée et sortie de montage. Son usage ne saurait se résumer à l'appui systématique sur le bouton « autoset ». L'utilisation des fonctions permettant la mesure automatique de la différence de phase entre signaux ne dispense pas les candidats d'être capables de justifier rapidement la validité du résultat obtenu. La fonction de tracé de caractéristique de l'oscilloscope est certes intéressante, mais n'est pas forcément adaptée pour illustrer le principe de fonctionnement de la plupart des capteurs.

En *mécanique*, l'usage du chronomètre à déclenchement manuel est rarement pertinent, les durées d'expérimentation étant trop brèves. L'emploi d'un système d'acquisition avec capture vidéo peut être préféré. Maîtriser les grandes lois de conservation qui gouvernent le mouvement des corps et les chocs est indispensable.

Dans le domaine *optique*, il faut savoir résister à la tentation, manifestement grande, de rester sur le plan qualitatif. Le soin apporté à l'alignement correct des divers éléments présents entre la source et le lieu d'observation est toujours apprécié. Il peut être intéressant d'obtenir une distance focale par l'exploitation informatisée d'une série de mesures. Rappelons que de vrais instruments d'optique sont disponibles dans les collections, et que plusieurs montages peuvent se prêter à leur utilisation.

Lors de la réalisation d'expériences de conduction *thermique* mettant en évidence un temps caractéristique de diffusion, il faut être capable d'exprimer celui-ci en fonction du coefficient de diffusivité thermique.

Remarques générales

Un nombre restreint de manipulations, bien choisies et convenablement exploitées, peut parfaitement suffire à remplir le cahier des charges imposé.

Il est extrêmement rare qu'une manipulation ne fonctionne pas. Il est possible, en revanche, que le résultat obtenu ne soit pas conforme à celui attendu. Une attitude mesurée et réfléchie permet généralement de rebondir convenablement. Il est même possible d'avouer... que l'on ne sait pas !

L'honnêteté intellectuelle et scientifique est une qualité appréciée en toutes circonstances.

Épreuve Orale sur Dossier

Introduction

L'épreuve sur dossier a pour objectif d'évaluer la maîtrise des connaissances scientifiques et les compétences des candidats pour concevoir une séance d'enseignement et transmettre des connaissances. Cette épreuve se compose de deux parties :

- un exposé conçu à partir de l'exploitation du dossier fourni ;
- un entretien.

Le jury a pleinement conscience que, le plus souvent, les candidats n'ont pas eu l'occasion d'enseigner. Il cherche, outre les compétences disciplinaires, à évaluer en priorité la capacité à repérer une séquence d'enseignement dans un programme, à mettre en évidence les continuités d'un domaine de la physique du collège jusqu'au lycée, à repérer les concepts fondamentaux. Plus encore, c'est la capacité du candidat à organiser le travail de la classe et à articuler les séances de travaux pratiques avec les séances de cours qui retiennent l'attention du jury. L'identification des pré-requis nécessaires à l'étude d'un sujet et les compétences visées par la séance proposées sont particulièrement appréciés par le jury.

Le déroulement de l'épreuve et les attentes

Le dossier remis au candidat est constitué, d'une part du sujet qui précise le travail à présenter pendant l'exposé et d'autre part les documents à exploiter (exercice, texte, protocole expérimental...) pour traiter le sujet.

Le sujet comporte deux parties, l'exploitation des documents et, par exemple, la construction d'une séance d'enseignement (cours, TP-cours, TP), **les deux parties doivent être traitées pendant l'exposé**. Il n'est cependant pas indispensable que des durées égales soient consacrées à chaque partie, l'exploitation des documents peut par ailleurs être intégrée à la séance de cours (ou de TP) ou en être séparée. Le niveau d'enseignement auquel le candidat doit se placer est imposé : le jury attend que ce niveau soit respecté au cours de l'exposé. Rappelons à cet égard que les références à prendre en considération sont les programmes officiels et non les manuels scolaires.

Chaque candidat dispose de deux heures pour préparer son exposé.

L'exposé du candidat

Le candidat est libre d'en traiter les deux parties dans l'ordre qu'il souhaite. La présentation dure trente minutes *maximum*, le candidat utilisera au mieux cette durée pour présenter un exposé équilibré et rigoureux...L'emploi de transparents peut constituer une aide précieuse pour renforcer le propos, les schémas des dispositifs et des montages électriques pourront ainsi être projetés et éventuellement complétés pendant l'exposé.

Le candidat doit faire preuve de capacités de communication. Le jury apprécie la clarté du propos, la rigueur scientifique et l'honnêteté intellectuelle ; ces qualités sont primordiales dans ce contexte de recrutement d'enseignants capables de s'exprimer en public avec conviction. Le dynamisme du candidat et sa faculté à capter l'attention du jury seront particulièrement appréciés.

L'entretien

À la suite de l'exposé, le jury procède à un entretien avec le candidat. Cette partie de l'épreuve permet de mieux apprécier les compétences scientifiques et pédagogiques de ce dernier.

Le candidat doit savoir écouter de façon à cerner sans précipitation la nature de la question qui lui est posée. Le sang-froid est indispensable pour que ne soit pas improvisée une réponse hâtive et il est parfaitement admis qu'un candidat prenne le temps de réfléchir avant de répondre. En cas de difficulté, il est vain de vouloir masquer une lacune par un rideau de fumée, surtout si la démarche utilisée en la circonstance est le recours à un jargon pseudo-scientifique. Il est attendu des candidats qu'ils fassent preuve d'authenticité, et non qu'ils soient préoccupés par la recherche à tout prix de l'acquiescement du jury.

Pendant l'entretien, il est logique de questionner le candidat à un niveau différent de celui de l'exposé : niveau supérieur pour évaluer sa maîtrise des concepts et des lois inhérents au thème traité ; niveau supérieur ou inférieur pour repérer son aisance à transférer à une autre classe les notions abordées. De même, le jury peut aborder, par ses questions, des domaines connexes au sujet traité pour évaluer les compétences du candidat dans le champ scientifique concerné et pas seulement dans le domaine parfois restreint du document mis à disposition (cette remarque s'appliquant tout particulièrement aux dossiers liés à l'enseignement au niveau du collège). Il est habituellement demandé que le candidat réponde aux questions qui lui sont posées sans l'aide de ses notes de préparation, sauf si le jury l'y invite.

Les critères relatifs à la conduite et à l'évaluation de l'épreuve orale sur dossier et de l'entretien

Maîtrise des connaissances scientifiques : rigueur dans la présentation (séquence de cours) et l'exploitation (correction d'exercice) des lois et théorèmes de base des programmes de lycée et collège, aptitude à conduire et présenter un raisonnement structuré, maîtrise des ordres de grandeur, aptitude à porter un regard critique sur des erreurs commises, aptitude à extraire des informations d'un document, ouverture sur l'actualité, connaissance des contenus disciplinaires, des programmes.

Connaissances des méthodes et des moyens d'enseignement : connaissance des principales progressions et articulations dans les programmes des différents niveaux, réalisme et faisabilité des démarches proposées tant par le choix du matériel (expériences de cours ou TP) que par la progression choisie pour les séquences d'enseignement, mise en œuvre de procédures d'évaluation, respect de la sécurité, aspects spécifiques de certains sujets (par exemple prise en compte de la citoyenneté).

Capacités à communiquer : qualité de l'expression orale, clarté et précision des propos (plan, rigueur du vocabulaire), conviction et implication personnelle dans les propos, écoute des questions et des attentes du jury, maîtrise des émotions, capacités à échanger avec plusieurs personnes, choix et gestion des outils de communication (tableau, rétroprojecteur), qualités pédagogiques. Toutes ces compétences sont évaluées aussi bien lors de la présentation que lors de l'entretien.

Principaux constats relatifs au déroulement de l'épreuve

Les candidats se voient proposer soit un exercice, soit une activité ou un TP à mettre en relation avec une séquence de cours à construire. Souvent, le jury constate que l'articulation est mal faite. Dans le cas d'un exercice, certains candidats débutent l'épreuve en annonçant : « *je vais d'abord corriger l'exercice.* » Même si un candidat doit savoir réaliser rapidement, ce type de travail, le jury évalue la mise en relation qui est faite entre les questions et les contenus des programmes. *A minima*, on attend que le candidat donne son avis sur l'exercice en justifiant son opinion, mette en relation chaque question avec un point du programme, souligne les compétences évaluées, et propose des modifications ou ajouts.

Pour les TP, deux situations peuvent se présenter. Soit le candidat doit proposer un protocole soit il doit commenter celui qui lui est fourni. Là encore, il est nécessaire de dépasser le simple commentaire du travail que les élèves ont à effectuer. On attend que le candidat produise une réflexion sur l'articulation entre le cours et le TP, l'organisation de la classe, le travail attendu des élèves, les résultats escomptés, les difficultés prévisibles, les apprentissages liés à un travail de laboratoire. La « *grille de suivi des compétences expérimentales* » publiée dans le cadre du programme, recense les compétences que l'on peut construire lors d'un TP. Il pourrait être intéressant de s'y référer afin de construire des savoir-faire qui vont au-delà de la prise de mesures ou du suivi d'un protocole. On pense notamment à : formuler une hypothèse sur un événement susceptible de se produire, déterminer un paramètre pouvant jouer un rôle dans un phénomène, déterminer le domaine de validité d'un modèle, exprimer un résultat avec un nombre de chiffres significatifs compatibles avec les conditions de l'expérience...

Pour la leçon à construire, le jury n'attend pas une présentation complète de la séance, le candidat veillera à présenter les objectifs de chaque partie, l'enchaînement et la cohérence des contenus enseignés. Un des paragraphes pourra être développé plus complètement afin de mettre en relief une notion scientifique du sujet. Le candidat veillera à formuler, de façon claire et précise, définitions, théorèmes, principes et lois mais également les conditions d'application.

Les documents mis à disposition des candidats peuvent être soumis à la critique. Il ne s'agit pas alors d'y rechercher des erreurs ou de déprécier le document mais, bien au contraire, de proposer les éventuelles modifications à y apporter pour le mettre en meilleure adéquation

avec le cours proposé, de le compléter (s'il s'agit d'un exercice) par une question testant une nouvelle compétence, etc. Dans tous les cas, le jury apprécie l'esprit critique du candidat qui sait, en toute honnêteté, se démarquer d'un document conçu par un autre et faire preuve d'indépendance intellectuelle.

Recommandations aux candidats

Parmi les difficultés rencontrées, il est possible d'en souligner plusieurs (non exclusives). Le candidat ne traite pas le sujet qui lui est proposé, le hors sujet est hélas possible, une lecture attentive des questions d'une part et le respect du niveau scientifique de l'intervention d'autre part sont indispensables. Le candidat perd toute capacité d'écoute, élude les questions ou évite d'y répondre avec précision. Le candidat n'apporte pas suffisamment de soin à l'aspect communication de sa prestation, d'une part dans la gestion du tableau et la qualité des transparents et d'autre part au niveau de la rigueur de ses propos. Les compétences pédagogiques sont prises en compte dans l'évaluation des candidats.

On ne saurait trop insister sur la nécessité d'une préparation : un candidat doit avoir une solide connaissance disciplinaire et doit se préparer à l'art difficile de l'entretien et de la communication. Les qualités de communication et d'échange doivent être travaillées, le jury attend en effet des capacités à mener une discussion posée et réfléchie, à développer une argumentation à travers un discours cohérent, en usant d'un registre de langue soutenu et compatible avec les exigences du métier d'enseignant.

Afin de préparer dans de bonnes conditions cette épreuve, il convient de prendre connaissance, en priorité, des programmes et documents d'accompagnement de collège et de lycée (série générale, STI et STL). Dans un second temps, une lecture critique des manuels scolaires permettra d'observer la façon dont les programmes officiels sont déclinés en cours, TP, exercices et activités. Enfin, on trouve aujourd'hui de très nombreux cours et TP mis en ligne sur Internet couvrant l'ensemble des programmes scolaires. Le candidat pourra s'y référer afin de développer son esprit critique.

Conclusion

Les commissions ont constaté une très grande hétérogénéité de niveau entre les candidats. Dans toutes les commissions se sont présentés des candidats de grande valeur : ils savent montrer leurs connaissances scientifiques et leurs aptitudes pédagogiques. Le jury a eu le plaisir d'entendre des candidats qui avaient fait l'effort de bien se préparer au concours et qui ont su se projeter dans leur future fonction même s'ils n'avaient naturellement encore de celle-ci qu'une vision partielle.

Dans toutes les commissions se sont présentés aussi quelques candidats sans conviction, insuffisamment motivés et préparés et montrant de grosses lacunes disciplinaires. Enfin, dans tous les cas, une authentique culture scientifique au-delà des simples connaissances disciplinaires contribue à donner à la prestation du candidat la pertinence et la profondeur qui achèvent de convaincre le jury de sa qualité de futur enseignant. Nous invitons donc tous les candidats motivés par le métier d'enseignant et qui ne seront pas admis cette année au concours, à poursuivre leurs efforts de formation disciplinaire et pédagogique.

Épreuves orales de chimie

Remarques générales

Si les conditions des épreuves ne peuvent pas entièrement se comparer à une situation d'enseignement, le candidat gardera néanmoins à l'esprit que le concours du CAPES et du CAFEP est destiné au recrutement de professeurs de collège et de lycée. Le jury s'attachera donc en premier lieu à apprécier les qualités pédagogiques, la clarté, la conviction et le dynamisme du candidat. On attend de lui qu'il s'exprime dans un langage correct (pas de

mot familier ni de phrase comme « si le milieu serait acide... ») et sans faute d'orthographe. De même, l'aisance à se détacher de ses notes, la tenue du tableau, la qualité des transparents, de la projection, la position du candidat par rapport au rétroprojecteur sont des éléments à ne pas négliger.

Il conviendra d'employer un vocabulaire précis (par exemple « Le nitrate d'ammonium est endothermique » ne signifie rien, et on n'ajoute pas « de l'Ag⁺ », mais une solution aqueuse de nitrate d'argent).

Certaines confusions notées dans les rapports des années précédentes sont toujours présentes : espèce chimique et élément chimique, quantité et concentration, équivalence et équilibre, conductance et conductivité, spectrophotomètre et spectromètre. Rappelons encore qu'une quantité n'est pas plus un « nombre de moles » qu'une intensité un nombre d'ampères.

Des lacunes dans les connaissances du niveau du secondaire sont difficilement admissibles. On attend du candidat qu'il sache par exemple écrire et exploiter sans hésitation un tableau d'avancement, ou encore la notion de réaction prépondérante, notamment en série STL.

Un minimum de connaissances sur la chimie du quotidien, ou ses applications industrielles, est nécessaire, tant en montage qu'en EOD. Quelques connaissances en histoire de la chimie sont appréciées.

Il convient d'être attentif à la gestion du temps : il arrive que le candidat soit amené à interrompre prématurément son exposé alors que l'EOD n'est pas entièrement traitée, ou les manipulations incomplètement exploitées. De même, l'annonce par un membre du jury « il vous reste cinq minutes » est une simple indication pour aider le candidat à gérer le temps restant, et non une invitation à conclure immédiatement.

Nous attirons enfin l'attention du candidat sur le fait que, même s'il a pu manier couramment au cours de ses études universitaires les notions telles que l'équilibre chimique, ou l'équivalence, au point de les considérer comme évidentes, savoir les expliquer clairement à des élèves au niveau de l'enseignement secondaire ne s'improvise pas.

Montage

Le choix des expériences

Les manipulations choisies doivent avoir un lien justifiable et justifié avec le titre du montage. Un équilibre doit être trouvé entre qualitatif et quantitatif. On ne se limitera pas au seul niveau de l'enseignement secondaire, en particulier au niveau de leur interprétation. Nous conseillons aux candidats de faire apparaître au tableau, avant le début de l'exposé, le plan du montage, le minimum d'informations permettant l'explication des manipulations et l'exploitation des résultats (équations de réaction, constantes, développement des calculs...).

Le jury attend que des expériences en nombre suffisant soient réalisées. Il convient toutefois de garder une certaine mesure : le candidat doit garder présent à l'esprit qu'il devra non seulement les réaliser, mais également les présenter, les interpréter et souvent les exploiter quantitativement. Quelques manipulations judicieusement choisies et bien maîtrisées valent mieux que des expériences trop nombreuses que l'on n'a pas le temps d'interpréter ou de finir (voire de commencer !). De même, il convient de ne pas être trop ambitieux : il est toujours désastreux de voir une expérience échouer parce que le candidat n'en maîtrise pas les conditions expérimentales, quand il ne se révèle pas incapable de l'interpréter lors du questionnement !

La préparation de l'exposé et la présentation

Lors de sa préparation, le candidat doit penser à l'organisation de la paillasse (encombrement, visibilité des expériences par le jury, étiquetage des flacons, béchers, tubes...). Une évidence à rappeler : une blouse propre et correcte est indispensable.

Le candidat doit également penser à la gestion du temps : une manipulation de longue durée doit être commencée assez tôt dans la préparation ou dans la présentation. Lors de la

présentation, il peut commencer une manipulation puis traiter d'autres expériences avant d'y revenir : il est dommage de voir par exemple un candidat « meubler » plus ou moins adroitement en attendant que l'éluant veuille bien monter le long d'une plaque de chromatographie.

De même l'utilisation d'un logiciel ne s'improvise pas. La durée de la préparation ne permet pas de maîtriser un logiciel inconnu. Il en est de même pour certaines notions qui doivent être travaillées en cours d'année (courbes intensité-potentiel par exemple).

Lors de l'exposé, le candidat doit montrer au jury son aptitude à manipuler. En chimie organique, il peut présenter une étape de la synthèse et/ou la caractérisation du produit. En chimie minérale, il peut montrer des courbes préalablement tracées et vérifier quelques points devant le jury, qui souhaite le voir manipuler la verrerie courante et de précision. Lorsqu'une manipulation est terminée, le candidat ne doit pas oublier d'arrêter les appareils de chauffage, les agitateurs ou laisser les électrodes à l'air libre... : la sécurité, ou la préservation du matériel, peuvent être en jeu.

Dans tous les cas, le candidat doit expliquer les grandes lignes du protocole. Il doit être capable de justifier ces choix expérimentaux, de prendre du recul par rapport aux expériences proposées dans les manuels. Il ne doit pas se contenter de suivre un protocole expérimental. Les résultats obtenus doivent être exploités et comparés avec le résultat attendu (étiquette, tables de données), ce qui ne doit pas être confondu avec un calcul d'incertitude ! Le nombre de chiffres significatifs doit également être correct.

Par ailleurs, lors d'une manipulation, si un candidat n'obtient pas les résultats attendus, cela ne constitue pas un handicap dans la mesure où il est capable d'en expliquer les raisons.

L'ensemble doit se terminer par une conclusion en rapport avec le titre du montage.

Quelques remarques thématiques

Sécurité

La manipulation de certains produits doit se faire avec des gants et des lunettes au besoin. En revanche, on ne doit pas garder les gants pour manipuler près d'une source de chaleur. Le jury a été amené cette année encore à arrêter les candidats qui entreprenaient des manipulations extrêmement dangereuses. Le jury tient à rappeler qu'il ne faut pas tout jeter à l'évier (Co^{2+} , MnO_4^- , H_2SO_4 concentré, ...).

Chimie organique

Le candidat doit montrer sa maîtrise des techniques opératoires spécifiques de ce domaine de la chimie : le jury a encore vu trop de montages où l'essentiel des expériences se faisait en tubes à essais. L'interprétation des phénomènes mis en jeu est souvent mal maîtrisée. On peut citer par exemple : justification du choix d'un solvant d'extraction, explication du rôle d'un éluant lors d'une CCM, interprétation d'une température de fusion et d'ébullition à partir d'une lecture d'un diagramme binaire. Les expériences présentées doivent être interprétées en termes de mécanismes réactionnels. Si le candidat n'aborde pas cet aspect dans sa présentation, il faut qu'il s'attende à ce que cela soit développé au cours de l'entretien. Le jury a bien conscience de la durée nécessaire pour mener à bien ces expériences, mais souhaiterait que le candidat procède, au moins une fois, à l'identification du produit formé et à un calcul de rendement.

Chimie générale

Le jury déplore cette année encore les trop nombreuses erreurs manipulatoires lors des dosages volumétriques. La pipette est trop rarement rincée avec la solution. Elle est très souvent mal tenue lors de la coulée. On rappelle que celle-ci doit être tenue droite, appuyée sur le bord du bécher avec un angle de 45° . Lors de la dilution, il convient de vérifier que le col de la fiole est sec avant d'ajuster le trait de jauge ensuite seulement on peut agiter.

En pH-métrie, les candidats font rarement la différence entre des courbes de dosage d'un

acide fort ou celle d'un acide faible ou très faible par une base forte.

La conductimétrie est source de grandes difficultés pour les candidats : si les relations entre les différentes grandeurs (conductivité, conductance, résistance, ...) sont dans l'ensemble connues, les unités correspondantes le sont moins. Les conditions opératoires qui conduisent à des portions de droite avant et après l'équivalence sont très rarement maîtrisées. Certains candidats n'hésitent d'ailleurs pas à affirmer qu'ils obtiennent une droite alors qu'ils ont obtenu des portions d'hyperboles. Lors de l'étude des courbes de dosage, les ions spectateurs sont très souvent oubliés. A noter également une tendance à croire que l'on peut faire en conductimétrie tous les dosages non faisables en pHmétrie.

En électrochimie, le déplacement des porteurs de charge en solution reste encore mystérieux pour un certain nombre de candidats.

Entretien

Il permet au jury d'évaluer le niveau de compréhension par le candidat des phénomènes mis en jeu dans les expériences et des notions présentées. Le jury peut lui demander de justifier ses choix d'expériences ou de progression. Pour apprécier ses connaissances scientifiques, l'entretien peut aborder des domaines qui ne sont pas forcément en rapport avec le sujet ou le niveau traité.

Lorsque le jury repère une inexactitude dans la présentation du montage ou de l'EOD, il essaiera d'y revenir afin de savoir s'il s'agit d'une étourderie ou d'une erreur de fond du candidat. Celui-ci devra alors mettre ce moment à profit pour montrer ses connaissances vis-à-vis du sujet étudié et sa capacité à prendre du recul par rapport à ce qu'il a fait. Des réponses concises et précises sont attendues. Le jury apprécie l'aptitude du candidat à mobiliser rapidement ses connaissances, à conduire des raisonnements simples et cohérents permettant de justifier les réponses fournies.

Enfin, il est aussi recommandé (tant pour l'EOD que pour le montage) de rechercher lors des 2 h de préparation les caractéristiques des espèces chimiques rencontrées (structure de molécules organiques, formules de réactifs titrants) ainsi que des données physico-chimiques (constantes thermodynamiques, potentiels redox standard,...) de façon à pouvoir répondre à d'éventuelles questions s'y rapportant. Des questions sur le principe des appareils de mesure utilisés sont également à prévoir...

Il est souvent demandé au candidat de justifier le résultat obtenu par des considérations thermodynamiques. Les réponses obtenues révèlent alors souvent des confusions, voire des lacunes : par exemple une enthalpie libre de réaction n'est pas une variation d'enthalpie libre, difficulté à appréhender la différence entre réaction spontanée et réaction forcée. Nous ne saurions trop conseiller aux candidats d'approfondir ces notions.

Enfin, il est judicieux de retravailler le sujet de l'écrit : des questions sur des notions qui s'y trouvaient, telles que l'électrode au calomel, l'activité optique ou la signification du titre en volume d'une eau oxygénée ont souvent donné lieu à des réponses erronées.

Épreuve Orale sur Dossier

Le candidat reçoit un dossier comportant **deux** parties à traiter en respectant le niveau de la classe précisé :

- la **première** partie indique au candidat la nature des travaux à effectuer en liaison avec un ou plusieurs documents joints (étude ou élaboration d'un protocole de TP et son exploitation, correction commentée ou rédaction d'un énoncé d'exercice, exploitation d'articles scientifiques, photographies, étiquettes...);
- la **seconde** partie précise le contenu de la séance de cours, de TP ou d'activité expérimentale **à élaborer, en lien avec les documents**.

Nous conseillons avant tout de lire attentivement le sujet de l'EOD : trop de candidats développent longuement le chapitre de cours ou le TP en lien avec le sujet, parfois au-delà de ce qui est attendu, et se contentent d'un commentaire de deux minutes sur le document ou les exercices proposés, dont ils ne semblent pas saisir l'intérêt pédagogique.

Il faut évidemment bien connaître les programmes, du collège au BTS chimiste en passant

par la série STL-CLPI. Ce qui ne dispense pas d'en demander un exemplaire lors de la préparation pour harmoniser son travail avec les recommandations officielles et le situer par rapport aux compétences exigibles.

Les épreuves orales sur dossier portant sur la filière STL ne doivent pas perturber les candidats. Il est conseillé (en restant strictement dans le cadre du programme STL indiqué dans le Bulletin Officiel de 1993 et en tenant compte des modifications de programme et commentaires de 2001 et 2002) de ne pas se limiter aux ouvrages STL et de consulter également les ouvrages d'autres filières traitant du même sujet.

La partie « élaboration d'une séance de cours ou de TP » doit être de longueur raisonnable. L'exposé doit comprendre, entre autres, un plan détaillé où le candidat indique les points importants à développer devant les élèves en soulignant les obstacles didactiques. Le choix de la progression doit être motivé et les intentions pédagogiques mentionnées. Enfin, il ne faut pas être ambitieux au point de traiter une partie entière du programme de la classe concernée par l'EOD, au risque d'avoir un temps très limité à consacrer aux documents.

Un exercice à résoudre ou une séance de TP à exploiter doivent être considérés comme des documents : outre l'explicitation clairement présentée des résultats attendus (ce qui est bien le moins !), le candidat doit les relier au thème à traiter et aux compétences à acquérir, en commenter les difficultés attendues et l'intérêt pédagogique.

On veillera à tenir compte du niveau imposé dans le sujet, non seulement en termes de programmes, mais également de public (les réactions acido-basiques par exemple ne peuvent être appréhendées de la même façon au collège et en terminale S), ou encore au niveau des conditions expérimentales (effectifs, matériel disponible).

Pour conclure

Ces remarques ne doivent pas laisser l'impression de carences généralisées en chimie chez les candidats du concours 2008. Nous reconnaissons les efforts accomplis par la plupart d'entre eux pour réussir ce concours difficile. Nous avons tenu cependant à relever les erreurs les plus fréquentes afin d'aider celles et ceux qui se destinent aux fonctions de professeur de physique-chimie de collège et de lycée, et prépareront donc le concours dans les années à venir. Le jury a assisté cette année encore à un certain nombre de présentations brillantes menées avec dynamisme et enthousiasme et tient à féliciter ces candidats.

SESSION DE 2008.

**CONCOURS EXTERNE ET TROISIÈME CONCOURS
DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS CERTIFIÉS
ET CONCOURS D'ACCÈS À DES LISTES D'APTITUDE (CAFEP)
CORRESPONDANTS**

Section : PHYSIQUE ET CHIMIE

COMPOSITION DE CHIMIE AVEC APPLICATIONS

Durée : 5 heures

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

Une seule calculatrice à la fois étant admise sur la table ou le poste de travail.

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

Les candidats doivent reporter sur leur copie, devant leurs réponses, la numérotation complète (chiffres et lettres) des questions de l'énoncé.

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 : Hormis l'en-tête détachable, 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.

Cette épreuve est constituée de trois parties totalement indépendantes les unes des autres. Dans chacune de ces parties le candidat trouvera par ailleurs des sous parties indépendantes, les principaux thèmes abordés dans chaque partie sont indiqués entre parenthèse.

Partie A : autour de l'eau oxygénée (diagramme potentiel-pH, dosage potentiométrique, cinétique)

Partie B : quelques opérations de laboratoire et leurs approches théoriques (extraction liquide-liquide, pHmétrie, chimie organique, distillation, hydrodistillation)

Partie C : stéréochimie et synthèse asymétrique (chimie organique)

Notations et données numériques

L'état des constituants physico-chimiques est noté :

(s) solide

(liq) liquide

(g) gazeux.

Lorsque rien n'est spécifié, les ions sont supposés en solution aqueuse et les gaz sont supposés parfaits.

Constante des gaz parfaits $R = 8,32 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Constante de Faraday $F = 9,65 \times 10^4 \text{ C.mol}^{-1}$

On prendra pour simplifier : $T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273$

Numéros atomiques (Z) et masses molaires atomiques (M) de différents éléments

éléments	H	C	N	O	Cl
Z	1	6	7	8	17
M (g.mol ⁻¹)	1,0	12,0	14,0	16,0	35,5

Zones de virage de quelques indicateurs acidobasiques

indicateurs	hélianthine	Bleu de bromothymol	phénolphtaléine
domaines de virage	3,1 – 4,4	6,0 – 7,6	8,2 – 9,8

Constantes d'acidité de quelques acides à 25°C

acides	Acide propanoïque	Acide benzoïque	Peroxyde d'hydrogène
pKa	4,9	4,2	11,6

Potentiels standards de quelques couples oxydoréducteurs à 25°C par rapport à l'électrode standard à hydrogène

couples	MnO ₄ ⁻ / Mn ²⁺	H ₂ O ₂ / H ₂ O	O ₂ / H ₂ O ₂	Fe ³⁺ / Fe ²⁺
E° (V)	1,51	1,77	0,69	0,77

Données concernant des produits organiques (les températures de changement d'état sont données sous 1 bar et la densité par rapport à l'eau est donnée à 298 K)

	Densité par rapport à l'eau	T _{ébullition} (°C)	T _{fusion} (°C)	Soluble dans	Insoluble dans
4-hydroxy-4-méthylpentan-2-one	0,94	165	- 44	eau, alcool, éther	
Alcool benzylique (phénylméthanol)	1,04	205	- 15	toluène	eau
Benzène	0,88	80	5		eau
Toluène	0,87	111	- 95		eau
méthylbenzène					
Ethylbenzène	0,86	136	- 95	alcool, éther	
Ethanoate de 3-méthylbutyl	0,87	143	78		
Ether (éthoxyéthane)	0,71	35		alcool	eau
Propanone (acétone)	0,79	56	- 95	eau, alcool, éther	
Benzaldéhyde (phénylméthanal)	1,04	179	- 26	alcool, éther, toluène	eau

Partie A : autour de l'eau oxygénée.

A-I La molécule de peroxyde d'hydrogène (ou eau oxygénée).

A-I-1 Donner les configurations électroniques des atomes d'hydrogène et d'oxygène dans leur état fondamental

A-I-2 Donner l'écriture de Lewis du peroxyde d'hydrogène.

A-I-3 Donner deux exemples précis de molécules possédant cet enchaînement O-O, les deux oxygènes n'étant liés que par une liaison σ . Dans chacun des deux cas, proposer une utilisation.

A-II Solution de peroxyde d'hydrogène et oxydoréduction.

A-II-1 Ecrire les demi-équations associées aux deux couples d'oxydoréduction faisant intervenir H_2O_2 en précisant le rôle de H_2O_2 dans chacun des deux cas.

Sachant d'autre part que H_2O_2 est la forme acide d'un couple acido basique de $pK_a = 11,6$, écrire l'équation de la réaction de dissociation de cette forme acide en solution aqueuse.

A-II-2 Tracer à 25 °C le diagramme potentiel-pH de l'eau oxygénée pour une concentration totale en solution de l'eau oxygénée de 0,10 mol.L⁻¹ et en prenant la pression de dioxygène égale à 0,20 bar (les équations des différentes droites sont demandées ainsi qu'un tracé de l'allure du diagramme).

L'observation de ce tracé vous permet-elle de conclure quant à la stabilité ou l'instabilité thermodynamique des solutions d'eau oxygénée (la réponse devra être justifiée).

A-II-3 On trouve en parapharmacie des solutions d'eau oxygénée portant l'indication eau oxygénée à 10 volumes.

A-II-3-1 Interpréter cette indication.

A-II-3-2 Calculer l'ordre de grandeur de la concentration de la solution en eau oxygénée.

A-II-3-3 Comment peut-on expliquer l'existence de telle solution commerciale étant donnée la conclusion du A- II-2 ?

A-II-4 Les solutions d'eau oxygénée peuvent être dosées par manganimétrie, le dosage étant suivi par potentiométrie.

A-II-4-1 Ecrire l'équation de dosage. Vérifier que la réaction est quantitative.

A-II-4-2 Quelle est la couleur de la solution avant l'équivalence ; après l'équivalence ?

A-II-4-3 On a mis dans le bécher 10,0 mL de solution d'eau oxygénée auxquels on a ajouté 85 mL d'eau et 5 mL d'acide sulfurique concentré (on veut un pH = 0). L'équivalence est obtenue pour un volume versé de 17,0 mL de solution de permanganate de potassium à 0,020 mol.L⁻¹.

Calculer la concentration de la solution d'eau oxygénée. Cette solution a été obtenue en diluant 10 fois la solution du A-II-3 , que peut-on dire de la solution mère ?

A-II-4-4 Quelles sont les électrodes nécessaires pour suivre ce dosage ? Préciser le rôle de chacune d'entre elles.

Décrire une électrode classiquement utilisée en TP comme électrode de référence. Ecrire la demi-équation ox/red correspondant au couple utilisé dans cette électrode et montrer que le potentiel de cette électrode est constant.

A-II-4-5 Donner (en négligeant la dilution) l'expression numérique du potentiel en fonction du volume V versé (V exprimé en litre) avant l'équivalence, après l'équivalence, à l'équivalence.

A-II-4-6 Donner l'allure du graphe $E = f(V)$.

A-III Solution de peroxyde d'hydrogène et cinétique.

A-III-1 La dismutation du peroxyde d'hydrogène (ou eau oxygénée) peut être catalysée par les cations Fe³⁺.

Ecrire l'équation de la réaction de dismutation.

Proposer une explication au rôle des ions Fe(III)

Expliquer pourquoi des ions Fe(II) peuvent aussi servir de catalyseur pour cette réaction.

A-III-2 La réaction étant supposée d'ordre 1, établir la loi donnant la concentration en eau oxygénée en fonction du temps.

A-III-3 Dans cette manipulation, on va atteindre la vitesse de réaction par mesure de la pression dans un erlenmeyer fermé dans lequel on a introduit initialement les réactifs en présence d'air. La température est maintenue constante par un bain thermostaté.

Pour chaque manipulation on introduit dans l'erenmeyer 30,0 mL d'eau oxygénée à $0,25 \text{ mol.L}^{-1}$, 20,0 mL d'eau et 3,0 mL de solution de cation Fe(III) à $0,037 \text{ mol.L}^{-1}$. On ferme rapidement l'erenmeyer tout en déclenchant l'acquisition de la mesure de la pression. Le volume disponible pour la phase gazeuse a par ailleurs été mesuré : il est égal à 69,0 mL.

L'expérience dont les résultats suivent a été réalisée à $20,3^\circ\text{C}$. ΔP mesure la variation de pression $P(t) - P(t = 0)$.

Vérifier que ces résultats sont bien compatibles avec une cinétique d'ordre 1.

t (minutes)	2,5	4,0	5,0	8,0	10,0	12,0	15,0
ΔP (pascals)	3900	7300	9600	16100	20000	23800	29200

A-III-4 La même réaction a été réalisée à trois autres températures. On a obtenu les valeurs suivantes pour les constantes de vitesse :

T ($^\circ\text{C}$)	11,5	23,8	28,0
k (min^{-1})	0,0069	0,0244	0,0368

A-III-4-1 Quelle est la loi qui donne la variation de la constante de vitesse en fonction de la température ? Quels sont ses critères d'utilisation ?

A-III-4-2 Calculer l'énergie d'activation de la réaction de décomposition de l'eau oxygénée.

Partie B : quelques opérations de laboratoire et leurs approches théoriques.

Lors de toute synthèse organique, le chimiste est amené à réaliser lors de la phase d'extraction et de purification du produit final un certain nombre d'opérations. Dans cette partie, on va s'intéresser à quelques unes d'entre elles.

B-I Extractions.

L'opération d'extraction consiste à transférer de la façon la plus sélective possible une espèce d'une phase à une autre. Différents cas peuvent être envisagés.

Exemple d'extraction liquide – liquide.

B-I-1 Envisageons une solution aqueuse d'acide propanoïque. A quels critères doit répondre le solvant d'extraction utilisé afin d'extraire le plus totalement possible l'acide propanoïque ?

B-I-2 On a réalisé dans une fiole jaugée de 150 mL une solution d'acide propanoïque contenant environ 11,1 g d'acide. On va dans un premier temps doser 5,0 mL de cette solution auxquels on a ajouté 100 mL d'eau à l'aide de soude à 0,20 mol.L⁻¹.

B-I-2-1 Ecrire l'équation de la réaction de dosage. Vérifier qu'elle est quantitative. Calculer l'ordre de grandeur du volume équivalent attendu.

B-I-2-2 Tracer l'allure de la courbe de dosage pH-métrique attendue en précisant la valeur de pH attendue pour $V = 0$ mL ; $V_e/2$; V_e ; $2V_e$, V représentant le volume de soude versée et V_e le volume équivalent. Les hypothèses devront être clairement explicitées.

B-I-2-3 Quel indicateur coloré serait adapté pour repérer l'équivalence ? Le choix doit être justifié.

B-I-2-4 L'expérience fournit une équivalence à 25,0 mL, calculer la masse m_0 d'acide propanoïque contenue dans 35,0 mL de la solution contenue dans la fiole jaugée.

B-I-3 Dans une ampoule à décanter, on introduit un volume $V_0 = 35,0$ mL de la solution contenue dans la fiole jaugée (B-I-2), puis on y ajoute un volume $V_s = 75,0$ mL d'éther et on agite énergiquement l'ampoule pendant 5 minutes en pensant à dégazer de temps en temps.

B-I-3-1 Pourquoi doit-on dégazer ?

B-I-3-2 Définir la constante de partage (ou coefficient de partage) K de l'acide propanoïque entre les deux phases (on admettra que l'on peut ici confondre concentrations et activités).

De quoi dépend cette constante ?

B-I-3-3 Après décantation on dose 10,0 mL de phase aqueuse par la soude à 0,20 mol.L⁻¹. En utilisant l'indicateur judicieusement choisi on trouve un volume équivalent de 7,6 mL. Calculer la masse m_1 d'acide restant en phase aqueuse ainsi que la masse d'acide présente dans la phase organique après l'extraction.

En déduire la valeur du coefficient de partage de l'acide propanoïque entre les deux phases.

B-I-4 Dans une ampoule à décanter, on introduit 35,0 mL de la solution contenue dans la fiole jaugée (B-I-2) puis on y ajoute un volume de 25,0 mL d'éther et on agite énergiquement l'ampoule pendant 5 minutes en pensant à dégazer de temps en temps. On recueille la phase aqueuse que l'on remet dans l'ampoule préalablement nettoyée et on ajoute 25,0 mL d'éther, on agite énergiquement l'ampoule pendant 5 minutes en pensant à dégazer de temps en temps. On recueille à nouveau la phase aqueuse que l'on remet dans l'ampoule préalablement nettoyée et on ajoute 25,0 mL d'éther, on agite énergiquement l'ampoule pendant 5 minutes en pensant à dégazer de temps en temps. On a ainsi utilisé le même volume total d'éther (75,0 mL) que dans le B-I-3/ mais en trois fois.

On dose 10,0 mL de la phase aqueuse par de la soude 0,20 mol.L⁻¹ et on trouve un volume équivalent de 2,3 mL. Calculer la masse m_3 d'acide restant en phase aqueuse ainsi que la masse d'acide présente dans les 75,0 mL d'éther.

Commenter.

B-I-5

B-I-5-1 Exprimer la masse m d'acide contenu dans un volume V_0 d'eau en fonction de m_0 , V_0 , V_s , K après une extraction unique avec un volume V_s d'éther.

B-I-5-2 Exprimer la masse m_n d'acide contenu dans un volume V_0 d'eau en fonction de m_0 , V_0 , V_s , K après n extractions avec un volume V_s/n d'éther. Comparer m_n et m .

B-I-5-3 Calculer m_3 avec les valeurs précédentes de m_0 , V_0 , V_s , K . Comparer à la valeur trouvée à la fin de la question B-I-4.

Exemple d'extraction liquide liquide combinée à des variations de pH de la phase aqueuse.

B-I-6

B-I-6-1 Que se passe-t-il si on chauffe légèrement en milieu basique (par exemple en présence de baryte $\text{Ba}(\text{OH})_2$) de la propanone ? Ecrire l'équation de la réaction puis donner le mécanisme de cette réaction.

B-I-6-2 La réaction évoquée au B-I-6-1 étant un équilibre de constante faible, proposer un montage classiquement utilisé pour déplacer cet équilibre. Commenter ce montage et expliquer comment il permet d'améliorer le rendement.

B-I-7 En phase aqueuse et en présence d'un hydroxyde alcalin très concentré, le benzaldéhyde (ou phénylméthanal) ne donne pas le même type de réaction ; proposer une explication. Il se dismute, écrire l'équation chimique traduisant cette réaction.

B-I-8 Après avoir effectué la réaction du B-I-7, on ajoute éventuellement de l'eau afin de faire disparaître toute phase solide puis on transvase dans une ampoule à décanter, on lave alors la solution aqueuse à deux reprises avec du toluène. Commenter ces dernières étapes en pensant à préciser quelles sont les espèces présentes dans la phase aqueuse.

B-I-9 On ajoute à la solution aqueuse une solution d'acide chlorhydrique concentrée jusqu'à obtenir une valeur de pH égale à 1, on filtre, on lave avec de l'eau froide et on essore. Expliquer ce qui s'est passé lors de l'ajout de l'acide chlorhydrique et justifier la non solubilité dans l'eau du produit finalement obtenu.

B-II Opérations mettant en jeu un passage liquide – vapeur.

Distillation dans le cas d'un mélange binaire idéal.

Le toluène et le benzène sont deux composés miscibles en phase liquide et ayant un comportement idéal ; en phase gazeuse le mélange peut d'autre part être considéré comme un gaz parfait.

B-II-1 Qu'appelle-t-on mélange idéal ?

B-II-2 Calculer la variance du système contenant un mélange de ces deux produits présents à la fois en phase vapeur et en phase liquide. Pourquoi doit-on préciser que l'on mène une étude isobare de l'équilibre liquide - vapeur ?

B-II-3 Tracer en utilisant les données fournies l'allure du diagramme binaire liquide - vapeur isobare pour ce mélange. Qu'est ce que la courbe de rosée, la courbe d'ébullition ? Les localiser sur le graphe précédent.

B-II-4 Expliquer, toujours sur cet exemple, le principe d'une distillation fractionnée (la réponse devra être soigneusement justifiée) ; on indiquera la température en haut de la colonne à distiller. Pourquoi ce type de mélange est-il particulièrement facile à séparer ?

Distillation dans le cas d'un mélange binaire non idéal.

Le mélange d'éthanoate de 3-méthylbutyle et d'eau est un mélange non idéal qui donne un diagramme binaire isobare avec azéotrope. Le mélange azéotropique a une fraction massique en ester de 63,7 % et sa température d'ébullition est de 93,8 °C sous une pression de 1 bar.

B-II-5

B-II-5-1 Tracer en utilisant les données fournies l'allure du diagramme binaire liquide- vapeur isobare pour ce mélange.

B-II-5-2 Calculer la variance à l'azéotrope.

B-II-5-3 Que peut-on dire de la température lors de l'ébullition d'un mélange azéotropique ? Comment peut-on différencier simplement un mélange azéotropique d'un corps pur ?

B-II-6 Qu'obtient-on par distillation d'un mélange contenant au départ une fraction massique en ester de plus de 65 % (la réponse devra être justifiée à l'aide du diagramme binaire) ? Même question pour une fraction massique inférieure à 60 %. Ces types de mélange peuvent-ils donc être séparés par distillation fractionnée ?

B-II-7 Quelle est l'étape nécessaire durant les synthèses organiques pour éviter d'avoir à séparer un tel mélange ?

Hydrodistillation , entraînement à la vapeur.

On s'intéresse ici aux cas de mélanges binaires avec une solubilité nulle à l'état liquide, l'un des deux composants étant l'eau. L'éthylbenzène et l'eau ne sont pas miscibles en phase liquide et donnent un diagramme binaire avec hétéroazéotrope.

Le mélange hétéroazéotropique a une fraction massique en éthylbenzène de 67 % et sa température d'ébullition est de 92 °C sous une pression de 1 bar.

B-II-8 Tracer en utilisant les données fournies l'allure du diagramme binaire liquide - vapeur isobare pour ce mélange. Indiquer dans chaque domaine quelles sont les phases en présence.

B-II-9

B-II-9-1 Décrire l'évolution isobare d'un système fermé, contenant au départ une fraction massique de 50% d'éthylbenzène, auquel on apporte de façon régulière de la chaleur. Préciser l'apparition de nouvelles phases, la façon dont varie la température (entre 80°C et 110°C), le tout en justifiant vos réponses.

B-II-9-2 Décrire l'évolution isobare d'un système fermé, contenant au départ une fraction massique de 80% d'éthylbenzène, auquel on apporte de façon régulière de la chaleur. Préciser l'apparition de nouvelles phases, la façon dont varie la température (entre 80°C et 130°C), le tout en justifiant vos réponses.

B-II-10

B-II-10-1 Dessiner le schéma du montage d'une hydrodistillation, nommer les différents matériels utilisés dans le montage.

B-II-10-2 Pour extraire tout l'éthylbenzène doit-on partir d'une fraction massique en eau supérieure ou inférieure à 33 % (justifier cette réponse en s'appuyant sur la question B-II-9) ?

B-II-11 Quelle est la différence entre une hydrodistillation et un entraînement à la vapeur ? Dans quels cas doit-on privilégier cette dernière méthode ?

B-II-12 Citer et décrire en le situant dans les programmes du secondaire un exemple précis de situation d'enseignement qui utilise une hydrodistillation.

Partie C : stéréochimie et synthèse asymétrique.

Cette partie du sujet traite du concept de chiralité et de son application en synthèse organique à propos de l'induction asymétrique (la synthèse asymétrique largement développée par des chercheurs français et étrangers a donné lieu à l'attribution du prix Nobel en 2001).

Les candidats noteront qu'aucune connaissance préalable sur la synthèse asymétrique n'est nécessaire ici et que des connaissances simples de stéréochimie permettent de traiter complètement les questions.

C-I Chiralité et énantiométrie :

C-I-1 Le mot chiral vient du grec cheir (qui signifie main). A partir de vos connaissances sur la chiralité essayer de justifier l'étymologie du mot chiral. Donner un exemple d'objet chiral.

C-I-2

C-I-2-1 Qu'appelle-t-on substance optiquement active ?

C-I-2-2 Décrire, en s'aidant d'un schéma commenté, une expérience d'optique permettant de mettre en évidence l'activité optique d'une substance naturelle optiquement active.

Chaque partie du dispositif sera clairement indiquée et son rôle sera précisé dans les explications. Donner un exemple de substance organique courante utilisable pour cette expérience.

Quelle(s) grandeur(s) mesure-t-on alors ? De quoi dépend(ent)-elle(s) ?

Molécules à un atome de carbone asymétrique.

C-I-3

C-I-3-1 Définir ce qu'est une molécule chirale, ce qu'est une molécule achirale.

C-I-3-2 Dessiner en représentation plane un exemple de molécule contenant un atome de carbone asymétrique puis représenter ses deux énantiomères en utilisant la notation de Cram.

C-I-3-3 Expliquer ce qu'est un mélange racémique.

C-I-3-4 Les molécules du tableau ci-après peuvent-elles être chirales ? Si oui, dessiner pour chacune les couples d'énantiomères possibles.

2-méthylbutan-2-ol	butan-2-ol
Bromochlorométhane	3-méthylnitrobenzène

C-I-4 Indiquer explicitement ce que sont les règles dites de Cahn, Ingold, Prelog permettant de décrire la configuration R ou S d'un atome de carbone asymétrique. On s'aidera de la représentation de Cram.

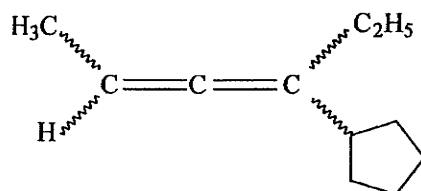
C-I-5 Parmi les propriétés physiques suivantes, lesquelles sont identiques ou différentes pour deux énantiomères (recopier le tableau et préciser dans chaque case soit *identique*, soit *différent*).

Température de fusion	Température d'ébullition	Masse molaire	Solubilité	Pouvoir rotatoire spécifique	Spectre infrarouge

Les allènes.

C-I-6 Certaines molécules, telles que les allènes substitués, peuvent présenter une activité optique. À partir de l'exemple fourni ci-dessous, et en s'appuyant sur des connaissances relatives à la géométrie des doubles liaisons, expliquer à l'aide d'un schéma pourquoi un allène peut avoir une activité optique (les liaisons représentées par des zigzags correspondent à des stéréochimies non précisées ici).

Dessiner en perspective un couple d'énantiomères possibles.

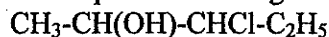


Molécules à plusieurs atomes de carbone asymétriques.

C-I-7

C-I-7-1 Certaines molécules peuvent comporter plusieurs atomes de carbone asymétriques. S'il y a n atomes de carbone asymétriques, combien peut-on envisager, a priori, au maximum de stéréoisomères puis de couples d'énantiomères ?

C-I-7-2 Pour la molécule suivante combien peut-on envisager de couples d'énantiomères ?



C-I-7-3 Comment qualifie-t-on la relation qui lie deux stéréoisomères non énantiomères de cette molécule ? Résumer sous forme d'un tableau montrant les différentes relations (énantiomérisie, autre..) qui relient ces isomères (les isomérisie de position, de fonction et de chaîne sont hors sujet ici).

C-I-8 L'acide tartrique (ou diacide-2,3-dihydroxybutanedioïque) est un diacide.

C-I-8-1 Représenter, en utilisant la représentation de Cram, les deux isomères suivants de l'acide tartrique :

(+)-(2R,3R)-2,3-dihydroxybutanedioïque et (-)-(2S,3S)-2,3-dihydroxybutanedioïque.

On justifiera explicitement la configuration R ou S des atomes de carbone asymétriques.

C-I-8-2 Quelle est la signification de (+) et (-) ?

C-I-8-3 Que peut-on dire de l'acide (2R,3S) tartrique ? Justifier.

Quelle(s) propriété(s) physique(s) le distingue(nt) a priori des deux isomères précédents ?

C-I-9 Parmi les propriétés physiques suivantes, lesquelles sont à priori identiques ou différentes pour deux diastéréoisomères (recopier le tableau et préciser dans chaque case soit *identique*, soit *différent*).

Température de fusion	Température d'ébullition	Masse molaire	Pouvoir rotatoire spécifique	Spectre infrarouge

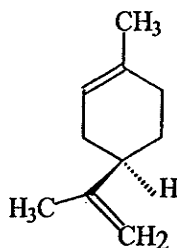
C-II - De Louis Pasteur au prix Nobel de 2001.

C-II-1 Donner une date approximative (à 20 ans près) des travaux de Louis Pasteur relatifs aux acides tartriques.

C-II-2 Les énantiomères d'une molécule donnée peuvent avoir des propriétés biologiques très différentes.

C-II-2-1 Ainsi les deux énantiomères du limonène ont une odeur différente : l'un a l'odeur d'orange, l'autre celle de citron. Que peut-on en déduire quant à la structure des récepteurs olfactifs ?

C-II-2-2 L'énantiomère ci-dessous a une odeur d'orange. Est-ce le R ou le S limonène ? Justifier à partir de la représentation de Cram en lui appliquant les règles de Cahn, Ingold, Prelog.



C-II-3 On suppose que la synthèse d'une molécule organique qui possède n atomes de carbone asymétriques est faite sans précaution particulière (réactifs non chiraux). En admettant que tous les atomes de carbone asymétriques possibles soient obtenus de façon équiprobable, combien peut-on d'envisager d'obtenir au maximum de stéréoisomères différents ? Si l'on admet que seul un des énantiomères est actif, montrer que le rendement devient vite très faible quand n croît.

On va traiter ici d'une petite partie des travaux de l'équipe de Sharpless qui l'ont conduit avec d'autres à se voir attribuer le prix Nobel de chimie en 2001.

C-II-4 Le (+)-disparlure est une hormone attractive émise par la femelle de *Porthetria dispar*. L'énantiomère naturel utilisable efficacement dans la lutte contre cet insecte parasite a une grande importance.

Cette molécule est le (+)-(7R,8S)-cis-7,8-époxy-2-méthyl-octadécane.

C-II-4-1 L'examen de la formule développée plane que l'on écrira montre qu'il y a 4 stéréoisomères possibles. Justifier brièvement l'affirmation précédente.

C-II-4-2 Donner une représentation de Cram du (+)-disparlure.

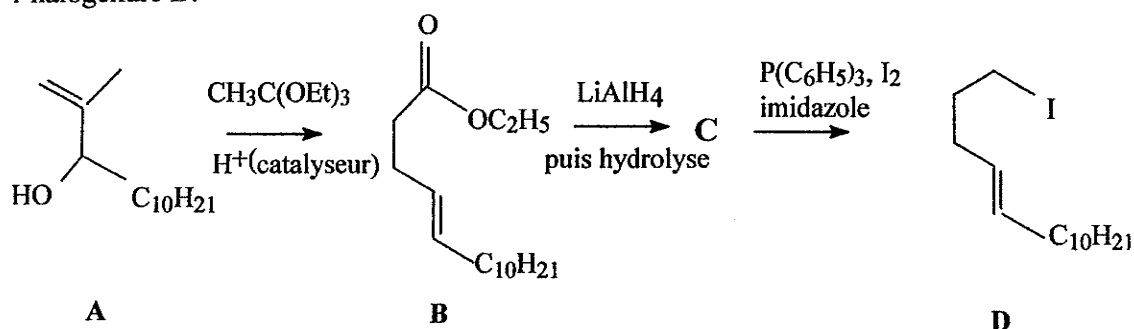
Il est nécessaire de vérifier quel est le pouvoir attractif de chacun des stéréoisomères pris isolément, or l'obtention de chacun des 4 isomères optiques pose bien évidemment le problème de la sélectivité des réactions qui conduisent à l'énantiomère voulu.

La méthode de Sharpless permet d'obtenir les quatre isomères purs par quatre voies de synthèse différentes.

C-II-5 On n'envisage dans cette partie que l'obtention de l'un des isomères.

C-II-5-1 Les dernières étapes de la synthèse font appel au (E)-2-méthyl-octadéc-7-ène **E**. On va s'intéresser d'abord à la synthèse de celui-ci.

L'action de l'orthoacétate de triéthyle $\text{CH}_3\text{C}(\text{OEt})_3$ sur le produit **A** en présence de quantité catalytique d'acide conduit à l'ester **B** (on précise que Et symbolise C_2H_5). Celui-ci traité par l'aluminohydrure de lithium conduit après hydrolyse à un produit **C** qui traité à son tour par un mélange réactionnel constitué de triphénylphosphine, de diiode et d'imidazole conduit à l'halogénure **D**.



C-II-5-1-1 Ecrire l'équation de réaction de l'action de l'aluminohydrure de lithium sur l'ester **B**.

C-II-5-1-2 Ecrire l'équation de réaction de l'hydrolyse du produit intermédiaire obtenu qui conduit à **C**.

C-II-5-1-3 Donner avec soin le mécanisme traduisant l'action du borohydrure de sodium sur une cétone.

C-II-5-1-4 En s'inspirant du mécanisme de réduction d'une cétone par le borohydrure de sodium NaBH_4 , proposer un mécanisme réactionnel pour l'action de l'aluminohydrure de lithium sur **B** (ce mécanisme devra être donné de façon soignée).

C-II-5-2 L'action sur **D** d'un organomagnésien en présence d'une très faible quantité de Li_2CuCl_4 conduit à **E** qui est le (E)-2-méthyl-octadéc-7-ène.

C-II-5-2-1 Donner la formule de l'organomagnésien utilisé ici.

C-II-5-2-2 Ecrire l'équation de cette réaction. Justifier-la à partir des polarités des liaisons de l'organomagnésien et de l'halogénure.

C-II-5-2-3 Décrire un mode de préparation de cet organomagnésien : montage de verrerie que l'on schématisera, solvants, réactifs utilisés, précautions particulières.

C-II-5-2-4 Quel halogénure paraît le plus adapté ? (Justifier la réponse).

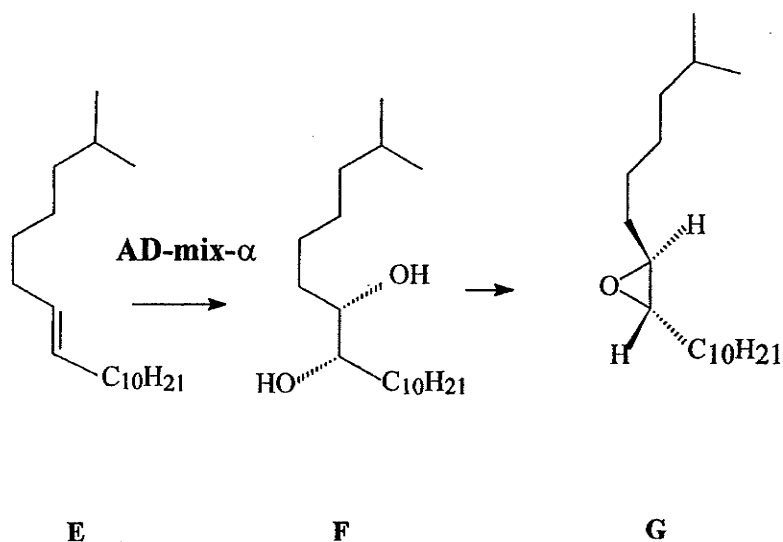
C-II-5-3 Le produit **E** traité par un réactif achiral (l'hydroperoxyde de tertibutyle $(\text{CH}_3)_3\text{COOH}$) en présence d'un catalyseur chiral (cet ensemble de réactifs est résumé par AD-mix- α) conduit au diol **F** optiquement actif pur qui en deux étapes conduit à l'époxyde **G**. Le catalyseur chiral est un complexe d'un ester éthylique de l'acide tartrique et du tétraisopropoxytitan (Ti(OiPr) $_4$).

C-II-5-3-1 Citer un autre réactif conduisant à un α -diol en précisant la stéréochimie de son action sur l'alcène E.

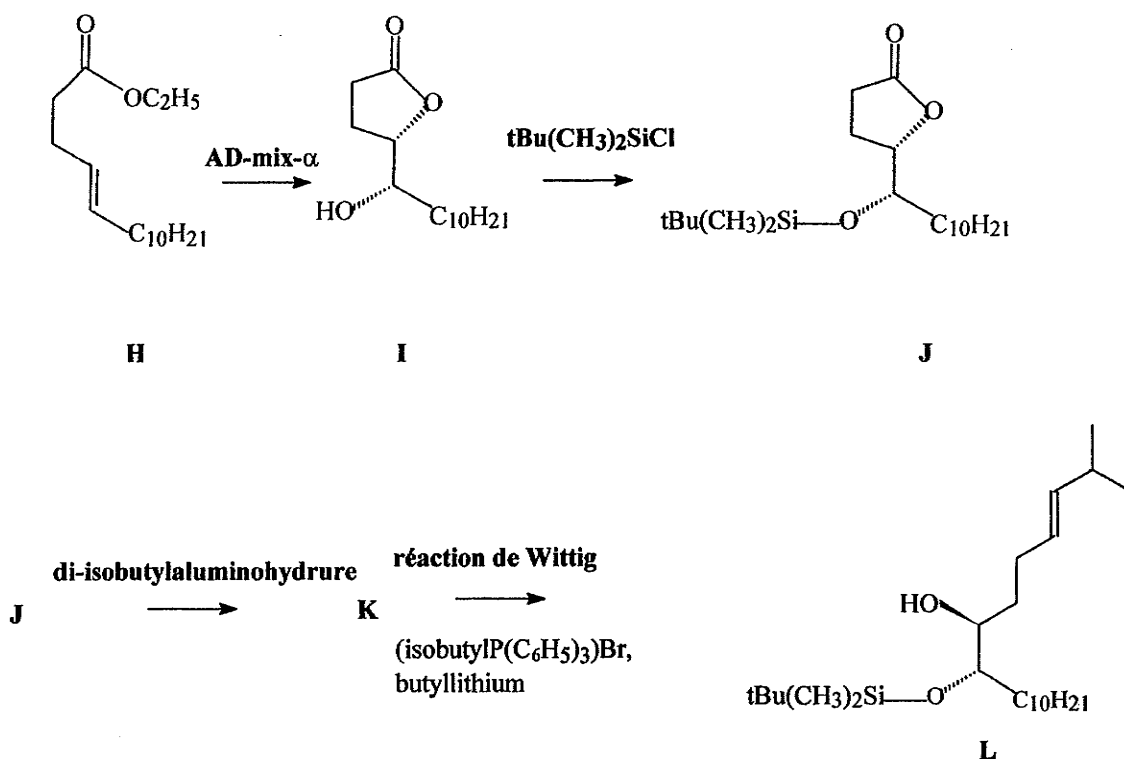
C-II-5-3-2 Citer un réactif d'époxydation ; écrire l'équation de réaction sur un alcène.

C-II-5-3-3 Expliquer l'intérêt qu'il y a à utiliser un catalyseur chiral avec des réactifs achiraux pour obtenir un seul isomère.

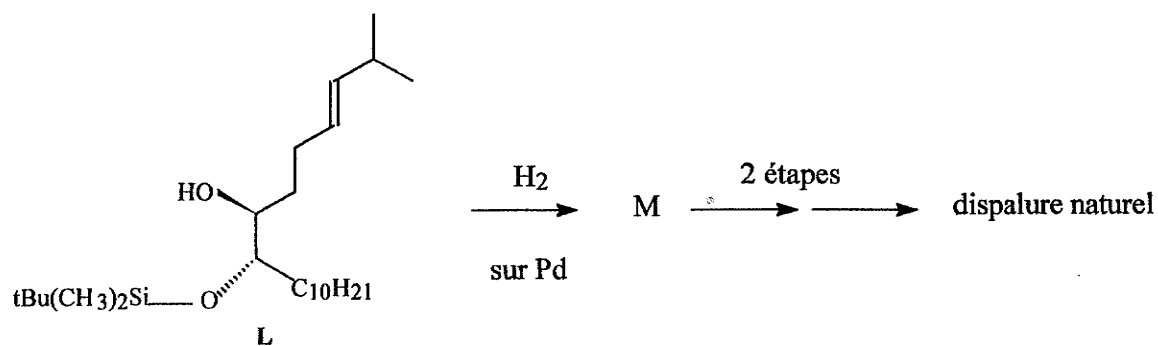
C-II-5-3-4 Quelle relation de stéréoisomérisie y a-t-il entre G et le dispaure naturel ?



C-II-6 On aborde ici la voie de synthèse qui conduit à la molécule identique au produit naturel :



Remarque : $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2-$ est l'isobutyle



C-II-6-1 La stéréochimie de réaction d'hydroxylation qui donne la lactone **I** est-elle conforme à ce que l'on attend eu égard à ce qui a été vu dans la synthèse précédente ?

Comment a pu se former la lactone **I** (une lactone est un ester intramoléculaire) ?

C-II-6-2 A partir de la structure de **L** et compte tenu des réactifs utilisés dans la réaction de Wittig, proposer une structure pour **K** (justifier la réponse).

C-II-6-3 A quel grand type de réaction peut-on rattacher le passage **J** $\rightarrow$ **K** ?

C-II-6-4 A quel grand type de réaction peut-on rattacher le passage **L** $\rightarrow$ **M** ? Ecrire la formule développée de **M**.

SESSION DE 2008

**CONCOURS EXTERNE ET TROISIÈME CONCOURS
DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS CERTIFIÉS
ET CONCOURS D'ACCÈS À DES LISTES D'APTITUDE (CAFEP)
CORRESPONDANTS**

Section : PHYSIQUE ET CHIMIE

COMPOSITION DE PHYSIQUE AVEC APPLICATIONS

Durée : 5 heures

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

Une seule calculatrice à la fois étant admise sur la table ou le poste de travail.

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

Les candidats doivent reporter sur leur copie, devant leurs réponses, la numérotation complète (chiffres et lettres) des questions de l'énoncé.

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 : Hormis l'en-tête détachable, 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.

MICROSCOPIES À HAUTE RÉOLUTION

Ce problème est constitué de deux parties et traite de techniques avancées de microscopie : la microscopie optique confocale (partie A) et la microscopie électronique à balayage (partie B).

Si un résultat donné par l'énoncé est non démontré, il peut néanmoins être admis pour les questions suivantes. Ainsi, les diverses parties sont relativement indépendantes entre elles.

Partie A Microscope optique confocal

La technique de microscopie confocale est un développement moderne de la microscopie optique classique. Elle permet de visualiser, de façon extrêmement précise, des objets (tels les cellules biologiques) section par section et de fournir une vision tridimensionnelle de ceux-ci.

Le principe de base de la microscopie confocale a été proposé par Marvin Minsky dès le milieu du XX^e siècle mais il a fallu attendre 1987 pour que le premier instrument commercial voie le jour. Un schéma de principe très simplifié d'un microscope confocal est proposé sur la figure 1 et on se propose de l'analyser progressivement.

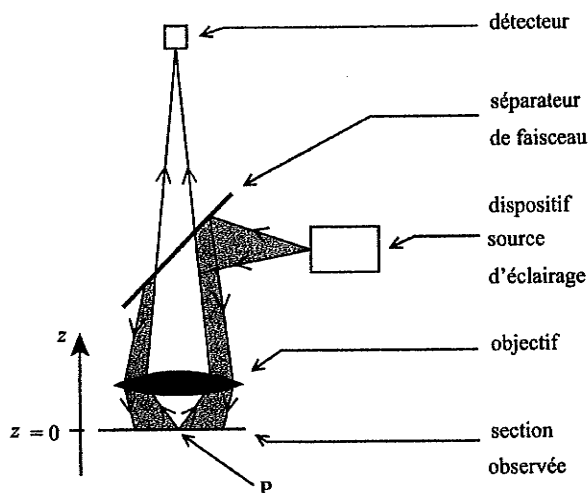


fig. 1 – Schéma simplifié du microscope confocal

A.I Étude de la source lumineuse

A.I.1 L'éclairage de l'échantillon est réalisé à partir d'une source lumineuse qui peut être un laser ou une lampe spectrale.

A.I.1.a De quand datent les premiers lasers ? Citer deux types de lasers. Donner une application médicale du laser.

A.I.1.b Énoncer deux propriétés physiques spécifiques du faisceau laser. Pourquoi la lumière émise par une lampe spectrale ne les possède-t-elle pas ?

A.I.1.c Un laser émettant à la longueur d'onde 632,8 nm donne un faisceau de quelle couleur ?

A.I.2 La figure 2 représente le profil d'intensité spectrale simplifié d'une lampe à vapeur de mercure.

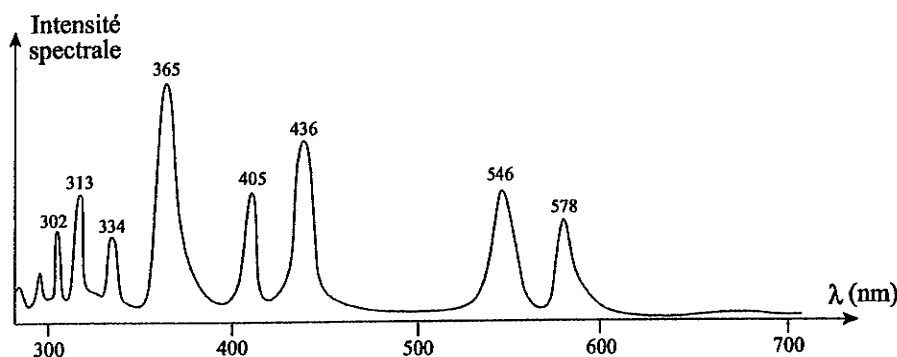


fig. 2 – Profil d'intensité spectrale d'une lampe à vapeur de mercure

A.I.2.a Définir ce qu'est un spectre lumineux. En quelle classe cette notion est-elle abordée pour la première fois par les élèves ?

A.I.2.b Proposer et décrire, schéma à l'appui, une expérience simple qu'un élève pourrait faire pour visualiser sur un écran le spectre de la lampe à vapeur de mercure.

A.I.2.c Dans quel domaine spectral se trouve la longueur d'onde 365 nm ? Dessiner, compte tenu de la figure 2, l'allure de ce que l'on observe sur l'écran. On précisera par une légende adaptée les couleurs en jeu.

A.II Rôle du séparateur de faisceau

Le séparateur de faisceau (figure 1) est assimilé ici à une lame semi-réfléchissante fine et joue le rôle d'un miroir plan pour une fraction du faisceau lumineux incident depuis la source (la fraction transmise n'est pas représentée sur la figure 1).

A.II.1 Rappeler les lois qui permettent la construction d'un rayon réfléchi par un miroir plan.

A.II.2 Représenter avec soin sur une figure le point image A' d'un point objet réel A par un miroir plan. Cette image est-elle réelle ou virtuelle ? On justifiera la réponse.

A.III Éléments d'optique géométrique autour de l'objectif de microscope

L'objectif de microscope a un double rôle : il assure d'une part le bon éclairage de l'échantillon étudié et, d'autre part, il conjugue un point P de celui-ci au détecteur (figure 1).

On s'intéresse ici à la mesure expérimentale de la distance focale de l'objectif de microscope seul, modélisé par une lentille mince convergente.

A.III.1 Définir ce qu'est la distance focale d'une lentille mince.

A.III.2 Énoncer les conditions de Gauss et la formule de conjugaison de Descartes. On admet la validité de la formule pour la suite.

A.III.3 Citer les noms de deux méthodes classiques permettant la mesure de la distance focale d'une lentille mince convergente. Décrire l'une de ces méthodes.

A.III.4 Un objectif de microscope a-t-il une distance focale plutôt grande ou plutôt faible ? Pourquoi les méthodes classiques précédentes sont-elles peu adaptées pour la mesure de la distance focale d'un objectif de microscope ?

A.III.5 On propose une méthode de mesure de la distance focale f' de l'objectif.

- On modélise l'objectif par une lentille mince de distance focale f' .
- L'objet est une mire placée orthogonalement à l'axe optique de l'objectif (en amont de son foyer objet). Elle est constituée de graduations de pas $a = 0,1$ mm et de sous-graduations. Elle est éclairée par une lampe quartz-iode (lumière blanche).
- On visualise sur un écran l'image de cette mire par l'objectif qui a un pas a' que l'on mesure (les sous-graduations présentes sur la mire permettent de mieux juger de la netteté de l'image obtenue).

A.III.5.a Faire une figure représentant la lentille, un point objet B quelconque de la mire, son image B' et les rayons de construction de celle-ci. Quel est le signe du grandissement γ ?

A.III.5.b Trouver l'expression de γ en fonction de f' et de la distance p' entre la lentille et l'écran. En déduire que

$$f' = \frac{p'}{1 - \gamma} \quad (1)$$

A.III.5.c Quelle est l'expression de l'incertitude relative $\Delta f'/f'$ sur la distance focale ?

A.III.5.d Un élève a réalisé les mesures suivantes pour un objectif donné : $p' = 280 \pm 15$ mm et $a' = 1,75 \pm 0,05$ mm. En déduire les valeurs de f' , de $\Delta f'/f'$ et de $\Delta f'$. Comparer la distance focale de l'objectif à celles des lunettes de vue.

A.III.5.e Selon vous, que doit-on prendre en compte pour évaluer l'incertitude de mesure sur p' dans cette expérience ?

A.III.5.f On peut lire sur l'objectif qu'il possède un grandissement $\times 10$. Cela veut dire que le grandissement absolu obtenu pour une image formée par l'objectif à la distance $\Delta = 16$ cm au-delà de son foyer image équivalent est $\gamma_{ob} = 10$. Quelle est la distance focale associée avec la lecture du grandissement $\times 10$? Y a-t-il accord avec la mesure précédente ?

A.IV Résolution optique du microscope

A.IV.1 L'ouverture numérique de l'objectif de microscope est par définition $\omega_0 = n \sin u$ où n est l'indice du milieu dans lequel plonge l'objectif et u est l'angle maximum par rapport à l'axe optique des rayons issus de P (figure 1) arrivant sur l'objectif.

A.IV.1.a Calculer en degrés l'angle maximum u_a dans le cas de l'objectif $\times 10$, d'ouverture numérique $\omega_0 = 0,25$, plongé dans de l'air.

A.IV.1.b Le microscope est plus performant pour la visualisation des détails de l'échantillon avec un objectif $\times 100$ d'ouverture numérique $\omega_0 = 1,30$, plongé dans de l'huile (indice $n = 1,52$). Calculer, toujours en degrés, l'angle maximum u_h dans ce cas.

A.IV.1.c Le microscope est-il toujours utilisé dans les conditions de Gauss ? Pourquoi est-il souhaitable d'avoir un angle u important, pour une observation pratique de l'échantillon, la distance objectif-échantillon étant fixée ?

A.IV.1.d Définir la notion de stigmatisme. Quel type d'aberrations doit-on corriger finalement ici ?

A.IV.2 On suppose, pour toute la suite, que l'objectif est suffisamment corrigé du type précédent d'aberrations ; le microscope est dit limité en résolution par la diffraction.

A.IV.2.a Qu'appelle-t-on limite de résolution (ou pouvoir séparateur) d'un instrument d'optique ?

A.IV.2.b Décrire une expérience réalisable en classe permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction. De quels paramètres dépend la diffraction dans cette expérience ?

A.IV.2.c Pour évaluer la limite de résolution du microscope, on met à la place de l'échantillon un réseau périodique de pas d , éclairé en incidence normale par une lumière monochromatique cohérente de longueur d'onde λ_0 . Le réseau est plongé dans un milieu d'indice n .

Montrer simplement que le réseau diffracte la lumière essentiellement dans les directions données par les angles i_k (k entier relatif) par rapport à sa normale tels que

$$\sin i_k = k \frac{\lambda_0}{n d} \quad (2)$$

Toutes les valeurs de k sont-elles possibles dans cette formule ?

A.IV.2.d Qu'observe-t-on avec le microscope si on ne laisse passer que l'ordre $k = 0$ du réseau ? Expliquer pourquoi on estime commencer à distinguer le réseau par le microscope si $u \geq i_1$.

A.IV.2.e En déduire une estimation de la limite de résolution du microscope en fonction de λ_0 et ω_0 .

A.IV.2.f En pratique, en microscopie confocale, c'est l'objectif qui limite la résolution du microscope et le critère de Rayleigh indique que la limite de résolution est de l'ordre de

$$d_{\min} \simeq 0,5 \frac{\lambda_0}{\omega_0} \quad (3)$$

Expliquer, schéma(s) à l'appui, ce qu'est le critère de Rayleigh.

A.IV.2.g Comment peut-on améliorer le pouvoir séparateur du microscope ? Calculer la limite de résolution obtenue pour $\lambda_0 = 632,8 \text{ nm}$ pour l'objectif $\times 10$ dans l'air et l'objectif $\times 100$ dans l'huile.

A.IV.3 La performance du microscope confocal en profondeur, c'est-à-dire sa capacité à séparer des détails suivant la direction verticale, est caractérisée par l'étude de la réponse obtenue pour un échantillon horizontal infiniment fin en $z = 0$ (figure 1).

On enregistre l'intensité I reçue par le détecteur en fonction de la position z du point de focalisation P sous l'objectif. La figure 3 représente le tracé partiel de $I(Z)$, fonction paire de la variable réduite Z définie par

$$Z = \frac{8\pi n}{\lambda_0} z \sin^2 \frac{u}{2}$$

A.IV.3.a Définir la profondeur de champ d'un instrument d'optique utilisé avec un détecteur ponctuel.

A.IV.3.b La largeur à mi-hauteur Δz de la courbe représentative de $I(z)$ définit la profondeur de champ du microscope confocal. Calculer pour $\lambda_0 = 632,8 \text{ nm}$ la profondeur de champ obtenue, d'une part, avec l'objectif $\times 10$ dans l'air et, d'autre part, avec l'objectif $\times 100$ dans l'huile. Comparer avec le microscope optique classique.

A.IV.3.c Avec l'appui d'une construction d'optique géométrique simple (en remplaçant l'objectif de microscope par une lentille mince équivalente), expliquer finalement pourquoi le détecteur ponctuel enregistre essentiellement des informations venant du point de focalisation P (figure 1).

A.IV.3.d Comment amélioreriez-vous le montage afin que le microscope confocal donne accès à une image tridimensionnelle d'un échantillon non opaque (une bactérie par exemple) ?

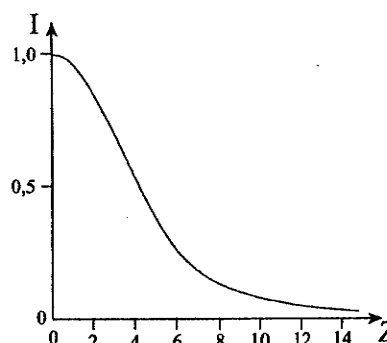


fig. 3 – Tracé de l'intensité $I(Z)$

A.V Fluorescence

Le microscope confocal peut être utilisé pour réaliser une image d'un échantillon marqué par des fluorophores. Cela permet de réaliser une imagerie sélective dynamique, de tissus vivants par exemple.

Les fluorophores sont des molécules qui absorbent la lumière dans un certain domaine spectral et la réémettent dans un domaine différent (luminescence). Par exemple, les profils spectraux en absorption et en émission du fluorophore FITC (isothiocyanate de fluorescéine) sont donnés sur la figure 4.

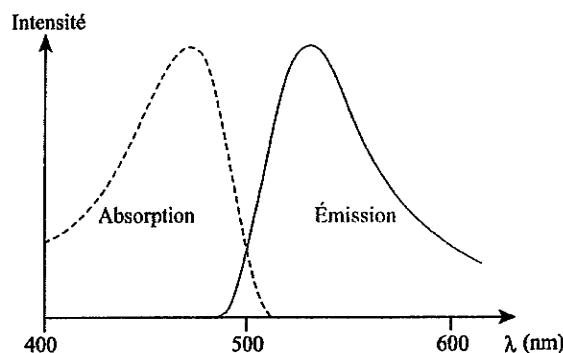


fig. 4 – Profils spectraux du FITC

Dans un microscope confocal à fluorescence, le séparateur de faisceau (figure 1) n'est pas une lame semi-réfléchissante mais un séparateur dichroïque : ce dispositif réfléchit, comme un miroir plan, plus ou moins la lumière suivant sa longueur d'onde.

Le microscope confocal à fluorescence est techniquement conçu de sorte que l'image de l'échantillon obtenue soit due *uniquement* à la lumière fluorescente émise par les fluorophores.

A.V.1 La luminescence regroupe les effets de fluorescence et de phosphorescence, ce dernier cas se distinguant du premier par l'existence d'un temps de latence long entre l'absorption et l'émission. Citer un exemple d'objet de la vie de tous les jours qui est phosphorescent.

A.V.2 On considère un microscope confocal utilisé pour observer un échantillon marqué par des fluorophores FITC et équipé d'une lampe à vapeur de mercure pour l'éclairage, dont le spectre a été donné sur la figure 2. L'objectif du microscope ne transmet que les longueurs d'onde supérieures à 400 nm.

A.V.2.a Tracer qualitativement l'allure d'un profil spectral de transmission plausible pour le séparateur dichroïque de faisceau. On justifiera la réponse.

A.V.2.b Un filtre, appelé filtre d'excitation, est placé devant la lampe à vapeur de mercure. Compte tenu de la *figure 4*, proposer, avec justification, l'allure d'un profil spectral de transmission cohérent pour ce filtre.

A.V.2.c On place un filtre, appelé filtre d'arrêt, devant le détecteur. On propose deux filtres dont les profils spectraux de transmission sont représentés sur la *figure 5*. Lequel de ces filtres vous semble être le plus adapté (sachant que la lumière fluorescente est de faible intensité par rapport à la lumière d'excitation et que le séparateur dichroïque laisse passer une faible partie des basses longueurs d'onde) ?

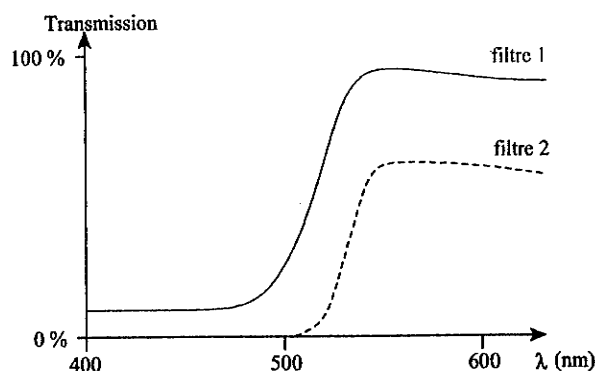


fig. 5 – Profils spectraux de deux filtres

A.VI Synthèse

Proposer en quelques lignes une synthèse qui pourrait expliquer à un élève le fonctionnement d'un microscope optique confocal à fluorescence.

Partie B Microscope électronique à balayage

On envisage dans cette partie une autre technique de microscopie : la microscopie électronique à balayage. Cette technique repose sur plusieurs points :

- Il existe des sources à électrons (canons thermoélectroniques à filaments de tungstène ou LaB_6 , canons à émission de champ) et les électrons peuvent être accélérés suffisamment pour créer un faisceau homocinétique dans le vide.
- Les électrons présentent, comme la lumière, une dualité onde-corpuscule. Ils peuvent se comporter comme une onde de longueur d'onde donnée par la relation de De Broglie $\lambda = h/p$ où h est la constante de Planck et p est la quantité de mouvement de l'électron.
- Il est possible de dévier et focaliser un faisceau d'électrons (utilisation de déflecteurs électromagnétiques et de lentilles magnétiques).
- Les électrons interagissent avec la matière et entraînent la production de rayonnements mesurables par des détecteurs.

Le schéma de principe d'un microscope électronique à balayage est donné sur la *figure 6* (voir page suivante). On donne $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ et on pose $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ la célérité de la lumière dans le vide, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ la charge élémentaire et $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ la masse de l'électron.

La partie B.I comprend des questions faisant intervenir la mécanique relativiste ; les formules nécessaires sont données dans l'énoncé.

B.I Pouvoir séparateur du microscope électronique

B.I.1 À propos de la dualité onde-corpuscule...

B.I.1.a Quelle était la nationalité du physicien De Broglie ?

B.I.1.b Qu'est-ce que la dualité onde-corpuscule ? Comment appelle-t-on usuellement le corpuscule de lumière ?

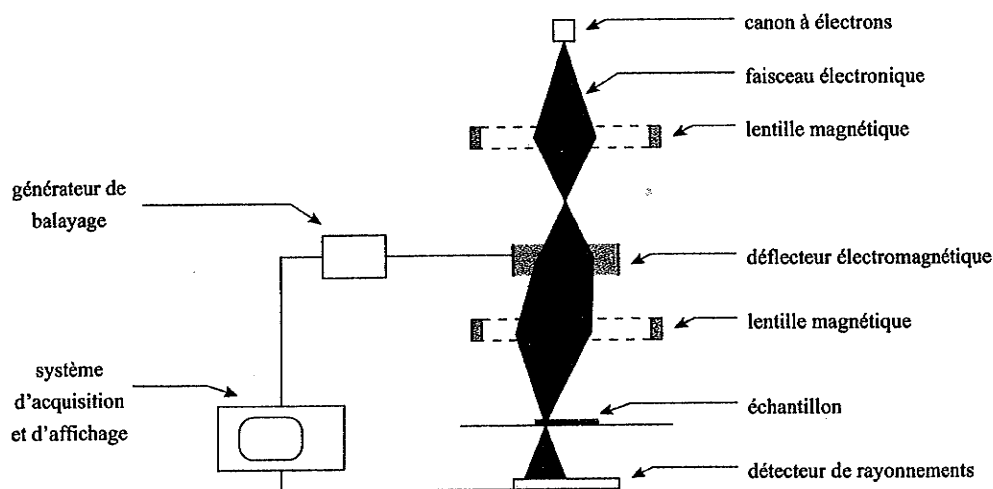


fig. 6 – Schéma simplifié du microscope électronique à balayage

B.I.1.c Donner un exemple d'expérience s'interprétant à partir de l'aspect ondulatoire de la lumière et un autre exemple d'expérience s'interprétant avec son aspect corpusculaire.

B.I.2 Donner l'expression usuelle de la quantité de mouvement d'un électron dans le cadre de la physique non relativiste. Vérifier par analyse dimensionnelle que la quantité h/p , intervenant dans la relation de De Broglie, est homogène à une longueur d'onde.

B.I.3 Dans le canon à électrons, les électrons supposés initialement au repos sont accélérés sous une différence de potentiel $U = 100 \text{ kV}$.

B.I.3.a Préciser sur un schéma du canon (où les électrons sont accélérés de haut en bas) l'orientation de la différence de potentiel U ainsi que les direction et sens du champ électrique $\vec{E}$.

B.I.3.b Exprimer en fonction de m , U et e la vitesse v acquise en sortie du canon par chaque électron en utilisant la physique classique. Faire l'application numérique et commenter.

Calculer aussi la longueur d'onde associée au faisceau d'électrons.

B.I.4 En mécanique relativiste, l'énergie cinétique et la quantité de mouvement de l'électron s'écrivent respectivement

$$\mathcal{E}_c = \frac{m c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m c^2 \quad \text{et} \quad \vec{p} = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \vec{v}$$

Exprimer à nouveau la vitesse v acquise par l'électron, en fonction de m , U , e et c . Faire l'application numérique et commenter.

Calculer aussi la longueur d'onde associée au faisceau d'électrons.

B.I.5 Un vide poussé est réalisé dans l'enceinte où se propage le faisceau électronique. À quoi cela sert-il ?

B.I.6 Calculer, en précisant la valeur de longueur d'onde utilisée, la valeur de la limite de résolution d'un microscope électronique donnée par la formule $d_{\min} = 0,61 \frac{\lambda}{\omega_0}$. On prendra pour l'ouverture numérique $\omega_0 = 0,01$. Que penser de la valeur obtenue par rapport au cas d'un microscope optique ?

B.I.7 Doit-on augmenter ou diminuer la tension accélératrice U pour espérer améliorer la résolution des images obtenues ? Peut-on le faire sans aucune limitation ?

B.II Étude d'un générateur de balayage

Le faisceau d'électrons est focalisé par une lentille magnétique en un point de l'échantillon à analyser. Afin de réaliser une image complète de celui-ci, il est nécessaire de dévier le faisceau afin que le point de focalisation balaie sa surface. Dans le microscope électronique à balayage, cette opération est réalisée soit par une bobine de déflexion, soit par des paires de plaques. Ces dispositifs sont commandés par un signal « en rampes » fourni par un générateur de balayage. Ce signal sert aussi à synchroniser l'affichage de l'image, sur un écran cathodique par exemple.

On se propose d'analyser le fonctionnement d'un générateur de rampes représenté sur la figure 7. Les seules sources sont les alimentations continues $\pm V_0$ des amplificateurs opérationnels et ne sont pas représentées ; on prend $V_0 = 15 \text{ V}$.

On utilisera dans la suite la notation V_M pour désigner le potentiel en un point M .

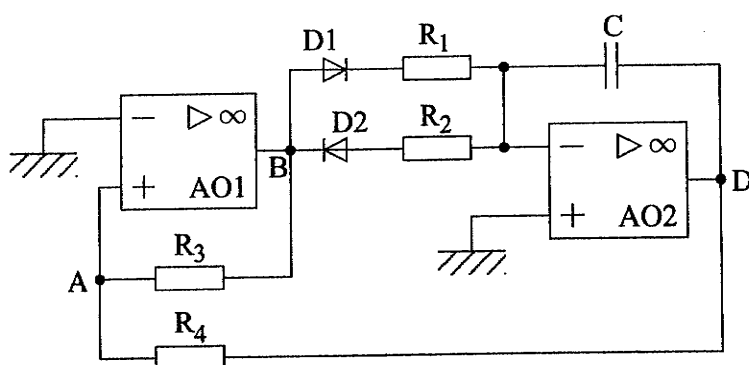


fig. 7 – Générateur de rampes à amplificateurs opérationnels

B.II.1 Chaque diode et chaque amplificateur opérationnel (AO en abrégé) est supposé idéal dans le montage de la figure 7.

B.II.1.a Tracer la caractéristique $i = f(U)$ d'une diode idéale en convention récepteur ; on précisera sur un schéma les orientations choisies pour i et U (la tension de seuil est supposée nulle dans la modélisation).

B.II.1.b On note $\varepsilon = V_+ - V_-$ la tension différentielle d'entrée d'un AO et V_s sa tension de sortie. Tracer la caractéristique $V_s = f(\varepsilon)$ d'un AO idéal et préciser dessus les régimes de fonctionnement.

B.II.1.c Que peut-on dire des courants arrivant aux entrées inverseuse et non inverseuse d'un AO idéal ?

B.II.1.d Qu'appelle-t-on diviseur de tension ? Énoncer et démontrer la formule du diviseur de tension.

B.II.1.e Montrer que le potentiel V_A vérifie l'équation

$$V_A = \frac{R_3 V_D + R_4 V_B}{R_3 + R_4} \quad (4)$$

B.II.2 Justifier simplement que l'AO1 du montage fonctionne en régime saturé et que l'AO2 fonctionne en régime linéaire.

B.II.3 Reconnaissez-vous des blocs dans le montage ? Pouvez-vous en déduire qualitativement le fonctionnement du dispositif (on précisera la nature des évolutions de V_B et V_D).

B.II.4 On s'intéresse à une phase de fonctionnement du montage pendant laquelle l'AO1 est en sortie haute : $V_B = V_0$ pour $0 \leq t < t_1$.

B.II.4.a Montrer que la diode D1 est passante et que la diode D2 est bloquée. En déduire que

$$V_0 = -R_1 C \frac{dV_D}{dt}$$

B.II.4.b Initialement, le condensateur est déchargé. Que vaut $V_D(t = 0^+)$? Trouver la loi d'évolution $V_D(t)$ pour $0 \leq t < t_1$.

B.II.4.c Exprimer $V_A(t)$. À quelle condition, portant sur R_3 et R_4 , l'AO1 peut-il basculer à un instant t_1 en sortie basse ? On suppose cette condition validée dans le montage. Exprimer l'instant t_1 de basculement.

B.II.5 On s'intéresse à la phase suivante de fonctionnement du montage, après l'instant t_1 .

B.II.5.a Montrer qu'à présent la diode D1 est bloquée et que la diode D2 est passante. En déduire que

$$V_0 = R_2 C \frac{dV_D}{dt} \quad (5)$$

B.II.5.b Trouver la loi d'évolution $V_D(t)$ après l'instant t_1 et déterminer l'instant t_2 de basculement de l'AO1.

B.II.5.c Montrer que le montage produit en régime établi des signaux périodiques de fréquence

$$f = \frac{1}{2 C (R_1 + R_2)} \frac{R_3}{R_4} \quad (6)$$

B.II.6 Les figures 8, 9 et 10 sont des impressions d'écran d'oscilloscope (pour diverses bases de temps) de ce qu'un élève a obtenu en séance de travaux pratiques pour le signal $V_D(t)$.

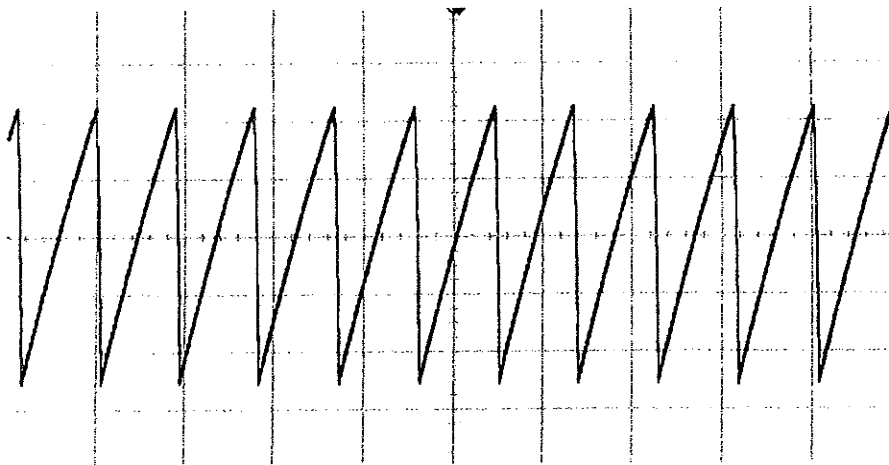


fig. 8 – Signal $V_D(t)$ pour 5 V/div et 20 ms/div

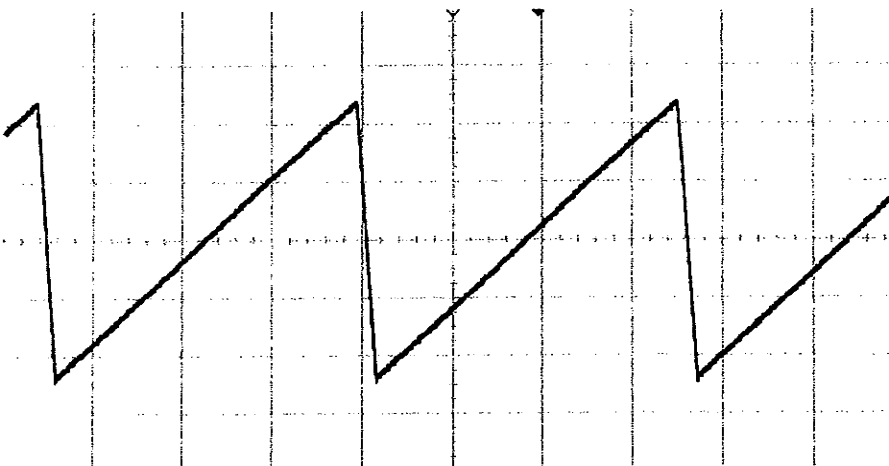


fig. 9 – Signal $V_D(t)$ pour 5 V/div et 5 ms/div

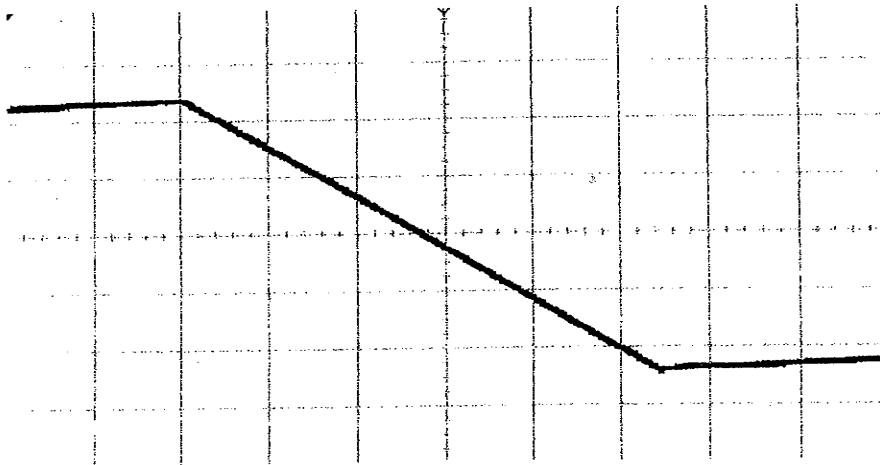


fig. 10 – Signal $V_D(t)$ pour 5 V/div et 200 μ s/div

B.II.6.a Sachant que $V_0 = 15$ V, $R_4 = 82$ k Ω et $C = 0,1$ μ F, déterminer à partir des tracés les valeurs des résistances R_1 , R_2 et R_3 .

B.II.6.b Lors de la séance de travaux pratiques, l'élève avait à sa disposition pour réaliser R_1 , R_2 et R_3 des résistances pour lesquelles les deux chiffres significatifs ne peuvent faire partie que des valeurs suivantes : 10, 18, 27, 39 et 62 (partie de la série normalisée E24).

Donner pour chaque résistance R_1 , R_2 et R_3 , la valeur la plus probable utilisée par l'élève.

B.III Étude d'une lentille magnétique

Le contrôle de la focalisation du faisceau électronique dans le microscope électronique est possible en utilisant des lentilles magnétiques. On s'intéresse ici à une lentille magnétique, modélisée par une bobine à N tours confondus, circulaires de rayon a , de centre O , d'axe (Oz) et parcourue par un courant permanent I . Un point M de l'espace sera repéré par ses coordonnées cylindriques (r, θ, z) d'axe (Oz) et de centre O .

B.III.1 Préciser sur un schéma les coordonnées cylindriques du point M , ainsi que la base locale cylindrique $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_z)$.

B.III.2 Montrer que le champ magnétique $\vec{B}(M)$ créé par la spire s'écrit sous la forme

$$\vec{B}(M) = B_r(r, z) \vec{e}_r + B_\theta(r, z) \vec{e}_\theta + B_z(r, z) \vec{e}_z \quad (7)$$

B.III.3 Montrer que la composante orthoradiale $B_\theta(r, z)$ du champ magnétique en M est nulle.

B.III.4 En pratique, le faisceau électronique passe dans le domaine $r \ll a$. Dans ce cas, on peut se contenter d'une expression approchée du champ $\vec{B}$ au voisinage de l'axe (Oz) :

$$\vec{B}(M) \simeq -\frac{r}{2} \frac{dB_z(0, z)}{dz} \vec{e}_r + B_z(0, z) \vec{e}_z$$

B.III.4.a On sait que, pour la spire circulaire,

$$B_z(0, z) = \frac{B_0}{\left[1 + \frac{z^2}{a^2}\right]^{3/2}} \quad \text{avec} \quad B_0 = \frac{\mu_0 N I}{2a}$$

Donner les étapes de la méthode d'obtention de ce résultat et préciser sur une figure adéquate l'orientation du courant I correspondante. On ne demande pas de faire les calculs.

B.III.4.b Tracer le graphe représentatif de $f(z) = B_z(0, z)/B_0$. Que vaut $f(10a)$? Comment peut-on réaliser expérimentalement le tracé de cette courbe?

B.III.5 On place en un point P de l'axe (Oz) , en amont de la lentille magnétique, une source ponctuelle d'électrons. On considère un électron émis depuis le point P avec une vitesse $\vec{v}_0$. On ajoute les hypothèses simplificatrices suivantes à l'étude :

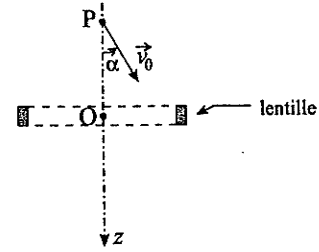


fig. 11

- (i) L'électron est supposé non relativiste.
- (ii) L'électron ne subit que la force magnétique due à la lentille.
- (iii) Le vecteur vitesse initial $\vec{v}_0$ en P est dans le plan méridien $\theta = 0$ et forme un angle α avec l'axe (Oz) .
- (iv) L'angle α est faible ($\alpha \ll 1$) et la trajectoire ultérieure de l'électron reste dans le domaine $r \ll a$.

B.III.5.a À quelle approximation d'optique une hypothèse simplificatrice fait-elle penser?

B.III.5.b Le référentiel du laboratoire, où la lentille magnétique est fixe, est galiléen. Définir les termes référentiel et référentiel galiléen.

B.III.5.c Donner l'expression de la force magnétique subie par l'électron à un instant quelconque en fonction de e , du champ magnétique $\vec{B}(M)$ au point M où il se trouve et de sa vitesse $\vec{v}$.

B.III.5.d Déterminer l'ordre de grandeur de la valeur de champ magnétique à partir de laquelle on peut ne pas tenir compte du poids de l'électron dans l'étude de son mouvement. On supposera que l'ordre de grandeur de la vitesse de l'électron est 10^8 m.s^{-1} . Conclure.

B.III.5.e Énoncer la relation fondamentale de la dynamique pour un point matériel.

B.III.5.f Exprimer l'accélération de l'électron au point M par rapport au référentiel du laboratoire en coordonnées cylindriques (r, θ, z) dans la base locale cylindrique $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_z)$.

B.III.5.g Exprimer la relation fondamentale de la dynamique et en déduire les trois équations différentielles du mouvement de l'électron :

$$\frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 = -\frac{e}{m} r \frac{d\theta}{dt} B_z(0, z) \quad (8)$$

$$\frac{d}{dt} \left[r^2 \frac{d\theta}{dt} \right] = \frac{e}{m} r \left[\frac{dr}{dt} B_z(0, z) + \frac{r}{2} \frac{dz}{dt} \frac{dB_z(0, z)}{dz} \right] \quad (9)$$

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = -\frac{e}{2m} r^2 \frac{d\theta}{dt} \frac{dB_z(0, z)}{dz} \quad (10)$$

B.III.5.h Démontrer, à l'aide de l'équation (9), la relation suivante :

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{e}{2m} B_z(0, z) \quad (11)$$

B.III.5.i L'équation (10) présente un second membre négligeable dans le cadre de cette étude (car d'ordre 2 en r/a). Que vaut alors $\frac{dz}{dt}$? En déduire, en partant de l'équation (8), que l'évolution radiale $r(z)$ de l'électron vérifie l'équation différentielle

$$\frac{d^2 r}{dz^2} + \frac{e^2}{4m^2 v_0^2} r B_z^2(0, z) = 0 \quad (12)$$

B.III.5.j On propose sur les figures 12 et 13 deux familles de tracés de fonctions $r(z)$ partant d'un point d'annulation avec un angle de départ α variable. Quelle figure représente effectivement un champ de solutions possible de l'équation (12) (on justifiera la réponse)? Le système étudié joue-t-il bien son rôle attendu?

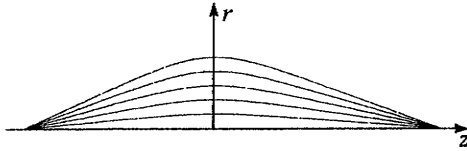


fig. 12

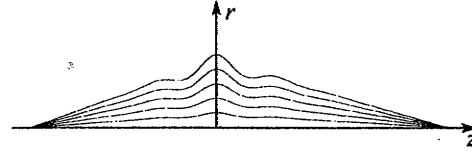


fig. 13

B.III.6 On ajoute à présent l'hypothèse de la *lentille mince*, c'est-à-dire que le champ magnétique du bobinage n'intervient que sur une zone de faible épaisseur comprise entre deux plans Π et Π' , de positions $-z_0$ et z_0 avec $z_0 \ll OP$ (figure 14). Dans ce cadre, on peut toujours écrire que

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{e}{2m} B_z(0, z)$$

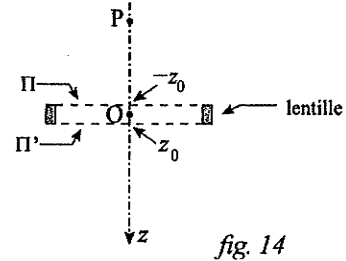


fig. 14

et l'équation différentielle sur le mouvement radial $r(z)$ est utilisable sous la forme approchée

$$\frac{d^2 r}{dz^2} \simeq -\frac{e^2}{4m^2 v_0^2} r_0 B_z^2(0, z)$$

où r_0 est une valeur approchée de $r(z)$ (ordre zéro en r/a) entre les plans Π et Π' .

B.III.6.a Pourquoi la trajectoire d'un électron seul est forcément rectiligne en dehors de la zone de champ magnétique?

B.III.6.b Montrer que l'angle d'incidence α de l'électron en entrée de la zone magnétique (figure 11) est

$$\alpha \simeq \left(\frac{dr}{dz} \right)_{-z_0} \simeq -\frac{r_0}{OP} \quad (13)$$

B.III.6.c On note P' le point de focalisation du rayon électronique, issu de la lentille, sur l'axe (Oz) et on pose α' l'angle d'émergence de la zone magnétique tel que

$$\alpha' \simeq \left(\frac{dr}{dz} \right)_{z_0} \simeq -\frac{r_0}{OP'}$$

Préciser sur une figure l'angle α' et son orientation. Montrer que le système vérifie une loi de conjugaison de Descartes de lentille mince de centre O et de focale f' avec

$$\frac{1}{f'} = \frac{e^2}{4m^2 v_0^2} \int_{-z_0}^{z_0} B_z^2(0, z) dz \quad (14)$$

B.III.6.d Montrer que, pendant le passage de l'électron dans la zone de champ magnétique, l'électron ne reste pas dans un même plan méridien et qu'il y a un angle de rotation $\Delta\theta$ autour de l'axe (Oz) de la trajectoire de l'électron qui vaut

$$\Delta\theta = \frac{e}{2m v_0} \int_{-z_0}^{z_0} B_z(0, z) dz \quad (15)$$

B.III.7 Dans le cas de la spire, les intégrales pouvant être étendues de $-\infty$ à $+\infty$, un calcul non demandé donne

$$\Delta\theta = \frac{aeB_0}{mv_0} \quad \text{et} \quad f' = \frac{32m^2 v_0^2}{3\pi a e^2 B_0^2}$$

B.III.7.a Quel est le signe de f' ? Conséquence?

B.III.7.b Sur quels paramètres peut-on jouer pour réduire f' à tension accélératrice U fixée?

B.III.7.c On donne $B_0 = 1 \text{ T}$, $a = 1 \text{ mm}$ et on choisit la tension accélératrice U de sorte que $v_0 = 2.10^8 \text{ m.s}^{-1}$. Calculer f' . Commenter.

B.III.7.d Calculer également $\Delta\theta$. Tracer dans l'espace, y compris dans la zone de champ magnétique, l'allure de la trajectoire suivie par un électron du point P au point P' .

B.III.8 Les aberrations interviennent aussi avec une lentille magnétique mais l'aberration dite « de charge d'espace » n'existe pas en optique classique. Quelle en est selon vous l'origine? Pourquoi la réduction de cette aberration passe par l'utilisation de faisceaux électroniques peu denses?