



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 2010

AGRÉGATION

SCIENCES PHYSIQUES

Option Physique Chimie

Concours interne

Rapport de jury présenté par Gilbert PIETRYK
Inspecteur général de l'éducation nationale
Président de jury

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

TABLE DES MATIERES

1. Composition du jury
2. Avant-propos du président
3. Réglementation du concours et informations statistiques
4. Enoncé de la composition de physique
5. Corrigé de la composition de physique
6. Rapport relatif à la composition de physique
7. Enoncé de la composition de chimie
8. Corrigé de la composition de chimie
9. Rapport relatif à la composition de chimie
10. Déroulement des épreuves orales
11. Sujets des épreuves orales de la session 2010
12. Rapport sur les épreuves orales de physique
13. Rapport sur les épreuves orales de chimie
14. Enoncé des sujets des épreuves orales de la session 2010

1. COMPOSITION DU JURY

PIETRYK Gilbert	Inspecteur Général de l'Éducation Nationale, Président
BILLY Nicolas	Inspecteur Général de l'Éducation Nationale, Vice Président
VIGNERON Michel	IA-IPR, académie de Versailles, Vice Président, Secrétaire Général
BERROIR Jean-Marc	Professeur des Universités, Paris
BESSY Geneviève	Professeur de Chaire Supérieure, Bordeaux
BLASKO Frédéric	IA-IPR, académie de Bordeaux
DAVID Anne	Professeure de Chaire Supérieure, Paris
DESBIOLLES Pierre	Maître de Conférences, Paris
EDARD Florence	Professeure de Chaire Supérieure, Poitiers
FRERE Pierre	Professeur des Universités, Nantes
KIOUS Malek	Professeur agrégé, Paris
LAJOIE Caroline	Professeure de Chaire Supérieure, Nice
LE BOURHIS Jean-François	IA-IPR, académie de Caen
LEVEQUE Thierry	IA-IPR, académie de Nancy-Metz
PLAIDY Olivier	Professeur agrégé, Bordeaux
SANZ Marie-Noëlle	Professeure de Chaire Supérieure, Paris
SZYMCZAK Anne	Professeure agrégée, Valenciennes
TERKI Ferial	Maître de Conférences, Montpellier

2. AVANT-PROPOS

Le rapport du jury des concours de l'agrégation interne et du CAERPA de sciences physiques, option physique et chimie, de la session 2010 est mis en ligne sur le serveur du Ministère : <http://www.education.gouv.fr/siac/siac2> ainsi que sur le site <http://www.agregation-interne-physique-chimie.org>. Il est donc rapidement accessible par tous ceux, candidats et formateurs, concernés par ces concours de promotion interne.

La session 2010 est toujours marquée par une forte sélectivité des deux concours, le ratio « nombre de candidats présents à au moins une épreuve » sur « nombre de postes » étant respectivement de 20,9 et 15,1 ; au total, ce sont 1107 candidats qui ont composé à l'écrit sur l'ensemble des deux concours. Ce résultat, qui confirme les observations faites durant les sessions antérieures, montre à l'évidence le succès d'un concours conçu tant pour contribuer à la promotion interne des professeurs en exercice que pour participer à leur formation continue.

Le nombre des postes offerts est inchangé par rapport à l'an dernier pour le concours public (45 postes) et en augmentation pour le CAERPA (11 postes au lieu de 8 l'an dernier). Ce sont au total 108 candidats qui ont été déclarés admissibles (99 pour le public et 9 pour le CAERPA). La barre d'admissibilité, identique pour les deux concours, est cette année de 25,6 / 40 (donc quasiment identique à celle de l'an dernier où elle était de 25,7). La barre d'admission est de 49,4 / 80 (très proche de celle de l'an dernier, égale à 50,3). Le bon niveau de l'ensemble des candidats a permis au jury de pourvoir tous les postes dans le public ; dans le privé, seuls 4 candidats ont été admis l'an dernier, ils étaient 8.

L'âge moyen des candidats augmente légèrement puisque la moyenne d'âge globale des admis est voisine de 36,1 ans cette année (elle était de 35,0 l'an dernier) ; 14% des candidats admis ont 40 ans ou plus. On observe toujours que de nombreux candidats, qui ont fait le choix d'une immersion professionnelle immédiate après leur succès au CAPES, se présentent au concours interne dès qu'ils remplissent les conditions statutaires requises, en ayant pour nombre d'entre eux continué à préparer les concours externes de l'agrégation.

Afin de prendre davantage en compte les **compétences professionnelles** acquises par les candidats au fil des années d'exercice de leur métier d'enseignant, le jury a introduit, de manière explicite et ce depuis plusieurs années, une composante pédagogique dans les épreuves écrites. L'attention des candidats est attirée par le fait que cette composante pédagogique représente une fraction significative de la note (entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{3}$ de la note globale) et qu'il convient de ne pas la négliger. A travers cette disposition, le jury montre clairement son intention d'évaluer tant à l'écrit qu'à l'oral les compétences acquises par la pratique réflexive du métier. Car si le concours repose sur la maîtrise d'un socle solide de connaissances garantissant la capacité à assurer un enseignement au niveau du premier cycle post-baccalauréat - et à l'évidence, ces connaissances doivent être testées lors des épreuves -, d'autres valeurs, telles l'expérience professionnelle acquise, les compétences expérimentales (capacités expérimentales, protocoles, ...) se doivent aussi d'être prises en compte dans le cadre d'un concours interne. Cette analyse est confortée par les **compétences attendues des professeurs stagiaires** en formation IUFM (cf. le cahier des charges de la formation des maîtres en vigueur). Ces compétences constituent les nouvelles références de l'examen de qualification professionnelle des

professeurs stagiaires et il paraît tout à fait légitime que ces compétences attendues des nouveaux professeurs recrutés le soient également de la part des professeurs en exercice. Les candidats ne doivent donc pas être surpris si à l'occasion des épreuves écrites ou orales des questions portent sur la conception et la mise en œuvre de l'enseignement, l'organisation du travail de la classe, la prise en compte de la diversité des élèves, l'évaluation des acquis des élèves, la maîtrise des TIC...

Force est aussi de constater que le déséquilibre des genres est toujours aussi présent (il l'est encore plus cette année que l'an dernier avec 82% d'hommes et 18% de femmes sur l'ensemble des admis des deux concours); les répartitions entre hommes et femmes au sein des admis, ne reflètent absolument pas les proportions constatées dans la profession.

Comme à l'accoutumée, **le rapport du jury est avant tout un outil d'information, de travail et de conseil** pour les futurs candidats ainsi que pour les centres de préparation. Les épreuves écrites font ainsi l'objet d'une correction détaillée, certaines questions faisant l'objet de recommandations ou commentaires plus précis. De même, les attendus du jury concernant les épreuves orales sont déclinés de manière détaillée pour chacun des types d'épreuves, en physique et en chimie, dans les rubriques 12 et 13. Mais il convient dès à présent de reformuler les remarques générales suivantes :

- **En leçon**, il est prioritaire de définir avant tout l'objectif à atteindre à travers le thème étudié. Ce n'est qu'à ce prix que l'on peut identifier le fil conducteur de la construction de la leçon et faire passer avec clarté et cohérence un message fort. Certes la construction scientifique de la leçon constitue la colonne vertébrale de l'exposé, mais de réelles compétences pédagogiques sont attendues : le candidat se doit, en véritable « acteur », de convaincre le jury de l'intérêt des explications qu'il donne. La « mise en scène » de l'exposé n'est pas à négliger : chaque fois que cela est possible, les exposés doivent être illustrés par des expériences bien choisies et bien réussies ; celles-ci font partie intégrante de l'argumentation scientifique et sont toujours très appréciées du jury. De même, la présentation des leçons doit intégrer l'utilisation des moyens de projection modernes qui sont devenus aujourd'hui des outils de communication incontournables pour tout enseignant. A cet égard, vidéo projecteurs, flexcams et webcams sont mis à la disposition des candidats. Des **tableaux numériques interactifs** ont été mis à la disposition des candidats à la session 2010, comme cela avait déjà été le cas en 2009.
- **En montage**, un choix cohérent et personnel des expériences réalisées est attendu. Les thématiques des montages sont très larges, permettant à chacun de proposer un choix d'expériences variées. Le jury attire toutefois l'attention des candidats sur le fait qu'ils doivent éviter de se disperser. Il leur conseille de ne proposer qu'un nombre limité d'expériences judicieusement choisies, illustrant de manière convaincante le sujet proposé, correspondant à une progression pédagogique raisonnée et autorisant de plus des mesures qui doivent être précises, exploitées et interprétées. Il rappelle enfin que l'outil informatique est désormais intégré dans la pratique pédagogique quotidienne ; les logiciels standard sont disponibles lors des épreuves orales. Tout comme pour les leçons, l'utilisation du vidéo projecteur est vivement recommandée, tant pour visualiser les résultats d'une expérience portée sur un tableau ou sur un graphe, que pour projeter en grand écran, à l'aide d'une flexcam, une expérience réalisée sur la table de travail du candidat.

Par ailleurs, il convient d'attirer l'attention des candidats sur le fait qu'en se présentant à un concours, ils se trouvent en compétition les uns avec les autres, et qu'il en résulte obligatoirement une comparaison de leurs prestations individuelles. Toute autoévaluation à la fin d'une épreuve (ou toute évaluation formulée par un observateur extérieur au jury) est ainsi vaine, car non fondée sur une vue globale des prestations de l'ensemble des candidats. Cette remarque doit en particulier inciter ceux

d'entre eux qui sont persuadés d'avoir échoué à une épreuve, à ne pas baisser les bras et à terminer le concours. L'expérience montre en effet, d'une part que des candidats admissibles avec un écrit moyen sont reçus dans les tous premiers rangs après les épreuves orales, et que d'autre part, ne pas briller à l'une des épreuves orales, n'empêche pas d'être admis.

Comme cela était déjà le cas lors des dernières sessions, les **documents photocopiés** élaborés par les centres de préparation et présentant pour chaque titre de montage un choix d'expériences adaptées, n'ont pas été autorisés (cf. rapport du jury de la session 2008 et 2009).

Depuis trois ans, conformément aux informations communiquées dans le rapport de la session 2007, **les leçons de physique et de chimie** ne font plus référence individuellement à un programme précis de classe ou à niveau spécifique. Prises dans leur ensemble, ces leçons sont à traiter au niveau des classes préparatoires scientifiques ou :

- aux niveaux des deux premières années (niveaux L1 et L2) de la licence de physique ou de la licence de physique chimie pour les leçons de physique
- aux niveaux des deux premières années (niveaux L1 et L2) de la licence de chimie ou de la licence de physique chimie pour les leçons de chimie.

Cette mesure est la conséquence de l'organisation des études universitaires selon le schéma LMD ; elle répond par ailleurs à la volonté du jury de laisser davantage de liberté au candidat, qui n'est donc plus astreint à suivre le programme d'une classe donnée pour construire le contenu de sa leçon de physique ou de chimie. Cette liberté pédagogique a été mise à profit par une partie des candidats qui ont su ainsi présenter des leçons originales et particulièrement intéressantes, conséquence d'une préparation au concours ayant intégré cette nouvelle donnée.

Réussir aux concours nécessite une préparation active, durant toute l'année scolaire.

Le jury invite les candidats à mener de front la préparation aux épreuves écrites d'admissibilité et la préparation aux épreuves orales d'admission. Les sciences physiques et chimiques sont avant tout des sciences expérimentales et les deux épreuves se nourrissent l'une de l'autre. Il est parfaitement illusoire de penser que l'on peut réussir à l'oral en ne s'y préparant que quelques jours avant les épreuves. Aussi est-il conseillé avec insistance aux candidats qui ne disposent pas dans leur établissement d'un environnement sur lequel ils peuvent s'appuyer pour conforter leur préparation, de suivre les formations académiques et/ou universitaires assurant cette préparation. Le lecteur trouvera dans ce rapport un ensemble très détaillé de commentaires et conseils sur les épreuves orales qu'il conviendra de lire avec attention.

Le jury tient enfin à rappeler que le niveau des épreuves étant celui des classes préparatoires, de faibles résultats à celles-ci, pour un candidat donné, ne sauraient en aucun cas remettre en question la qualité de l'enseignement qu'il dispense dans les classes du second degré dont il a la charge.

Le jury a corrigé d'excellentes copies et a assisté, lors des épreuves d'admission, aussi bien pour les leçons que pour les montages, à des prestations remarquables. Il reconnaît et apprécie à leur juste valeur les efforts consentis par l'ensemble des candidats et félicite tout particulièrement les professeurs quadragénaires et quinquagénaires qui, ayant relevé le défi, ont réussi le concours ; l'un des lauréats est âgé de 53 ans, ce qui montre bien que l'on peut réussir le concours, même lorsque la formation initiale est bien loin derrière soi. Il encourage ceux qui n'en ont pas été récompensés lors de cette session à les renouveler, tout en mesurant les sacrifices que cela représente et les difficultés qu'ils

peuvent rencontrer à mener de front l'exercice normal du métier et la préparation au concours. Il va de soi qu'il ne faut pas se laisser décourager par une ou plusieurs tentatives infructueuses. L'expérience montre que la persévérance est la plupart du temps récompensée.

Le Président du jury

3. RÉGLEMENTATION DU CONCOURS ET INFORMATIONS STATISTIQUES

RÉGLEMENTATION

Epreuves :

Les épreuves écrites comportent :

- Une composition sur la physique de durée 5 h (coefficient 1)
- Une composition sur la chimie de durée 5 h (coefficient 1)

Les épreuves orales comportent :

- Une leçon (coefficient 1)
- Un montage (coefficient 1)

Le tirage au sort conduit le candidat à traiter :

- soit une leçon de physique et un montage de chimie,
- soit une leçon de chimie et un montage de physique.

Programme :

Le programme des épreuves écrites et orales de la session 2010 est décrit dans le BO spécial n°6 du 25 juin 2009.

Epreuves de physique :

Le programme se compose des programmes de physique des classes suivantes :

- seconde générale et technologique (B.O. hors série n°6 du 12 août 1999),
- première S (B.O. hors série n°7 du 31 août 2000),
- terminale S, y compris l'enseignement de spécialité (B.O. hors série n°4 du 30 août 2001),
- classes préparatoires scientifiques aux grandes écoles : classes PC SI, MPSI, MP, MP*, PC, PC*, PSI, BCPST 1^{ère} et 2^{ème} années, (B.O. hors-série n°3 du 26 juin 2003, B.O. hors-série n°5 du 28 août 2003, B.O. hors-série n°3 du 29 avril 2004 et B.O. hors-série n°6 du 16 septembre 2004).

Epreuves de chimie :

Cette épreuve porte sur les programmes de chimie des classes suivantes :

- seconde générale et technologique (B.O. hors série n°6 du 12 août 1999),
- première S (B.O. hors série n°7 du 31 août 2000),
- terminale S, y compris l'enseignement de spécialité (B.O. hors série n°4 du 30 août 2001) ;
- première et terminale de la série Sciences et technologies de laboratoire spécialités Physique de laboratoire et de procédés industriels et Chimie de laboratoire et de procédés industriels, (B.O. hors série du 24 septembre 1992 et du 30 décembre 1993),
- classes préparatoires scientifiques aux grandes écoles : classes PC SI, MPSI, MP, MP*, PC, PC*, PSI, BCPST 1^{ère} et 2^{ème} années, (B.O. hors-série n°3 du 26 juin 2003, B.O. hors-série n°5 du 28 août 2003, B.O. hors-série n°3 du 29 avril 2004 et B.O. hors-série n°6 du 16 septembre 2004).

INFORMATIONS STATISTIQUES

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

Les tableaux ci-dessous donnent les informations générales relatives aux candidats du concours 2010, et les comparent aux données correspondantes des dix dernières sessions.

Agrégation interne

Année	Postes	Inscrits	Présents*	Taux de présence	Admissibles	Admis
2000	50	838	545	65%	127	50
2001	50	882	626	71%	101	50
2002	51	809	619	76,5%	102	51
2003	52	873	674	77,2%	101	52
2004	52	1044	833	80,6%	100	52
2005	54	1121	814	75%	106	52
2006	45	1373	957	69,7%	102	45
2007	45	1374	953	69,4%	101	45
2008	45	1353	962	71,1%	100	45
2009	45	1321	938	71%	94	45
2010	45	1484	964	65,0%	97	45

CAERPA

Année	Postes	Inscrits	Présents*	Taux de présence	Admissibles	Admis
1998	7	157	74	47,1%	20	6
1999	7	159	102	64,2%	24	7
2000	8	169	120	71%	24	8
2001	9	167	117	70,%	13	7
2002	10	184	137	74,4%	13	7
2003	10	157	115	73,2%	12	4
2004	9	171	135	78,9%	14	7
2005	10	190	131	69%	10	4
2006	10	252	167	66,3%	6	2
2007	9	226	159	70,3%	7	4
2008	7	251	155	61,7%	8	4
2009	8	227	147	64,8%	14	8
2010	11	276	167	60,5%	9	4

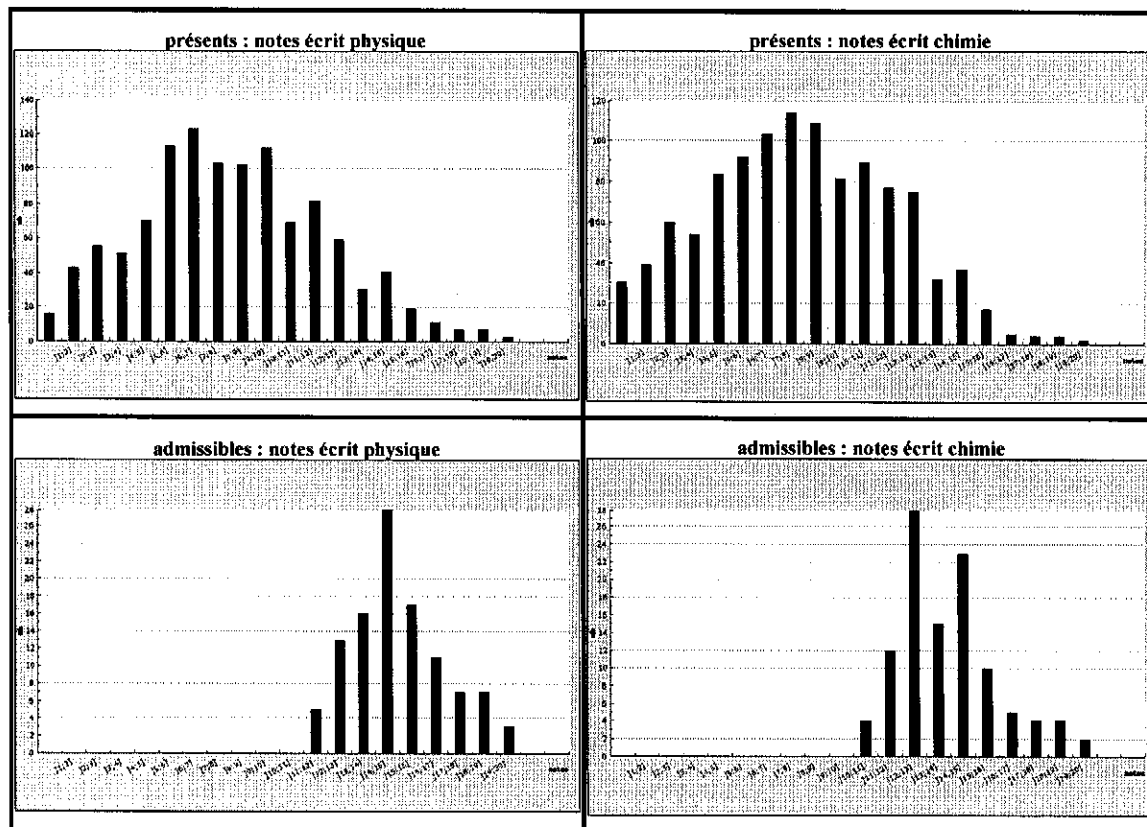
* Présents à au moins une épreuve

EPREUVES ECRITES

Les épreuves écrites se sont déroulées les 29 et 30 janvier 2010.

	Agrégation interne	CAERPA
Composition sur la physique :		
Moyenne	8,26	7,45
Meilleure note	20	20
Ecart-type	3,83	3,82
Moyenne des candidats admissibles	14,94	14,91
Composition sur la chimie :		
Moyenne	8,16	6,96
Meilleure note	20	17,7
Ecart-type	3,84	3,64
Moyenne des candidats admissibles	13,99	14
Barre d'admissibilité	25,6	25,6
Nombre d'admissibles	97	9

Les figures ci-dessous présentent les distributions des notes obtenues à chacune des épreuves écrites par l'ensemble des candidats aux deux concours.



EPREUVES ORALES

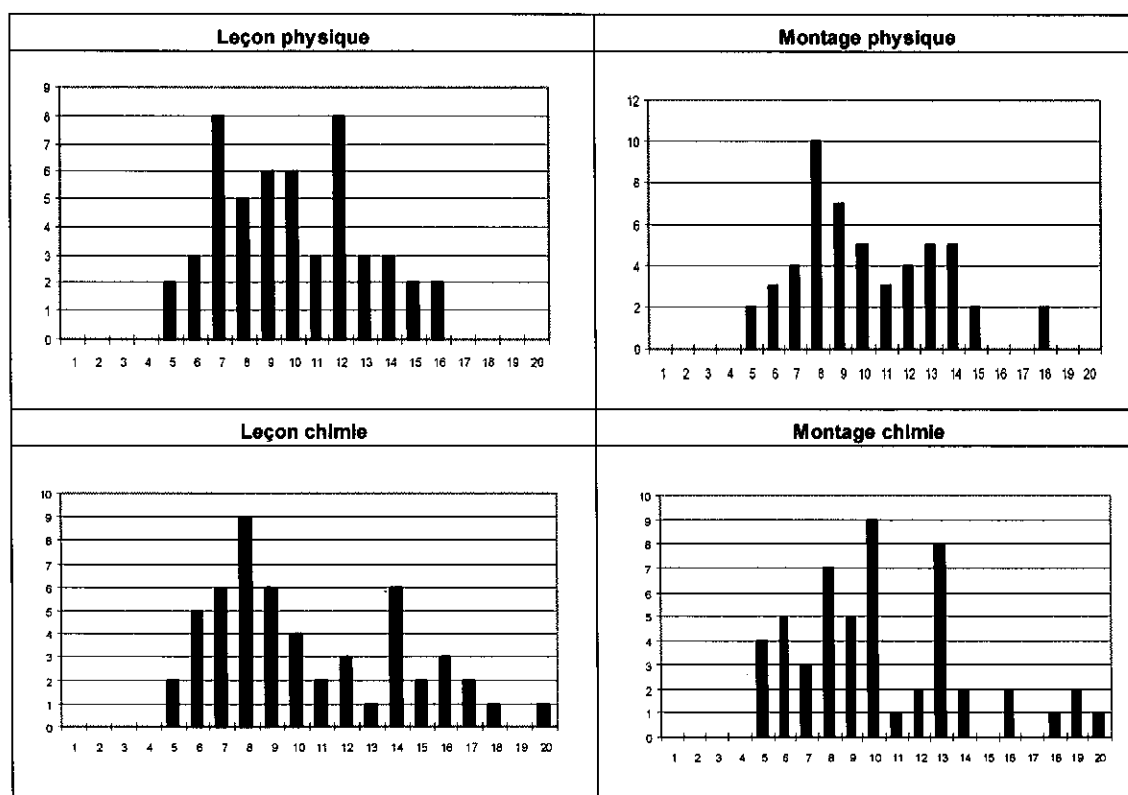
Les épreuves orales se sont déroulées du 22 au 30 avril 2010.

Résultats des candidats aux épreuves orales :

Nature de l'épreuve	Moyenne des candidats présents aux épreuves orales	Ecart-type
Leçon de physique	10,0	2,9
Leçon de chimie	10,4	3,8
Montage de physique	10,2	3,1
Montage de chimie	10,3	3,8

	Agrégation interne	CAERPA
Barre d'admission	49,4 / 80	49,4 / 80
Nombre d'admis	45	4

Distribution des notes des candidats présents aux épreuves orales :



REPARTITION DES CANDIDATS PAR ACADEMIE

AGRÉGATION INTERNE

Académie	Inscrits	Présents à une épreuve au moins	Admissibles	Admis
AIX-MARSEILLE	84	45	3	1
AMIENS	46	29	2	0
BESANCON	18	12	1	0
BORDEAUX	62	37	5	5
CAEN	30	14	4	2
CLERMONT-FERRAND	11	9	2	2
CORSE	9	6	0	0
CRETEIL-PARIS-VERSAIL.	296	203	17	8
DIJON	30	18	5	0
GRENOBLE	47	28	3	2
GUADELOUPE	32	20	0	0
GUYANE	9	4	0	0
LA REUNION	56	47	4	1
LILLE	129	92	8	3
LIMOGES	10	8	1	0
LYON	64	43	10	5
MARTINIQUE	21	11	1	0
MAYOTTE	6	4	0	0
MONTPELLIER	67	45	3	1
NANCY-METZ	63	40	2	2
NANTES	42	27	5	2
NICE	45	33	3	0
NOUVELLE CALEDONIE	4	1	0	0
ORLEANS-TOURS	61	36	3	3
POITIERS	23	14	2	1
POLYNESIE FRANCAISE	12	6	1	0
REIMS	28	21	0	0
RENNES	39	20	3	1
ROUEN	37	26	3	2
STRASBOURG	45	29	3	2
TOULOUSE	58	36	4	2
TOTAL	1484	964	98	45

Candidats ayant composé aux deux épreuves écrites : 930

Document 3 Agrégation interne de sciences physiques 2010 : Réglementation du concours et informations statistiques

CAERPA

Académie	Inscrits	Présents à une épreuve au moins	Admissibles	Admis
AIX-MARSEILLE	15	7	0	0
AMIENS	5	3	0	0
BESANCON	1	1	0	0
BORDEAUX	10	5	0	0
CAEN	10	3	1	0
CLERMONT-FERRAND	4	2	0	0
CORSE	1	0	0	0
CRETEIL-PARIS-VERSAIL.	52	31	3	1
DIJON	4	4	0	0
GRENOBLE	16	11	0	0
GUADELOUPE	4	4	1	0
GUYANE	1	0	0	0
LA REUNION	1	0	0	0
LILLE	31	24	0	0
LIMOGES	3	2	0	0
LYON	17	8	1	1
MARTINIQUE	2	1	0	0
MAYOTTE	0	0	0	0
MONTPELLIER	13	9	0	0
NANCY-METZ	11	7	0	0
NANTES	22	15	0	0
NICE	6	3	1	0
NOUVELLE CALEDONIE	0	0	0	0
ORLEANS-TOURS	4	3	0	0
POITIERS	5	3	0	0
POLYNESIE FRANCAISE	2	1	0	0
REIMS	4	1	0	0
RENNES	14	10	2	2
ROUEN	6	2	0	0
STRASBOURG	5	4	0	0
TOULOUSE	7	3	0	0
TOTAL	276	167	9	4

Candidats ayant composé aux deux épreuves écrites : 162

REPARTITION DES CANDIDATS PAR SEXE

2010	AGREGATION INTERNE			CAERPA		
	présents	admissibles	admis	présents	admissibles	Admis
HOMMES	700	80	36	107	8	4
	73%	82%	80%	64%	89%	100%
FEMMES	264	18	9	60	1	0
	27%	18%	20%	36%	11%	0%

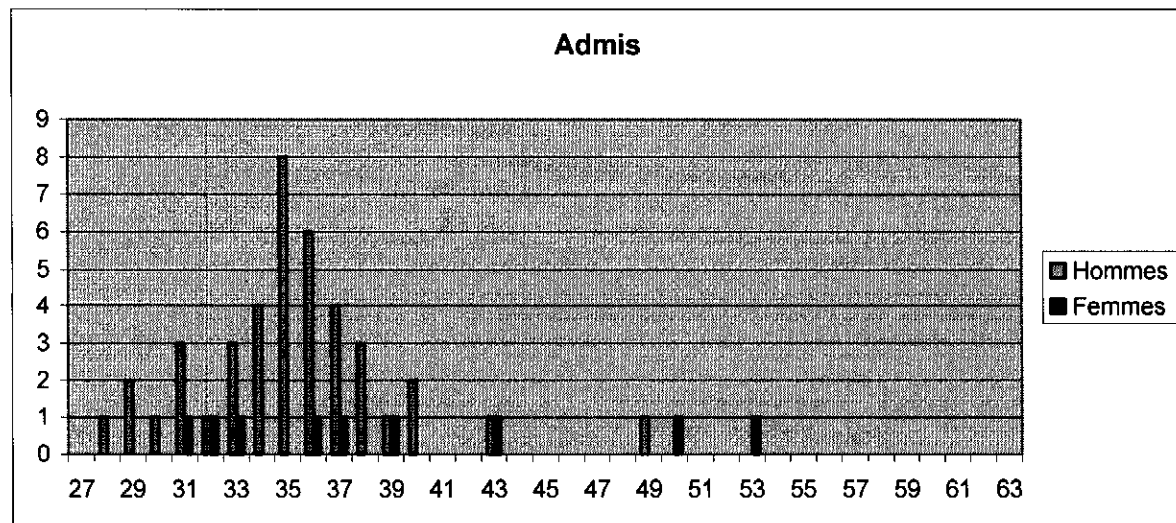
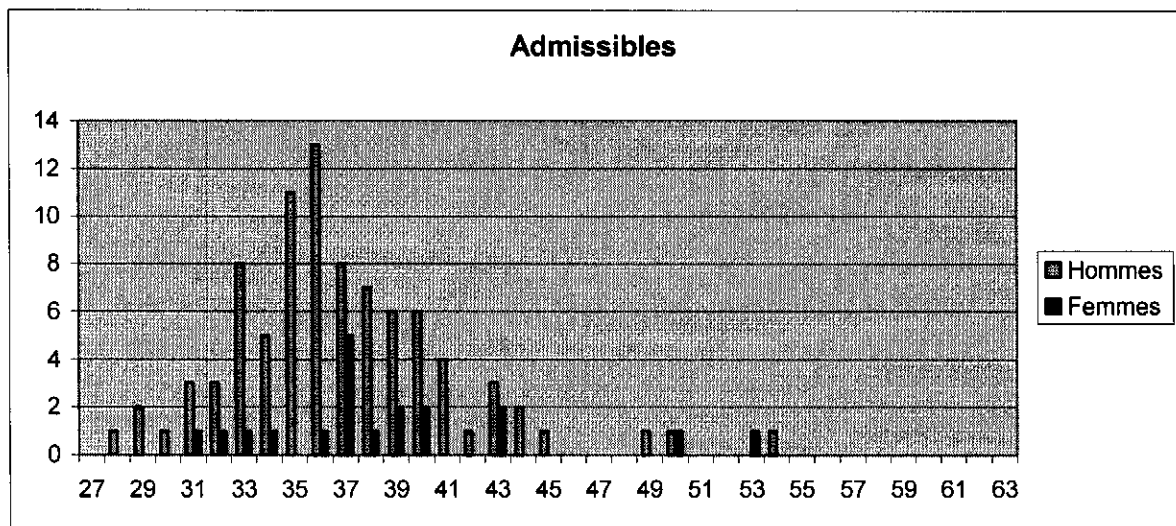
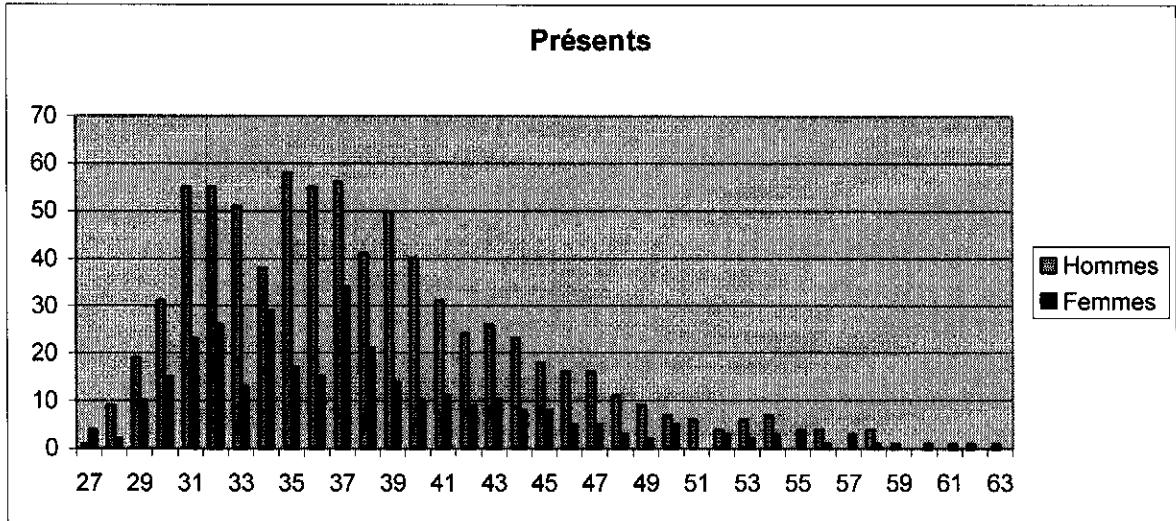
Rappel des trois années précédentes

2009	AGREGATION INTERNE			CAERPA		
	présents	admissibles	admis	présents	admissibles	Admis
HOMMES	640	69	32	89	12	7
	68%	73%	71%	61%	86%	87,5%
FEMMES	298	25	13	58	2	1
	32%	27%	29%	39%	14%	12,5%

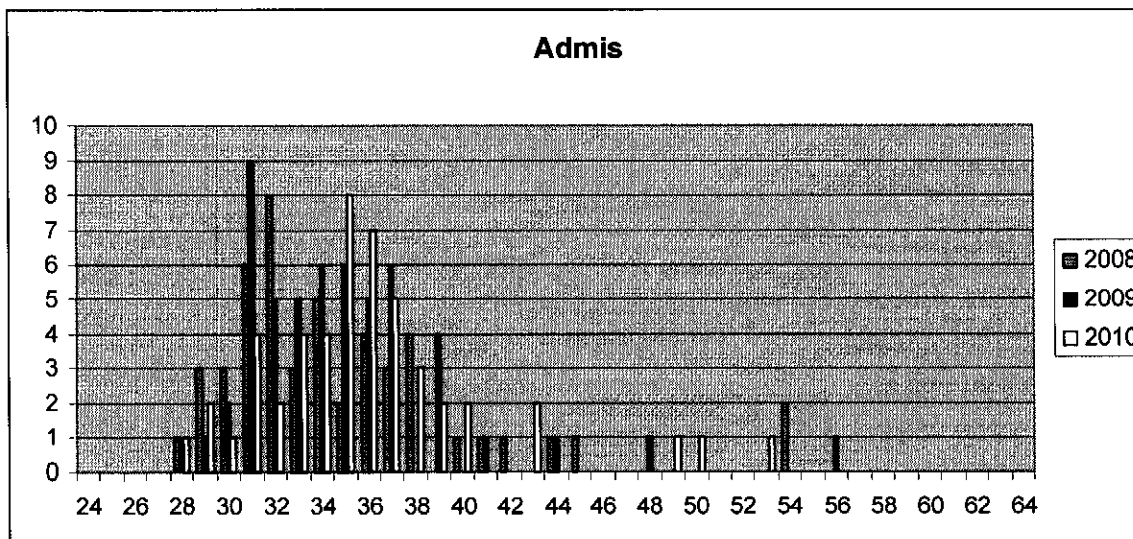
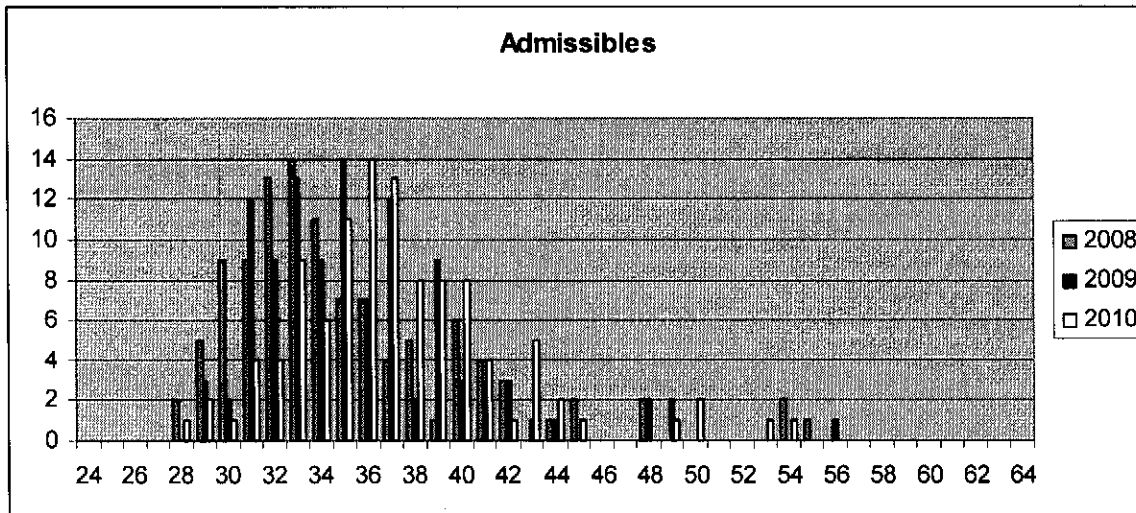
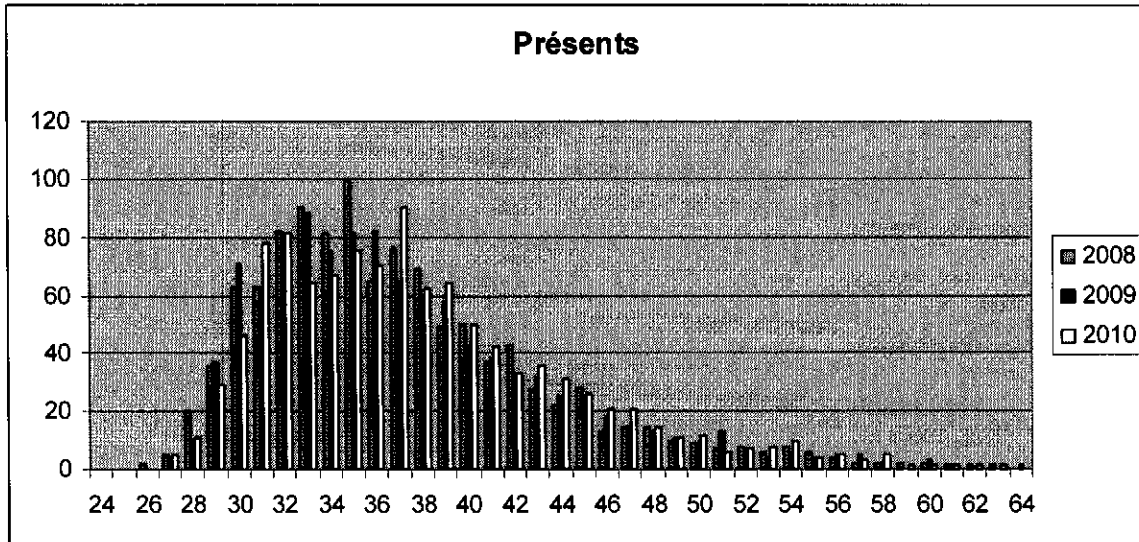
2008	AGREGATION INTERNE			CAERPA		
	présents	admissibles	admis	présents	admissibles	Admis
HOMMES	654	72	33	99	6	3
	68%	72%	73%	64%	75%	75%
FEMMES	308	28	12	56	2	1
	32%	28%	27%	36%	25%	25%

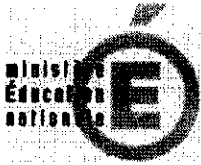
2007	AGREGATION INTERNE			CAERPA		
	présents	admissibles	admis	présents	admissibles	Admis
HOMMES	655	68	30	95	3	3
	69%	67%	67%	60%	43%	75%
FEMMES	298	33	15	64	4	1
	31%	33%	33%	40%	57%	25%

REPARTITION DES CANDIDATS PAR AGE ET PAR SEXE AUX DEUX CONCOURS



ÉVOLUTION DES AGES DES CANDIDATS SUR LES TROIS DERNIÈRES ANNÉES





EAI PHC 1
Repère à reporter sur la copie

SESSION 2010

**AGREGATION
CONCOURS INTERNE
ET CAER**

**Section : SCIENCES PHYSIQUES
Option : PHYSIQUE ET CHIMIE**

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

Durée : 5 heures

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

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

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

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

NB : 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.

Quelques aspects du réchauffement climatique

Introduction

Depuis le début du XXème siècle, la température moyenne sur Terre ne cesse d'augmenter. Cette montée est particulièrement importante si on ne considère que les cinquante dernières années, et bat des records les douze dernières années.

Les scientifiques recommandent de ne pas dépasser une hausse de $1,5^{\circ}\text{C}$ alors que le GIEC (Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) prévoit une hausse moyenne comprise entre $1,4^{\circ}\text{C}$ et $5,8^{\circ}\text{C}$ d'ici à la fin du siècle, chiffre qui dépend des quantités de gaz à effet de serre (GES) émises dans l'atmosphère.

Une des questions fondamentales qui se pose alors est : comment répondre à une demande croissante d'énergie alors que les réserves de pétrole, de gaz et de charbon sont limitées et qu'il faut enrayer le réchauffement climatique ?

Ce problème comporte quatre parties en relation avec divers aspects du réchauffement climatique. Ces quatre parties sont indépendantes les unes des autres et, à l'intérieur de chaque partie, de nombreuses questions sont également indépendantes les unes des autres.

La partie **A** aborde la notion de température enseignée au lycée.

La partie **B** s'intéresse au rôle de la couche d'ozone stratosphérique.

La partie **C** est consacrée à l'effet de serre.

À l'intérieur de la partie **C** figure un paragraphe relatif aux oscillateurs mécaniques enseignés au lycée (partie **C 2.1.**), en prélude à l'étude d'un gaz à effet de serre, le dioxyde de carbone (CO_2).

La partie **D** concerne le projet de mise en fonction en 2012 d'un réacteur nucléaire de troisième génération, à eau sous pression, qui permettra de produire de l'énergie sans émettre de GES. À l'intérieur de la partie **D** figure un paragraphe concernant l'énergie d'origine nucléaire enseignée au lycée (partie **D 1.**).

On notera le nombre complexe i tel que $i^2 = -1$ et $\Im m(i) = 1$.

Les grandeurs complexes seront soulignées.

L'usage de la calculatrice est autorisé. Les numéros des questions sont encadrés.

*
* * *

Partie A : Notion de température au lycée

Des extraits du programme officiel des classes de Seconde et Première S figurent en annexe.

- [1] La notion de température est abordée au lycée en classe de Seconde. Comment est définie la température absolue dans cette classe ? Quel enseignement expérimental peut-on associer à cette notion ? Proposer un plan de séance.
- [2] Proposer une expérience, réalisable en classe de Seconde, montrant qu'il existe un lien entre le spectre d'une lumière émise par un corps chaud et la température de ce corps.

- 3] La loi qui relie λ_m (longueur d'onde pour laquelle la densité spectrale d'un rayonnement à l'équilibre thermique est maximum) à la température T à l'équilibre est :

$$\lambda_m \cdot T = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

Comment s'appelle cette loi ?

En classe de Seconde, on donne la température moyenne de surface de quelques étoiles :

Étoile	Bételgeuse	Soleil	Sirius	Rigel
Température moyenne de surface (K)	3000	5600	8000	>10000

Quelle est la couleur de chaque étoile ?

- 4] Donner trois exemples de thermomètres en précisant pour chacun d'eux la grandeur physique qui dépend de l'état thermique du corps dont on veut mesurer la température. Expliquer le fonctionnement d'un de ces trois thermomètres.
- 5] Expliquer brièvement comment on peut atteindre expérimentalement une température de :
 ◇ 80 K
 ◇ 1 K
 ◇ 10^{-6} K
 Quelle est la température la plus basse que l'on sait obtenir à l'heure actuelle ? En quelle année a-t-elle été atteinte ? Quelle technique est utilisée pour cela ?
- 6] Proposer l'organisation d'une séance de cours en classe de Seconde sur le thème du gaz parfait.
 Indiquer les éléments supposés acquis par les élèves avant le début de cette séance.
 Préciser le plan de la séance, les expériences réalisées et le travail demandé aux élèves.
 Préciser les connaissances et les compétences travaillées au cours de cette séance.
- 7] Les transferts thermiques sont abordés en classe de Première S.
 Définir les deux modes de transfert thermique ainsi que le transfert d'énergie par rayonnement. Donner un exemple pour les trois types de transfert.
- 8] Que répondre à un élève de Première S qui demande pourquoi la température varie peu sur Terre alors que le Soleil réchauffe la Terre ?

*
* * *

Partie B : Le rôle de la couche d'ozone stratosphérique

La diminution de la couche d'ozone stratosphérique est due à l'émission de gaz chlorofluorocarbène (CFC). Les rayons UV sont alors moins bien interceptés dans la haute atmosphère et l'énergie solaire arrive davantage au sol. Il en résulte un réchauffement de la basse atmosphère. Un autre inconvénient introduit par la diminution de la couche d'ozone dans la haute atmosphère est aussi de laisser passer les UV proches, lesquels sont nocifs pour la peau.

Dans toute cette partie, on négligera les effets de la pesanteur.

Données :

- * Charge de l'électron : $q = -e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C
- * Masse de l'électron : $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg
- * Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \cdot 10^8$ m.s⁻¹
- * Permittivité électrique du vide : $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9}$ F.m⁻¹
- * Perméabilité magnétique du vide : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H.m⁻¹
- * $\text{rot}(\text{rot}\vec{A}) = \text{grad}(\text{div}\vec{A}) - \Delta\vec{A}$

On étudie la propagation d'une onde électromagnétique plane, progressive, monochromatique, issue du soleil, dans la couche d'ozone de la stratosphère. On considère l'ozone comme un diélectrique linéaire, homogène et isotrope. On néglige la polarisabilité d'orientation et on ne tient donc compte que de la polarisabilité moléculaire.

On suppose que la couche d'ozone occupe le demi-espace $z > 0$. Le champ électrique de l'onde qui s'y propage est noté en complexe : $\vec{E} = E_0 e^{i(\omega t - kz)} \vec{u}_x$.

Sous l'action de ce champ les molécules se polarisent. On envisage le modèle de l'électron élastiquement lié dans lequel on étudie un seul électron par molécule d'ozone. Cet électron (charge $-e$ et masse m) situé en un point M est élastiquement lié au centre O fixe de la molécule. On note $\vec{r} = \overrightarrow{OM}$, et le cas échéant, en complexe $\vec{r} = \vec{r}_0 e^{i\omega t}$.

Cet électron est soumis à trois forces :

- * une force d'interaction avec l'onde électromagnétique,
- * $\vec{f}_A = -m\omega_0^2 \vec{r}$ où ω_0 est une pulsation propre caractéristique du mouvement de l'électron,
- * $\vec{f}_B = -m\Omega \frac{d\vec{r}}{dt}$.

- 9] Quel est le nom du protocole international qui réglemente les émissions de CFC ? Quelle est l'année de sa signature ?
- 10] Donner la plage d'altitudes par rapport à la surface de la Terre correspondant à la stratosphère ?
- 11] À quels phénomènes physiques correspondent les forces \vec{f}_A et \vec{f}_B ? Quelle est la dimension de Ω ?
- 12] On ne tient pas compte de la force magnétique qu'exerce l'onde sur l'électron. Pourquoi ?
- 13] Appliquer le principe fondamental de la dynamique à l'électron. Les équations étant linéaires, on utilise la notation complexe. En déduire l'équation différentielle vérifiée par le vecteur position \vec{r} de l'électron. Déterminer \vec{r} qu'on exprimera notamment en fonction de \vec{E} .
- 14] En déduire le moment dipolaire induit \vec{p} ainsi que la polarisation \vec{P} de la stratosphère. On note n_p la densité particulière d'ozone dans la stratosphère.
- 15] Le milieu n'est pas magnétique et est globalement neutre. Écrire les équations de Maxwell reliant les champs \vec{E} et \vec{B} et la polarisation du milieu.
- 16] Les champs n'étant fonction que de z et t , en déduire l'équation :

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{P}}{\partial t^2}$$

- 17] Déduire de l'équation obtenue à la question précédente écrite sous forme complexe et de

l'expression de la polarisation \vec{P} , l'expression de \underline{k}^2 . On posera :

$$\omega_p^2 = \frac{n_p e^2}{m \epsilon_0}$$

- [18] L'indice complexe est défini par $\underline{n}(\omega) = \frac{c}{\omega} \underline{k}$. En déduire \underline{n}^2 .

En notant $\underline{n} = n_1 - in_2$, compte tenu d'une approximation dont on ne se préoccupe pas ici, on admet les expressions respectives de n_1 et n_2 :

$$1 + \frac{\omega_p^2(\omega_0^2 - \omega^2)}{2((\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \Omega^2\omega^2)} \quad \text{et} \quad \frac{\Omega\omega\omega_p^2}{2((\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \Omega^2\omega^2)}$$

- [19] Quelle est l'expression du champ électrique \vec{E} (observable) en fonction notamment de n_1 et n_2 ? Comment appelle-t-on n_1 et n_2 ? Justifier.
- [20] Constater qu'il apparaît un terme d'atténuation et en déduire la distance caractéristique δ du phénomène en fonction de c , ω et n_2 .
- [21] On donne $\omega_0 = 7,4 \cdot 10^{15} \text{ rad.s}^{-1}$ la pulsation centrale de la bande d'absorption de l'ozone. Dans quel domaine du spectre électromagnétique se situe ω_0 ? On donne $\Omega = 10^{14} \text{ rad.s}^{-1}$ ainsi que la densité particulaire maximum d'ozone dans la stratosphère $n_p = 4 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$. Calculer δ pour les deux fréquences suivantes :
- ◇ f_0 correspondant à la longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 250 \text{ nm}$
 - ◇ f correspondant à la longueur d'onde dans le vide $\lambda = 600 \text{ nm}$
- Conclure : pourquoi est-il important de maintenir la couche d'ozone stratosphérique ?

*
* * *

Partie C : L'effet de serre

1. L'atmosphère terrestre

Données :

- * Rayon du Soleil : $R_S = 7 \cdot 10^8 \text{ m}$
- * Rayon de la Terre : $R_T = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$
- * Distance Terre - Soleil : $d = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$
- * La constante de STEFAN : $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$

On considèrera que le Soleil se comporte comme un corps noir à la température T_S et que la Terre se comporte comme un corps noir à la température T_0 .

- [22] Expliquer à quoi correspondent ϕ , T et σ dans la loi de STEFAN : $\phi = \sigma T^4$.
- [23] Quelle est l'expression de la puissance totale rayonnée par le Soleil en fonction de σ , T_S (température à la surface du Soleil) et R_S ?
- [24] Quelle est l'expression de la puissance reçue par la Terre en fonction de σ , T_S , R_S , R_T et d ?
- [25] Déterminer la température à la surface du Soleil T_S sachant que le maximum du spectre qu'il émet se situe à $\lambda_m = 520 \text{ nm}$. On pourra se reporter à la partie A question 3.

En réalité la Terre réfléchit une partie de l'énergie qu'elle reçoit de la part du Soleil et absorbe le reste. La fraction réfléchie s'appelle l'albédo qu'on note A et dont on donne la valeur numérique $A = 0,34$.

- [26] Déterminer la température de la Terre T_0 , en régime permanent, en fonction de A , T_S , R_S et d . Calculer T_0 . Commenter.

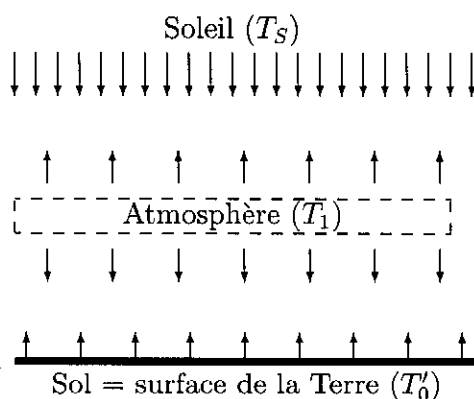
Avec le modèle qui va suivre, on souhaite interpréter le fait que le sol terrestre est en réalité à une température T'_0 supérieure à T_0 . C'est l'effet de serre.

On considère donc le sol à la température T'_0 et l'atmosphère à la température moyenne T_1 . L'atmosphère est assimilée à une couche sphérique dont le centre est celui de la Terre et d'épaisseur e , avec $e \ll R_T$. Le sol et l'atmosphère sont supposés rayonner comme des corps noirs de températures respectives T'_0 et T_1 .

- [27] Si on assimile une sphère de rayon $R_T + e$ à une sphère de rayon R_T ($e \ll R_T$), quelle est l'erreur relative commise sur le calcul de la surface ?
Faire l'application numérique. On prendra $e \simeq 10$ km.

Dans la suite du problème, on considérera donc que $R_T + e \simeq R_T$.

L'atmosphère absorbe la fraction α du rayonnement solaire et absorbe complètement le rayonnement terrestre. Par ailleurs, elle émet vers la Terre et vers l'Espace. La Terre absorbe le reste du rayonnement solaire et absorbe le rayonnement de l'atmosphère vers la Terre. Les échanges sont symbolisés dans le schéma ci-dessous, où les flèches représentent les rayonnements.



L'ensemble Terre-atmosphère a le même albédo A que la Terre seule.

- [28] Effectuer un bilan thermique pour le sol et un bilan thermique pour l'atmosphère.
[29] Calculer T_1 et T'_0 en prenant $\alpha = 0,33$. Conclure.

2. Un gaz à effet de serre : le dioxyde de carbone (CO_2)

- [30] Quel est le nom du protocole international qui régleme les émissions de gaz à effet de serre ? Quelle est l'année de sa signature ?

2.1. Oscillateurs mécaniques au lycée

Des extraits du programme officiel des classes de Première S et de Terminale S figurent en annexe.

Les systèmes oscillants mécaniques sont abordés en classe de Terminale S.

- [31] Définir, pour une classe de Terminale S, un pendule pesant et un pendule simple. Quelles en sont les différences ?

En classe de Terminale S, par un ensemble d'expériences, on veut :

- * enregistrer un mouvement oscillant plus ou moins amorti,
- * vérifier la loi d'isochronisme des petites oscillations,
- * vérifier l'expression de la période propre d'un pendule simple.

- [32] Préciser, pour chacun des trois points qui précèdent, l'expérience réalisée, les graphes que doivent tracer les élèves pour interpréter chaque expérience, et les conclusions attendues.

- [33] Parmi les documentaires qu'on peut exposer aux élèves, on considère l'expérience du pendule de FOUCAULT qui a été reproduite au Panthéon ces dernières années.

En quelle année FOUCAULT a-t-il installé son pendule au Panthéon ?

Quel point primordial a mis en évidence cette expérience ?

Le dispositif solide-ressort est étudié en Terminale S. Un enseignant propose l'exercice suivant :

La liaison chimique entre l'atome d'hydrogène de masse m_H et l'atome de chlore de masse m_{Cl} , dans la molécule de chlorure d'hydrogène (HCl), peut être modélisée par un ressort de constante de raideur k , reliant les deux masses.

La période propre T_0 des oscillations de ce système est la même que celle d'un oscillateur comportant un ressort de constante de raideur k , dont une extrémité est fixe, tandis que l'autre est reliée à une masse dite masse réduite de valeur :

$$\mu = \frac{m_H m_{Cl}}{m_H + m_{Cl}}$$

Des mesures de spectroscopie montrent que la molécule $H^{35}Cl$, à l'état gazeux, absorbe les ondes électromagnétiques de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 3,3 \mu m$.

La fréquence des ondes absorbées est égale à la fréquence des oscillations de la molécule.

Calculer la constante de raideur du ressort modélisant la liaison H-Cl.

Données : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$, $M_H = 1,00 \text{ g.mol}^{-1}$, $M_{Cl} = 35,0 \text{ g.mol}^{-1}$ et $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

- [34] Rédiger brièvement la réponse attendue.

Dans l'exercice proposé à la question précédente, on demande à l'élève de Terminale S d'admettre que, en ce qui concerne le mouvement relatif, le système des deux masses est équivalent à un système unique de masse égale à la masse réduite du système. Cette équivalence est établie en première année de Classes Préparatoires aux Grandes Écoles en étudiant le système des deux masses dans son référentiel barycentrique.

- [35] Définir le référentiel barycentrique \mathcal{R}^* d'un système de points matériels.

Le référentiel \mathcal{R}^* est-il galiléen ? Justifier.

- [36] Proposer pour chaque question suivante une expérience à réaliser en classe de Première S. Donner clairement les réponses attendues.

◊ Quelle est la particularité du mouvement du centre d'inertie d'un système soumis à des forces qui se compensent, dans un référentiel galiléen ?

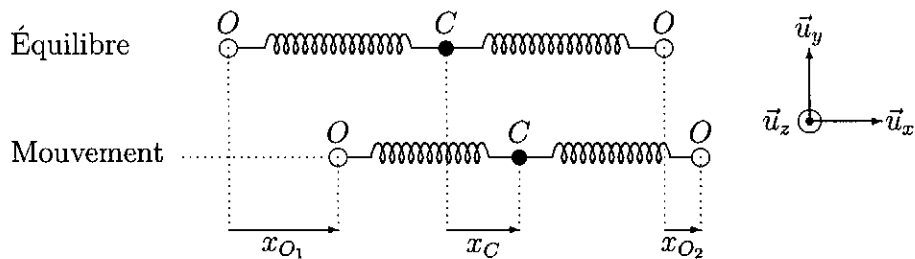
◊ Comment varie le vecteur vitesse du centre d'inertie d'un système soumis à des forces qui ne se compensent pas, dans un référentiel galiléen ?

2.2. Mouvements d'élongation d'une molécule de CO_2

Soit une molécule de dioxyde de carbone constituant un système isolé. Chaque liaison carbone-oxygène est indépendante de l'autre. Les atomes sont assimilés à des points matériels de masse $m_O = 2,7 \cdot 10^{-26}$ kg pour l'oxygène et $m_C = 2,0 \cdot 10^{-26}$ kg pour le carbone.

L'atome de carbone interagit avec ses deux voisins, les deux atomes d'oxygène, lesquels n'interagissent pas entre eux.

À l'équilibre les deux liaisons carbone-oxygène sont identiques et ont donc même longueur. Les trois atomes restent toujours alignés dans la direction donnée par le vecteur unitaire \vec{u}_x . Au voisinage de l'état d'équilibre, on modélise les deux liaisons carbone-oxygène par deux ressorts identiques de constante de raideur $k = 1,4 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ et de longueur à vide $\ell_0 = 0,17 \text{ nm}$.



On repère par x_{O1} , x_C et x_{O2} les déplacements des atomes par rapport à la position d'équilibre de la molécule.

[37] On étudie la molécule de CO_2 dans son référentiel barycentrique R^* . Justifier que, dans cet exemple, R^* est galiléen.

[38] Justifier la relation : $m_O(x_{O1} + x_{O2}) + m_C x_C = 0$.

[39] Établir le système d'équations différentielles vérifiées par x_{O1} et x_{O2} , par application du principe fondamental de la dynamique.

Les solutions sont de la forme $\underline{x}_{O1}(t) = \underline{A}_{O1} e^{i\omega t}$, $\underline{x}_{O2}(t) = \underline{A}_{O2} e^{i\omega t}$, et $\underline{x}_C(t) = \underline{A}_C e^{i\omega t}$, en notation complexe.

Déterminer les pulsations ω_1 et ω_2 conduisant à \underline{A}_{O1} , \underline{A}_{O2} et \underline{A}_C non nuls (on prendra $\omega_1 < \omega_2$).

Comment s'appellent ces pulsations ?

Les calculer.

[40] Décrire brièvement le mouvement de la molécule pour $\omega = \omega_1$ et $\omega = \omega_2$.

2.3. Propagation d'une onde électromagnétique dans l'atmosphère contenant du CO_2 .

Les liaisons carbone-oxygène sont des dipôles. Chaque oxygène porte la charge $-\delta e$ et le carbone porte la charge $+2\delta e$ ($0 < \delta < 1$).

La molécule de CO_2 est supposée toujours rester alignée selon \vec{u}_x ; elle est dans le plan $z = 0$.

Une onde électromagnétique de pulsation ω , polarisée selon \vec{u}_x , se propage selon \vec{u}_z et va rencontrer une molécule de CO_2 . On appelle cette onde l'onde *incidente*.

Son champ électrique est de la forme : $\vec{E}(z, t) = E_0 \cos\left(\omega t - \frac{\omega z}{c}\right) \vec{u}_x$ où c est la célérité de la lumière dans le vide.

On néglige l'action du champ magnétique.

- 41 Justifier que R^* est encore galiléen.
- 42 Établir le système d'équations différentielles vérifiées par x_{O1} et x_{O2} , par application du principe fondamental de la dynamique.
- 43 En régime sinusoïdal forcé, les solutions, en notation complexe, sont de la forme :

$$\underline{x_{O1}}(t) = \underline{A_{O1}}e^{i\omega t}, \quad \underline{x_{O2}}(t) = \underline{A_{O2}}e^{i\omega t}$$
 Déterminer $\underline{A_{O1}}$ et $\underline{A_{O2}}$ en fonction de δ , e , E_0 , ω , ω_2 et m_O .
- 44 Exprimer le moment dipolaire $\vec{p}(t)$ de la molécule de CO_2 en fonction de δ , e , E_0 , ω , ω_2 , m_O , m_C et t .

Une molécule de CO_2 est donc modélisée par un dipôle rayonnant. On peut montrer que la puissance moyenne rayonnée par ce dipôle s'exprime par :

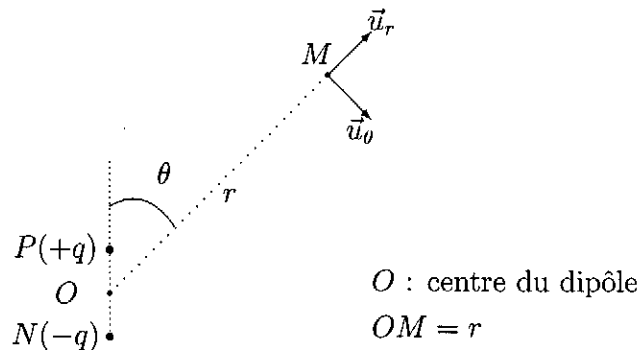
$$\langle \mathcal{P} \rangle = \frac{\mu_0 \omega^4 p_0^2}{12\pi c}$$

où p_0 est l'amplitude de $\vec{p}(t)$.

On rappelle que le champ électrique rayonné par un dipôle oscillant NP est :

$$\vec{E}(M, t) = \frac{\ddot{p}(t - r/c)}{4\pi\epsilon_0 r c^2} \sin\theta \vec{u}_\theta$$

où \ddot{p} est la dérivée seconde de p par rapport au temps.



- 45 Expliquer brièvement d'où vient la puissance quatrième dans ω^4 dans l'expression de $\langle \mathcal{P} \rangle$.
- 46 Exprimer la puissance moyenne I_0 en $z = 0$ transportée par l'onde incidente à travers une unité de surface perpendiculaire à la direction de propagation, en fonction de μ_0 , c et E_0 .
 En déduire que $\langle \mathcal{P} \rangle = SI_0$ et exprimer S en fonction de δ , e , ω , ω_2 , μ_0 , m_O et m_C .

L'atmosphère contient n molécules de CO_2 par unité de volume. On considérera qu'un tiers d'entre elles sont alignées dans chacune des directions de l'espace.

Les molécules de CO_2 rayonnent de l'énergie qu'elles prennent à l'onde incidente et l'intensité de l'onde incidente diminue donc avec z .

- 47 Effectuer un bilan d'énergie sur un volume élémentaire de hauteur dz . En déduire que $I(z)$ est de la forme $I(z) = I(0)e^{-z/L}$, avec $I(0) = I_0$.
 Exprimer L en fonction de S et n .

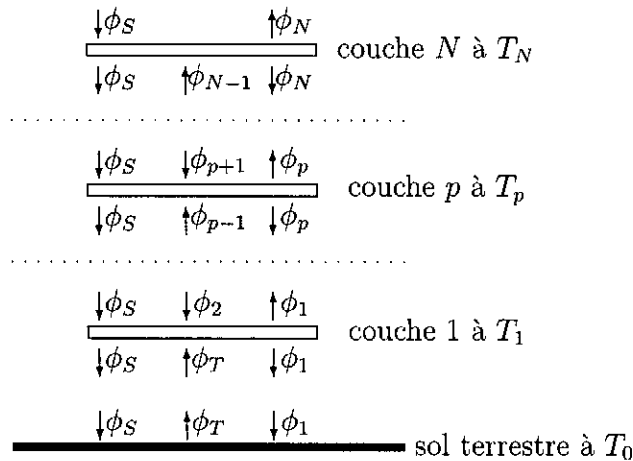
Quel est le sens physique de L ?

- [48] En déduire que l'onde est fortement absorbée pour $\omega \rightarrow \omega_2$.
Expliquer qualitativement pourquoi l'onde n'est pas absorbée pour $\omega \rightarrow \omega_1$.
- [49] Calculer la longueur d'onde dans le vide λ_2 correspondant à la pulsation ω_2 . À quel domaine du spectre électromagnétique appartient-elle ? Commenter.

2.4. Conséquence de l'augmentation de la quantité de CO₂ gazeux dans l'atmosphère

On suppose que la quantité de CO₂ gazeux augmente et on modélise cette augmentation par la superposition de N couches de CO₂ gazeux entourant la Terre. Chaque couche contient la même concentration fixée C_0 en CO₂ gazeux.

Modèle des N couches de CO₂ superposées



Le sol terrestre se comporte comme un corps noir de température T_0 et émet un flux surfacique ϕ_T .

On ne tient pas compte ici de l'albédo de la Terre.

ϕ_S est le flux solaire reçu par la Terre, par unité de surface de la Terre.

ϕ_p est le flux surfacique émis vers le haut et vers le bas par la couche p , de température T_p .

Le rayonnement émis par une couche est complètement absorbé par les autres couches.

Les couches sont transparentes au rayonnement solaire, qui arrive sous incidence normale sur chaque couche.

- [50] À partir d'un ordre de grandeur usuel pour T_0 , déterminer l'ordre de grandeur de la longueur d'onde d'émission maximum du sol terrestre.
En déduire que la couche 1 de CO₂ gazeux absorbe totalement le rayonnement de flux ϕ_T .
- [51] Effectuer un bilan radiatif pour :
- ◊ le sol,
 - ◊ le sol et la couche 1,
 - ◊ le sol et les couches 1 à p ,
 - ◊ le sol et toutes les couches.
- [52] En déduire d'une part ϕ_p en fonction de ϕ_S , N et p , et d'autre part ϕ_T en fonction de ϕ_S et N .
- [53] Déduire de la loi de STEFAN l'expression de T_0 en fonction de ϕ_S , N et σ , la constante de STEFAN.

Conclure : quelle est la conséquence de l'augmentation de la quantité de CO_2 gazeux dans l'atmosphère ?

*
* * *

Partie D : Un exemple de production d'énergie sans émission de gaz à effet de serre, l'EPR de Flamanville 3

Les premières centrales nucléaires françaises encore en fonctionnement devraient être arrêtées en 2020. Ceci impose la construction de leurs remplaçantes cinq ans avant. EDF a donc décidé, en mai 2006, conformément à la politique énergétique actuelle de la France, de construire un réacteur nucléaire dit de "troisième génération", de type EPR (European Pressurized water Reactor – ou REP, Réacteur nucléaire à Eau sous Pression, en français), à Flamanville dans la Manche.

Sa mise en service est prévue pour 2012. Sa puissance sera de 1650 MW, contre 1450 MW pour les réacteurs les plus puissants actuellement, et devra permettre de répondre à une demande d'électricité qui devrait doubler d'ici les trente prochaines années.

On considère tous les gaz comme des **gaz parfaits**.

1. L'énergie d'origine nucléaire au lycée

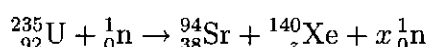
Les transformations nucléaires sont abordées en classe de Terminale S (cf. annexe) notamment afin de comprendre que la conversion masse-énergie peut être à l'origine de la production d'énergie dans les centrales nucléaires.

- [54] En quelle année la radioactivité a-t-elle été découverte ? Par qui ?
- [55] Définir un noyau radioactif.
- [56] Qu'appelle-t-on radioactivité β^- ? β^+ ? α ? Qu'est-ce que le rayonnement γ ?
- [57] On a mesuré l'activité d'un échantillon contenant du radon 220 en opérant, toutes les 20 secondes, des comptages successifs d'une durée de 1 seconde. Les résultats du nombre n d'impulsions détectées par le compteur sont regroupés dans le tableau suivant :

Date t (s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160
n	483	380	290	227	182	140	103	87	64

La durée du comptage est-elle adaptée ?

- [58] Proposer une séance de travaux pratiques qui permettrait aux élèves d'acquérir et d'exploiter les données de la question précédente.
- ◊ Indiquer le matériel utilisé, le principe de l'expérience et le protocole à suivre.
 - ◊ Expliciter les objectifs visés en termes de connaissances ainsi que les compétences au cours de cette séance.
- [59] Dans une centrale nucléaire française fonctionnant avec un réacteur à eau pressurisée (EPR), on réalise la fission contrôlée de l'uranium 235.
- On s'intéresse à la réaction suivante :



dans laquelle z et x ne sont pas précisés.

- ◊ À partir de cette réaction et des données qui suivent, proposer l'énoncé d'un exercice.
- ◊ Le résoudre en indiquant pour chaque question les connaissances et les compétences évaluées

Données :

- * masse de $^{235}_{92}\text{U} = 234,99332 \text{ u}$
- * masse de $^{94}_{38}\text{Sr} = 93,89446 \text{ u}$
- * masse de $^{140}_{54}\text{Xe} = 139,89195 \text{ u}$
- * masse de $^1_0\text{n} = 1,00886 \text{ u}$
- * pouvoir calorifique du pétrole = 42 MJ.kg^{-1}
- * $1 \text{ eV} = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- * $c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- * $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- * $1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

2. La température du circuit primaire

On considère le moteur ditherme de CARNOT fonctionnant de manière réversible entre deux sources de températures T_1 et T_2 ($T_1 < T_2$). Le cycle décrit par le fluide (l'agent thermique) se compose de deux isothermes et deux adiabatiques.

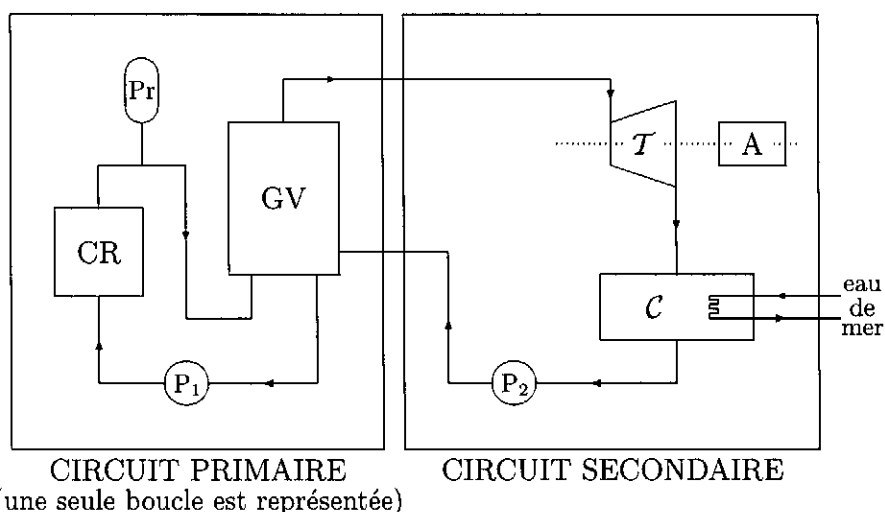
Les transferts thermiques avec les sources froide et chaude sont notés respectivement Q_1 et Q_2 . Le travail transféré est noté W .

- [60] Faire les bilans énergétique et entropique pour le fluide, en appliquant les deux principes de la thermodynamique.
- [61] Définir le rendement. L'exprimer en fonction de T_1 et T_2 . Comment s'appelle ce rendement ? Que représente-t-il physiquement ?

3. Étude thermodynamique du circuit secondaire

Principe de fonctionnement :

Soit le schéma simplifié d'un réacteur EPR 1650 MW ci-dessous.



Le circuit primaire comporte quatre éléments : le cœur situé dans la cuve réacteur (CR), le

pressuriseur (P_r), le générateur de vapeur (GV) et la pompe primaire (P_1).

Pour augmenter l'efficacité, une tranche nucléaire comporte quatre boucles parallèles comportant chacune un GV et une pompe P_1 .

La pression est maintenue constante dans le cœur grâce à un unique pressuriseur situé dans une des quatre boucles.

Les deux circuits primaire et secondaire sont fermés. Dans le cas de Flamanville 3, c'est de l'eau de mer qui joue le rôle d'eau de refroidissement du condenseur C .

* Dans le réacteur, la fission nucléaire produit une grande quantité de chaleur. L'eau ainsi chauffée circule dans le circuit primaire où elle est mise sous pression pour la maintenir à l'état liquide.

* Le circuit primaire chauffe le circuit secondaire par échange thermique. L'eau du circuit secondaire, propulsée par la pompe secondaire (P_2), se transforme en vapeur dans le générateur de vapeur. Elle fait tourner une turbine (T) couplée à un alternateur (A) qui produit de l'électricité.

* Le circuit secondaire comporte la partie secondaire du générateur de vapeur (source chaude), une turbine T , un condenseur C (source froide) et une pompe d'alimentation, P_2 (cf. schéma ci-dessus).

3.1. Diagramme de CLAPEYRON du système liquide-vapeur de l'eau

- [62] Représenter l'allure du diagramme (P, V) de l'eau où P est la pression et V le volume. Placer la courbe de saturation, le point critique, les domaines du liquide (L), de la vapeur (V) et du mélange liquide-vapeur (L+V).

3.2. Modélisation du fonctionnement du circuit secondaire : cycle de RANKINE

On raisonne sur $m = 1$ kg de fluide. La capacité thermique massique isobare du fluide liquide supposée constante est $c = 4,18$ kJ.kg⁻¹.K⁻¹.

Le coefficient de dilatation isobare α de l'eau liquide, supposé constant, est $\alpha = 1,5 \cdot 10^{-4}$ K⁻¹.

Les transformations subies par l'eau sont les suivantes :

* $A \rightarrow B$: compression adiabatique réversible, dans la pompe d'alimentation, de la pression $P_1 = 0,05$ bar à la pression $P_2 = 70$ bar, du liquide saturant sortant du condenseur à la pression P_1 (point A)

* $B \rightarrow D$: échauffement isobare à P_2 du liquide dans le générateur de vapeur jusqu'à un état de liquide saturant (point D)

* $D \rightarrow E$: vaporisation totale isobare à P_2 jusqu'à un état de vapeur saturante (point E).

* $E \rightarrow F$: détente adiabatique réversible dans la turbine de P_2 à P_1 jusqu'à un état de mélange liquide-vapeur (point F).

* $F \rightarrow A$: liquéfaction totale isobare dans le condenseur à P_1 , de la vapeur présente en F .

- [63] Représenter le cycle (cycle de RANKINE) dans le diagramme de CLAPEYRON (P, v).

Le transfert thermique peut s'écrire : $\delta q = cdT + kdP$, où k est le coefficient massique de chaleur de compression isotherme et où c est la capacité thermique massique isobare du système étudié.

- [64] \diamond Dans le cas d'une transformation réversible élémentaire, établir :

$$dh = cdT + (k + v)dP$$

où h est l'enthalpie massique du système, et établir :

$$ds = \frac{c}{T}dT + \frac{k}{T}dP$$

où s est l'entropie massique du système

◇ En exprimant que dh et ds sont des différentielles totales exactes, établir : $k = -T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P$

En déduire l'expression de k en fonction de T , v et α .

Dans toute la suite, on supposera que l'eau liquide est incompressible. On donne son volume massique : $v_\ell = 10^{-3} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$.

On note $\Delta T = T_B - T_A$ l'augmentation de température du liquide dans la pompe d'alimentation.

65 Compte tenu que $\Delta T \ll T_A$, calculer ΔT à partir de l'expression de la variation d'entropie du système de A à B . On donne $T_A = 306 \text{ K}$.

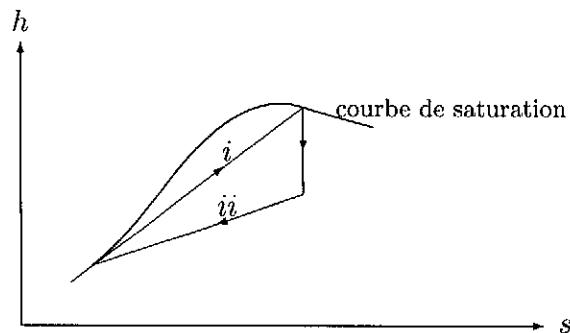
Dans la suite du problème, on néglige donc ΔT devant T_A et donc $T_B \simeq T_A$.

66 Calculer la variation d'enthalpie massique Δh_{AB} du liquide au cours de la compression AB .

Que pensez-vous de la valeur de Δh_{AB} ?

67 On effectue le bilan enthalpique pour le fluide au cours d'un cycle. On néglige Δh_{AB} . Exprimer alors le travail massique w en fonction des enthalpies massiques du fluide à l'entrée et à la sortie de la turbine (h_E et h_F).

On donne l'allure du cycle dans le diagramme de MOLLIER en coordonnées (h, s) .



68 Placer les points A , B , D , E et F .

Justifier l'allure du cycle. Justifier que la pente de (i) est supérieure à celle de (ii) .

L'intérêt de ce diagramme est que l'on peut lire directement les transferts d'énergie mis en jeu.

Indiquer où se trouvent les grandeurs massiques q_1 , q_2 et w associées aux grandeurs définies dans le paragraphe **D 2**.

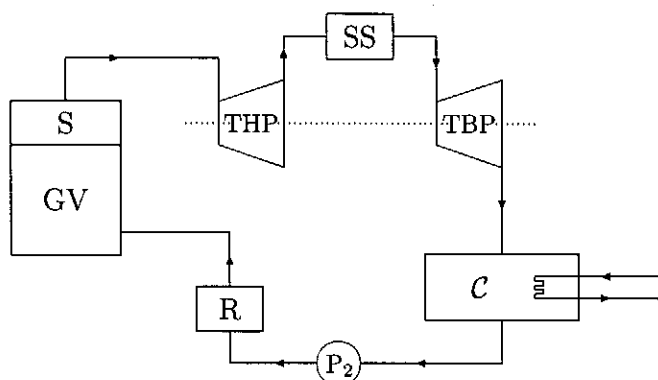
69 On donne $w = -967 \text{ kJ.kg}^{-1}$ et $q_2 = 2561 \text{ kJ.kg}^{-1}$. Calculer le rendement.

3.3. Optimisation du cycle

On part du cycle précédent (cycle de RANKINE) et on ajoute un surchauffeur (S) de sorte que le fluide sort du générateur de vapeur (GV) sous forme de vapeur surchauffée (vapeur sèche).

Il est plus efficace d'utiliser deux turbines : une à basse pression (TBP) et une à haute pression (THP). Entre les deux, on place un sécheur-surchauffeur (SS).

Le sécheur-surchauffeur sépare le liquide de la vapeur et resurchauffe la vapeur à la sortie de THP de façon isobare. Il joue donc, à l'entrée de TBP le même rôle que le surchauffeur du générateur de vapeur à l'entrée de THP. Sur la figure ci-après, R représente un réchauffeur.



Les transformations sont maintenant modélisées par :

★ $A \rightarrow B$: compression adiabatique réversible, dans la pompe d'alimentation, du liquide saturant sortant du condenseur, de la pression $P_1 = 0,05$ bar à une pression intermédiaire P_{int} (avec $P_1 < P_{\text{int}} < P_2$).

★ $B \rightarrow D$: échauffement isobare dans le réchauffeur jusqu'au liquide saturant, à la pression P_{int} .

★ $D \rightarrow D'$: compression adiabatique réversible du liquide saturant, de la pression P_{int} à la pression $P_2 = 70$ bar.

★ $D' \rightarrow E'$: échauffement isobare à P_2 du liquide dans GV, vaporisation totale isobare à P_2 dans GV, puis passage isobare dans le surchauffeur à P_2 .

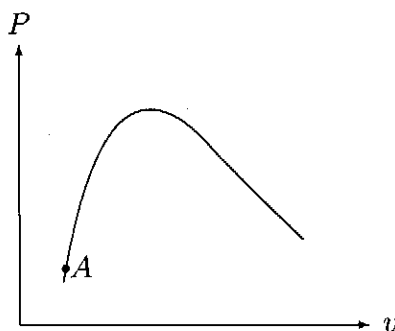
★ $E' \rightarrow F'$: détente adiabatique réversible dans THP de P_2 à P_{int} . En F' l'état du système est un mélange liquide-vapeur proche de la vapeur saturante.

★ $F' \rightarrow F''$: passage dans le sécheur-surchauffeur isobare à P_{int} . En F'' l'état est de la vapeur surchauffée (sèche), proche de la vapeur saturante.

★ $F'' \rightarrow F$: détente adiabatique réversible dans TBP de P_{int} à P_1 . En F l'état est un mélange liquide-vapeur.

★ $F \rightarrow A$: liquéfaction totale isobare dans le condenseur à P_1 , de la vapeur présente en F .

On a représenté la courbe de saturation sur le diagramme (P, v) sur lequel on a placé le point A :



70 Représenter le cycle décrit ci-dessus sur le diagramme (P, v) et placer les points B, D, D', E', F', F'' et F .

71 Une conséquence de l'ajout d'un surchauffeur est d'obtenir de la vapeur surchauffée au lieu de la vapeur saturante qu'on trouvait dans le cycle non optimisé du paragraphe D 3.2. L'aire du cycle est donc augmentée. Quel en est l'intérêt ?

Données :

$$\star h_{D'} = 510 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$\star h_{E'} = 2716 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$\star h_{F'} = 2186 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$\star h_{F''} = 2279 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$\star h_F = 1756 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

72 Exprimer littéralement en fonction des enthalpies massiques aux points D' , E' , F' , F'' et F le rendement du circuit secondaire et le calculer. Conclure.

Annexe A : Extraits du programme de la classe de seconde

- L'air qui nous entoure (3 TP, 6 heures en classe entière)

Objectifs

Pour illustrer l'existence de plusieurs niveaux d'appréhension du monde naturel, le macroscopique et le microscopique, on étudie le comportement d'un fluide gazeux : l'air qui nous entoure.

On y apprend comment on peut modéliser le comportement de cette matière gazeuse dont la nature microscopique n'est pas aisément perceptible ; on met d'abord en évidence l'agitation moléculaire puis, comme il est impossible de connaître le mouvement précis des molécules, on introduit les grandeurs macroscopiques qui vont permettre de rendre compte de l'état d'un gaz. Les instruments de mesures qui permettent d'évaluer ces grandeurs sont introduits au cours des activités expérimentales.

La description de phénomènes physiques liés à l'état thermique d'un corps, dans l'intention de montrer le principe du repérage d'une température, permet d'introduire sans dogmatisme la notion de température absolue : c'est l'état thermique d'une quantité donnée de gaz à faible pression qui permet de définir l'échelle Kelvin.

L'équation d'état du modèle du gaz parfait vient finaliser cette partie.

EXEMPLES D'ACTIVITES	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Comment expliquer que deux gaz finissent toujours par se mélanger ?</p> <p>Observation du mouvement brownien.</p> <p>De quels paramètres la pression d'un gaz dépend-elle ?</p> <p>Mise en œuvre de situations expérimentales simples permettant l'identification et la mesure des grandeurs macroscopiques décrivant l'état d'un gaz : mise en évidence de l'influence des paramètres V, n, T sur la pression d'un gaz*.</p> <p>Quels phénomènes peuvent fournir des renseignements objectifs sur l'état thermique d'un corps ?</p> <p>Mise en œuvre de situations expérimentales permettant de montrer des phénomènes physiques dépendant de l'état thermique d'un corps.</p>	<p>1. Du macroscopique au microscopique</p> <p>1.1 Description d'un gaz à l'échelle microscopique.</p> <p>1.2 Nécessité de décrire l'état gazeux par des grandeurs physiques macroscopiques</p> <p>1.2.1 Notion de pression</p> <ul style="list-style-type: none"> - force pressante exercée sur une surface, perpendiculairement à cette surface . - définition de la pression exercée sur une paroi par la relation $P=F/S$. - instrument de mesure de la pression : le manomètre. - unités de pression. - mise en évidence et origine de la pression dans un gaz : interprétation microscopique. <p>1.2.2. Notion d'état thermique</p> <p>De nombreux phénomènes physiques peuvent renseigner sur l'état thermique d'un corps comme : la dilatation des liquides, la dilatation des gaz, la variation de la résistance électrique, l'émission de rayonnement (cf. Messages de la lumière) . . .</p> <p>La mesure d'une température implique l'équilibre thermique de deux corps en contact.</p>	<p>Savoir que la matière est constituée de molécules en mouvement.</p> <p>Savoir que l'état d'un gaz peut être décrit par des grandeurs macroscopiques comme :</p> <ul style="list-style-type: none"> * sa température * son volume * la quantité de matière du gaz * sa pression <p>Utiliser la relation $P=F/S$.</p> <p>Connaître l'unité légale de pression.</p> <p>Savoir interpréter la force pressante sur une paroi par un modèle microscopique de la matière.</p> <p>Donner quelques exemples de propriétés physiques qui dépendent de l'état thermique d'un corps.</p> <p>Savoir mesurer une pression et une température :</p> <ul style="list-style-type: none"> - utiliser un manomètre adapté à la mesure* - utiliser un thermomètre adapté à la mesure* - garder un nombre de chiffres significatifs en adéquation avec la précision de la mesure - exprimer le résultat avec une unité correcte
<p>Utilisation de logiciels de simulation montrant l'agitation moléculaire*.</p> <p>Etude quantitative du comportement d'une quantité donnée de gaz à température constante* : loi de Mariotte.</p>	<p>2. Lien entre agitation thermique et température : équation d'état des gaz parfaits</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'agitation des molécules constituant un gaz à faible pression caractérise son état thermique et peut être utilisée pour définir sa température. - tous les gaz permettent de définir la même échelle de température, dite échelle Kelvin. - l'absence d'agitation thermique correspond au zéro absolu. - unité de température absolue : le Kelvin. - la température θ en degré Celsius est déduite de la température absolue T 	<p>Savoir que, à une pression donnée et dans un état thermique donné, un nombre donné de molécules occupe un volume indépendant de la nature du gaz.</p> <p>Savoir que l'équation d'état $PV=nRT$ définit le modèle de comportement du gaz "parfait".</p> <p>Savoir utiliser la relation :</p> $\theta (^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$ <p>et</p> $T(\text{K}) = \theta (^{\circ}\text{C}) + 273,15$ <p>Savoir que dans les conditions habituelles de température et de pression l'air de la salle de classe peut être assimilé à un gaz parfait.</p> <p>Savoir utiliser la relation</p> $PV = nRT$
<p>Comment interpréter les observations suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pourquoi un ballon de foot devient-il plus dur quand on le gonfle ? - pourquoi la soupape d'une cocotte-minute se met-elle à tousser ? - que se passe-t-il dans l'expérience du jet d'eau ? ... 		

* Les activités pouvant mettre en jeu les technologies de l'information et de la communication sont repérées par un astérisque.

Commentaires :

Les logiciels de simulation sont d'une aide précieuse pour permettre aux élèves de se construire une représentation du modèle microscopique. On peut signaler que la vitesse moyenne d'une molécule de dioxygène ou de diazote de la salle de classe est d'environ 500 m/s. Si l'enseignant souhaite faire observer le mouvement brownien (dans un gaz ou dans un liquide), l'idée que cette vitesse moyenne diminue lorsque la masse augmente peut être évoquée. En effet, les particules de poussières qui sont "géantes" et très lourdes comparées aux molécules de l'air se déplacent beaucoup moins vite. C'est ce qui permet l'observation du mouvement brownien dans le champ d'un microscope.

Dans un souci de familiarisation avec le matériel, on confronte tout d'abord l'élève à des situations expérimentales où sont mises en œuvre des mesures de volume, de température et de pression.

Le professeur choisit des situations où l'identification et, éventuellement, la mesure des grandeurs qui évoluent au cours de l'expérience peuvent se faire sans équivoque ; il s'agit de sensibiliser les élèves à l'interdépendance des quatre variables d'état.

On doit signaler que le calcul de la quantité de matière contenue dans un mélange gazeux (tel que l'air) n'est possible que si on en connaît l'exakte composition.

La description expérimentale de phénomènes physiques dépendant de l'état thermique d'un corps doit rester simple et ne déboucher sur aucun formalisme. On explique à cette occasion pourquoi les sensations thermiques humaines ne sont pas fiables pour mesurer une température.

Il est important de faire comprendre aux élèves que l'échelle de température absolue est actuellement l'échelle de référence dont sont déduites d'autres échelles d'utilisation courante souvent bien plus commodes.

On signale, à l'attention du professeur, que depuis 1968, l'échelle Celsius est définie internationalement à partir de l'échelle de température absolue (ou thermodynamique) par la relation $\theta(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$; le degré Celsius est donc égal au Kelvin et les deux échelles ne diffèrent l'une de l'autre que par une simple translation. Il découle de sa "nouvelle" définition que l'échelle Celsius n'est pas a priori une échelle centésimale et, du reste, elle ne l'est pas exactement (à l'échelle d'une précision du centième de degré).

La dernière partie, dont le contenu se résume à l'équation d'état des gaz parfaits, est entièrement enseignée à travers des activités expérimentales comme :

- des expériences quantitatives dont l'enjeu est de comparer le comportement d'un gaz du laboratoire avec le modèle du gaz dit "parfait" ;
- des "situations-problème" empruntées à la vie courante ou montrant des expériences de laboratoire, dont l'enjeu est l'exercice de la démarche scientifique. Les élèves doivent utiliser les outils de résolution comme le modèle du gaz parfait et l'origine de la force pressante pour parvenir à interpréter les situations observées.

Annexe B : Extraits du programme de la classe de première de la série scientifique

- Forces, travail et énergie (durée indicative 18 heures, 6 TP)

- FORCES ET MOUVEMENTS

Objectifs

L'idée est de reprendre et d'approfondir les notions vues en seconde en montrant comment une action s'exerçant sur un solide est capable de modifier son mouvement.

L'un des objectifs est de préciser la conception newtonienne du mouvement selon laquelle la force est liée au changement de la vitesse et non à la vitesse. Ce travail a déjà été entrepris en classe de seconde avec une première approche du principe de l'inertie et de la force de gravitation. Il s'agit maintenant de donner davantage de consistance au point de vue newtonien en étendant le champ de l'étude à celle de solides soumis à plusieurs actions simultanées, le cas du solide en translation étant privilégié. Le mouvement du centre d'inertie d'un solide est le principal objet de l'étude, mais pour autant il ne s'agit pas de présenter la mécanique du "point matériel" mais d'aborder celle de systèmes réels par celle du système matériel le plus simple, le solide.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENU	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Observation du mouvement du centre d'inertie. Observation des mouvements des autres points (vidéos, chronophotographies...)*. Réalisation et exploitation d'enregistrements; table à coussin d'air, table à digitaliser, vidéos, capteurs chrono-cinés*... Détermination de vecteurs vitesses à partir d'enregistrements. Étude du mouvement du centre d'inertie d'un solide dans diverses situations (projectiles, satellites). Recherche de forces sur des exemples variés (expériences, vidéos, logiciels...)*.</p> <p>Utilisation du principe d'inertie pour analyser les forces qui agissent sur un solide, en mouvement ou non.</p> <p>Mettre en relation la variation du vecteur vitesse V_G d'un mobile avec la somme des forces appliquées dans des situations simples et variées. Expliquer pourquoi il y a des ceintures de sécurité dans les voitures. Analyser comment le principe d'inertie s'applique à un véhicule qui monte une côte rectiligne à vitesse constante. Expliquer le rôle des roues motrices et du sol dans le mouvement d'une voiture.</p>	<p>1 - Mouvement d'un solide indéformable</p> <p>1.1 Vecteur vitesse d'un point du solide 1.2 Centre d'inertie d'un solide 1.3 Mouvement de translation d'un solide 1.4 Mouvement de rotation d'un solide autour d'un axe fixe; vitesse angulaire</p> <p>2 - Forces macroscopiques s'exerçant sur un solide Actions exercées sur un solide; exemples d'effets produits (maintien en équilibre, mise en mouvement de translation, mise en mouvement de rotation, déformations).</p> <p>3 - Une approche des lois de Newton appliquées au centre d'inertie 1ère loi : Principe d'inertie Ce principe n'est vrai que dans certains référentiels. Ces référentiels sont dit galiléens. 2ème loi : Aspect semi-quantitatif comparaison de la somme des forces et de la variation du vecteur vitesse du centre d'inertie dans un référentiel galiléen. 3ème loi : Principe des actions réciproques</p>	<p>Sur un enregistrement réalisé ou donné, déterminer et représenter le vecteur vitesse V d'un point mobile Savoir que le vecteur vitesse V est le même pour tous les points d'un solide en translation. Savoir que chaque point d'un solide en rotation autour d'un axe fixe a une trajectoire circulaire. Pour un solide en rotation autour d'un axe fixe, relier la vitesse d'un point à la vitesse angulaire.</p> <p>Identifier et représenter les actions qui s'exercent sur un solide. Prévoir dans des cas simples la possibilité de mise en rotation d'un solide autour d'un axe fixe.</p> <p>Connaître et appliquer les lois de Newton: - Dans un référentiel galiléen, si le vecteur vitesse V_G du centre d'inertie ne varie pas, la somme $F = \sum f$ des forces qui s'exercent sur le solide est nulle et réciproquement. - Dans un référentiel galiléen, si le vecteur vitesse V_G du centre d'inertie varie, la somme $F = \sum f$ des forces qui s'exercent sur le solide n'est pas nulle. Sa direction et son sens sont ceux de la variation de V_G entre deux instants proches. - A et B étant deux corps, soient F_{BA} la force exercée par B sur A et F_{AB} la force exercée par A sur B. Quel que soit l'état de mouvement de A par rapport à B on a toujours l'égalité vectorielle : $F_{AB} = -F_{BA}$</p> <p>Analyser un exemple où une force de frottement sert à la propulsion.</p>

* Activités pouvant donner lieu à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication

Commentaires

Vitesse d'un point d'un solide.

La valeur de la vitesse moyenne est introduite comme le quotient de la distance parcourue par la durée. La mesure approchée de la valeur de la vitesse d'un point est obtenue par le calcul de la valeur de la vitesse moyenne entre deux instants voisins.

Mouvement d'un solide

Connaître le mouvement d'un solide, c'est connaître le mouvement de chacun de ses points.

L'étude, dans le référentiel terrestre, du mouvement d'un solide soumis à la seule action de la de la Terre montre qu'il existe un point G dont le mouvement est plus simple que les autres: le centre d'inertie. Cette étude est conduite en référence à un ou deux exemples concrets et simples de situations de dynamique. On pourra, à cette fin, utiliser des enregistrements vidéo ou chronophotographiques de mouvements judicieusement choisis.

Forces macroscopiques s'exerçant sur un solide

La description microscopique des actions subies par un corps nécessite en général la connaissance de tout un ensemble de forces réparties en volume ou à la surface de contact avec les autres corps; pour l'étude du mouvement du centre d'inertie des corps, la connaissance de la résultante de chacune de ces diverses actions est suffisante, d'où la modélisation, à ce niveau, de chacune de ces actions en terme d'une force unique, par exemple: "résultante des forces de pesanteur" ou "résultante des forces de contact entre solides". Pour pouvoir mettre un solide en rotation autour d'un axe fixe, la droite support d'une force ne doit pas passer par l'axe ni être parallèle à cet axe. Les déformations élastiques sont à citer car elles conduisent en particulier, après étalonnage, à des appareils de mesure de forces (dynamomètres).

Il est signalé aux élèves que les forces macroscopiques qui s'exercent sur un solide (exception faite de celles de pesanteur) ont pour origine l'interaction électromagnétique; on fait ainsi le lien entre le domaine de la mécanique et celui des interactions fondamentales étudié dans la partie précédente.

Une approche des lois de Newton

On se limite à un niveau de formulation semi-quantitatif des lois de Newton qu'on énoncera comme principes fondamentaux dans un référentiel galiléen. Valables pour tout corps même déformable, on se contentera ici de les appliquer à des solides.

La première loi permet de retrouver le principe d'inertie. Pour son application, le référentiel terrestre et le référentiel géocentrique seront considérés comme galiléens.

L'approche quantitative de la deuxième loi s'appuie sur le constat d'une variation ΔV_G de la vitesse du centre d'inertie calculée entre deux instants proches. La relation $F=ma$ sera vue en classe terminale; seuls la direction et le sens des vecteurs F et ΔV_G seront comparés en classe de première (cas où la somme des forces est nulle, cas d'un mouvement rectiligne varié, cas d'un mouvement curviligne varié, cas d'un mouvement circulaire uniforme).

Pour la troisième loi, on dit que deux corps A et B sont en interaction si l'état de mouvement ou de repos de l'un (A) dépend de l'existence de l'autre (B). Une interaction entre deux corps A et B suppose toujours deux actions réciproques: celle de A sur B et celle de B sur A. Une expression plus complète de la troisième loi doit prendre en compte les moments des forces; cela ne sera pas abordé ici. De plus on évitera l'emploi de l'expression "loi de l'action et de la réaction" qui peut induire l'idée fautive d'une "réaction" causée par une "action" et lui faisant suite temporellement.

Il est intéressant de faire remarquer aux élèves que la résultante des forces de frottements s'exerçant sur un mobile peut être dirigée dans le sens opposé à la vitesse du mobile (freinage) mais aussi dans le même sens (propulsion).

On se limite dans ce programme au mouvement du centre d'inertie; dans l'application des deux premières lois à ce point, pour effectuer la somme des forces, les vecteurs qui les décrivent seront représentés graphiquement à partir d'une origine commune; ce point peut être le centre d'inertie ou de préférence un point en dehors de la figure représentant le dispositif étudié.

- TRAVAIL MÉCANIQUE ET ÉNERGIE

Objectifs

Le but est d'introduire une grandeur fondamentale, l'énergie, dont la conservation constitue une des lois les plus générales de la physique et constitue le guide sous-jacent à la progression.

Différentes formes d'énergie sont introduites à partir de la notion du travail d'une force, tout en montrant que selon les situations, ces différentes formes sont susceptibles de se transformer les unes dans les autres. L'objectif est ainsi de progresser vers l'idée de conservation.

Enfin pour illustrer le fait que le travail n'est pas le seul mode de transfert d'énergie, on termine cette introduction par quelques considérations simples sur le transfert thermique, en évitant la confusion entre chaleur et température.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
Approche qualitative de la mise en contact de deux corps à des températures différentes: évolution vers l'équilibre thermique. Analyse qualitative des transferts d'énergie se faisant sur un système déterminé.	3 - Le transfert thermique Un travail reçu peut produire une élévation de température d'un corps. Une élévation identique de température peut être obtenue par transfert d'énergie sous une autre forme: le transfert thermique; aspect microscopique. Autre mode de transfert énergétique: le rayonnement.	Savoir qu'à l'échelle macroscopique, un transfert thermique se fait spontanément du système dont la température est la plus élevée vers celui dont la température est la plus basse. Prévoir sur des exemples simples le sens d'un transfert thermique. Savoir que le rayonnement est un mode de transfert de l'énergie.

Commentaires

Un autre mode de transfert d'énergie: le transfert thermique

En apportant de l'énergie par travail mécanique ou électrique (plus tard pour ce dernier point) on peut échauffer un corps, d'où l'idée qu'en général à une élévation de température correspond une énergie stockée plus importante.

On s'appuie ensuite sur l'étude de situations simples dans lesquelles un système voit son énergie évoluer (par exemple un corps chaud qu'on laisse refroidir au contact de l'air atmosphérique ou un corps froid placé au contact d'une source chaude). On définit alors un deuxième mode de transfert d'énergie: le transfert thermique (cette expression sera utilisée de préférence au terme de chaleur pour éviter la confusion trop fréquente entre chaleur et température).

On indique qu'à l'échelle macroscopique, ce transfert d'énergie s'effectue spontanément du système dont la température est la plus élevée vers celui dont la température est la plus basse. On se limite dans cette première approche au transfert thermique par conduction. Cette notion de transfert thermique sera réinvestie dans l'enseignement de SVT.

Il a été vu en classe de seconde que la température est la variable macroscopique rendant compte de l'agitation des molécules d'un gaz. Le transfert thermique est un mode de transfert désordonné qui s'interprète à l'échelle microscopique par des transferts d'énergie lors d'interactions concernant des particules situées à l'interface entre le système et son environnement.

Le transfert d'énergie par rayonnement ne fait ici l'objet que d'une approche simple et qualitative à partir d'exemples courants (soleil, lampe...)

Annexe C : Extraits du programme de la classe de terminale de la série scientifique

- Transformations nucléaires (2 TP - 7HCE)

Objectifs

L'objectif de cette partie est triple :

- aborder quelques notions concernant la structure des noyaux atomiques à partir de l'observation expérimentale de leur instabilité (radioactivité).
- connaître quelques ordres de grandeurs concernant la radioactivité naturelle (corps humain, roches), et comprendre qu'elle peut être utilisée pour la datation à des échelles de temps géologiques ou historiques.
- comprendre que la conversion masse-énergie peut être à l'origine de la production d'énergie utilisable (soleil, centrales nucléaires, géothermie)

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Exploitation du diagramme (N,Z) afin de prévoir les domaines des noyaux émetteurs α, β^-, et β^+.</p> <p>Découverte de la radioactivité par Becquerel (textes)*.</p> <p>Film et document illustrant une décroissance radioactive.</p> <p>La radioactivité dans notre environnement (corps humain, roches, habitations, etc.)*</p> <p>Exemples de datations*.</p> <p><i>Utilisation d'un compteur de radioactivité :</i> - caractère aléatoire de la désintégration ; - analyse statistique des comptages* - tracé de courbes d'évolution - mesure de la radioactivité naturelle</p>	<p>1 - Décroissance radioactive</p> <p>1.1 Stabilité et instabilité des noyaux. Composition isotopique ; notation ${}^A_Z X$. Diagramme (N,Z)</p> <p>1.2 La radioactivité. La radioactivité α, β^-, β^+, émission γ. Lois de conservation de la charge électrique et du nombre de nucléons</p> <p>1.3 Loi de décroissance. Évolution de la population moyenne d'un ensemble de noyaux radioactifs. $\Delta N = -\lambda N \Delta t$; $N = N_0 e^{-\lambda t}$. Importance de l'activité ($\Delta N / \Delta t$); le becquerel. Constante de temps $\tau = 1/\lambda$. Demi-vie $t_{1/2} = \tau \ln 2$. Application à la datation.</p>	<p>Connaître la signification du symbole ${}^A_Z X$ et donner la composition du noyau correspondant.</p> <p>Définir l'isotopie et reconnaître des isotopes. Reconnaître les domaines de stabilité et d'instabilité des noyaux sur un diagramme (N,Z).</p> <p>Définir un noyau radioactif.</p> <p>Connaître et utiliser les lois de conservation. Définir la radioactivité α, β^-, β^+, l'émission γ et écrire l'équation d'une réaction nucléaire pour une émission α, β^- ou β^+ en appliquant les lois de conservation.</p> <p>À partir de l'équation d'une réaction nucléaire, reconnaître le type de radioactivité. Connaître l'expression de la loi de décroissance et exploiter la courbe de décroissance. Savoir que 1 Bq est égal à une désintégration par seconde.</p> <p>Expliquer la signification et l'importance de l'activité dans le cadre des effets biologiques. Connaître la définition de la constante de temps et du temps de demi-vie.</p> <p>Utiliser les relations entre τ, λ et $t_{1/2}$.</p> <p>Déterminer l'unité de λ ou de τ par analyse dimensionnelle.</p> <p>Expliquer le principe de la datation, le choix du radioélément et dater un événement.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux <i>Réaliser une série de comptages relatifs à une désintégration radioactive.</i> <i>À partir d'une série de mesures, utiliser un tableau ou une calculatrice pour calculer la moyenne, la variance et l'écart-type d'un nombre de désintégrations enregistrées pendant un intervalle de temps donné.</i></p>
<p>Découvertes de la fission et de la fusion.</p> <p>La fission et le réacteur naturel du Gabon.</p> <p>La fusion et les étoiles*.</p> <p>Quelques utilisations des réactions nucléaires*.</p> <p>La fission industrielle et la gestion des déchets*.</p>	<p>2 - Noyaux, masse, énergie</p> <p>2.1 Équivalence masse-énergie. Défaut de masse ; énergie de liaison $\Delta E = \Delta m c^2$; unités : eV, keV, MeV. Énergie de liaison par nucléon. Équivalence masse-énergie. Courbe d'Aston - $E_p/A = f(A)$</p> <p>2.2 Fission et fusion. Exploitation de la courbe d'Aston; domaines de la fission et de la fusion.</p> <p>2.3 Bilan de masse et d'énergie d'une réaction nucléaire. Exemples pour la radioactivité, pour la fission et la fusion. Existence de conditions à réaliser pour obtenir l'amorçage de réactions de fission et de fusion.</p>	<p>Définir et calculer un défaut de masse et une énergie de liaison.</p> <p>Définir et calculer l'énergie de liaison par nucléon.</p> <p>Savoir convertir des J en eV et réciproquement.</p> <p>Connaître la relation d'équivalence masse-énergie et calculer une énergie de masse.</p> <p>Commenter la courbe d'Aston pour dégager l'intérêt énergétique des fissions et des fusions.</p> <p>Définir la fission et la fusion et écrire les équations des réactions nucléaires en appliquant les lois de conservation.</p> <p>À partir de l'équation d'une réaction nucléaire, reconnaître le type de réaction.</p> <p>Faire le bilan énergétique d'une réaction nucléaire en comparant les énergies de masse.</p>

*Activités pouvant donner lieu à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication.

Commentaires

Le thème de la radioactivité est l'occasion d'opérer une convergence thématique avec les mathématiques (exponentielle, probabilité, statistiques et équation différentielle) et les sciences de la vie et de la Terre (datation). Une concertation entre les professeurs des trois disciplines scientifiques est encouragée.

Le caractère aléatoire de la désintégration radioactive peut être observé en cours de physique avec une source de césium-137 (CRAB), ou en mesurant la radioactivité naturelle (radon). Il s'agit là d'observations sur une population macroscopique de noyaux. Les hypothèses de base concernant la désintégration d'un noyau individuel ("la désintégration d'un noyau n'affecte pas celle d'un noyau voisin", "un noyau meurt sans vieillir") permettent d'établir la loi de décroissance d'une population de noyaux. Ce modèle est traité dans le cours de mathématiques. L'élève sera amené à remarquer que l'association d'un processus aléatoire à l'échelle microscopique et d'une évolution macroscopique déterministe s'observe également lors de l'évolution d'un système chimique.

L'observation d'une décroissance radioactive permet d'établir empiriquement sa loi d'évolution. Connaissant un ensemble de valeurs de $\Delta N / \Delta t$, on peut remonter à la dépendance temporelle de $N(t)$, en utilisant la notion d'intégrale vue en mathématiques comme "aire sous la courbe", vérifiant qu'elle est bien exponentielle et en déduire une constante de temps. Il faut cependant remarquer que l'expérience ne donne pas accès au nombre total de noyaux radioactifs à un instant donné, car le détecteur a d'une part une fenêtre d'entrée limitée, et d'autre part une efficacité inférieure à 100 %. Pour des conditions de mesure fixes, on fait l'hypothèse statistique selon laquelle le nombre de désintégrations mesuré est proportionnel au nombre total de désintégrations. Dans ces conditions, la constante de temps extraite est bien celle que l'on cherche.

Les effets biologiques des rayonnements ne sont pas seulement liés à l'activité, mais également à l'énergie qu'ils déposent dans le corps. Cependant aucun développement concernant l'absorption des rayonnements n'est au programme, ni les grandeurs et les unités correspondantes. Il est important, compte tenu de la difficulté d'appréhension du phénomène, de donner quelques ordres de grandeur de la radioactivité naturelle. Celle du corps humain (environ 10 000 Bq, dus essentiellement au ^{14}C et au ^{40}K), et celle des roches, qui libèrent principalement du radon, dont le taux de désintégration mesuré en France est de quelques dizaines à quelques centaines de becquerels par mètre cube.

Concernant l'application à la datation, une concertation avec le professeur de sciences de la vie et de la Terre est encouragée. La datation par la méthode du carbone-14 est simple, car elle repose sur l'hypothèse selon laquelle le rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ dans l'atmosphère est en première approximation indépendant du temps. La radio-chronologie utilisant des noyaux à longue durée de vie (par exemple rubidium-strontium pour déterminer l'âge de la Terre), qui nécessite l'élaboration d'une méthode permettant de s'affranchir de la connaissance de la composition isotopique initiale de la roche, est envisageable plutôt dans le cours de sciences de la Terre.

On réalisera les datations par méthode graphique et par le calcul. Les deux méthodes seront exigibles en fin d'année.

Le neutrino et l'antineutrino ne seront pas exigibles dans l'écriture des réactions nucléaires.

Si un noyau fils est produit dans un état excité, on écrira sa déséxcitation dans une deuxième équation.

Les bilans de masse seront effectués en utilisant les masses des noyaux et non celles des atomes.

Dans le bilan énergétique on n'effectuera pas de calcul de l'énergie cinétique de chacun des noyaux produits.

L'introduction de l'électron-volt sera faite par un argument dimensionnel. On fera remarquer à l'élève que cette unité est bien adaptée à l'atome, et que le MeV est bien adapté à l'échelle du noyau. Ce sera l'occasion d'un retour sur le chapitre L'énergie au quotidien du programme de chimie de la classe de première S.

Dans le cas de la fission et de la fusion on signalera, au moment de faire le bilan énergétique, que ces réactions, si elles libèrent de l'énergie, nécessitent d'être amorcées. Aucun développement technologique ne sera traité.

Précisions terminologiques

On rappelle que la notation ${}^Z\text{X}$ caractérise le noyau (et non l'atome). Les équations seront écrites au niveau des noyaux. Le terme nucléide n'est pas exigible.

Le becquerel est la seule unité utilisée pour caractériser la radioactivité d'un élément.

Pour éviter toute confusion avec la période des phénomènes périodiques, le terme période radioactive est évité au profit de l'expression demi-vie. L'énergie de liaison est définie comme l'énergie qu'il faut fournir à un noyau au repos pour le dissocier en nucléons isolés et immobiles.

L'unité de masse atomique, de symbole u , est utilisable mais non exigée.

- Évolution temporelle des systèmes mécaniques (5 TP - 22 HCE)

Objectifs

Cette partie constitue l'aboutissement de l'enseignement de mécanique commencé en classe de seconde. L'appropriation des lois de Newton, à travers les différents exemples de mouvements étudiés, permet aux élèves de pratiquer les différents aspects de la démarche scientifique :

- modéliser un système et utiliser les lois de la dynamique pour prévoir son comportement, en utilisant une résolution analytique et/ou une méthode numérique itérative ;

- réaliser des mesures quantitatives et les confronter aux prédictions d'une théorie, dans le but éventuel d'améliorer la modélisation.

La variété des systèmes étudiés doit illustrer la généralité de la théorie.

Dans chaque cas considéré, ce qui est appelé "résolution analytique" dans la colonne des compétences exigibles comprend : l'établissement de l'équation différentielle, la vérification qu'une solution analytique proposée la satisfait, et la détermination des constantes à partir des paramètres du circuit et des conditions initiales.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Exemples de systèmes oscillants dans la vie courante : suspension de voiture, oscillation des immeubles de grande hauteur sous l'action du vent, vibration du sol au passage d'un TGV. Textes historiques de Galilée*.</p> <p><i>Expériences de cours mettant en évidence les notions à introduire.</i></p>	<p>3. Systèmes oscillants</p> <p>3.1 Présentation de divers systèmes oscillants mécaniques</p> <p>Pendule pesant, pendule simple et système solide-ressort en oscillation libre : position d'équilibre, écart à l'équilibre, abscisse angulaire, amplitude, amortissement (régime pseudo-périodique, régime aperiodique), pseudo-période et isochronisme des petites oscillations, période propre.</p> <p>Expression de la période propre d'un pendule simple : justification de la forme de l'expression par analyse dimensionnelle.</p>	<p>Définir un pendule simple.</p> <p>Justifier la position d'équilibre dans le cas d'un pendule simple.</p> <p>Définir l'écart à l'équilibre, l'abscisse angulaire, l'amplitude, la pseudo-période, la période propre et les mesurer sur un enregistrement. Énoncer la loi d'isochronisme des petites oscillations.</p> <p>Savoir comment un système peut atteindre un régime aperiodique.</p> <p>Savoir que dans le cas d'un amortissement faible, la pseudo-période est voisine de la période propre.</p> <p>Pour un pendule simple, justifier la forme de l'expression de la période propre par analyse dimensionnelle.</p> <p>À partir d'une série de résultats expérimentaux, vérifier la validité de l'expression de la période propre d'un pendule simple.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux</p> <p><i>Décrire un protocole expérimental permettant :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - d'enregistrer le mouvement d'un système oscillant plus ou moins amorti - de vérifier la loi d'isochronisme des petites oscillations - de vérifier l'expression de la période propre dans le cas du pendule simple.
<p><i>Étude de la force de rappel exercée par un ressort en statique.</i></p>	<p>3.2 Le dispositif solide-ressort</p> <p>Force de rappel exercée par un ressort.</p> <p>Étude dynamique du système "solide" : choix du référentiel, bilan des forces, application de la 2^{ème} loi de Newton, équation différentielle, solution analytique dans le cas d'un frottement nul. Période propre.</p>	<p>Connaître les caractéristiques de la force de rappel exercée par un ressort.</p> <p>Appliquer la deuxième loi de Newton au solide et effectuer la résolution analytique dans le cas d'un dispositif oscillant horizontalement.</p> <p>Connaître la signification de tous les termes intervenant dans la solution de l'équation différentielle et leur unité.</p> <p>Connaître et savoir exploiter l'expression de la période propre, vérifier son homogénéité par analyse dimensionnelle.</p>

<p><i>À l'aide d'un dispositif expérimental (par exemple un mobile sur coussin d'air relié à un ou deux ressorts ou un solide fixé à un ressort vertical) :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - enregistrer $x = f(t)$ - déterminer l'amplitude et la pseudopériode - déterminer l'influence de l'amortissement sur l'amplitude et sur la pseudopériode - déterminer l'influence des paramètres m et/ou k. 	<p>3.3 Le phénomène de résonance</p> <p>Présentation expérimentale du phénomène : excitateur, résonateur, amplitude et période des oscillations, influence de l'amortissement. Exemples de résonances mécaniques.</p>	<p>Savoir-faire expérimentaux</p> <p><i>Enregistrer un mouvement oscillant amorti. Savoir mesurer une amplitude, une pseudo-période. Savoir faire varier l'amortissement. Savoir montrer l'influence des paramètres masse et rigidité sur la période propre.</i></p> <p>Savoir que la résonance mécanique se produit lorsque la période de l'excitateur est voisine de la période propre du résonateur. Savoir que l'augmentation de l'amortissement provoque une diminution de l'amplitude. Connaître des exemples de résonance mécanique.</p>
--	---	---

Commentaires

3- La présentation de divers systèmes oscillants est uniquement descriptive. Dans cette partie aucune équation n'est écrite et l'expression littérale de la période propre n'est pas donnée.

Le pendule pesant est utilisé expérimentalement en repérant, au cours de son mouvement, les positions respectives du centre d'inertie et de l'axe de rotation. Aucune définition n'est à donner et le moment d'inertie est hors programme. Le pendule simple est présenté comme un modèle idéalisé du pendule pesant.

L'amortissement est constaté expérimentalement mais aucun développement sur l'expression des forces de frottement n'est effectué.

La pseudo-période sera définie expérimentalement à partir d'enregistrements du mouvement de pendules pour diverses amplitudes initiales. Pour de petites amplitudes on vérifiera la loi d'isochronisme des petites oscillations.

Le système solide-ressort peut être étudié verticalement ou horizontalement (éventuellement avec 2 ressorts).

Pour le pendule simple, à partir de l'inventaire des paramètres pouvant influencer sa période propre, on accèdera à l'expression de celle-ci par analyse dimensionnelle ; la constante 2π sera donnée.

On montrera expérimentalement que dans le cas d'un amortissement faible, la pseudo-période des oscillations d'un pendule simple est sensiblement égale à sa période propre.

La force exercée par un ressort sur un objet fixé à une de ses extrémités, l'autre étant fixe, est appelée force de rappel ($-kx$; x désignant l'allongement algébrique et i un vecteur unitaire parallèle à l'axe du ressort). On réservera le mot "tension" pour la force opposée, c'est à dire la force exercée par un objet ou un opérateur sur un ressort ($+kx$).

L'équation différentielle ne sera établie que dans le cas d'un ressort à réponse linéaire et horizontal.

Dans le bilan des forces et dans l'écriture de l'équation différentielle on tiendra compte d'une force de frottement f dont on ne précisera pas l'expression.

La solution de l'équation différentielle sera donnée sous la forme $x = x_0 \cos(2\pi t/T_0 + \phi_0)$; ϕ_0 est la phase à l'origine des dates. La pulsation propre ne sera pas introduite.

La résonance mécanique sera introduite expérimentalement sur des dispositifs qui permettent de différencier nettement excitateur et résonateur, ce qui n'est pas le cas dans l'expérience des pendules couplés.

Aucune courbe de résonance ne sera tracée expérimentalement.

Compétences scientifiques générales exigibles en fin de classe terminale S

Compétences expérimentales

- Formuler une hypothèse sur un événement susceptible de se produire ou sur un paramètre pouvant influencer un phénomène
- Proposer une expérience susceptible de valider ou d'invalider une hypothèse ou répondant à un objectif précis
- Choisir et justifier l'utilisation du matériel de laboratoire
- Décrire une expérience, un phénomène
- Analyser les résultats expérimentaux et les confronter aux prévisions d'un modèle

Compétences manipulatoires

- Reconnaître et nommer le matériel de laboratoire
- Suivre un protocole et utiliser le matériel prescrit
- Respecter les règles de sécurité élémentaires pour l'utilisation du matériel et des produits
- Faire le schéma d'un montage expérimental
- Réaliser un montage à partir d'un schéma ou d'un protocole

Compétences scientifiques

- Identifier les paramètres jouant un rôle dans un phénomène physique ou chimique
- Associer un modèle à un phénomène
- Elaborer une argumentation, une démarche scientifique
- Discuter la pertinence, la cohérence et la logique d'une argumentation scientifique
- Utiliser des unités adaptées
- Utiliser l'analyse dimensionnelle
- Evaluer l'ordre de grandeur d'un résultat
- S'interroger sur la vraisemblance d'un résultat
- Utiliser un vocabulaire scientifique adapté
- Analyser, en termes scientifiques, une situation, une expérience, un document
- Construire une courbe à partir d'un ensemble de mesures et l'exploiter
- Savoir exploiter une courbe

Compétences transversales

- Utiliser un axe orienté et des mesures algébriques
- Utiliser les vecteurs et les opérations correspondantes (coordonnées, addition, produit scalaire)
- Utiliser les fonctions du programme de mathématiques
- Conduire un calcul de dérivée, de primitive et d'intégrale
- Utiliser la notion d'équation différentielle
- Utiliser les notions de statistique et de probabilité du programme de mathématiques
- Exploiter un tableau de valeurs
- Utiliser l'ordinateur pour acquérir et/ou traiter des données expérimentales
- Effectuer une recherche documentaire et savoir trier les informations selon des critères pertinents
- S'interroger sur la crédibilité d'une information
- Produire un document en utilisant les technologies de l'information et de la communication

5. Quelques aspects du réchauffement climatique

Un corrigé

Partie A : Notion de température au lycée

- 1] La température absolue d'un gaz est une grandeur macroscopique qui caractérise son état thermique, c'est-à-dire l'agitation microscopique des molécules le constituant. En l'absence de toute agitation thermique (particules immobiles) : $T = 0\text{ K}$, c'est le zéro absolu. Il n'existe pas de température inférieure à 0 Kelvin. $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,15$

On peut proposer, par exemple, une séance ayant pour thème la mesure d'une température.

◊ *Objectifs*

Étudier l'évolution de la résistance d'une thermistance CTN en fonction de la température et montrer comment on peut utiliser le dispositif pour mesurer une température.

◊ *Expérience et mesures*

Dans un ballon, placer de l'eau, une thermistance, un ohmmètre branché aux bornes de la thermistance et un thermomètre. Homogénéiser le contenu du ballon et, quand la température se stabilise, relever sa valeur θ et celle de la résistance R de la thermistance. Recommencer avec des bains de températures différentes.

◊ *Exploitation des résultats et commentaires*

Utiliser un tableur pour tracer R en fonction de θ , la courbe d'étalonnage de la thermistance. Justifier le nom de thermistance à coefficient de température négatif (CTN). Pour une différence de température de 10°C , montrer dans quel domaine de la courbe la variation de la résistance est la plus importante. En déduire l'existence d'un domaine de température dans lequel la thermistance présente la plus grande sensibilité. Utiliser la courbe et la thermistance pour déterminer la température de l'air ambiant. Garder un nombre de chiffres significatifs en adéquation avec la précision de la mesure.

- 2] Le filament d'une lampe à incandescence, parcouru par un courant électrique, s'échauffe et émet de la lumière. On fait varier l'intensité du courant avec un variateur et on analyse la lumière avec un prisme ou un réseau. Quand la température du filament est faible, la lampe brille peu et elle émet une lumière dont le spectre est continu et limité au rouge orangé. Plus la température augmente, plus la lampe brille et la couleur du filament passe du rouge au blanc. Simultanément le spectre continu s'enrichit en jaune, vert, bleu puis violet.

- 3] C'est la loi de WIEN.

Bételgeuse est rouge orangée, le Soleil est jaune, Sirius est blanche et Rigel est bleue.

- 4] *Exemples*

◊ Thermomètre à dilatation : on observe la dilatation d'un alcool par exemple.

◊ Thermomètre électronique : on observe la variation de la résistance par exemple, ou encore on étudie un thermocouple.

◊ Thermomètre à rayonnement : on observe la lumière émise par un corps.

Fonctionnement d'un thermomètre à dilatation

Un tube de verre scellé, contenant par exemple de l'alcool, divisé en 100 intervalles égaux

(échelle centésimale), constitue un exemple de thermomètre à dilatation. 100 correspond à la température d'ébullition de l'eau à la pression atmosphérique et 0 correspond à la température de solidification de l'eau à la pression atmosphérique, en degrés CELSIUS.

5 ◇ 80 K : liquéfaction de l'azote (N_2)

◇ 1 K : liquéfaction de l'hélium (He)

◇ 10^{-6} K : désaimantation adiabatique de substances paramagnétiques

Le refroidissement de gaz atomiques bosoniques jusqu'à la *condensation de Bose-Einstein* permet d'atteindre des températures de l'ordre de 10^{-9} K. C'est cette technique de refroidissement d'atomes par laser qui a été utilisée par les chercheurs du MIT pour atteindre, en 2003, le record de $0,45 \cdot 10^{-9}$ K. Les premiers condensats atomiques ont été observés en 1995.

6 *Éléments supposés acquis par les élèves avant le début de cette séance*

◇ Savoir que la matière est constituée de molécules en mouvement

◇ Savoir que l'état gazeux est décrit par des grandeurs physiques macroscopiques : pression P , température T , volume V , quantité de matière n .

◇ Savoir mesurer P et T

Plan de la séance, expériences réalisées et travail demandé aux élèves

◇ Plan de la séance

— Réalisation de diverses expériences, observations et interprétation.

— Utilisation de logiciels de simulation.

◇ Expériences illustrant les relations entre les grandeurs macroscopiques P , T , V et n

— Expérience 1 : on pousse très lentement le piston d'une seringue reliée à un manomètre.

— Expérience 2 : un ballon fermé, muni d'un thermomètre et d'un baromètre, est placé dans un chauffe-ballon.

— Expérience 3 : dans un ballon fermé contenant de l'acide chlorhydrique, on introduit un ruban de magnésium. Le ballon, placé dans un bain thermostaté, est relié à un manomètre.

◇ Utilisation d'un logiciel de simulation montrant l'agitation moléculaire

◇ Travail demandé aux élèves

— Observer ce qui se passe pour chaque expérience : quelles sont les grandeurs qui varient ? Les grandeurs macroscopiques sont-elles liées ?

— La pression reste inférieure à quelques bars (faible pression). Quelles relations peut-on établir entre les grandeurs macroscopiques ? Tracer PV en fonction de T à n constante, puis tracer PV en fonction de n à T constante.

— Existe-t-il une relation entre P , V , T et n (à faible pression) ?

Connaissances et compétences travaillées au cours de cette séance

◇ Savoir que, à une pression donnée et dans un état thermique donné, un nombre donné de molécules occupe un volume indépendant de la nature du gaz.

◇ Savoir que l'équation d'état $PV = nRT$ définit le modèle de comportement du gaz "parfait" et savoir utiliser cette relation

◇ Savoir utiliser la relation $T(K) = \theta(^{\circ}C) + 273,15$

◇ Savoir que, dans les conditions habituelles de température et de pression, l'air de la salle de classe peut être assimilé à un gaz parfait.

◇ Utiliser les outils précédents pour parvenir à interpréter des situations observées au

quotidien comme, par exemple, la rotation de la soupape d'une cocotte-minute.

- [7] *Transfert par conduction thermique* : s'effectue sans transport macroscopique de matière, au sein d'un milieu matériel. Exemple : chauffage d'une tige métallique.
Transfert par convection : s'effectue avec déplacement macroscopique de matière, au sein d'un milieu matériel fluide. Exemple : chauffage central.
Transfert par rayonnement : transfert d'énergie par les ondes électromagnétiques, sans nécessité d'un milieu matériel. Exemple : réchauffement de la Terre par le Soleil.
- [8] La Terre reçoit continuellement de l'énergie de la part du Soleil. Sa température moyenne de surface reste constante car elle émet vers l'espace autant d'énergie qu'elle en reçoit.

Partie B : Le rôle de la couche d'ozone stratosphérique

- [9] Le protocole qui régleme les émissions de CFC est le protocole de Montréal, signé en 1987.
- [10] La limite inférieure de la stratosphère se situe entre 8 et 20 km par rapport à la surface de la Terre et la limite supérieure entre 40 et 60 km.
- [11] $\diamond \vec{f}_A = -m\omega_0^2 \vec{r} = -k\vec{r}$ est la force de rappel qui tend à ramener l'électron élastiquement lié vers un état d'équilibre.
 $\diamond \vec{f}_B = -m\Omega \frac{d\vec{r}}{dt} = -\alpha \vec{v}$ est une force de frottement traduisant un amortissement ; elle est associée aux interactions entre l'électron et d'autres particules ou à la dissipation d'énergie par rayonnement.
 $\diamond \Omega$ a la dimension de ω_0 ($\Omega \frac{dr}{dt}$ est de la forme Ωv et $\omega_0^2 r$ est de la forme $(\omega_0 r)\omega_0$, soit $\omega_0 v$) ; Ω et ω_0 s'expriment en rad.s^{-1} .
- [12] Pour une onde plane progressive monochromatique se propageant dans le vide : $B = \frac{E}{c}$. L'électron étant non relativiste : $v_{e^-} \ll c$ donc $\|q\vec{v}_{e^-} \wedge \vec{B}\| \ll qcB = qE$.
- [13] $m\vec{a} = -e\vec{E} + \vec{f}_A + \vec{f}_B$ où $\vec{a} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$. En notation complexe : $-m\omega^2 \vec{r} = -e\vec{E} = -im\Omega\omega \vec{r}$, d'où :

$$\vec{r} = \frac{-\frac{e}{m}}{(\omega_0^2 - \omega^2) + i\Omega\omega} \vec{E}$$

[14] $\vec{p} = -e\vec{r} = \frac{\frac{e^2}{m}}{(\omega_0^2 - \omega^2) + i\Omega\omega} \vec{E}$
 $\vec{P} = \frac{n_p \frac{e^2}{m}}{(\omega_0^2 - \omega^2) + i\Omega\omega} \vec{E}$

[15] $\text{div} \vec{E} = \frac{\rho_P}{\epsilon_0}$ et $\text{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j}_P + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

$$(\text{div} \vec{B} = 0 \text{ et } \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t})$$

$$\vec{j}_P = \frac{\partial \vec{P}}{\partial t} \text{ et } \rho_P = -\text{div} \vec{P}$$

[16] $\diamond \text{rot} (\text{rot} \vec{E}) = \text{grad} (\text{div} \vec{E}) - \Delta \vec{E}$

$$\diamond \operatorname{div} \vec{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = \frac{\partial E_x}{\partial x} \text{ et } \vec{E} = E_x \vec{u}_x \text{ (avec } E_x(z, t)) \text{ donc } \operatorname{div} \vec{E} = 0$$

$$\diamond \vec{\operatorname{rot}} (\vec{\operatorname{rot}} \vec{E}) = \vec{\operatorname{rot}} \left(-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) = -\frac{\partial (\vec{\operatorname{rot}} \vec{B})}{\partial t} = \dots$$

$$\dots = -\frac{\partial}{\partial t} \left(\mu_0 \vec{J}_P + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) = -\mu_0 \frac{\partial^2 \vec{P}}{\partial t^2} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

d'où finalement, avec $\Delta \vec{E} = -\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2}$ et $\mu_0 \varepsilon_0 c^2 = 1$:

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{P}}{\partial t^2}$$

[17] En complexe l'équation précédente s'écrit : $-\underline{k}^2 \underline{E} + \frac{\omega^2}{c^2} \underline{E} = -\mu_0 \omega^2 \underline{P}$

D'après la question [14] : $\underline{P} = \frac{\varepsilon_0 \omega_P^2 \underline{E}}{(\omega_0^2 - \omega^2) + i\Omega\omega}$ d'où

$$\underline{k}^2 = \frac{\omega^2}{c^2} \left(1 + \frac{\omega_P^2}{(\omega_0^2 - \omega^2) + i\Omega\omega} \right)$$

[18] $\underline{n}^2 = \left(\frac{c}{\omega} \right)^2 \underline{k}^2 = 1 + \frac{\omega_P^2}{(\omega_0^2 - \omega^2) + i\Omega\omega}$

[19] $\underline{E} = \underline{E}_0 e^{i(\omega t - \underline{k}z)} \vec{u}_x$ et $\underline{k} = \frac{\omega}{c} \underline{n} = \frac{\omega}{c} (n_1 - in_2)$, d'où $\underline{E} = \underline{E}_0 e^{i(\omega t - \frac{\omega}{c}(n_1 - in_2)z)} \vec{u}_x$, soit

$$\underline{E} = E_0 e^{i(\omega t - \frac{\omega}{c} n_1 z)} e^{-n_2 \frac{\omega}{c} z} \vec{u}_x$$

En notation réelle, le champ observable est donc :

$$\vec{E} = E_0 e^{-n_2 \frac{\omega}{c} z} \cos(\omega t - \frac{\omega}{c} n_1 z) \vec{u}_x$$

où $e^{-n_2 \frac{\omega}{c} z}$ constitue le terme d'atténuation (ou d'absorption) et $\cos(\omega t - \frac{\omega}{c} n_1 z)$ celui de propagation.

◇ n_1 est l'indice de réfraction ($v_\varphi = \frac{c}{n_1}$)

◇ n_2 est l'indice d'extinction ou d'absorption (amortissement de l'onde dû au caractère conducteur du milieu)

[20] Le terme d'atténuation identifié dans la question [19] est de la forme $e^{-\frac{z}{\delta}}$ donc $\delta = \frac{c}{n_2 \omega}$.

δ est la distance caractéristique car, pour z égale à quelques δ , l'onde est très fortement atténuée.

[21] * $\omega_0 = 7,4 \cdot 10^{15} \text{ rad.s}^{-1}$, $\lambda_0 = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi c}{\omega_0}$ donc $\lambda_0 \simeq 250 \text{ nm}$: domaine des UV.

* $\lambda_0 = 250 \text{ nm}$ donne $\delta_0 = \frac{c}{n_2 \omega_0} = \frac{2\pi c}{\omega_0^2} \simeq 5 \text{ m}$

* $\lambda = 600 \text{ nm}$: domaine du visible et $\lambda = 600 \text{ nm}$ donne $\delta \simeq 50 \text{ km}$.

◇ $\delta_0 \simeq 5 \text{ m}$ montre que les UV sont arrêtés par la couche d'ozone.

◇ $\delta \simeq 50$ km montre que la lumière visible passe à travers la couche d'ozone.

Conclusion : il faut maintenir la couche d'ozone pour protéger la Terre des UV.

Partie C : L'effet de serre

- [22] ◇ ϕ : flux surfacique émis = puissance émise par unité de surface (W.m^{-2})
 ◇ T : température d'équilibre du corps qui émet (K)
 ◇ σ : constante de STEFAN ($\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$)

[23] $\phi_{\text{Soleil}} = 4\pi R_S^2 \sigma T_S^4$

[24] $\phi_{\text{Terre}} = \frac{\pi R_T^2}{4\pi d^2} 4\pi R_S^2 \sigma T_S^4$

L'angle solide sous lequel la Terre est vue du Soleil est $\frac{\pi R_T^2}{d^2}$, 4π correspond à tout l'espace autour du Soleil.

- [25] La loi de WIEN permet de trouver $T_S = 5573$ K.

- [26] La Terre absorbe $(1 - A)\phi_T$ donc :

$$\underbrace{(1 - A) \frac{\pi R_T^2}{4\pi d^2} 4\pi R_S^2 \sigma T_S^4}_{\text{ABSORBE}} = \underbrace{\sigma T_0^4 4\pi R_T^4}_{\text{EMIS}}$$

On trouve $T_0 = T_S \left((1 - A) \frac{R_S^2}{4d^2} \right)^{1/4} = 240$ K.

$T_0 = -33$ °C : valeur trop faible par rapport à la réalité. Il faut donc améliorer le modèle.

[27] $\frac{\Delta S}{S} = \frac{4\pi(R_T + e)^2 - 4\pi R_T^2}{4\pi R_T^2} \simeq \frac{4\pi R_T^2(1 + \frac{2e}{R_T}) - 4\pi R_T^2}{4\pi R_T^2} = \frac{2e}{R_T}$
 $\frac{\Delta S}{S} \simeq 3.10^{-3}$

[28] ◇ Bilan pour le sol : $T_0'^4 = T_1^4 + (1 - \alpha)(1 - A)T_S^4 \frac{R_S^2}{4d^2}$

◇ Pour l'atmosphère : $2T_1^4 = T_0'^4 + \alpha(1 - A)T_S^4 \frac{R_S^2}{4d^2}$ (2 car émission des 2 côtés)

- [29] On a T_S en fonction de T_0 à la question [26]. On remplace dans les bilans de la question [28]. On obtient les équations :

$$T_0'^4 = T_1^4 + (1 - \alpha)T_0^4 \quad \text{et} \quad 2T_1^4 = T_0'^4 + \alpha T_0^4$$

d'où $T_1 = T_0 = 240$ K et $T_0' = T_0(2 - \alpha)^{1/4} \simeq 273$ K $\simeq 0$ °C.

C'est mieux mais pas encore la réalité.

- [30] Le protocole qui réglemente les émissions de GES est le protocole de Kyoto, signé en 1997.

- [31] Le pendule simple est présenté comme une modélisation du pendule pesant.

Un pendule pesant est constitué d'un solide suspendu pouvant osciller de part et d'autre d'une position d'équilibre.

Un pendule simple est constitué d'un solide de masse m suspendu à un fil inextensible de masse négligeable devant m et de longueur très supérieure aux dimensions du solide.

32 *Enregistrement d'un mouvement oscillant plus ou moins amorti*

◊ Relier l'extrémité supérieure du fil d'un pendule simple à un potentiomètre rotatif qui permet d'enregistrer l'élongation angulaire θ du pendule en fonction du temps t . Utiliser une palette pour réaliser des frottements dans l'air, puis dans l'eau.

◊ Tracer θ en fonction de t .

◊ Sans palette et pour un nombre d'oscillations peu important, l'amplitude des oscillations reste quasiment constante : le mouvement n'est pas amorti. Avec frottements, l'amplitude diminue au cours du temps : les oscillations sont amorties. L'amortissement est plus important dans l'eau que dans l'air. Le mouvement d'un pendule peu amorti est pseudo-périodique et si l'amortissement est faible, la pseudo-période est voisine de la période propre. Le mouvement est apériodique quand les frottements sont très importants.

Vérification de la loi d'isochronisme des petites oscillations

◊ Fixer la longueur et la masse d'un pendule simple et mesurer la période T_0 des oscillations en lâchant le pendule avec des amplitudes initiales θ_0 différentes variant entre 5° et 45° .

◊ Tracer T_0 en fonction de θ_0 ou regrouper les valeurs dans un tableau.

◊ Lorsque l'amplitude des oscillations d'un pendule simple est inférieure à 20° environ, la période est pratiquement indépendante de l'amplitude du mouvement.

Vérification de l'expression de la période propre d'un pendule simple

◊ Mesurer la période propre T_0 pour des longueurs l de fil différentes (avec une même amplitude initiale).

◊ Tracer T_0 en fonction de \sqrt{l} .

◊ Vérifier la loi $T_0 = \sqrt{\frac{l}{g}}$.

33 FOUCAULT a installé "son" pendule au Panthéon en 1851. L'expérience qu'il a réalisée a mis en évidence la rotation propre de la Terre.

34 La masse réduite μ du système est égale à $1,61 \cdot 10^{-24}$ g.

$\lambda_0 = cT_0$ d'où $T_0 = 1,1 \cdot 10^{-14}$ s.

$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{\mu}{k}}$, d'où $k = 4\pi^2\frac{\mu}{T_0^2} = 525294 \text{ g}\cdot\text{s}^{-2} \simeq 525 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$.

35 Le référentiel barycentrique \mathcal{R}^* d'un système de points matériels est le référentiel de centre G , où G est le centre d'inertie du système de points matériels, en translation par rapport au référentiel d'étude \mathcal{R} , à la vitesse \vec{v}_G/R .

Le référentiel \mathcal{R}^* n'est galiléen que si la vitesse de G dans \mathcal{R} (\mathcal{R} étant supposé galiléen), est constante, \mathcal{R}^* étant alors en translation rectiligne uniforme par rapport à \mathcal{R} .

36 *Mouvement du centre d'inertie d'un système soumis à des forces qui se compensent, dans un référentiel galiléen*

◊ Lancer un mobile autoporteur sur une table horizontale, une première fois pour avoir un mouvement de translation, une deuxième fois pour avoir un mouvement quelconque. Enregistrer les trajectoires de deux points A et B du mobile : A , au centre de la semelle, est situé à la verticale du centre d'inertie G et B est situé à la périphérie de la semelle.

◊ Les mouvements des deux points A et B sont étudiés dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Dans le cas du mouvement de translation, les points A et B ont le même mouvement rectiligne uniforme et les forces appliquées au mobile se compensent : $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$, avec \vec{P} poids du mobile et \vec{R} réaction exercée par le coussin d'air. Dans le cas du mouvement quelconque, en admettant que les forces appliquées au mobile se compensent encore, on

observe que seul A est animé d'un mouvement rectiligne et uniforme. Dans les deux cas, le centre d'inertie G du mobile a, comme le point A , un mouvement rectiligne et uniforme : son vecteur vitesse \vec{v}_G ne varie pas. On peut conclure que, lorsqu'un solide est animé d'un mouvement quelconque, le principe d'inertie ne peut s'appliquer qu'à son centre d'inertie G .

Variation du vecteur vitesse du centre d'inertie d'un système soumis à des forces qui ne se compensent pas, dans un référentiel galiléen

◊ Lancer, sur une table horizontale, un mobile à coussin d'air relié par un fil élastique tendu à un point fixe. Enregistrer la trajectoire du centre d'inertie du mobile.

◊ Le mobile est soumis à son poids \vec{P} , à la réaction \vec{R} exercée par le coussin d'air et à la force \vec{T} correspondant à l'action du fil élastique tendu. Comme $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$, \vec{T} représente la résultante des forces appliquées au mobile ; \vec{T} a la direction horizontale du fil tendu. Tracer à la même échelle les vecteurs vitesses $\vec{v}_G(t_2)$ et $\vec{v}_G(t_4)$ aux points A_2 et A_4 . Construire au point A_3 le vecteur $\Delta\vec{v}_G(t_3) = \vec{v}_G(t_4) - \vec{v}_G(t_2)$. On remarque que $\Delta\vec{v}_G(t_3)$ est de même direction et de même sens que ceux de \vec{T} . On peut conclure que, dans un référentiel galiléen, la direction et le sens de la résultante \vec{F} des forces qui s'exercent sur un solide à un instant donné, sont ceux de la variation $\Delta\vec{v}_G$ du vecteur vitesse du centre d'inertie à cet instant.

[37] Le théorème de la résultante cinétique s'écrit : $m\vec{a}(G) = \sum \vec{F}_{\text{ext}}$. Le système étant isolé, $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$ donc $m\vec{a}(G) = \vec{0}$ et donc $\vec{v}(G) = \text{cste}$. \mathcal{R}^* est donc en translation rectiligne uniforme par rapport à \mathcal{R} , référentiel d'étude supposé galiléen, et donc \mathcal{R}^* est galiléen.

[38] Définition du centre d'inertie G du système de points M_i : $\sum_i m_i \overrightarrow{GM_i} = \vec{0}$

$$m_O \overrightarrow{GO_1} + m_O \overrightarrow{GO_2} + m_C \overrightarrow{GC} = \vec{0}$$

$$m_O (\overrightarrow{GO_{1e}} + \overrightarrow{O_{1e}O_1}) + m_O (\overrightarrow{GO_{2e}} + \overrightarrow{O_{2e}O_2}) + m_C \overrightarrow{GC} = \vec{0}$$

$$\text{Or } m_O \overrightarrow{GO_{1e}} + m_O \overrightarrow{GO_{2e}} = \vec{0} \text{ d'où, en projection sur } \vec{u}_x : m_O(x_{O1} + x_{O2}) + m_C x_C = 0.$$

[39] On obtient les équations :

$$m_O \ddot{x}_{O1} = -k(x_{O1} - x_C) \quad \text{et} \quad m_O \ddot{x}_{O2} = -k(x_{O2} - x_C)$$

Or $x_C = -\frac{m_O(x_{O1} + x_{O2})}{m_C}$ d'après la question [38], d'où les équations :

$$\left(-\omega^2 + \frac{k}{m_O} + \frac{k}{m_C}\right) A_{O1} + \frac{k}{m_C} A_{O2} = 0 \quad \text{et} \quad \frac{k}{m_C} A_{O1} + \left(-\omega^2 + \frac{k}{m_O} + \frac{k}{m_C}\right) A_{O2} = 0$$

On élimine $A_{O1} = A_{O2} = 0$ donc le déterminant doit être nul :

$$-\omega^2 + \frac{k}{m_O} + \frac{k}{m_C} = \pm \frac{k}{m_C}$$

$$\text{d'où } \omega_1 = \sqrt{\frac{k}{m_O}} \text{ et } \omega_2 = \sqrt{\frac{k}{m_O} + 2\frac{k}{m_C}}.$$

Ce sont les pulsations propres.

$$\text{A.N. : } \omega_1 = 2,3 \cdot 10^{14} \text{rad.s}^{-1} \text{ et } \omega_2 = 4,4 \cdot 10^{14} \text{rad.s}^{-1}$$

[40] ◊ Mode propre d'oscillations à ω_1 : $A_{O1} = -A_{O2}$ et $A_C = 0$.

Les deux atomes d'oxygène vibrent symétriquement par rapport à l'atome de carbone

immobile. Pour chaque O , tout se passe comme s'il était relié à un point fixe par un ressort de raideur k d'où $\omega_1 = \sqrt{\frac{k}{m_O}}$. C'est le mode symétrique.

◇ Mode propre d'oscillations à ω_2 : $A_{O1} = A_{O2}$ et $A_C = -2\frac{m_O}{m_C}A_{O1}$.

C est en mouvement, O_1 et O_2 vibrent dans le même sens. C'est le mode antisymétrique.

[41] La molécule de CO_2 est neutre donc la force électrique totale subie par CO_2 est nulle :

$$2(-\delta e \vec{E}) + 2\delta e \vec{E} = \vec{0}$$

$m\vec{a}(G) = \sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$ donc \mathcal{R}^* est encore galiléen.

[42]

$$\begin{cases} m_O \ddot{x}_{O1} = -k(x_{O1} - x_C) - \delta e E_0 \cos \omega t \\ m_O \ddot{x}_{O2} = -k(x_{O2} - x_C) - \delta e E_0 \cos \omega t \end{cases}$$

[43]

$$\begin{cases} \left(-\omega^2 + \frac{k}{m_O} + \frac{k}{m_C}\right) A_{O1} + \frac{k}{m_C} A_{O2} = -\frac{\delta e}{m_O} E_0 \\ \frac{k}{m_C} A_{O1} + \left(-\omega^2 + \frac{k}{m_O} + \frac{k}{m_C}\right) A_{O2} = -\frac{\delta e}{m_O} E_0 \end{cases}$$

On effectue la somme et la différence de ces deux équations :

$$\begin{cases} (-\omega^2 - \omega^2)(A_{O1} + A_{O2}) = -2\frac{\delta e}{m_O} E_0 \\ (-\omega_1^2 - \omega^2)(A_{O1} - A_{O2}) = 0 \end{cases}$$

Pour $\omega \neq \omega_1$ et $\omega \neq \omega_2$: $A_{O1} = A_{O2} = \frac{\delta e E_0}{m_O(\omega^2 - \omega_2^2)}$

[44] On note B_- le barycentre des charges négatives et B_+ le barycentre des charges positives :

$$\vec{p} = 2\delta e \vec{B}_- \vec{B}_+ \text{ donc } \vec{p} = 2\delta e(\vec{B}_- \vec{C}_e + \vec{C}_e \vec{B}_+)$$

(C_e est C à l'équilibre et B_+ est C en mouvement à un instant t quelconque)

$$\vec{C}_e \vec{B}_- = \frac{\sum_i q_i \vec{C}_e \vec{M}_i}{\sum_i q_i} = \frac{-\delta e(-\ell_0 + x_{O1})\vec{u}_x - \delta e(-\ell_0 + x_{O2})\vec{u}_x}{-2\delta e}$$

$$\text{d'où } \vec{p} = +2\delta e \left(\frac{\delta e(x_{O1} + x_{O2})}{-2\delta e} + x_C \right) \vec{u}_x$$

$$\text{soit } \vec{p} = \delta e(2x_C - x_{O1} - x_{O2})\vec{u}_x$$

Comme $x_C = \frac{-m_O x_{O1} - m_O x_{O2}}{m_C}$, $x_{O1} = A_{O1} \cos \omega t$ et $x_{O2} = A_{O2} \cos \omega t$, on trouve :

$$\vec{p} = \frac{2\delta^2 e^2 E_0}{\omega_2^2 - \omega^2} \left(\frac{1}{m_O} + \frac{2}{m_C} \right) \cos \omega t \vec{u}_x$$

[45] La puissance surfacique fait intervenir le vecteur de POYNTING $\vec{\pi} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \wedge \vec{B}$. Dans \vec{E} , il y a \dot{p} donc ω^2 et $B = \frac{E}{c}$ donc dans \vec{B} il y a aussi ω^2 , d'où le terme ω^4 .

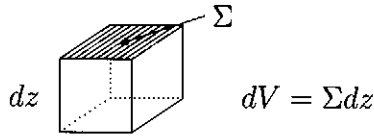
[46] $I_0 = \left\langle \frac{EB}{\mu_0} \right\rangle = \frac{E_0^2}{2\mu_0 c}$ (valeur moyenne de la norme du vecteur de POYNTING).

$\langle \mathcal{P} \rangle = S I_0$ où la puissance moyenne $\langle \mathcal{P} \rangle = \frac{\mu_0 \omega^4 p_0^2}{12\pi c}$ et la puissance surfacique moyenne

$I_0 = \frac{E_0^2}{2\mu_0 c}$, d'où :

$$S = \frac{2\mu_0^2 \omega^4 \delta^4 e^4}{3\pi(\omega_2^2 - \omega^2)^2} \left(\frac{1}{m_O} + \frac{2}{m_C} \right)^2$$

47



Puissance (incidente) entrant en z = Puissance sortant en $z + dz$ + Puissance diffusée par CO_2

$$I(z)\Sigma = \underbrace{I(z + dz)\Sigma}_{I(z) + \frac{dI}{dz}dz} + \frac{n}{3}(\Sigma dz)SI(z), \text{ d'où } \frac{dI}{I} = -\frac{n}{3}Sdz.$$

On en déduit $\ln \frac{I(z)}{I(0)} = -\frac{n}{3}Sz$ soit $I(z) = I(0)e^{-z/L}$ avec $L = \frac{3}{nS}$.

L est la distance caractéristique de pénétration de l'onde dans le milieu contenant CO_2 .

Pour $z \gg L$: l'onde est absorbée par le milieu ($I(z) \rightarrow 0$).

48 $\diamond S$ est proportionnelle à $\frac{1}{(\omega_2^2 - \omega^2)^2}$ donc si $\omega \rightarrow \omega_2$, $S \rightarrow +\infty$ et $L \rightarrow 0$ donc $I(z) \rightarrow 0$, l'onde incidente n'est pas transmise par le milieu contenant CO_2 et est donc fortement absorbée.

Pour $\omega \rightarrow \omega_1$: les deux atomes O vibrent symétriquement, par exemple ils s'éloignent conjointement de C . Or ils portent chacun la charge $-\delta e$ donc ils se déplacent dans le même sens sous l'action de \vec{E} et donc le mouvement à $\omega = \omega_1$ n'est pas observable.

Le barycentre de la molécule est fixe, le moment dipolaire est nul.

49 $\lambda_2 = cT = c \frac{2\pi}{\omega_2} = 4,3 \mu\text{m}$; c'est le domaine des IR. CO_2 absorbe les IR émis par la Terre et renvoie une partie de l'énergie absorbée vers la Terre : c'est l'effet de serre.

50 $T_0 = 20^\circ\text{C} = 293 \text{K}$ donne $\lambda_m \simeq 10 \mu\text{m}$ (loi de WIEN). C'est le domaine des IR donc la couche 1 de CO_2 absorbe ϕ_T .

51 \diamond Bilan pour le sol : $\phi_T = \phi_1 + \phi_S$

\diamond Bilan pour le sol et la couche 1 : $\phi_1 = \phi_2 + \phi_S$

\diamond Bilan pour le sol et les couches 1 à p : $\phi_p = \phi_S + \phi_{p+1}$

\diamond Bilan pour le sol et toutes les couches : $\phi_N = \phi_S$

52 $\phi_{p+1} - \phi_p = \phi_p - \phi_{p-1}$ donc ϕ_p est une fonction affine de p : $\phi_p = a + bp$. En prenant $p = N$, on trouve : $\phi_S = \phi_N = a + bN$.

$\phi_2 + \phi_S = \phi_1$ soit $a + 2b + \phi_S = a + b$ d'où $b = -\phi_S$ et donc $a_N \phi_S = \phi_S$ soit $a = (N + 1)\phi_S$.

Finalement $\phi_P = (N + 1 - p)\phi_S$.

De plus $\phi_T = \phi_1 + \phi_S = (N + 1)\phi_S$

53 La loi de STEFAN : $\phi_T = \sigma T_0^4$ donc $T_0 = \left(\frac{(N+1)\phi_S}{\sigma}\right)^{1/4}$

Conclusion : si la quantité de CO_2 augmente alors N augmente et la température de la Terre augmente d'où un réchauffement.

54 La radioactivité a été découverte en 1896 par Henri BECQUEREL.

55 Un noyau radioactif est un noyau qui se transforme spontanément en d'autres noyaux en émettant un "rayonnement".

56 \diamond Radioactivité β^- : émission d'électrons par le noyau.

\diamond Radioactivité β^+ : émission de positons par le noyau.

\diamond Radioactivité α : émission de particules α (noyaux d'hélium) par le noyau.

◇ Rayonnement γ : lors de la désintégration d'un noyau radioactif, le noyau fils est généralement obtenu dans un état excité ; il possède un surplus d'énergie qu'il évacue, en se désexcitant, sous forme d'une onde électromagnétique, appelée rayonnement γ , de très courte longueur d'onde (de l'ordre de 10^{-4} nm).

57 Pour obtenir des mesures satisfaisantes il faut que la durée de chaque comptage soit négligeable devant la demi-vie $t_{1/2}$. Ici la demi-vie est d'environ 50 s et la durée de comptage est de 1 s, cette dernière est donc adaptée.

58 *Matériel et principe*

On dispose d'un générateur de radon, d'une fiole scintillante et d'un compteur.

◇ Générateur de radon

Le générateur de radon contient des noyaux radioactifs de la famille du thorium qui, en se décomposant, donnent notamment du radon 220.

◇ Fiole scintillante

La fiole scintillante est un récipient dont la paroi intérieure est recouverte de sulfure de zinc. Quand une particule frappe le sulfure de zinc, celui-ci absorbe son énergie et émet de la lumière dans le visible. Cette lumière, émise dans toutes les directions, sort notamment par le fond transparent de la fiole placé sur la fenêtre d'un photomultiplicateur.

◇ Photomultiplicateur

Il convertit un signal lumineux arrivant sur sa fenêtre en signal électrique comptabilisé. Il permet de compter un nombre d'événements proportionnel au nombre de noyaux qui se sont désintégrés au cours d'un intervalle de temps donné et réglable.

Protocole

Paramétrer le logiciel associé au compteur pour réaliser un comptage toutes les 20 secondes. Prendre une durée d'acquisition de l'ordre de 3 minutes. Lancer l'acquisition.

Objectifs visés

◇ Réaliser une série de comptages.

◇ À partir d'une série de mesures, utiliser un tableur ou une calculatrice pour calculer la moyenne, la variance et l'écart-type du nombre de désintégrations enregistrées pendant un intervalle de temps donné.

◇ En traçant n en fonction de t , on peut déduire graphiquement une constante de temps.

59 *Énoncé*

1. Déterminer les valeurs de z et x .

2.a. Calculer le défaut de masse associé à cette réaction nucléaire.

2.b. Calculer, en J puis en MeV, l'énergie libérée par la fission d'un noyau d'uranium 235.

3.a. Calculer l'énergie libérée par la fission de 10 g d'uranium 235.

3.b. Calculer la masse de pétrole libérant, par combustion, la même énergie.

Solution

1. La conservation du nombre de nucléons et du nombre de charge donne $x = 2$ et $z = 54$.

Connaissances : lois de conservation

2.a. Le défaut de masse est égal à

$$\Delta m = m_{av} - m_{ap} = m(^{235}\text{U}) + m_n - m(^{94}\text{Sr}) - m(^{140}\text{Xe}) - 2m_n = 0,19825 \text{ u.}$$

Connaissances : définir et calculer un défaut de masse

2.b. $E_{\text{LIBEREE}} = \Delta m \cdot c^2 = 2,9587 \cdot 10^{-11} \text{ J} = 184,66 \text{ MeV.}$

Connaissances : relation d'équivalence masse-énergie (relation d'Einstein) et conversion J/eV

Compétences : remarquer que le MeV est bien adapté à l'échelle du noyau

3.a. Dans 10 g d'uranium la quantité de matière est $4,26 \cdot 10^{-2}$ moles soit $2,56 \cdot 10^{22}$ atomes. L'énergie libérée est de $7,58 \cdot 10^{11}$ J.

Connaissances : une mole contient N_A atomes

3.b. La masse de pétrole nécessaire pour produire la même énergie est de $18 \cdot 10^3$ kg !

C'est beaucoup par rapport aux 10 g d'uranium.

Connaissances : le pouvoir calorifique est l'énergie libérée par la combustion d'un kilogramme de combustible

Compétences : comparer des méthodes de production d'énergie

- 60 $W + Q_1 + Q_2 = 0$ (1er principe de la thermodynamique dans les conditions du problème)

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0 \text{ (2ème principe de la thermodynamique dans les conditions du problème)}$$

Le fluide subissant un cycle de transformations $\Delta(U + E_c + E_p) = 0$ et $\Delta S = 0$. Les transformations étant considérées réversibles, $S_{\text{CREEE}} = 0$.

- 61 Le rendement est le rapport de l'énergie utile (le travail pour un moteur) sur l'énergie dépensée, c'est-à-dire, ici, le transfert thermique Q_2 reçu de la part de la source chaude.

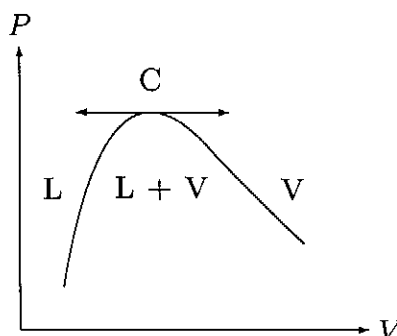
$$\eta = -\frac{W}{Q_2} \quad (W < 0 \text{ et } Q_2 > 0)$$

$$\eta = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_2} = 1 + \frac{Q_1}{Q_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

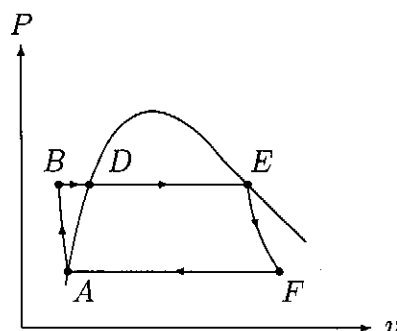
Ce rendement représente un rendement limite maximal, c'est le rendement de CARNOT.

Pour un moteur ditherme réel : $\eta_{\text{REEL}} < \eta_{\text{CARNOT}}$. En réalité, les transformations ne sont, en effet, pas réversibles.

- 62



- 63



$$\boxed{64} \diamond dh = du + d(Pv) = \delta Q - P dv + P dv + v dP = c dT + k dP + v dP$$

$$\text{d'où } dh = c dT + (k + v) dP$$

$$\diamond ds = \frac{\delta Q}{T} = \frac{c}{T} dT + \frac{k}{T} dP$$

$$\diamond dh \text{ est une différentielle totale exacte donc } \left(\frac{\partial c}{\partial P} \right)_T = \left(\frac{\partial(k+v)}{\partial T} \right)_P = \left(\frac{\partial k}{\partial T} \right)_P + \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P$$

(théorème de SCHWARZ)

$$\diamond ds \text{ est une différentielle totale exacte donc } \left(\frac{\partial(\frac{c}{T})}{\partial P} \right)_T = \left(\frac{\partial(\frac{k}{T})}{\partial T} \right)_P$$

$$\text{soit } \frac{1}{T} \left(\frac{\partial c}{\partial P} \right)_T = -\frac{k}{T^2} + \frac{1}{T} \left(\frac{\partial k}{\partial T} \right)_P$$

On obtient après simplification par $\frac{1}{T}$ et identification :

$$k = -T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P$$

$$\diamond \alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = \frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P \text{ donc } k = -T v \alpha$$

$$\boxed{65} ds = \frac{\delta Q}{T} = c \frac{dT}{T} - \alpha v dP$$

$$\text{De } A \text{ à } B : \Delta S = c \ln \left(\frac{T_A + \Delta T}{T_A} \right) - \alpha v_l (P_2 - P_1) = 0$$

$$\text{Or } \ln \left(1 + \frac{\Delta T}{T_A} \right) \simeq \frac{\Delta T}{T_A} \quad (\Delta T \ll T_A)$$

$$\text{d'où } \Delta T \simeq \frac{T_A \alpha v_l}{c} (P_2 - P_1) \simeq 0,08 \text{ K}$$

La transformation de A à B est quasi-isotherme.

$$\boxed{66} dh_{AB} = c dT + (k + v_l) dP$$

$$dh_{AB} = c dT + v_l (1 - \alpha T) dP$$

$$T_B \simeq T_A \text{ d'où } \Delta h_{AB} \simeq v_l (1 - \alpha T_A) (P_2 - P_1)$$

$$\text{A.N. : } \Delta h_{AB} \simeq 7 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

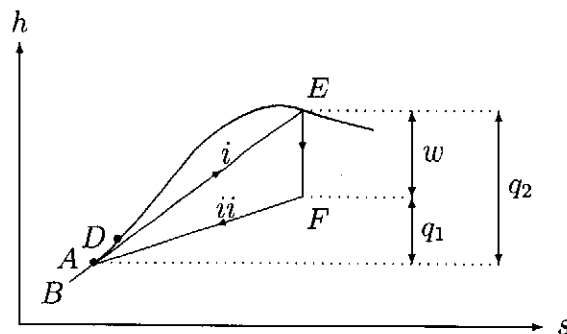
Ce travail massique de compression est très faible devant les autres énergies mises en jeu.

$$\boxed{67} \Delta h_{AA} = \Delta h_{AB} + \Delta h_{BDE} + \Delta h_{EF} + \Delta h_{FA}$$

$$0 \simeq 0 + q_2 + \Delta h_{EF} + q_1$$

$$\text{d'où } \Delta h_{EF} = -(q_1 + q_2) = w \text{ donc } w = h_F - h_E$$

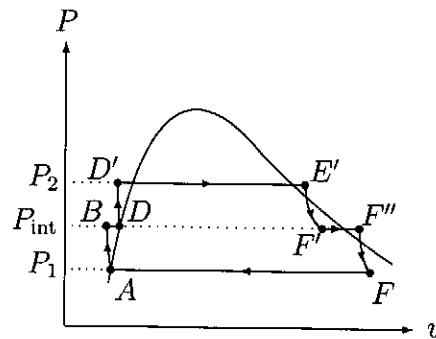
$\boxed{68}$



- ◊ Δh_{AB} est très faible donc $h_A \simeq h_B$ et $s_A = s_B$ (adiabatique réversible)
- ◊ D est sur la courbe de saturation, E aussi.
- ◊ $s_F = s_E$ (adiabatique réversible)
- ◊ De D à E : $dh = T ds + v dP = T_2 ds$ (ici $dP = 0$) d'où une droite de pente T_2
- ◊ De F à A : $dh = T_1 ds$ d'où une droite de pente T_1 (et $T_1 < T_2$)

$$\boxed{69} \quad \eta = -\frac{w}{q_2} = \frac{967}{2561} \simeq 38\%$$

$\boxed{70}$



$\boxed{71}$ L'intérêt est d'augmenter le rendement (l'aire du cycle correspond à $|w|$).

$$\boxed{72} \quad q_2 = (h_{E'} - h_{D'}) + (h_{F''} - h_{F'}) \simeq h_{E'} - h_{D'}$$

$$w = (h_{F'} - h_{E'}) + (h_F - h_{F''})$$

$$\eta' = -\frac{w}{q_2} \simeq 46\%$$

Le rendement a donc augmenté : $\eta' > \eta$.

Fin du corrigé

6. RAPPORT RELATIF A LA COMPOSITION DE PHYSIQUE

La composition de physique abordait quelques thèmes en rapport avec le réchauffement climatique. Il n'était pas question de discuter du bien-fondé des choix politiques actuels de la France, mais il s'agissait d'étudier quelques aspects de la physique permettant de comprendre des phénomènes fondamentaux qui nous entourent.

La partie B concernait le rôle de la couche d'ozone stratosphérique. On y montrait notamment que son existence est vitale puisqu'en ne laissant pas le rayonnement ultraviolet parvenir jusqu'à nous, elle participe à limiter la hausse de température sur Terre.

La partie C traitait de l'effet de serre avec une étude particulière du gaz carbonique, permettant de comprendre pourquoi CO_2 est un « gaz à effet de serre ».

La partie D abordait le projet de mise en fonction en 2012 d'un réacteur nucléaire de troisième génération, à eau sous pression, produisant de l'énergie, conformément à la politique énergétique actuelle française.

Par ailleurs, des parties du problème avaient pour objectif d'évaluer les capacités professionnelles des candidats : la partie A - *Notion de température au lycée* -, la partie C.2.1 - *Oscillateurs mécaniques au lycée* -, en relation avec l'étude du gaz carbonique, et enfin la partie D.1 - *L'énergie d'origine nucléaire au lycée* -.

Commentaires généraux

La lecture des copies conduit le jury à faire quelques remarques d'ordre général, ces remarques sont destinées à aider les futurs candidats dans leur préparation aux prochains concours.

Les questions posées qui concernaient des domaines variés de la physique étaient suffisamment nombreuses et de nature assez différente pour permettre aux candidats bien préparés d'en traiter une bonne partie. Le problème comportait des parties plus « professionnelles » représentant un peu plus du quart de la totalité des points, afin que les candidats, professeurs en exercice, puissent valoriser les compétences acquises au cours de leur vie professionnelle.

Il est dommage de constater que les candidats perdent des points sur des questions faciles, ou des questions fondamentales comme celles portant sur les équations de Maxwell ou les principes de la thermodynamique. Une préparation bien pensée consiste sans doute à faire en sorte que les bases de la physique soient parfaitement acquises.

C'est pourquoi les théorèmes généraux, par ailleurs exigés pour la leçon de physique, doivent être sus et disponibles sans hésitation. De plus, cela est évidemment utile dans la vie professionnelle des candidats même s'ils n'enseignent pas au niveau correspondant à ce qui leur est demandé.

De nombreux résultats intermédiaires étaient donnés par l'énoncé. Il va de soi que le jury a donné des points aux candidats qui les ont établis avec rigueur. Même si on ne connaît pas la réponse, on sent bien qu'à la question : « On ne tient pas compte de la force magnétique qu'exerce l'onde sur l'électron. Pourquoi ? », la réponse : « parce qu'elle est négligeable », ne constituant aucune justification, n'est pas une réponse acceptable.

Rappelons aussi qu'il vaut mieux traiter une partie entièrement, plutôt que d'essayer de gagner des points en répondant à quelques questions sans lien entre elles. Cette façon de faire ne permet évidemment pas d'arriver à une conclusion intéressante, et ne rapporte finalement jamais beaucoup de points, tout en laissant au jury une assez mauvaise impression générale.

Les candidats doivent être capables d'avoir un œil critique sur les résultats qu'ils obtiennent. Il est nécessaire qu'ils se relisent pour vérifier que ce qu'ils ont écrit dans le feu de l'action n'est pas absurde. Ils exigent d'ailleurs certainement cela de leurs propres élèves. Il est regrettable qu'un professeur de physique affirme que le Soleil est vert, ou qu'il n'ait aucune idée de la température la plus basse qu'on sait atteindre actuellement.

Enfin la rédaction des réponses doit s'appuyer sur un raisonnement construit, argumenté et concis, ce qui nécessite non seulement une certaine maîtrise des concepts scientifiques, mais aussi du vocabulaire, de la grammaire et de l'orthographe. Certaines copies ne sont pas acceptables de la part de professeurs en exercice, et il va de soi que, même s'il n'y a pas de point attribué à la rédaction, le

candidat qui s'exprime de façon incompréhensible, ou rend un travail illisible, est pénalisé, et cela malgré la bienveillance de jury. Encore une fois, les candidats ont d'ailleurs certainement l'habitude d'exiger de leurs propres élèves des copies de qualité.

A propos des parties sur l'enseignement dans le second degré

Il est primordial de ne pas perdre de temps dans des développements inutiles, tout en étant précis sur les points importants et en soulignant les difficultés qui peuvent se présenter. Il faut donc savoir limiter la longueur de la rédaction en choisissant l'essentiel, ce qui, à la lecture des copies, semble très compliqué pour la plupart des candidats. On ne peut pas avoir davantage de points à une question que ce qui est prévu par le barème.

Il est évident que l'informatique et l'électronique jouent un rôle important. Dans la très grande majorité des cas, ce sont des disciplines de service et, quand on décrit une manipulation, il est maladroit de commencer par là.

Une expérience a un objectif qu'il convient de préciser. Celui-ci étant connu, il faut disposer de capteurs dont on a à connaître le principe physique de fonctionnement et qui fournissent des données. Il s'agit de savoir si celles-là permettent de tirer une conclusion. Elles sont traitées, éventuellement à l'aide d'outils informatiques qui n'interviennent donc qu'à ce moment.

Un problème analogue se pose à propos de l'électronique, analogique ou numérique. Le fait que la température soit affichée sur un écran ne permet pas de savoir comment elle est mesurée, c'est-à-dire la nature de la grandeur thermométrique, étant entendu qu'il a fallu disposer d'un convertisseur en tension. Il n'existe donc pas de thermomètres digitaux comme il existe des thermomètres à dilatation ou à résistance.

Il faut également savoir qu'une mesure sans détermination de l'incertitude n'est qu'une estimation d'ordre de grandeur. Par exemple la vérification de l'isochronisme des oscillations d'un pendule nécessite qu'on se penche sur ce problème qui n'est, hélas, pratiquement jamais abordé.

Dans les questions concernant par exemple les connaissances et les compétences travaillées au cours d'une séance avec les élèves, il est important de répondre clairement en indiquant notamment les moments au cours desquels, guidé par le professeur, l'élève va pouvoir développer des compétences scientifiques. Le jury est aussi sensible aux copies dans lesquelles le candidat, professeur en exercice, montre comment il arrive à fixer un cadre de travail qui permet de développer l'autonomie de ses élèves.

Conclusion

Les candidats sont invités à relire les rapports précédents qui restent toujours d'actualité.

Le jury propose ci-dessous quelques remarques spécifiques aux questions qui ont été les plus abordées. Un corrigé détaillé de l'épreuve est joint à ce rapport.

Quelques remarques spécifiques

Partie A

1] La température absolue est souvent confondue avec le zéro absolu.

La notion de température et la mesure de celle-ci sont les points essentiels de ce premier paragraphe. L'agitation thermique des molécules permet l'introduction de la notion de température absolue, mais il ne s'agit pas de traiter la dilatation des gaz et la notion de gaz parfait, sujets de la question 6].

En revanche, il serait bon d'évoquer les difficultés rencontrées (non linéarité, donc échelles différentes).

L'expression mouvement brownien est souvent utilisée à la place d'agitation moléculaire. Rappelons que le mouvement brownien est observé au microscope : il s'agit au sens strict du comportement des particules (Brown était botaniste) au sein d'un liquide, bombardées par les molécules constituant celui-ci.

2 Le rayonnement du filament d'une lampe est facile à observer, celui d'un morceau de métal « chaud » beaucoup moins. La flamme obtenue lors d'une combustion est un choix curieux et discutable. Une lampe à décharge n'est pas un système en équilibre thermique pour lequel on peut définir une température. Enfin la question portait sur le lien entre température et spectre, et donc pas seulement entre température et couleur. La présence d'un spectroscopie était donc attendue dans l'expérience proposée.

3 Le spectre d'une étoile n'est pas monochromatique à la longueur d'onde λ_m . Si Bételgeuse et Rigel n'émettaient que dans l'IR et l'UV, elles intéresseraient peu les astronomes amateurs. Il est regrettable d'avoir à préciser que « le soleil est vert » n'est pas une réponse acceptable.

4 On peut distinguer les thermomètres à dilatation (colonne de liquide dans une ampoule scellée), ceux qui analysent le rayonnement et les convertisseurs température – grandeur électrique.

Il est surprenant de constater que le thermomètre à mercure est souvent mentionné alors que son usage est interdit. Les thermomètres à alcool et à mercure sont deux exemples de thermomètre à dilatation. Que le liquide soit l'alcool coloré ou le mercure, l'ampoule est scellée, ce qui est rarement mentionné.

En revanche les thermomètres dits de Galilée, que l'on trouve chez les marchands de souvenirs, semblent avoir impressionné les candidats. Rappelons qu'ils sont constitués de sphères creuses de verre, lestées et plongées dans le liquide coloré contenu dans une éprouvette. Le phénomène essentiel est la dilatation du liquide de l'éprouvette. Celle du verre constituant les sphères est secondaire et celle des liquides dans celles-ci sans influence.

Les thermomètres à résistance de platine et les thermocouples sont très utilisés.

Les thermistances et les diodes sont surtout utilisées pour des protections et des régulations. La thermistance a une caractéristique $R(T)$ en $\exp(\alpha/T)$, donc très éloignée de la linéarité. Ce thermomètre n'est pas juste, mais il a une grande sensibilité.

Pour les diodes (utilisables dans un domaine de température assez restreint), à courant constant, il est difficile de mettre en évidence un écart à la linéarité de la tension de seuil en fonction de la température. Une telle propriété, même approchée, est assez exceptionnelle : en général, la grandeur thermométrique ne varie pas de façon linéaire en fonction de la température absolue : elle définit une autre échelle. Pour un thermomètre à colonne de liquide, quand on note le zéro et le 100 et qu'on divise en 100 divisions égales, on fait une approximation, souvent suffisante pour les appareils bon marché.

Le thermomètre à gaz (parfait) n'est toujours pas détrôné comme étalon primaire. C'est un énorme appareil, très coûteux et très sophistiqué, dont il n'existe aucun exemplaire en France.

Les thermomètres médicaux qui analysent le rayonnement émis par le corps humain ne doivent pas faire oublier les pyromètres optiques qui permettent de mesurer la température d'un four.

Enfin si on choisit d'expliquer le fonctionnement d'un thermomètre à dilatation, il est nécessaire d'indiquer comment sont déterminées les graduations 0 et 100.

5 La supraconductivité ne sert pas à abaisser la température. Trop de candidats ne savent pas que la température la plus basse que l'on sait atteindre actuellement est de l'ordre de 10^{-9} K.

6 On peut supposer acquises les notions de température et de pression, ainsi que la façon de mesurer ces grandeurs.

Le fait que la température soit basse ou qu'un gaz soit parfait n'a pas de rapport direct avec la faiblesse de la pression. Curieusement le vide est souvent assimilé au froid.

Il faut bien distinguer les observations (dans de nombreuses situations, un gaz réel se comporte approximativement comme un gaz parfait) des interprétations qui peuvent être faites (molécules ponctuelles sans interaction). Cette remarque est générale et il est conseillé de la prendre en compte de façon assez systématique.

Pour un gaz quelconque, la proportionnalité du nombre de moles n au volume V à pression p et température T données peut être considérée comme évidente : si on met en communication deux cellules identiques (même gaz, même volume, même pression, même température), il ne se passe rien. Il n'en est pas de même pour n et p à V et T donnés.

La mesure du nombre de moles n'est pas une opération très simple, d'autant qu'elle fait souvent appel aux hypothèses qui sont les lois du gaz parfait. Le problème est souvent « expédié » assez rapidement et il est à peu près évident que la vérification de la proportionnalité à n n'est en général pas faite.

7 Sans verser dans un purisme excessif, on peut affirmer que l'énergie thermique ou calorifique n'existe pas et il en est de même du transfert thermique par rayonnement. Les termes corrects sont transfert thermique ou transfert de chaleur ou, plus simplement, transmission de la chaleur, qui peut se faire par conduction ou convection.

Il existe également le transfert par rayonnement.

Le transfert par travail (ou échange de travail) existe également, mais n'est pas concerné dans la question.

Partie B

10 Comme point de repère, la stratosphère commence à peu près au sommet de l'Everest.

11 Les forces f_A et f_B ont été mal identifiées. Il n'était nullement question de référentiel en rotation, et donc de forces d'inertie.

12 Une force peut avoir une intensité importante et être loin d'être négligeable, et ne pas travailler. C'est le cas de la force de Lorentz dans les tubes des anciens postes de télévision. Il n'est évidemment pas suffisant de dire que la force exercée par le champ magnétique est négligée par ce qu'elle est négligeable ! Il faut le justifier. Mais il n'est pas possible de comparer les champs électrique et magnétique qui sont des grandeurs physiques différentes. On ne peut comparer que des objets de même nature.

13 Si la force magnétique est négligée, la force électrique ne l'est évidemment pas.

15 Les équations de Maxwell n'ont été que très rarement écrites correctement, ce qui n'est pas acceptable. Se reporter aux commentaires généraux.

16 On demandait d'établir une équation, mais il fallait évidemment le faire avec rigueur : on ne peut pas affirmer, sans justification, que $\text{div } \mathbf{E} = 0$, comme si cela était évident, tout simplement parce que, sinon, on n'obtient pas l'équation demandée...

17 et 18 Multiplier les deux termes d'un rapport par la quantité complexe conjuguée du dénominateur n'est pas toujours judicieux. Souvent cela alourdit les calculs sans bénéfice.

19 Le champ observable est le champ réel $\mathbf{E} = E_0 \cdot \exp(-n_2 \omega z/c) \cdot \cos(\omega t - \omega n_1 z/c) \cdot \mathbf{u}_x$ et non le vecteur complexe associé.

21 Les valeurs numériques de δ étaient importantes pour comprendre l'intérêt de l'étude.

Partie C

22 Le flux est surfacique, la température est celle du corps à l'équilibre.

23 et 24 La surface d'une sphère de rayon R est $4\pi R^2$.

Pour un habitant de la Terre, les rayons du Soleil sont parallèles. La surface irradiée est celle d'un grand cercle πR_T^2 . Elle ne serait celle d'un hémisphère $2\pi R_T^2$ que si les rayons arrivaient convergents vers le centre de la Terre !

Dans de nombreuses copies, l'albédo A est confondu avec $1 - A$.

27 $S = \pi R^2$ entraîne directement que $\delta S/S = 2 \cdot \delta R/R$. Les différentielles logarithmiques devraient être bien connues. Beaucoup de candidats se lancent là dans des calculs qui leur font perdre un temps précieux et qui n'aboutissent pas toujours.

28 Les bilans thermiques ont été très rarement bien écrits. Il ne faut pas oublier que l'atmosphère émet des deux côtés, ce qui est clairement rappelé sur le schéma dans l'énoncé.

31 Le pendule appartient à l'histoire de la physique. Il permet des manipulations intéressantes et la mesure des propriétés de sa période est un exercice très formateur. Mais le système semble très mal connu, car les erreurs et confusions sont nombreuses.

- La distinction entre pendule pesant et pendule simple n'a rien à voir avec les frottements. Un pendule pesant est constitué d'un solide soumis à son poids P et mobile autour d'un axe (O) ne passant pas par son centre de gravité G : il n'est nul besoin de faire intervenir d'autres accessoires comme une tige ou un fil. Le pendule simple est le modèle dans lequel ce solide peut être assimilé à son centre de gravité où serait concentrée toute la masse M . Bien entendu, on peut approcher expérimentalement ce système par une masselotte de petite dimension accrochée à un fil de grande longueur (et de masse négligeable devant celle de la masselotte).

- La valeur de la période T d'un pendule pesant n'est pas très éloignée de celle T_0 du pendule simple correspondant dont il peut paraître pourtant géométriquement assez éloigné. L'écart peut être estimé à l'aide du théorème de Huygens qui permet de calculer les moments d'inertie : $I(O) = ML^2 + I(G)$, L étant égal à OG . Le moment d'inertie du solide par rapport à un axe passant par son centre de gravité G dépend évidemment de la forme du solide. Assez souvent, le solide est constitué d'une tige rigide de masse négligeable et de longueur L à laquelle est accroché un cylindre de rayon R . dans ces conditions : $I(O) = ML^2 + MR^2/2$ (si l'axe du cylindre est parallèle à l'axe de rotation). Si $L \gg R$, on a alors : $T \approx T_0 \cdot (1 + R^2/4L^2)$. Ainsi, si $L \gg R$, la formule du pendule simple est une excellente approximation (validité à estimer, mais, même pour $L = 3R$, la formule du pendule simple donne une bonne idée). Cela est d'autant plus vrai que la valeur de la période n'est pas dépourvue d'ambiguïtés : petits angles ou non, période ou pseudo-période.

- Un pendule, comme tout système physique, est amorti. L'hypothèse de l'absence de frottement est une approximation qui peut être acceptable. Si tel est le cas, la période du pendule (simple) est indépendante de sa masse pour les mêmes raisons très générales et aussi fondamentales que la loi de chute d'un objet est indépendante de sa masse (identité entre masse gravitationnelle et masse inerte). Cela n'a rien à voir avec la propriété d'isochronisme approché qui est spécifique du pendule.

Dire que la période du pendule pesant est indépendante (ou non) de sa masse n'a pas grand sens, car celle-ci intervient également dans le moment d'inertie.

Des frottements qui ne peuvent pas être considérés comme nuls n'ont aucune raison d'être proportionnels à la masse et celle-ci ne se simplifie plus dans l'équation différentielle du mouvement. C'est pourquoi remplacer une plaque par une autre, de plus grande surface, pour augmenter les frottements, n'est pas totalement satisfaisant.

Pour obtenir un freinage fluide, les courants de Foucault sont un meilleur outil que la palette dans un fluide. La fraction de celui-ci qui est entraînée a en effet une certaine inertie.

La mesure soignée de la période d'un pendule est assez délicate, les frottements étant inévitables et influant sur l'amplitude du mouvement. Le choix d'un potentiomètre comme capteur de position est une solution élégante, mais le principe de l'appareil repose sur l'existence de frottements de contact. Les barrières à capteurs optiques sont plus satisfaisantes et donnent une excellente précision même si on se limite à une ou deux oscillations, ce qui est nécessaire si on veut que l'amplitude du mouvement soit déterminée avec précision. En effet, dans le cas d'un frottement fluide, l'amplitude maximale décroît exponentiellement en fonction du temps. Dans la pratique, si on donne une amplitude initiale de 45° , au bout de deux ou trois oscillations, l'amplitude n'est plus que de 20 à 30° . Dans ces conditions la vérification de l'isochronisme est illusoire.

Enfin la pseudo-période dépend de façon quadratique du coefficient de frottement fluide, qui fait intervenir la viscosité.

35 Le référentiel barycentrique a pour centre le centre d'inertie G du système étudié et a ses axes parallèles à ceux d'un référentiel galiléen de référence pour l'expérience décrite. Il est donc en translation à la vitesse $v(G)$ par rapport à celui-ci et n'est donc pas, en général, galiléen. Bien entendu, si le système n'est pas soumis à des forces extérieures ou s'il est soumis à un ensemble de forces extérieures de résultante nulle, le référentiel barycentrique est alors en translation à vitesse constant et est donc galiléen.

37 La molécule de dioxyde de carbone est isolée : les tensions des « ressorts » sont des forces intérieures à la molécule, c'est-à-dire au système constitué des trois atomes et des « ressorts », et il n'y a pas de force extérieure. Le caractère galiléen de son référentiel n'a rien à voir avec le fait que la molécule soit astreinte à se déplacer selon une seule direction ou qu'elle soit symétrique (avec deux « ressorts » de même raideur).

39 Cette question a été trop rarement bien traitée. Il est regrettable de constater la présence très fréquente d'erreurs de signe dans l'expression des forces de rappel. Les pulsations propres ont donc été très rarement déterminées.

40 Il s'agit de décrire brièvement les modes symétrique et antisymétrique.

41 La molécule est neutre. La somme des forces extérieures est donc nulle. Il s'agit du cas où les forces extérieures se compensent. Mais on ne peut pas dire que le système, soumis à un champ extérieur, soit isolé.

47 et 51 Les bilans d'énergie n'ont été quasiment jamais bien écrits. Il s'agit pourtant de bilans classiques en physique, qu'il est nécessaire d'écrire correctement.

Partie D

54 Le physicien sait ce qu'est un ordre de grandeur. Il vaut mieux dire que Becquerel (et ni le couple Curie, ni Röntgen) a découvert la radioactivité vers 1900 que donner une date fautive, même à quelques années près.

55 La désintégration d'un noyau radioactif est spontanée et aléatoire. Limiter la définition d'un noyau radioactif à l'affirmation qu'il se désintègre sans explication complémentaire n'est pas totalement satisfaisant. On pourrait croire qu'il disparaît purement et simplement.

56 Toute transformation nucléaire qui vérifie les conservations de A et Z n'a évidemment pas lieu pour autant.

L'émission β^- , qui relève de l'interaction faible, est un phénomène complexe (sans doute davantage que l'émission α qui est assimilable à un simple effet tunnel). Il n'est pas judicieux de la ramener à la transformation d'un seul neutron. Celui-ci, isolé, est effectivement instable par radioactivité β^- (demi-vie de l'ordre de l'heure), mais peut être stable dans un noyau.

A l'heure actuelle, l'instabilité du proton isolé n'a pas été mise en évidence. Mais, si celle-ci est un jour avérée, ce ne sera pas par radioactivité β^+ .

Il n'est donc pas judicieux de se lancer dans des spéculations hasardeuses, mais il est effectivement bon d'avoir en mémoire quelques exemples de réactions α et β .

57 Ce n'est pas parce que le nombre n a beaucoup diminué que la durée choisie pour le comptage est adaptée. Il faut comparer la durée d'un comptage au temps de demi-vie.

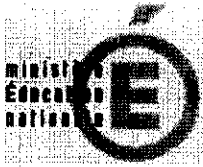
58 Dans sa configuration initiale, le CRAB n'est plus autorisé dans les établissements. Mais il n'est pas correct d'affirmer que toute source radioactive est interdite au lycée. Il y a des normes. Pour des raisons évidentes, on ne peut pas conserver dans un laboratoire de lycée des échantillons dont la demi-vie est de l'ordre de la minute ou de l'heure. Le radon est donc un produit dérivé (on ne dispose pas d'échantillon de radon) et le césium ne permet pas de suivre la décroissance temporelle. Dans le cas de nucléides de grande demi-vie, on peut refaire plusieurs fois les mesures en admettant qu'on est toujours dans les mêmes conditions. On peut ainsi mettre en évidence le caractère aléatoire du nombre de désintégrations enregistrées pendant un intervalle de temps donné (moyenne, variance, écart-type, ...).

Dans le cas du radon, dont la demi-vie est faible (1 min), on ne peut pas se placer plusieurs fois dans les mêmes conditions. On peut montrer que la loi en $\exp(-\lambda t)$ n'est respectée qu'en moyenne avec des écarts aléatoires.

59 Un exercice ne comportant pas de question sur les énergies mises en jeu n'est pas formateur.

60 Les deux principes de la thermodynamique sont en général énoncés de façon incomplète, et leur application n'est pas assez souvent correctement justifiée. Par exemple, le premier principe s'écrit $\Delta E = W + Q$, où $E = U + E_c + E_p$, et dans l'application du deuxième principe au problème posé, $\Delta S = 0$ non pas parce que les transformations sont réversibles, mais parce que le système auquel on applique le principe subit un cycle de transformations.

61 Le rendement de Carnot fait référence au cycle de Carnot, cycle fondamental intervenant dans le moteur de Carnot, à connaître.



EAI PHC 2
Repère à reporter sur la copie

SESSION 2010

**AGREGATION
CONCOURS INTERNE
ET CAER**

**Section : SCIENCES PHYSIQUES
Option : PHYSIQUE ET CHIMIE**

COMPOSITION AVEC EXERCICES D'APPLICATION

Durée : 5 heures

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

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

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

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

NB : 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.

A

Données numériques relatives à l'ensemble du sujet

Constantes physiques

Constante du gaz parfait : $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Constante d'Avogadro : $N_a = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Charge élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$

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

Célérité de la lumière : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Le faraday : $1 \text{ F} = 9,65 \times 10^4 \text{ C.mol}^{-1}$

Numéros atomiques et masses molaires (g.mol^{-1})

Élément	H	Li	B	C	O	Si	P	Mn	Co	Zn
Numéro atomique	1	3	5	6	8	14	15	25	27	30
Masse molaire	1,0	6,9	10,8	12,0	16,0	28,1	31,0	54,9	58,9	65,4

Données thermodynamiques à 298 K (supposées indépendantes de la température) :
enthalpies de formation standard et entropies standard absolues

Composés	C (s)	CO (g)	CO ₂ (g)	CH ₄ (g)	H ₂ (g)	H ₂ O (g)	O ₂ (g)
$\Delta_f H^\circ$ (kJ.mol ⁻¹)	-	- 110	- 393	- 75	-	- 242	-
S° (J.K ⁻¹ .mol ⁻¹)	6	197	213	186	130	189	205

	H ₂ O (l)	CH ₃ OH (l)	ZnO (s)	Zn (s)
$\Delta_f H^\circ$ (kJ.mol ⁻¹)	-286	-239	-348	-
S° (J.K ⁻¹ .mol ⁻¹)	70	127	44	42

Enthalpie standard de dissociation des liaisons

Liaison	C-C	C-H	C=O	O=O	O-H
$D_d H^\circ$ (kJ.mol ⁻¹)	345	415	804	497	463

Température d'ébullition ($P=P^\circ$) et enthalpie de vaporisation de quelques composés

Composés	eau	n-hexane	n-octane
T_e (°C)	100	69	125
$\Delta_{\text{vap}} H^\circ$ (kJ.mol ⁻¹)	44	29	35

Potentiel standard à pH = 0 et à 25 °C

Couple redox	Zn ²⁺ /Zn	Ag ⁺ /Ag
E° (V)	-0,76	0,80

On prendra : $\frac{RT}{F} \ln(x) = 0,06 \lg(x)$, en V

Constante globale de formation du complexe $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ à 25 °C : $\beta = 1,0 \times 10^{15}$

Produit de solubilité de l'hydroxyde de zinc, Zn(OH)₂, à 25 °C : $K_s = 1,0 \times 10^{-17}$

Rayons ioniques (pm)

Ion	Li ⁺	Co ²⁺	Co ³⁺	O ²⁻
Rayon ionique (pm)	60	74	63	140

La production et la consommation d'énergie représentent un enjeu politique, économique et scientifique majeur pour le 21^{ème} siècle. Actuellement la consommation mondiale d'énergie est basée sur les combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz) pour environ 80 %, le nucléaire pour 7 % et les énergies renouvelables (hydraulique, solaire, éolien, biomasse et géothermie) pour 13 %.

Le sujet aborde quelques aspects de la chimie en relation avec les problèmes liés à la production d'énergie. Il est constitué de trois parties indépendantes : la première concerne les énergies fossiles en particulier l'utilisation du charbon et la production de carburants, la seconde développe l'utilisation des piles électrochimiques et des piles à combustible pour la production de courant électrique et la troisième traite du développement de matériaux pour la conversion photovoltaïque.

Première partie : les énergies fossiles

Actuellement l'énorme demande énergétique au niveau mondial est principalement fournie par les énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel).

A. Réaction de combustion et transfert thermique

- A.1 Rappeler en une phrase le premier principe de la thermodynamique et exprimer la variation d'énergie interne et la variation d'enthalpie d'un système physico-chimique au repos en considérant seulement le travail des forces de pression.
- A.2 Définir l'enthalpie de réaction et indiquer comment évolue l'enthalpie d'un système fermé siège d'une réaction à température et pression constante en fonction de l'avancement de réaction.
- A.3 Indiquer à quoi correspond l'enthalpie standard de formation d'une espèce chimique. Définir les réactions de formation en prenant comme exemple le méthane, l'eau et le méthanol.
- A.4 Le pouvoir énergétique (PE) d'un combustible exprimé en MJ.kg^{-1} correspond à la quantité d'énergie libérée lors de la combustion complète d'un kg du combustible. Calculer le PE pour le carbone, le méthane et le dihydrogène.
- A.5 Proposer une expérience simple, pouvant être effectuée au collège, montrant les produits obtenus lors de la combustion du carbone et du gaz de ville. Indiquer dans quelles conditions on peut obtenir du carbone solide lors de la combustion du méthane.
- A.6 Donner la composition et une méthode de préparation de l'eau de chaux. Écrire les différentes équations des réactions qui interviennent lorsque l'on fait barboter du dioxyde de carbone en continu dans de l'eau de chaux.
- A.7 Un élève observe que lorsque l'on fait barboter de l'air dans de l'eau de chaux, il ne se passe rien mais que si l'air est inspiré puis expiré à l'aide d'une paille dans de l'eau de chaux le test est positif. Proposer une explication à donner à cet élève en justifiant la présence de l'élément carbone.

B. Le charbon

Les réserves mondiales de charbon sont extrêmement importantes et constituent pour certains pays la première source d'énergie. Le charbon peut être utilisé directement comme combustible ou pour la production de dihydrogène (gaz de synthèse).

B.I Les oxydes de carbone

- B.I.1 Préciser le nombre d'oxydation maximal de l'élément carbone.
- B.I.2 Donner les schémas de Lewis du monoxyde de carbone et du dioxyde de carbone.
- B.I.3 Le monoxyde de carbone est un composé toxique. Indiquer quel type de réaction intervient lors de l'empoisonnement avec du monoxyde de carbone. Que peuvent faire les pompiers pour essayer de sauver une personne subissant cet empoisonnement ?

B.II Stabilité thermique des oxydes de carbone

- B.II.1 Indiquer en quoi consiste l'approximation d'Ellingham.
- B.II.2 La figure 1 de l'annexe (page 19/21, à rendre avec la copie) représente le diagramme d'Ellingham pour C, CO et CO₂ relatif à une mole de dioxygène.
- B.II.2.a Compléter ce diagramme en précisant les espèces qui prédominent dans les différents domaines.
- B.II.2.b Donner l'équation des droites du diagramme, en reprenant la numérotation indiquée dans la figure 1 (annexe page 19/21).
- B.II.3 Écrire l'équation de l'équilibre de Boudouard entre le carbone et ses deux oxydes et calculer la variance de cet équilibre.

B.III Transformation du charbon en gaz de synthèse

Le charbon peut être utilisé pour la production de dihydrogène par réduction de la vapeur d'eau.

- B.III.1 Tracer sur le diagramme précédent la droite correspondant au couple H₂O(g) / H₂(g).
- B.III.2 Déterminer les équilibres à considérer lorsque de la vapeur d'eau est projetée sur du carbone en excès à T = 800 K et T = 1300 K.
- B.III.3 Calculer les constantes d'équilibre K₁^o et K₂^o correspondant aux équilibres précédents respectivement aux températures de 800 K et 1300 K.
- B.III.4 On veut favoriser la formation de dihydrogène : indiquer s'il vaut mieux travailler à haute ou basse température.

C. Les carburants

Les carburants constituent environ 80 % des produits issus du traitement du pétrole. Les essences et le gazole peuvent être considérés comme un mélange d'alcane non cycliques.

C.I Combustion des carburants.

La combustion des carburants constitue la principale source énergétique utilisée pour le transport. En plus de la diminution importante des réserves fossiles, leur utilisation massive crée des problèmes environnementaux. En classe de 1^{ère} S, la partie du programme de chimie intitulée « l'énergie au quotidien » aborde ces questions (voir annexe p 20/21).

- C.I.1 L'émission de dioxyde de carbone par un véhicule est actuellement une donnée importante qui est mise en avant pour l'achat d'un véhicule.
- C.I.1.a Indiquer l'impact sur l'environnement d'une émission importante de dioxyde de carbone.
- C.I.1.b Donner la formule d'une autre espèce chimique courante qui pose le même problème.

La consommation d'un véhicule et l'émission de CO₂ doivent obligatoirement apparaître dans la fiche technique ou sur tout affichage publicitaire. Pour une voiture à essence de 120 ch les données suivantes sont indiquées :

Consommations :	Cycle urbain	11,2 L / 100 km
	Cycle extra-urbain	6,4 L / 100 km
	Cycle mixte	8,2 L / 100 km
Emission de CO ₂ :	194 g / km	

- C.I.2 Au niveau d'une classe de 1^{ère} S, on veut lors d'un exercice de contrôle mettre en évidence la relation entre la consommation du véhicule et l'émission de CO₂ qui est indiquée. L'essence sera considérée comme un mélange d'isomères de l'octane avec une densité de 0,76.
- C.I.2.a Rédiger l'énoncé de l'exercice tel que vous le poseriez à un contrôle en classe de 1^{ère} S (les données numériques nécessaires à la résolution de l'exercice apparaîtront dans l'énoncé).
- C.I.2.b Justifier les étapes de votre questionnement.
- C.I.2.c Donner la résolution complète de l'exercice, telle que vous la donneriez à vos élèves.
- C.I.3 Toujours en classe de 1^{ère} S, on cherche à calculer l'énergie totale (en Joule) dépensée par le véhicule précédent lorsqu'il parcourt 100 km à 90 km / h. Indiquer les étapes du raisonnement qui doit être mis en place avec les élèves pour donner des éléments de réponse à cette question. Pour calculer la chaleur de réaction de combustion de l'octane, on pourra considérer l'octane en phase gaz.

C.II Les agrocarburants

L'utilisation de biocarburants ou agrocarburants, tels que l'éthanol issue de la biomasse (bioéthanol) et les esters méthyliques d'huiles végétales (diester[®]), est proposée pour diminuer l'impact de l'émission de dioxyde de carbone par les moteurs thermiques.

- C.II.1 Expliquer pourquoi l'utilisation de ces agrocarburants contribue à diminuer l'émission de dioxyde de carbone.
- C.II.2 Donner la formule générale des triglycérides d'une huile végétale.
- C.II.3 Un diester est obtenu par traitement de l'huile végétale par un excès de méthanol soit en présence d'un catalyseur acide comme l'acide sulfurique, soit par catalyse basique avec du méthanolate de sodium.
- C.II.3.a Indiquer la formule du produit obtenu en plus du diester et donner le nom de la réaction effectuée.
- C.II.3.b Proposer un mécanisme pour la réaction sous catalyse acide.

C.II.4 Dosage du diester dans un gazole

Le diester peut être mélangé avec le gazole avec des teneurs allant jusqu'à 5 % en masse. Afin de déterminer la teneur en diester dans un gazole, on effectue le dosage décrit ci-dessous.

On introduit dans un ballon 5,0 mL de gazole, 15 mL d'éthanol puis exactement 2,5 mL de soude à $1,00 \text{ mol.L}^{-1}$. Le mélange est chauffé à reflux pendant 1 h. Après refroidissement, la solution est dosée par de l'acide chlorhydrique à $0,100 \text{ mol.L}^{-1}$ en présence de phénolphaléine.

- C.II.4.a Écrire l'équation de la réaction d'un ester avec la soude.
- C.II.4.b Préciser le rôle de l'éthanol.
- C.II.4.c Indiquer la nature de la verrerie à utiliser pour prélever le gazole, l'éthanol et la soude.
- C.II.4.d Quelle consignes doit-on donner au personnel de laboratoire pour la préparation de la solution de soude à $1,00 \text{ mol.L}^{-1}$?
- C.II.4.e Sachant qu'il faut verser 17,7 mL d'acide chlorhydrique pour atteindre l'équivalence, calculer la quantité de diester contenue dans les 5 mL de gazole.
- C.II.4.f La densité d du gazole est égale à 0,84 et la formule brute du diester est $\text{C}_{19}\text{H}_{34}\text{O}_2$. Calculer le pourcentage massique de diester dans le gazole.

C.III Qualité d'une essence

Pour une essence, l'indice d'octane rend compte de la capacité d'un carburant à être comprimé sans exploser spontanément. Le tableau 1, page 20/21, donne l'indice d'octane RON pour différents composés (pour un moteur à bas régime).

- C.III.1 Rappeler comment est défini l'indice d'octane d'une essence. Dessiner la formule topologique des deux composés de référence.
- C.III.2 Indiquer comment va évoluer l'indice d'octane d'une essence en fonction de :
 - la longueur de la chaîne carbonée d'un alcane linéaire ;
 - la ramification des chaînes carbonées ;
 - la présence de noyau(x) aromatique(s).
- C.III.3 L'éthyltertiobutyléther (ETBE) ajouté à l'essence est synthétisé par réaction de l'éthanol avec le 2-méthylpropène en présence d'acide comme catalyseur. Écrire l'équation de la réaction et proposer un mécanisme réactionnel.

C.IV. Fabrication d'une essence

On se propose de revoir rapidement les différentes étapes pour obtenir une essence.

C.IV.1 Distillation fractionnée du pétrole

On cherche à modéliser la distillation fractionnée à partir d'un système binaire simple hexane–octane.

- C.IV.1.a Expliquer pourquoi on peut considérer que le mélange liquide de ces deux alcanes est un mélange idéal, après avoir défini ce terme.
- C.IV.1.b Pour chaque constituant, à l'équilibre pour une température T , la composition en fraction molaire de la phase vapeur est donnée par y_i et celle de la phase liquide est donnée par x_i . Si $T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, les coordonnées des courbes d'ébullition et de rosée sont pour l'hexane $x_h = 0,28$ et $y_h = 0,64$. Donner l'allure du diagramme binaire liquide – vapeur isobare ($P = P^\circ$) pour le mélange hexane – octane en prenant comme abscisse la fraction molaire en hexane.
- C.IV.1.c On considère un mélange de 100 g d'hexane et 95 g d'octane. Ce mélange est vaporisé entièrement à la température de $130 \text{ }^\circ\text{C}$ puis refroidi progressivement jusqu'à

une température de 100 °C. Calculer la masse de liquide obtenue et donner sa composition en masse en octane et hexane.

C.IV.1.d Expliquer en cinq lignes au plus le principe de la distillation fractionnée (un schéma simplifié annoté est demandé)

C.IV.2 La figure 2 donnée en annexe (page 21/21) représente un schéma général du raffinage d'une essence.

C.IV.2.a Indiquer le rôle du craquage catalytique et du reformage pour la fabrication des essences.

C.IV.2.b Expliquer pourquoi, lors de l'obtention des fuels, ces traitements ne sont pas effectués. Indiquer la signification du terme «hydrodésulfuration »

C.IV.3 Reformage

Le reformage catalytique est effectué vers 500 °C en présence de catalyseur (platine – rhénium) et permet en particulier des réactions de déshydrocyclisation (1), d'aromatisation (2) ou d'isomérisation (3). Pour modéliser les réactions de reformage, on considère ces réactions à partir de l'hexane pour lesquelles on donne les enthalpies libres standards de réaction et les enthalpies standards de réaction, toutes les espèces étant à l'état gazeux.

L'enthalpie standard de réaction est considérée comme indépendante de la température.

(1) Déshydrocyclisation $n\text{-C}_6\text{H}_{14} = \text{C}_6\text{H}_{12} + \text{H}_2$ $\Delta_r G_1^\circ = 25 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ et $\Delta_r H_1^\circ = 40 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

(2) Aromatisation $n\text{-C}_6\text{H}_{14} = \text{C}_6\text{H}_6 + 4 \text{ H}_2$ $\Delta_r G_2^\circ = 85 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ et $\Delta_r H_2^\circ = 210 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

(3) Isomérisation $n\text{-C}_6\text{H}_{14} = 2\text{-méthylpentane}$ $\Delta_r G_3^\circ = 3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ et $\Delta_r H_3^\circ = - 4 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

Indiquer quelle réaction sera favorisée à 500 °C et en conclure, en s'appuyant sur ce modèle et sur les données du tableau 1, page 20/21, pourquoi le reformage permet d'augmenter l'indice d'octane d'une essence.

Deuxième partie : piles et accumulateurs

D Piles électrochimiques

D.I *Pile Zinc – Argent*

On considère une pile électrochimique construite avec les couples Zn^{2+}/Zn et Ag^+/Ag .

D.I.1 Décrire deux expériences simples mettant en évidence la différence entre réaction chimique et réaction électrochimique.

D.I.2 Présenter en cinq lignes au plus le principe de fonctionnement d'une pile Zinc – Argent dans le cadre d'une classe de terminale scientifique, en s'appuyant sur un schéma.

D.II *Diagramme potentiel – pH du zinc*

La figure 3 représente le diagramme potentiel – pH simplifié du zinc qui a été tracé en considérant une concentration en espèce dissoute $c = 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

D.II.1.a Retrouver les coordonnées des points A et B et donner l'équation de la droite reliant ces deux points.

D.II.2.b Indiquer les conclusions à tirer de ce diagramme sur la stabilité thermodynamique du zinc métallique en solution acide ($\text{pH} < 2$) et en solution très basique ($\text{pH} > 14$).

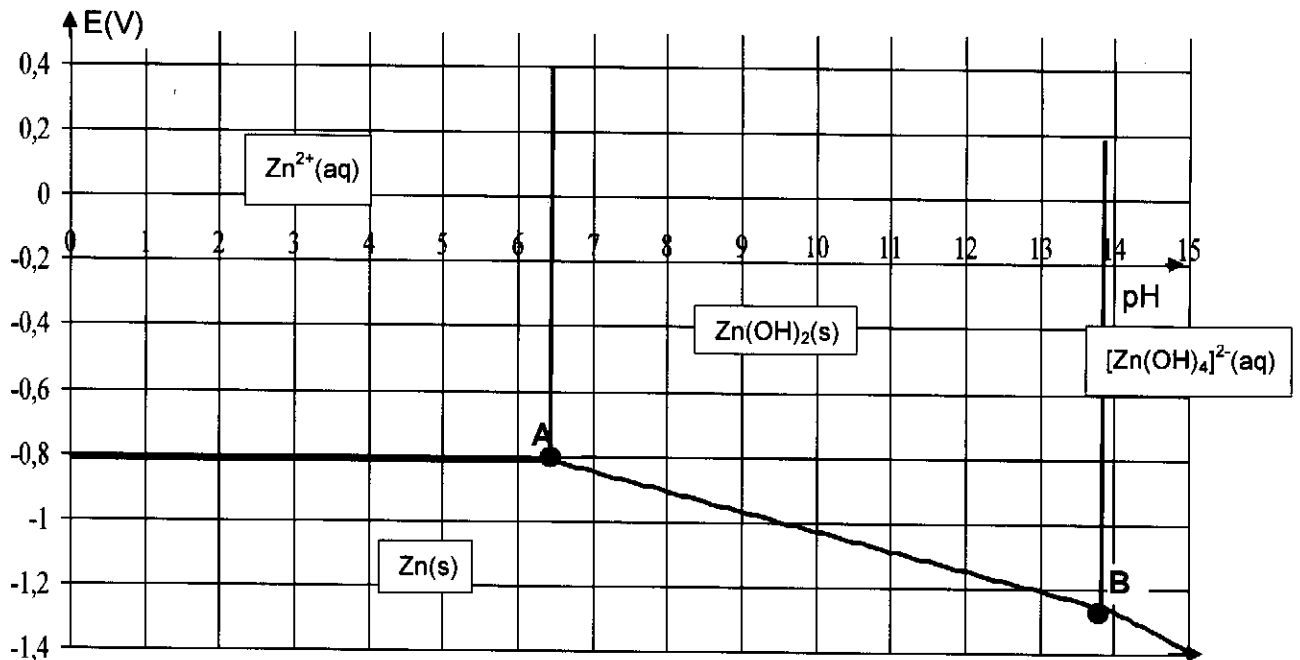


Figure 3 : Diagramme potentiel – pH du zinc

D.III Piles commerciales à base de zinc

D.III.1 Pile saline et pile alcaline

On considère les deux piles décrites dans le tableau ci dessous.

		Pile saline	Pile alcaline
Anode	Réducteur	Récipient de zinc	Poudre de zinc
	Collecteur		Tige métallique
Cathode	Oxydant	Dioxyde de manganèse MnO_2 + poudre de carbone	Dioxyde de manganèse MnO_2 + poudre de carbone
	Collecteur	Graphite	Récipient en acier
Électrolyte		Chlorures d'ammonium et de zinc gélifiés	Solution aqueuse d'hydroxyde de potassium

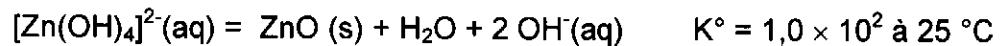
D.III.1.a Expliquer pourquoi, dans ces deux piles, le dioxyde de manganèse est mélangé à du carbone.

- D.III.1.b Écrire, pour chaque pile, l'équation de la réaction de fonctionnement lorsque celle-ci débite ; on considèrera que pour les deux piles MnO_2 est réduit en $\text{MnO}(\text{OH})$.
- D.III.1.c Préciser les deux avantages de la pile alcaline par rapport à la pile saline.
- D.III.1.d On considère une pile alcaline constituée avec 6 g de zinc en poudre et 8 g de dioxyde de manganèse ; la masse des autres constituants (électrolyte, boîtier, carbone etc.) est de 18 g. La force électromotrice de la pile est $e = 1,5 \text{ V}$.
Calculer l'énergie massique maximale (en W.h.kg^{-1}) de cette pile.

D.III.2 Pile Zinc – Air

La pile Zinc – Air est une pile bon marché très utilisée, en particulier pour les prothèses auditives. Elle possède une énergie massique importante qui dépend directement de la quantité de métal introduit. L'électrolyte est une solution gélifiée de potasse (KOH). La réaction globale correspond à l'oxydation du zinc en oxyde de zinc.

- D.III.2.a Calculer la force électromotrice théorique e° de cette pile à 25°C .
- D.III.2.b En fait, l'oxydation du zinc à l'électrode conduit à des ions $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$. Il y a ensuite une précipitation lente d'oxyde de zinc selon la réaction d'équation :



Calculer, à $\text{pH} = 14$, la concentration en ions $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ à la saturation à 25°C en supposant que les coefficients d'activité valent 1 pour les espèces dissoutes.

- D.III.2.c La tension de fonctionnement de la pile dépend fortement de la nature de l'électrode à dioxygène. Cette dernière est en général constituée de fibre de carbone poreux et d'un catalyseur. Expliquer, à l'aide de courbes intensité-potential, comment le catalyseur permet d'augmenter la tension de fonctionnement de la pile.
- D.III.2.d Un fabricant propose une pile Zinc – Air avec une tension moyenne de fonctionnement U égale à $1,3 \text{ V}$ pour laquelle la masse de zinc utile représente 60 % de la masse de la pile. Calculer en W.h.kg^{-1} l'énergie massique de cette pile. Comparer avec le calcul de la question D.III.1.d.

E. Pile à combustible

Une pile à combustible permet de convertir directement une énergie chimique en énergie électrique pour une réaction de combustion. Le tableau ci-dessous présente quelques exemples de piles à combustible qui sont déjà commercialisées ou à l'état de prototype.

Type de pile	Électrolyte	Combustible	Température	Rendement
AFC Alkaline Fuel Cell	OH^-	H_2	$60 - 80^\circ\text{C}$	$55 - 60\%$
PEMFC Polymère Exchange Membrane Fuel Cell	H^+	H_2	$60 - 100^\circ\text{C}$	$40 - 45\%$
PAFC Phosphoric Acid Fuel Cell	H^+	H_2	$180 - 220^\circ\text{C}$	$40 - 45\%$
MCFC Molten Carbonate Fuel Cell	CO_3^{2-}	H_2, CO	$680 - 700^\circ\text{C}$	$50 - 65\%$
SOFC Solid Oxyd Fuel Cell	O^{2-}	H_2	$700 - 1000^\circ\text{C}$	$50 - 65\%$
DMFC Direct Methanol Fuel Cell	H^+	$\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$	$60 - 70^\circ\text{C}$	$40 - 45\%$

E.I Rendement théorique d'une pile

E.I.1 Le rendement d'une pile est donné par le rapport entre l'énergie électrique récupérée sur la variation d'enthalpie de la transformation : $r = -We/\Delta H$. Le rendement maximal accessible est calculé en considérant un fonctionnement réversible avec une tension correspondant à la force électromotrice théorique e° .

E.I.1.a Justifier la présence du terme ΔH au dénominateur.

E.I.1.b À pression et température constantes, montrer le lien entre la variation d'enthalpie libre du système et We .

E.I.1.c En déduire qu'on peut écrire que le rendement maximal peut s'écrire $r = 1 - T \frac{\Delta_r S^\circ}{\Delta_r H^\circ}$ avec

$\Delta_r H^\circ$ et $\Delta_r S^\circ$ respectivement l'enthalpie et l'entropie standard des réactions de combustion.

E.I.2.a Évaluer les rendements théoriques pour les piles PEMFC et DMFC à la température de 60°C .

E.I.2.b Comparer aux données du tableau et commenter.

E.II Les membranes des piles PEMFC

La pile PEMFC fonctionne avec une membrane à polymère échangeuse d'ions oxonium. Des copolymères à blocs ont été développés telles que le Nafion® (schéma A) ou des structures basées sur des noyaux aromatiques (schéma B). Les polymères présentent une structure globale correspondant à une chaîne polymérique primaire sur laquelle sont greffés des bras porteurs des fonctions acides (schéma C représenté sous sa forme anionique).

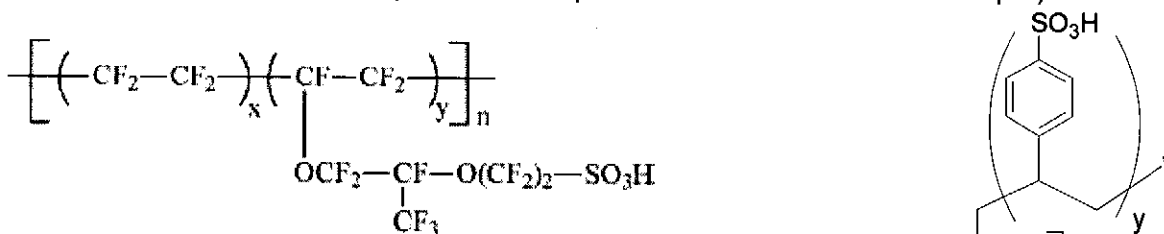


Schéma A (Nafion®)

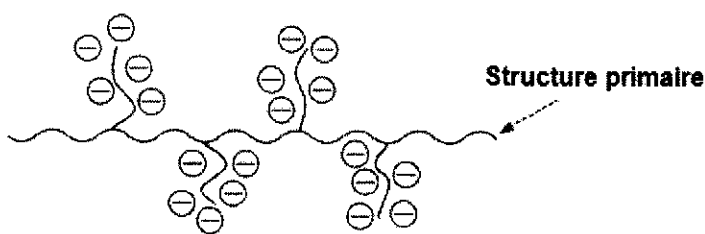


Schéma C

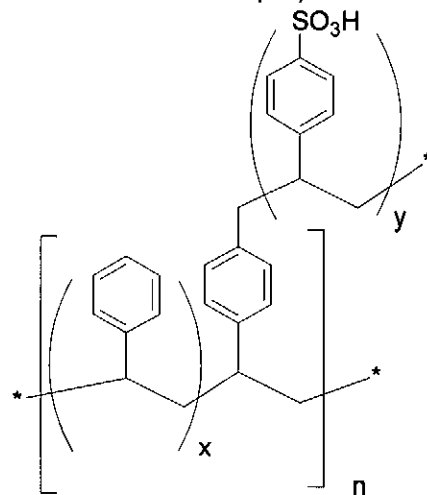


Schéma B

E.II.1 Représenter la pile en indiquant les équations des réactions aux électrodes ; indiquer quelles doivent être les propriétés de la membrane séparant les deux électrodes.

E.II.2 Indiquer pour chacune des structures A et B, la formule du monomère permettant d'accéder à la structure de base de la chaîne polymérique primaire.

E.II.3 On considère la synthèse du copolymère de structure B. Les matières premières pour obtenir ce polymère sont le styrène (ou vinylbenzène), l'acide 4-vinylbenzènesulfonique et le 1,4-divinylbenzène (DVB). La polymérisation se fait suivant un processus radicalaire en utilisant du peroxydisulfate de potassium ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) comme initiateur.

- E.II.3.a En prenant comme monomère le styrène, rappeler le mécanisme simplifié qui est généralement admis pour une polymérisation radicalaire.
- E.II.3.b Expliquer pourquoi cette polymérisation ne correspond pas à un mécanisme de polymérisation dite vivante.

E.II.4 Polymérisation radicalaire vivante.

L'obtention de la structure recherchée pour le polymère n'est possible que si la polymérisation est parfaitement contrôlée. Pour cela, une polymérisation radicalaire vivante peut être obtenue par addition dans le milieu de radicaux nitroxy ; ceux-ci ont la particularité de terminer réversiblement la croissance des centres actifs radicalaires P' en formant une alcoxyamine appelée espèce dormante (schéma D ci-dessous). En augmentant la température, l'espèce dormante peut régénérer le radical P' qui en présence de monomère M conduit à l'augmentation de la chaîne polymérique.

Le radical nitroxy le plus utilisé est le TEMPO (2,2,6,6-tétraméthyl-1-pipéridinyloxy).

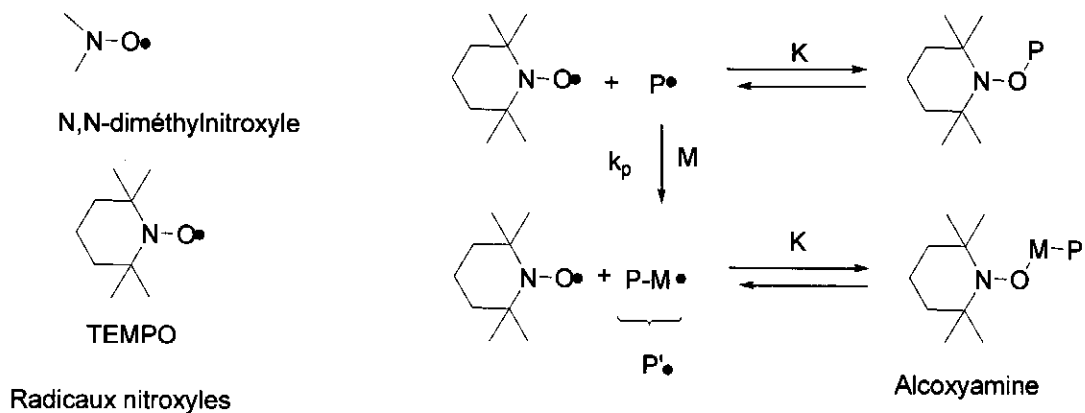


Schéma D : structure des radicaux nitroxy et principe de la polymérisation radicalaire vivante

- E.II.4.a En prenant l'exemple du radical nitroxy le plus simple (N,N-diméthylnitroxy), montrer à l'aide de schémas de Lewis que ce radical est stabilisé par délocalisation.
- E.II.4.b Indiquer en le justifiant si la dissociation de la fonction alcoxyamine en deux radicaux est favorisée à basse ou à haute température.

E.II.5 Synthèse du copolymère

La synthèse du copolymère est décrite dans le schéma E ci-dessous :

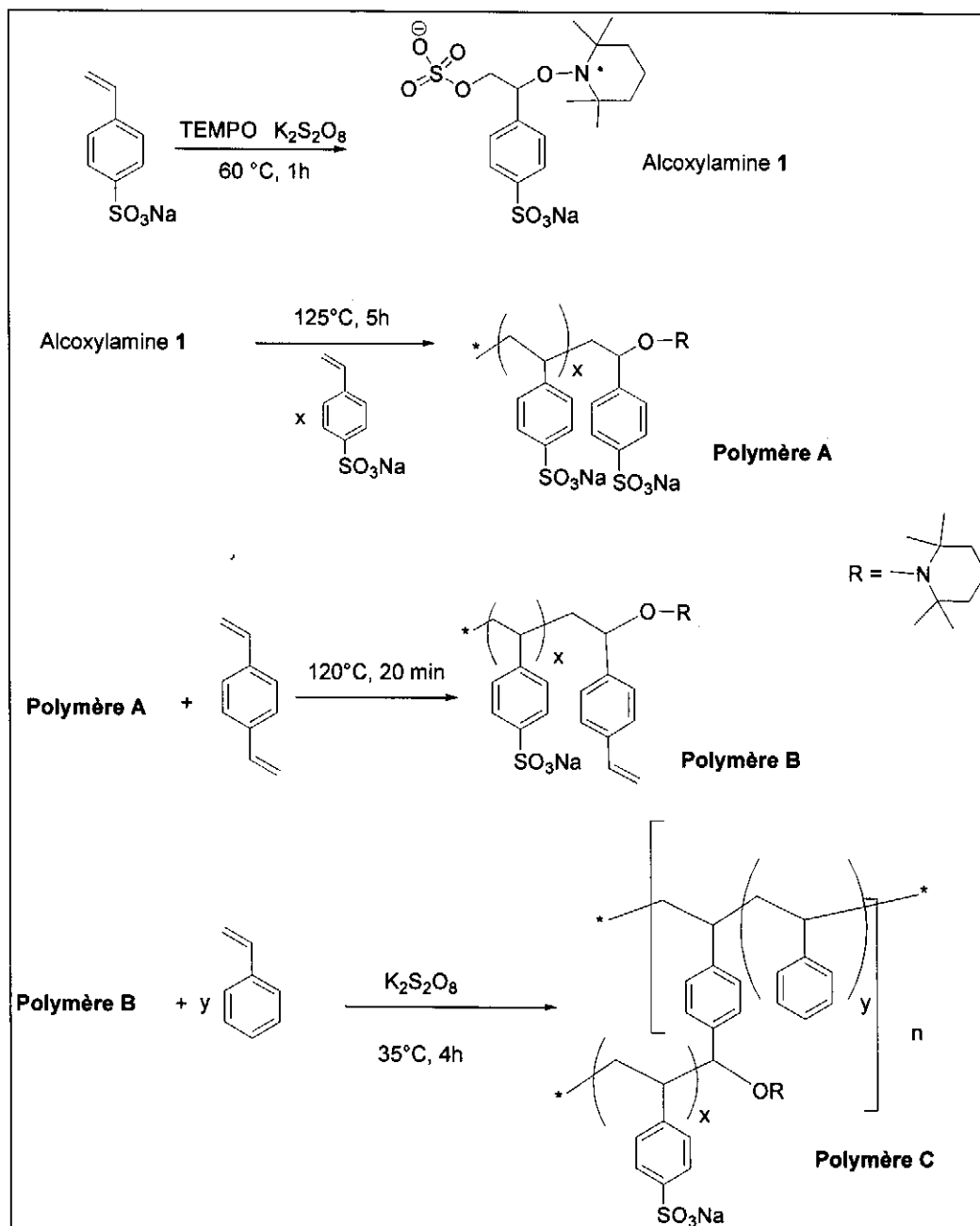
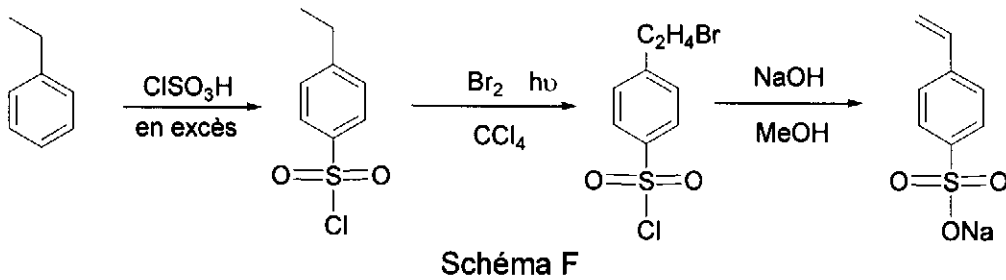


Schéma E

- E.II.5.a Écrire le mécanisme de la formation de l'alcoylamine 1.
 E.II.5.b Dans les trois étapes de polymérisations successives pour obtenir les polymères A, B et C, quelles sont les polymérisations effectuées selon un processus de polymérisation radicalaire vivante ?
 E.II.5.c Expliquer pourquoi, dans la dernière étape de polymérisation, il faut ajouter du peroxydisulfate de potassium.

E.II.6 Synthèse du 4-vinylsulfonate de sodium

La synthèse peut être effectuée à partir de l'éthylbenzène en trois étapes selon le schéma F ci-dessous



- E.II.6.a Indiquer, pour chaque étape, le type de réaction qui est mis en jeu.
- E.II.6.b Proposer un mécanisme pour la première étape.
- E.II.6.c Pour la deuxième étape, préciser quel sera l'isomère obtenu majoritairement.

F. Un exemple d'accumulateur : la batterie lithium-ion

Une batterie lithium-ion (figure 4) fonctionne sur l'échange réversible d'ions lithium entre une électrode négative en graphite avec insertion de lithium et une électrode positive, le plus souvent un oxyde de métal de transition incorporant des ions lithium tel que Li_xCoO_2 .

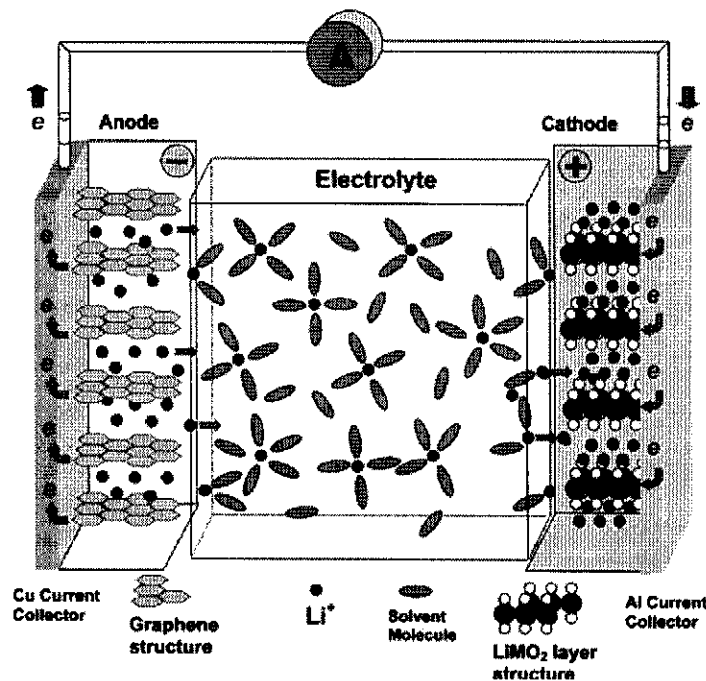


Figure 4 : Batterie au lithium avec des matériaux d'insertion comme électrode (d'après Kang Xu, *Chemical Review*, 2004, Vol. 104, pp 4303 – 4417)

Dans l'électrode positive, des ions lithium sont insérés dans la phase cristalline de l'oxyde de cobalt (CoO_2), permettant ainsi de compenser la charge lors du processus redox au niveau du cobalt. La structure du matériau est intermédiaire entre les structures LiCoO_2 et CoO_2 .

- F.1 Indiquer le nombre d'oxydation du cobalt pour ces deux valeurs limites.
- F.2 Écrire l'équation de la réaction réversible de charge et décharge pour cette électrode.

F.3 La structure cristalline de LiCoO_2 est décrite comme une structure cubique à faces centrées en anions O^{2-} avec tous les sites octaédriques occupés pour moitié par les cations lithium et l'autre moitié par les ions cobalt. Représenter une maille cubique à faces centrées et indiquer la position de tous les sites octaédriques.

F.4 Calculer le rapport minimal $\rho = \frac{r_+}{r_-}$ entre les rayons des cations et des anions et vérifier la validité de cette condition pour la structure.

Propres et inépuisables, les énergies renouvelables représentent une solution idéale pour les besoins énergétiques de la planète. Cependant, elles constituent un défi scientifique et technologique pour le 21^{ème} siècle, qui mobilise de nombreux chercheurs et ingénieurs. Les travaux sur la conversion photoélectrique pour transformer l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique associent physiciens et chimistes pour le développement de cellules photovoltaïques fiables et performantes. Plusieurs technologies déjà sur le marché sont basées sur les propriétés de semi-conducteur du silicium ou de systèmes hybrides inorganiques – organiques. Cette dernière partie va traiter de l'apport de la chimie pour l'obtention des matériaux nécessaires au développement des cellules photovoltaïques.

G.1 Le silicium semi-conducteur.

Les cellules photovoltaïques à base de silicium sont obtenues en créant une jonction P-N entre des semi-conducteurs de type P (déficit d'électrons) et N (excès d'électrons). Sous l'action de la lumière, il y a formation d'une paire électron – trou et l'action du champ électrique créé par la jonction P-N permet une séparation des charges. Le courant électrique résulte de la migration des charges chacune de leur côté.

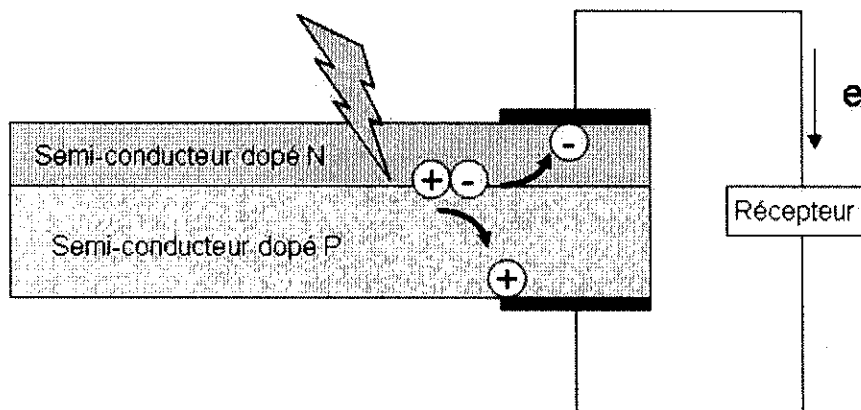


Figure 5 : Illustration schématique du principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque à base de silicium.

- G.I.1 Le silicium cristallise dans une structure de type diamant. Décrire cette structure à l'aide d'un schéma.
- G.I.2 Le paramètre de maille a est égal à 543 pm. Calculer la densité du silicium.
- G.I.3 Indiquer à quoi correspondent la bande de valence, la bande de conduction et la bande interdite dans la théorie des bandes pour un semi-conducteur comme le silicium.
- G.I.4 Le silicium peut être dopé P ou N en faisant diffuser du gaz phosphine (PH_3) ou diborane (B_2H_6) dans du silicium fondu. Indiquer à quoi correspond le dopage du silicium et quel type de dopage sera obtenu en fonction du gaz utilisé.
- G.I.5 Préciser à quoi correspond la formation d'une paire électron-trou sous l'action d'un rayon lumineux. Déterminer la valeur limite de la longueur d'onde du rayon lumineux pour que soit créée une paire électron-trou si la bande interdite est de 1,1 eV.

G.II Les cellules de type Grätzel.

Les cellules photovoltaïques inventées par le Prof. Grätzel sont inspirées de la photosynthèse et dissocient l'absorption de la lumière et la séparation des charges. La cellule est composée d'un semi-conducteur à large bande interdite tel que le dioxyde de titane TiO_2 ($\Delta E = 3,2 \text{ eV}$) recouvert d'un colorant organique sous forme d'une couche monomoléculaire et d'un électrolyte contenant des ions iodure. Le colorant absorbe la lumière en donnant un état excité noté S^* et éjecte un électron dans la bande de conduction de TiO_2 en donnant un état S^+ . Les ions iodure sont oxydés par S^+ . Les ions triiodure I_3^- formés migrent vers la cathode où ils sont réduits par les électrons provenant de la photo-anode lorsque la pile débite.

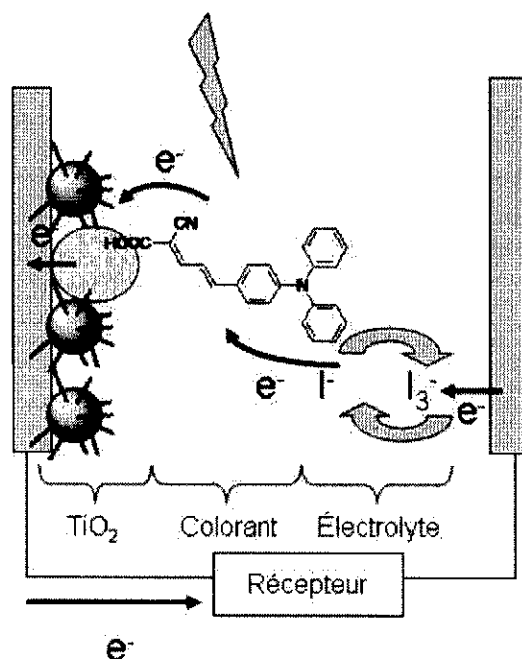


Figure 6 : Illustration schématique du principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque de type Grätzel (d'après T. Umeyama et H. Imahori, *Energy & Environmental Science*, 2008, vol.1, pp 120 -133).

- G.II.1 Indiquer très brièvement à quoi correspond la photosynthèse effectuée par les plantes. Écrire l'équation de la réaction généralement admise.
- G.II.2 Décomposer chacune des étapes décrites dans la figure 6 en écrivant les équations des différentes réactions redox qui interviennent.
- G.II.3 Approche théorique de la synthèse des colorants

Des dérivés de la triphénylamine (schéma G) qui comportent une partie linéaire conjuguée ont été récemment utilisés comme colorant dans des cellules de type Grätzel.

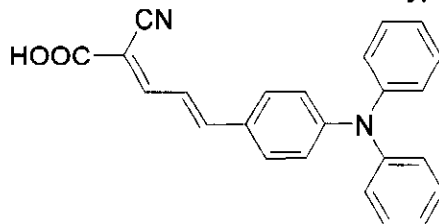


Schéma G : dérivé de la triphénylamine utilisé comme colorant dans des cellules de type Grätzel.

Pour que le système fonctionne il faut que les énergies des niveaux HO et BV du colorant soient respectivement plus bas que le niveau imposé par le couple $I_3^- / I^{\cdot-}$ et plus élevé que le niveau de Fermi de TiO_2 . Les niveaux de la HO et BV pour la partie linéaire conjuguée peuvent être prédits par une approche théorique telle que la théorie de Hückel.

- G.II.3.a Donner la définition d'un système conjugué linéaire.
 G.II.3.b Indiquer à quoi correspondent les niveaux HO et BV.
 G.II.3.c Préciser les approximations faites dans la méthode de Hückel.
 G.II.3.d Pour un polyène linéaire à n atomes de carbone, les énergies des orbitales moléculaires sont données dans le modèle de Hückel par la relation :

$$E_p = \alpha + 2\beta \cos\left[\frac{p\pi}{n+1}\right]$$

α et β sont respectivement les intégrales coulombienne et d'échange ; p est un entier compris entre 1 et n .

Déterminer les énergies de la HO et la BV pour le buta-1,3-diène et l'hexa-1,3,5-triène et comparer les écarts énergétiques pour ces deux molécules.

- G.II.3.e Grâce au résultat précédent, indiquer comment varie la couleur d'un système conjugué de plus en plus étendu.
 G.II.3.f Expliquer comment varie le potentiel d'oxydation du couple S^+/S d'un système conjugué si le niveau de la HO de S augmente. Que peut-il se passer vis-à-vis de la cellule de Grätzel si le système conjugué est trop long ?
 G.II.3.g Pour moduler les niveaux de la HO et BV des groupes donneurs (D) ou accepteurs (A) d'électrons peuvent être ajoutés. Préciser quels effets vont avoir respectivement les groupements D et A sur les niveaux de la HO et BV.
 G.II.3.g Dans la structure considérée (schéma G) quelles sont les fonctions qui jouent le rôle de donneur et d'accepteur d'électrons vis-à-vis de la partie polyène ?

G.II.4 Synthèse d'un dérivé de la triphénylamine.

L'ester méthylique du composé acide cible est obtenu en trois étapes à partir de la triphénylamine comme indiqué sur le schéma H ci-dessous.

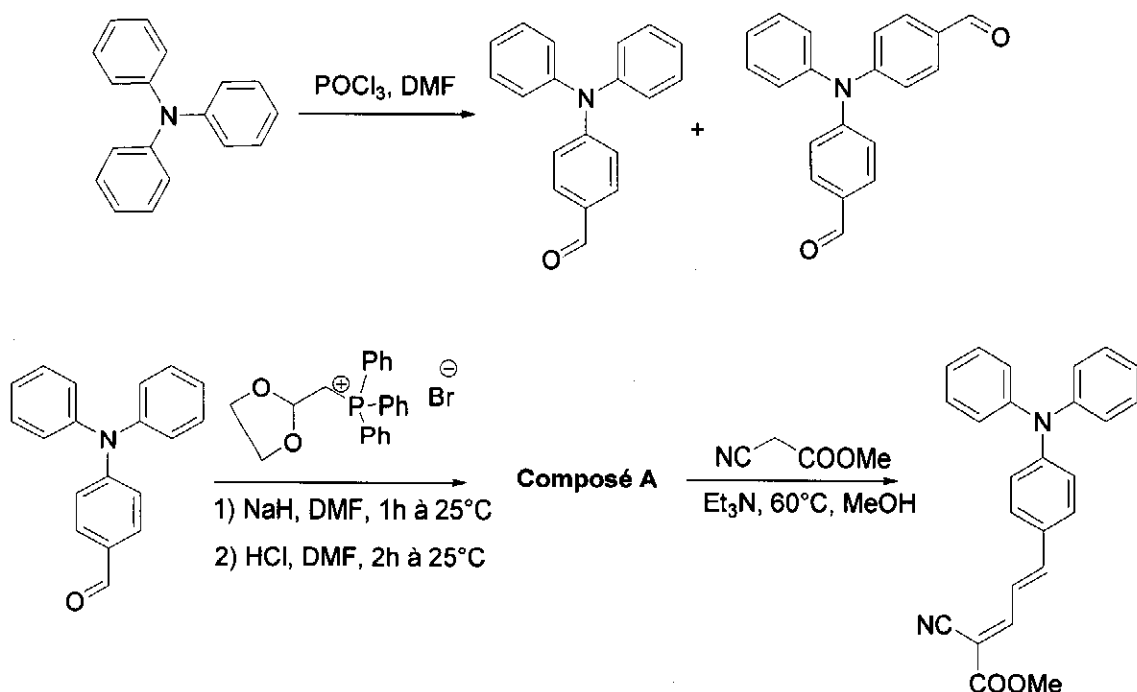


Schéma H : synthèse du dérivé étendu de la triphénylamine

G.II.4.a La première étape est une réaction de Vilsmeier-Haack conduisant à un mélange de deux produits qui sont séparés par une chromatographie sur colonne avec du gel de silice comme phase stationnaire et un mélange d'acétate d'éthyle et de cyclohexane comme éluant. Une étude par chromatographie sur couche mince (CCM) montre qu'en utilisant un mélange de 10 mL de cyclohexane avec 2 mL d'acétate d'éthyle, les rapports frontaux (R_f) des deux composés sont respectivement 0,7 et 0,3 pour le mono et dialdéhyde.

G.II.4.a.1 Proposer un protocole détaillé permettant de réaliser une CCM. Cette CCM doit permettre de comparer le produit récupéré à l'issue d'une synthèse au même produit acheté dans le commerce. On expliquera soigneusement :

- la préparation de la cuve,
- la préparation de la plaque,
- l'éluant,
- la révélation,
- la mesure des rapports frontaux.

G.II.4.a.2 Faire un schéma de la plaque CCM obtenue lors de l'expérience décrite ci-dessus.

G.II.4.b La synthèse du composé A se déroule en deux parties effectuées successivement dans le même réacteur comme décrit ci-dessous.

Un tricol maintenu sous diazote contenant une suspension d'hydrure de sodium NaH (250 mg, 0,01 mol) dans 5 mL de DMF (diméthylformamide, solvant) est refroidie à $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. À l'aide d'une ampoule de coulée isobare, le sel de phosphonium (4,3 g, 0,01 mol) dissous dans 15 mL de DMF est additionné goutte ; le dégagement gazeux doit être contrôlé. Après l'addition, on laisse le mélange revenir à température ambiante et l'agitation est maintenue 15 min. Le triphénylamine monoaldéhyde (2,7 g, 0,01 mol) dissous dans 20 mL de DMF est additionné avec un goutte à goutte assez rapide et l'agitation est maintenue pendant une heure à température ambiante. On ajoute alors prudemment 10 mL d'une solution d'acide chlorhydrique à $2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ puis à nouveau 30 mL de la solution acide ; le mélange est maintenu 2 h sous agitation à température ambiante. Le composé organique extrait avec de l'éther diéthylique est lavé avec une solution saturée d'hydrogencarbonate de sodium puis deux fois à l'eau. La phase organique est séchée sur sulfate de magnésium puis le solvant est évaporé pour donner un solide jaune qui est recristallisé dans l'éthanol.

G.II.4.b.1 Parmi les compétences exigibles du programme de spécialité de la classe de terminale S, on trouve :

- réaliser les opérations suivantes : lavage d'une phase organique, séchage d'une phase organique liquide, extraction liquide-liquide, séchage d'un solide, recristallisation.
- Appliquer les consignes de sécurité.
- Justifier les opérations d'un protocole à partir de données physico-chimiques (température de changement d'état, solubilité, pH, densité).

Illustrer ces différentes notions en décrivant avec un langage adapté à une classe de terminale les opérations citées dans les deux dernières phrases du protocole ci-dessus.

G.II.4.b.2 Donner la structure du réactif obtenu par addition d'hydrure de sodium sur le sel de phosphonium.

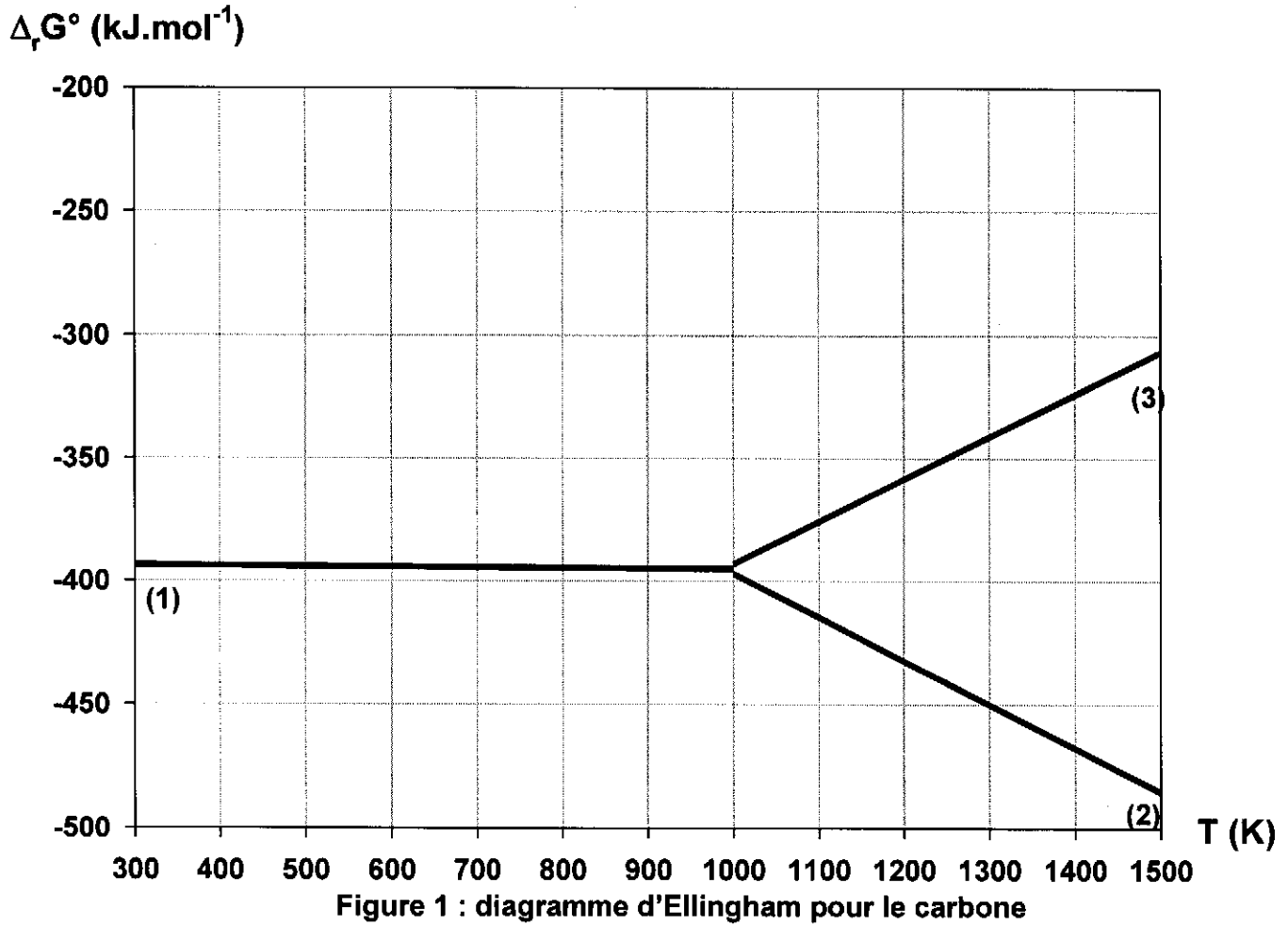
G.II.4.b.3 Indiquer la nature du dégagement gazeux.

G.II.4.b.4 Préciser le nom de la réaction effectuée.

G.II.4.b.5 Donner la formule semi-développée du composé A.

Fin du sujet

Annexe à rendre avec la copie



Extrait du Programme de chimie de la classe de 1^{ère} S

III - L'énergie au quotidien: La cohésion de la matière et les aspects énergétiques de ses transformations

(Durée indicative: 4h de cours, 1 ou 2 TP)

Objectifs

Les parties précédentes du programme ont conduit l'élève à réaliser que des transformations chimiques impliquent des changements dans la structure de la matière. L'objectif de cette dernière partie est de mettre en relation l'aspect énergétique de ces transformations avec la cohésion de la matière et de comparer les ordres de grandeur des énergies de cohésion de deux types d'assemblages de la matière: les associations d'atomes dans les molécules isolées (gaz) et les assemblages de molécules dans les liquides ou les solides moléculaires. Cette partie fournit aussi l'occasion de développer chez les élèves une véritable culture scientifique. Les élèves sont mis en situation de questionnement et de recherche au sujet de quelques grands problèmes liés aux choix énergétiques quotidiens, collectifs ou individuels et à leurs conséquences sur l'environnement. C'est l'occasion de renforcer l'éducation des élèves à la sécurité et à l'évaluation des risques.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p><i>Observation d'effets thermiques associés à des transformations chimiques (mettant en jeu des réactions acido-basiques, d'oxydo-réduction, de dissolution ou de combustion) et à des changements d'état.</i></p> <p><i>Comparaison des ordres de grandeur de l'énergie libérée au cours d'une réaction de combustion et de l'énergie transférée au cours d'une réaction de vaporisation.</i></p> <p>Applications dans la vie quotidienne des effets thermiques associés à différentes transformations.</p> <p>Activités documentaires liées aux combustions par exemple dans les moteurs à explosion et les centrales thermiques à flamme (rejets, sécurité, etc.)*</p>	<p>1 - La cohésion de la matière La molécule: assemblage d'atomes; énergie de liaison d'une liaison AB, notée D_{AB}. Les assemblages de molécules: le solide et le liquide comparés au gaz (ordre de grandeur des distances entre les molécules; de l'ordre au désordre); énergie de cohésion.</p> <p>2 - Les transformations de la matière: aspects énergétiques et effets thermiques associés Transformations chimiques. Changements d'état. Utiliser les énergies de liaison pour estimer l'ordre de grandeur de l'énergie transférée au cours d'une réaction mettant en jeu des espèces chimiques à l'état gazeux.</p> <p>3 - Quelques applications au quotidien des effets thermiques Transports et chauffage: enjeux et conséquences sur l'environnement.</p>	<p>Être capable de donner une définition de l'énergie de liaison.</p> <p>Savoir que l'énergie de cohésion de solides ou de liquides composés de molécules est un ordre de grandeur plus faible qu'une énergie de liaison.</p>

* Activités pouvant donner lieu à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication

Commentaires

Les énergies de cohésion des assemblages considérés sont évaluées au travers des énergies échangées lors de la dissociation d'une mole d'assemblage.

Dans une molécule AB l'énergie de cohésion, qui s'identifie ici à l'énergie de liaison, est définie comme l'énergie à apporter pour dissocier une mole de AB (g) en une mole de A (g) et une mole de B (g), selon la réaction: $AB(g) \rightarrow A(g) + B(g)$.

Dans un liquide ou un solide (molécules M) l'énergie de cohésion est définie comme l'énergie à apporter pour dissocier une mole de M (s) ou une mole de M (l) en une mole de M (g) selon la réaction: $M(s) \rightarrow M(g)$, ou $M(l) \rightarrow M(g)$.

Dans ce contexte les énergies de cohésion s'expriment en $J \cdot mol^{-1}$.

Dans cette partie il ne s'agit pas de développer une description approfondie des trois états physiques de la matière ou une approche structurales des interactions moléculaires. L'enseignant dégage les caractéristiques communes ou distinctes des trois états physiques de la matière selon des critères de distance (évaluée par rapport au diamètre moléculaire) et des critères d'ordre. Des modèles moléculaires ou des simulations informatiques peuvent être proposés pour illustrer la notion d'ordre.

Comme en classe de seconde, l'enseignant veille à bien faire la distinction entre la transformation d'un système (qui va d'un état initial à un état final) et le processus qui est associé à cette transformation: à une transformation chimique est associée une réaction chimique; à un changement d'état est associé la réaction correspondante de vaporisation, de fusion, etc.

Compte tenu de leur importance dans la vie quotidienne, les réactions de combustion sont choisies pour illustrer les aspects énergétiques des transformations: les réactions de combustion sont ici envisagées sous l'angle thermique (l'enseignant n'insiste pas sur le fait qu'elles font partie des réactions d'oxydoréduction). Seules les réactions de combustion d'espèces chimiques à l'état gazeux peuvent donner lieu à quelques applications numériques (les valeurs des énergies de liaison trouvées dans les tables usuelles sont le plus souvent des énergies moyennes de liaison).

De nombreuses activités peuvent être proposées par l'enseignant concernant les applications des effets thermiques dans la vie quotidienne. Le choix de ces activités est réalisé selon les possibilités locales (visites d'usine, de centrales, de centres de traitement des déchets, etc.) et les ressources existantes (vidéo, cédéroms, etc.). Il n'y a pas de connaissances et savoir-faire exigibles, l'objectif étant une formation à la citoyenneté, et non une accumulation supplémentaire de savoirs.

Tableau 1 : température d'ébullition (sous 1,01 bar) et indice d'octane de quelques composés

Composé	Température d'ébullition	Indice d'octane RON
n-butane	- 0,4 °C	95
n-pentane	36 °C	62
2-méthylbutane	28 °C	92
2,2-diméthylpropane	50 °C	80
n-hexane	69 °C	25
2-méthylpentane	60 °C	73
2,2-diméthylbutane	49 °C	92
n-heptane	98 °C	0
2-méthylhexane	90 °C	42
2,2-diméthylpentane	79 °C	93
2,2,3-triméthylbutane	81 °C	112
n-octane	125 °C	< 0
2-méthylheptane	118 °C	22
2,2-diméthylhexane	107 °C	72
2,2,3-triméthylpentane	110 °C	108
2,2,4-triméthylpentane	99 °C	100
n-nonane	151 °C	< 0
Benzène	80 °C	110
Toluène	110 °C	120
1,4-diméthylbenzène	138 °C	116
1,3,5-triméthylbenzène	165 °C	111
Éthylbenzène	136 °C	107
Éthanol	78 °C	125
Alcool tertiobutylique	83 °C	110
ETBE	73 °C	120

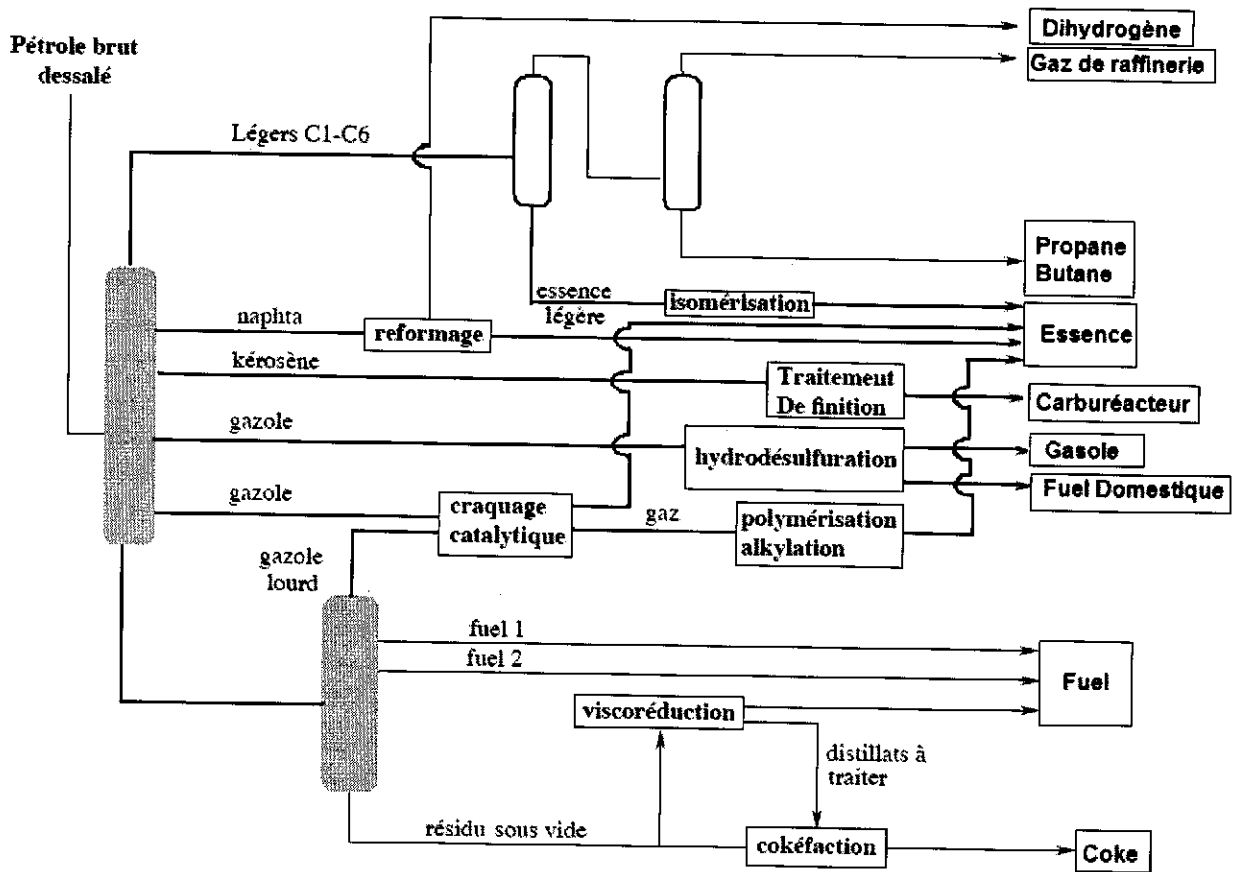


Figure 2 : schéma général du raffinage

8. Correction

Partie 1 : Les énergies fossiles

A Réaction de Combustion et Transfert Thermique

A.1 Premier principe de la thermodynamique : On définit pour un système physicochimique une énergie interne U tel que $dU = \delta W + \delta Q$ avec δW travail des forces extérieures et δQ échange de chaleur avec l'extérieur.

Pour un système au repos en considérant seulement les forces de pressions $\delta W = -PdV$ soit $dU = -PdV + \delta Q$.

Enthalpie $H = U + PV$ ce qui donne en développant $dH = VdP + \delta Q$.

A.2 Enthalpie de réaction $\Delta_r H = \left(\frac{\partial H}{\partial \xi} \right)_{P,T}$ en $J \cdot mol^{-1}$. Pour un système fermé à T et P constant siège d'une réaction chimique on a $dH = \Delta_r H \cdot d\xi$ et comme $\Delta_r H = \Delta_r H^\circ$ qui est indépendant de ξ , on obtient $\Delta H (J) = \Delta_r H^\circ \cdot \xi$.

A.3 L'enthalpie standard de formation d'un composé correspond à l'enthalpie standard de la réaction de formation d'une mole du composé à partir des éléments le composant pris dans leur état standard de référence. Réactions de formation de :

Méthane : $C (\text{graph.}) + 2 H_2 (g) = CH_4 (g)$

Eau : $H_2 (g) + \frac{1}{2} O_2 (g) = H_2O (l) \text{ ou } (g)$

Méthanol : $C (\text{graph.}) + \frac{1}{2} O_2 (g) + 2H_2 (g) = CH_3OH (l) \text{ ou } (g)$

A.4 Pouvoir énergétique PE d'un combustible $PE = - \Delta_r H^\circ_c \cdot 1000 / M$ $\Delta_r H^\circ_c =$ Enthalpie de la réaction de combustion du combustible et M masse molaire du combustible.

Carbone : $PE = - 10^3 \cdot \Delta_r H^\circ_{CO_2} / 12 = 32,75 \text{ MJ}$

Dihydrogène : $PE = - 10^3 \cdot \Delta_r H^\circ_{H_2O} / 2 = 121 \text{ MJ}$ ou 143 MJ en considérant la formation de l'eau liquide

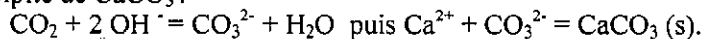
Méthane : $- 10^3 \cdot \Delta_r H^\circ_c / 16 = 50,1 \text{ MJ}$ $\Delta_r H^\circ_c = \Delta_r H^\circ_{CO_2} + 2 \Delta_r H^\circ_{H_2O} - \Delta_r H^\circ_{CH_4} = -802 \text{ kJ} \cdot mol^{-1}$

A.5 Combustion de charbon de bois dans un flacon de dioxygène puis on verse de l'eau de chaux qui se trouble mettant en évidence la formation de CO_2 .

Inflammation d'un tube à gaz rempli de méthane puis addition d'eau de chaux ou on fait barboter les gaz aspirés au dessus d'une flamme dans de l'eau de chaux. Pour mettre en évidence l'eau formée, on peut passer rapidement un récipient froid au dessus de la flamme pour avoir formation de gouttelette d'eau (test avec du sulfate de cuivre anhydre blanc qui devient bleu).

On obtient du carbone si la combustion est incomplète en cas de défaut de dioxygène (flamme jaune avec dépôt de carbone sur les récipients).

A.6 L'eau de chaux correspond à une solution saturée d'hydroxyde de calcium. La chaux (CaO) en présence d'eau donne de l'hydroxyde de calcium ($Ca(OH)_2$). Réactions acide – base entre les ions OH^- et le dioxyde de carbone pour donner des ions carbonates qui en présence d'ions calciums conduisent à un précipité de $CaCO_3$:



Après épuisement des ions hydroxydes, il y a réaction entre CO_2 et les ions carbonates pour donner des ions hydrogénocarbonates. On peut observer la redissolution du précipité de carbonate de calcium. $CO_2 + CO_3^{2-} + H_2O = 2HCO_3^-$

A.7 L'air ne contient pas suffisamment de dioxyde de carbone pour provoquer le trouble de l'eau de chaux mais après inspiration le gaz que l'on expire contient du dioxyde de carbone qui provoque le trouble de l'eau de chaux. L'énergie utilisée par le corps humain pour vivre est obtenue par des

réactions d'oxydation de composés comme le sucre qui contiennent l'élément carbone, celui-ci est oxydé en dioxyde de carbone. Lors de la respiration, l'homme inspire du dioxygène et expire du dioxyde de carbone.

B. Le Charbon

B.I Les oxydes de carbone

B.I.1 Nombre d'oxydation maximal du carbone : +IV (4^{ème} colonne du tableau périodique)

B.I.2



B.I.3 Complexation des ions fer de l'hémoglobine du sang par le monoxyde de carbone au lieu du dioxygène. Il faut déplacer l'équilibre avec une augmentation de la pression en dioxygène en utilisant un masque à oxygène.

B.II Stabilité thermique des oxydes de carbone

B.II.1 Approximation d'Ellingham correspond à négliger $\Delta_r C_p^\circ$ ce qui revient à ne pas considérer la variation des enthalpies de réaction ($\Delta_r H^\circ$) et d'entropie de réaction ($\Delta_r S^\circ$) avec la température.

B.II.2.a Voir annexe

B.II.2.b(1) $\text{CO}_2/\text{C} \quad \text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 \quad \Delta_r G_1^\circ (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = -393 - 0,002 T$ Pente quasi nulle

$$\Delta_r H_1^\circ = \Delta_r H^\circ_{\text{CO}_2} = -393 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad \Delta_r S_1^\circ = S^\circ_{\text{CO}_2} - S^\circ_{\text{O}_2} - S^\circ_{\text{C}} = 2 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(2) $\text{CO}/\text{C} \quad 2\text{C} + \text{O}_2 = 2 \text{CO} \quad \Delta_r G_2^\circ = -220 - 0,177 T$ pente négative

$$\Delta_r H_2^\circ = 2\Delta_r H^\circ_{\text{CO}} = -220 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad \Delta_r S_2^\circ = 2S^\circ_{\text{CO}} - S^\circ_{\text{O}_2} - 2S^\circ_{\text{C}} = 177 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(3) $\text{CO}_2/\text{CO} \quad 2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2 \quad \Delta_r G_3^\circ = -566 + 0,173 T$ pente positive

$$\Delta_r H_3^\circ = 2\Delta_r H^\circ_{\text{CO}_2} - 2\Delta_r H^\circ_{\text{CO}} = -566 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad \Delta_r S_3^\circ = 2S^\circ_{\text{CO}_2} - S^\circ_{\text{O}_2} - 2S^\circ_{\text{CO}} = -173 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

B.II.3 Equilibre de Boudouard : $2\text{CO}(\text{g}) = \text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$ Variance $v = 3 - 1 + 2 - 2 = 2$

B.III Transformation du charbon en gaz de synthèse

B.III.1 Voir annexe Droite $\text{H}_2\text{O}(\text{g})/\text{H}_2(\text{g}) \quad 2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2 \text{H}_2\text{O} \quad \Delta_r G_4^\circ = -484 + 0,087 T$

B.III.2 D'après la figure 1 pour $T = 800 \text{ K}$ la réduction de l'eau par le carbone conduit à la formation de H_2 et de dioxyde de carbone : $\text{C} + 2 \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2$

Pour $T = 1300 \text{ K}$, l'eau peut être réduite en H_2 tandis que le carbone est oxydé en monoxyde de carbone : $\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{H}_2$ (gaz de synthèse).

B.III.3 Réaction (1) $\Delta_r G_1^\circ = \Delta_r G_1^\circ - \Delta_r G_4^\circ = 19,8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $K_1^\circ = \exp(-\Delta_r G_1^\circ / RT)$ $K_1^\circ = 5 \cdot 10^{-2}$

$$\Delta_r G_2^\circ = (\Delta_r G_2^\circ - \Delta_r G_4^\circ) / 2 = -39,6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad \text{et} \quad K_2^\circ = 39$$

B.III.4 Il faut travailler à haute température pour avoir la formation de dihydrogène.

C Les carburants

C.I Combustion des carburants

C.I.1a Le dioxyde de carbone est un gaz à effet de serre qui participe au réchauffement global de la planète.

C.I.1b On peut citer le méthane (CH_4) qui a un effet de serre vingt fois plus important que le dioxyde de carbone.

C.I.2 Exercice : Calcul de la quantité de CO_2 émis par un véhicule roulant à l'essence.

C.I.2a Enoncé :

En considérant que l'essence est de l'octane (C_8H_{18}), on cherche à déterminer la quantité de dioxyde de carbone qui sera émis par km en cycle urbain et en cycle extra-urbain.

- Ecrire l'équation bilan de la combustion totale de l'octane.
- Donner la relation entre le nombre de mole d'octane utilisé et celui de CO_2 émis et en déduire l'expression de la masse de CO_2 émis en fonction de la masse d'octane utilisée.
- Calculer la masse d'octane correspondant à 1L d'octane sachant que la densité de l'octane est $d = 0,76$.
- Calculer la masse de dioxyde de carbone produit lorsque l'on brûle 1L d'octane.

- e) En déduire la masse de dioxyde de carbone émis par km en cycle urbain et en cycle extra-urbain.

Consommation Cycle urbain : 11,2 L /100 km
 Cycle extra – urbain : 6,4 L / 100 km
 Masse Molaire en g.mol⁻¹ M_C =12, M_H = 1 et M_O = 16

C.I.2.b La formule de l'octane est donnée pour ne pas pénaliser l'élève par contre l'élève doit savoir écrire le bilan de la réaction. La relation entre n_{oct} et n_{CO_2} est demandée pour guider l'élève puis les relations entre les masses. Enfin le calcul de la masse de 1L d'octane suivie des calculs des masses de dioxyde de carbone. Le raisonnement sur l'équation bilan est détaché de l'utilisation des consommations. Ces dernières apparaissent à la fin comme application numérique.

C.I.2.c Correction de l'exercice : a) $\text{C}_8\text{H}_{18} + 25/2 \text{O}_2 = 8 \text{CO}_2 + 9 \text{H}_2\text{O}$. b) $n_{\text{CO}_2} = 8 n_{\text{oct}}$ et donc $m_{\text{CO}_2}/M_{\text{CO}_2} = 8 m_{\text{oct}}/M_{\text{oct}}$ soit $m_{\text{CO}_2} = 8 m_{\text{oct}} \cdot M_{\text{CO}_2}/M_{\text{oct}}$ c) $m_{\text{oct}} = 0,76 \text{ kg}$ pour 1L
 d) $m_{\text{CO}_2} = 0,76 \cdot 8 \cdot M_{\text{CO}_2}/M_{\text{oct}}$ soit $m_{\text{CO}_2} = 2,57 \text{ kg}$ pour 1L d'octane brûlé.
 e) Cycle urbain $m_{\text{CO}_2} = 2,57 \times 11,2 = 28,78 \text{ kg}$ pour 100 km soit 288 g par km
 Cycle extra-urbain $m_{\text{CO}_2} = 2,57 \times 6,4 = 16,44 \text{ kg}$ pour 100 km soit 164 g par km

C.I.3 L'énergie est fournie par la combustion de la réaction. Il faut donc calculer la chaleur dégagée par la combustion de 6,4 L d'octane. Il faut procéder avec les étapes suivantes :

- Calculer la chaleur de la réaction (en kJ.mol⁻¹) pour la combustion de l'octane en utilisant les énergies de liaisons.
- Calculer la quantité (en mole) d'octane dans 6,4 L d'octane
- Conclure avec le calcul de la quantité de chaleur dégagée par la réaction (en J)

$\text{C}_8\text{H}_{18} + 25/2 \text{O}_2 = 8 \text{CO}_2 + 9 \text{H}_2\text{O}$ ce qui donne pour la chaleur de la réaction

$$Q_r = \Delta_r H^\circ = 7 E_{\text{C-C}} + 18 E_{\text{C-H}} + 25/2 E_{\text{O-O}} - 16 E_{\text{C-O}} - 18 E_{\text{O-H}} = - 5100,5 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

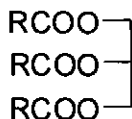
Quantité d'octane dans 6,4 L $n_{\text{oct}} = 6,4 \times 0,76 \cdot 10^3 / M_{\text{oct}}$ Attention il faut mettre la masse d'octane en gramme sachant que 1L d'octane pèse 0,76 kg = $0,76 \cdot 10^3 \text{ g}$: $n_{\text{oct}} = 42,66 \text{ mol}$.

Energie totale dépensée $Q = - Q_r \times n_{\text{oct}} = 217,6 \cdot 10^3 \text{ kJ} = 217,6 \text{ MJ}$.

C.II Les agrocarburants

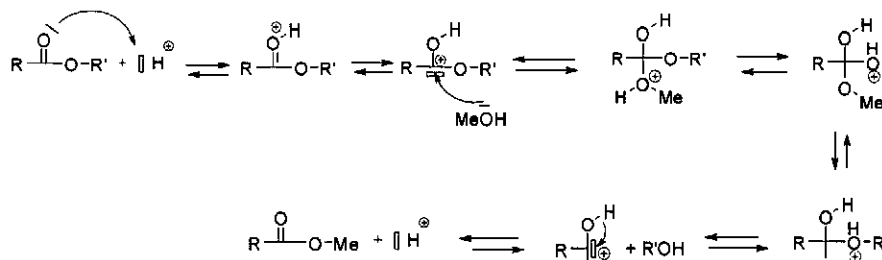
C.II.1 Le dioxyde de carbone émis lors de la combustion des agrocarburants a été préalablement capté par la plante (photosynthèse) lors de sa croissance.

C.II.2



C.II.3.a Lors de la réaction de trans-estérification, on obtient l'ester méthylique et du glycérol.

C.II.3.b



C.II.4 Dosage du diester



C.II.4.b Homogénéisation de la solution. Le diesel et l'eau ne sont pas miscibles

C.II.4.c Prélèvement du gazole et de la soude avec une pipette jaugée de 5mL et 2,5 mL respectivement. Prélèvement de l'éthanol avec une éprouvette graduée.

C.II.4.d Mesures de sécurités habituelles (gant, lunette). Préparer une solution de soude supérieure à 1 mol/L en pesant de la soude (45g) pour 1L d'eau. Après dosage avec de l'acide Chlorhydrique avant la séance de TP, ajuster la solution de soude par dilution.

C.II.4.e Comme on dose la quantité de soude restante, on a $n_{\text{ester}} = n\text{OH}_{\text{ini}} - n\text{OH}_{\text{res}}$ soit $n_{\text{ester}} = (C_{\text{OH}} \cdot V_{\text{OH}} - C_{\text{Ac}} \cdot V_{\text{Ac}})$ $n_{\text{ester}} = (1,2,5 - 17,7,0,1) \cdot 10^{-3} = 7,3 \cdot 10^{-4}$ mol

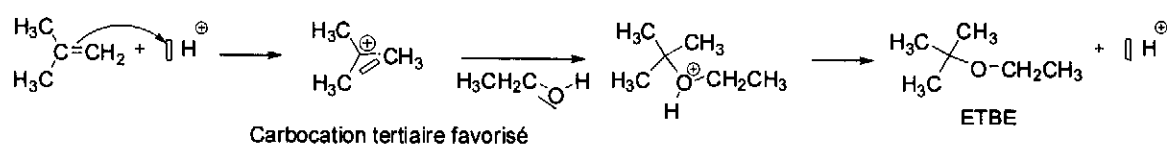
C.II.4.f $\%_{\text{massique}}$ de diester = $100 \cdot (n_{\text{ester}} \cdot M_{\text{ester}}) / d \cdot V_{\text{ester}}$ avec V_{ester} en L soit $\%_{\text{mass.}} = 5,11 \%$

C.III Qualité d'une essence

C.III.1 L'indice d'octane (IO) d'un carburant est exprimé par le pourcentage en volume d'isooctane contenu dans le mélange isooctane/heptane qui possède les mêmes caractéristiques antidétonantes que le carburant. Sur cette échelle le carburant de référence d'indice 0 est l'heptane, celui d'indice 100 est le 2,2,4- triméthylpentane (isooctane). Une essence de 85 d' IO se comporte dans un moteur comme un mélange de 85% (en vol.) d'isooctane et de 15% d'heptane (mesure de cognement dans un moteur spécial).

- C.III.2 - L'indice d'octane (IO) diminue avec l'allongement de la chaîne carbonée,
 - l'IO augmente avec la ramification des chaînes carbonées
 - l'IO augmente avec la présence de noyaux aromatiques.

C.III.3 Mécanisme de formation de l'ETBE



C.IV Fabrication d'une essence

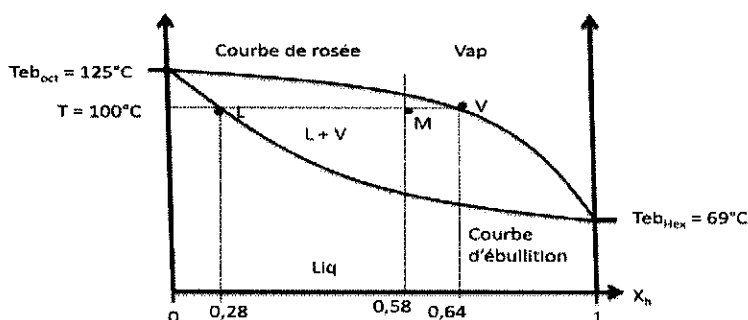
C.IV.1a Les interactions intermoléculaires sont identiques entre les alcanes. Les activités dans le mélange correspondent aux fractions molaires, $a_i = \gamma_i \cdot x_i$ avec $\gamma_i = 1$ soit $a_i = x_i$.

C.IV.1b Mélange de 100g d'hexane ($n_{\text{hex}} = 1,16$ mol) et 95g d'octane ($n_{\text{oc}} = 0,83$ mol) soit $x_{\text{he}} = 0,582$
 Voir figure suivante

C.IV.1c On applique la règle des moments

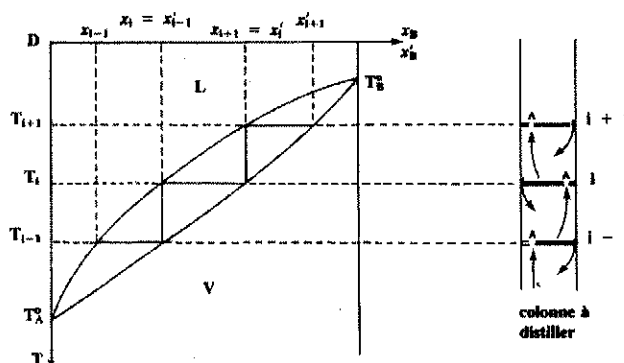
$n_L \text{ML} = n_V \text{MV}$ et $n_L \text{LV} = n_t \text{MV}$. On obtient $n_L = (0,64 - 0,582) / (0,64 - 0,28)$ nt = 0,321 mol avec la quantité d'hexane liquide $n_{\text{he}} = 0,28$. $n_L = 0,09$ mol et $n_{\text{oc}} = 0,231$ mol.

En masse, on obtient $m_{\text{hex}} = 7,74$ g et $m_{\text{oc}} = 26,33$ g soit une masse totale de liquide $m_L = 34,07$ g



C.IV.1.d Schéma simplifié de la distillation fractionnée montrant l'enrichissement du composé le moins volatil dans la fraction liquide.

Dans la colonne à distiller, les flèches descendantes représentent du liquide de l'étage i qui tombe à l'étage $i - 1$; les flèches ascendantes représentent la vapeur de l'étage i qui va se condenser à l'étage $i + 1$. A chaque étage, il y a équilibre thermodynamique entre le liquide et sa vapeur. La vapeur émise à l'étage i est plus riche en composé le plus volatil que le liquide de l'étage i (soit $x'_i > x_i$). Le liquide de l'étage i s'écoule par gravité vers l'étage $i - 1$, qui s'enrichit ainsi en composé le moins volatil.



C.IV.2.a

Craquage catalytique : Coupure de molécules à longues chaînes de carbone pour donner des molécules de plus petites longueurs souvent avec des ramifications. Les catalyseurs sont des zéolithes acides qui favorisent les coupures en carbocation. Ce procédé permet de récupérer des essences à haut indice d'octane à partir de naphta assez lourd.

Reformage : Augmentation de l'indice d'octane d'une essence par transformation de chaîne linéaire en chaîne ramifiée ainsi qu'en augmentant le mélange en aromatique.

C.IV.2.b Diesel : Utilisation de chaînes linéaires longues sans ramification. On définit plutôt l'indice de cétane.

Hydrodésulfuration : Suppression du soufre par traitement avec H_2 pour obtenir H_2S qui peut être supprimé par action d'une base en milieu aqueux. Le soufre présent dans le diesel est responsable de la formation de SO_2 par combustion qui est un des gaz responsable des pluies acides.

C.IV.3 Reformage

En considérant la loi de Van't Hoff, on peut calculer les constantes d'équilibres ou les enthalpies libres standards $\Delta_r G^\circ$ à la température $T = 500^\circ\text{C}$.

Les réactions 1 et 2 seront favorisées à Ht température car ce sont des réactions endothermiques. La réaction 3 faiblement exothermique sera très légèrement défavorisée.

Comme on suppose $\Delta_r H^\circ$ indépendant de T , on obtient $\text{Ln } K_{500}/K_{298} = - (1/500 - 1/298) \cdot \Delta_r H^\circ / R$ et $\text{Ln } K_{298} = -\Delta_r G^\circ / R \cdot 298$

Réaction 1 Déshydrocyclisation ; $\text{Ln } K_{298} = -10,0$; $\text{Ln } K_{500} = -3,48$ soit $\Delta_r G^\circ_{500} = 14,55 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

Réaction 2 Aromatisation ; $\text{Ln } K_{298} = -34,3$; $\text{Ln } K_{500} = -0,056$ soit $\Delta_r G^\circ_{500} = 0,23 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

Réaction 3 $\Delta_r G^\circ_{500} > \Delta_r G^\circ_{298} > 3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

La réaction thermodynamiquement favorisée sera la réaction 2 correspondant à l'aromatisation. Ainsi le reformage va permettre l'enrichissement des essences en produits aromatiques qui présentent un fort indice d'octane. Cependant il faudra veiller à ce que le taux de benzène toxique ne soit pas trop important.

Partie 2 : Piles et Accumulateurs

D Piles électrochimiques

D.I Pile Zinc – Argent

D.I.1 Réaction Chimique

Fil d'argent plongeant dans une solution de nitrate de Zinc. Il ne se passe rien

Fil de zinc plongeant dans une solution de nitrate d'argent. Formation de cristaux d'argent et après un temps assez long, on peut mettre en évidence la présence d'ion Zn^{2+} tandis que les ions Ag^+ ne sont plus présents. Réaction spontanée $2 Ag^+ + Zn = Zn^{2+} + 2 Ag$

Réaction électrochimique.

On fabrique une pile pole - Zn / Zn^{2+} / $K^+ + NO_3^-$ / Ag^+ / Ag pole +

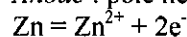
Electrode de Zn / Electrolyte/ Electrode d'Ag

La réaction spontanée qui a lieu quand la pile débite un courant est la même que précédemment.

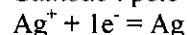
D.I.2 Schéma de la pile zinc – argent

Réactions aux électrodes :

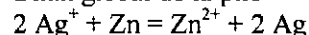
Anode : pôle négatif



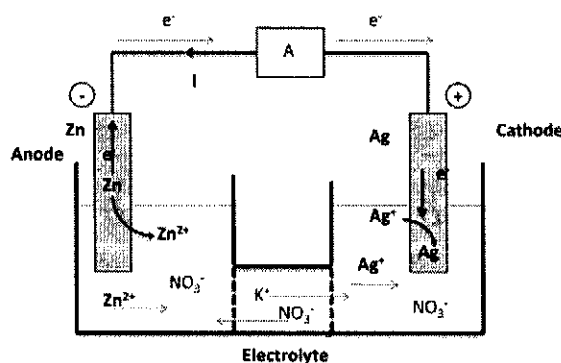
Cathode : pôle positif



Bilan global de la pile



Intensité du courant du pôle + vers le pôle - à l'extérieur de la pile soit une conduction de type électronique du pôle - vers le pôle +.



Conduction ionique dans la pile avec mouvement des cations vers le pôle + et mouvement des anions vers le pôle -

D.II diagramme potentiel – pH du zinc

D.II.1.a Coordonnées du point A : $E = E^{\circ}_{Zn^{2+}/Zn} + 0,06/2 RT \log[Zn^{2+}] = -0,82 V$

$K_{S_{Zn(OH)_2}} = [Zn^{2+}][OH^-]^2$ soit $pH = pK_e - 0,5pK_s + 0,5 \log[Zn^{2+}] = 6,5$ **A(-0,82 V; pH =6,5)**

$Zn + 2H_2O = Zn(OH)_2 + 2 H^+ + 2e^-$ et $E = E^{\circ}_{Zn(OH)_2/Zn} + 0,06/2 \log[H^+] = E^{\circ}_{Zn(OH)_2/Zn} - 0,06pH$
avec $E^{\circ}_{Zn(OH)_2/Zn} = -0,82 + 0,06 \times 6,5 = -0,43 V$

$Zn(OH)^2 = 2 OH^- = Zn(OH)_4^{2-}$ $K = [Zn(OH)_4^{2-}] / [OH^-]$ avec $K = \beta \cdot K_s$

$pH_B = pK_e + \frac{1}{2} pK_s + \frac{1}{2} p\beta + \frac{1}{2} \log[Zn(OH)_4^{2-}] = 14$

$E_B = -0,43 - 0,06 \times 14 = -1,27 V$

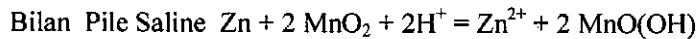
B(-1,27 V, pH=14)

D.II.2.b En milieu acide le zinc sera oxydé par les ions H^+ pour donner des ions Zn^{2+} . En milieu très basique le zinc sera oxydé par les ions OH^- pour donner $Zn(OH)_4^{2-}$

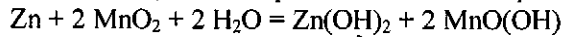
D.III Piles commerciales à base de zinc

D.III.1.a Le dioxyde de manganèse n'est pas conducteur du courant, il faut le mélanger avec du carbone graphite conducteur pour assurer la conduction électrique.

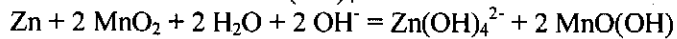
D.III.1.b Pile Saline Cathode $MnO_2 + H^+ + 1e^- = MnO(OH)$, Anode $Zn = Zn^{2+} + 2e^-$



Pile Alcaline, il faut se placer en milieu basique avec formation de $\text{Zn}(\text{OH})_2$



ou avec formation de $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$



D.III.1.c Plus grande capacité et pas de fuite comme pour les couches Pampers.

D.III.1d Energie maximale $E_n = n.e.F.\xi$ comme l'oxydant est en défaut $\xi = \frac{1}{2} m_{\text{MnO}_2}/M_{\text{MnO}_2} = 0,046$ mol et $n=2$ soit $E_n = 13317 \text{ J} = 3,7 \text{ W.h}$ et $W_m = E_n/m_t = 115,6 \text{ W.h.kg}^{-1}$

D.III.2 Pile Zinc-Air

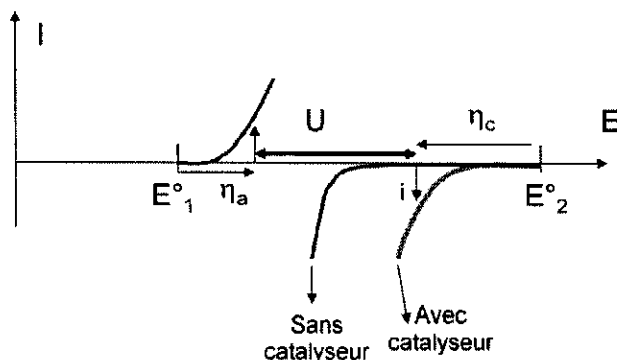
D.III.2.a On considère la réaction globale d'oxydation du zinc $\text{Zn} + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{ZnO}$

$$\Delta_r G^\circ = -n F e^\circ \quad \Delta_r G^\circ = \Delta_f G^\circ (\text{ZnO}) = \Delta_f H^\circ (\text{ZnO}) - T (S^\circ_{\text{ZnO}} - S^\circ_{\text{Zn}} - \frac{1}{2} S^\circ_{\text{O}_2})$$

$$\Delta_r G^\circ = -318,05 \text{ kJ.mol}^{-1} \text{ et } e^\circ = 1,65 \text{ V}$$

$$\text{D.III.2.b } [\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}] = [\text{OH}^-]^2/K = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

D.III.2.c Le catalyseur permet de diminuer la surtension aux électrodes. Ici c'est au niveau de l'électrode à oxygène que les surtensions sont importantes d'où la nécessité d'utiliser des catalyseurs.



La surtension à la cathode est réduite par la présence des catalyseurs

$$\text{D.III.2.d } W_m = n e F m_{\text{Zn}}/M_{\text{Zn}} / m_t \text{ avec } n=2 \quad e = 1,3\text{V} \text{ et } m_{\text{Zn}} = 0,6 m_t$$

$W_m = n.e.F. 0,6.10^3/3600.M_{\text{Zn}}$ pour avoir W_m en W.h.kg^{-1} $W_m = 639,4 \text{ W.h.kg}^{-1}$ soit 5 fois plus grand que la pile alcaline.

E Pile à combustible

E.1 Rendement théorique d'une pile

E.1.1a Comme indiqué par le premier principe pour une évolution à pression constante $\Delta H (< 0)$ correspond à la variation totale d'énergie (énergie électrique + chaleur).

E.1.1b A T et P constantes, on a $dH = \delta W_e + \delta Q = \delta W_e + TdS$ et $dG = dH - TdS$ soit $dG = dW_e$ et comme $dG = \Delta_r G.d\xi$ on obtient $dW_e = \Delta_r G.d\xi$

E.1.1.b Pour les piles à combustible, on considère les réactions globales de combustion avec le rendement de la pile $r = -W_e/\Delta H$. $W_{\text{max}} = -\Delta_r G^\circ.\xi$ et $\Delta H = \xi.\Delta_r H^\circ$ soit $r = \Delta_r G^\circ / \Delta_r H^\circ$ ce qui donne comme $\Delta_r G^\circ = \Delta_r H^\circ - T.\Delta_r S^\circ$ $r = 1 - T (\Delta_r S^\circ / \Delta_r H^\circ)$

E.1.2.a

Pile PEMFC Réaction: $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} (\text{l})$ avec $\Delta_r H^\circ = \Delta_f H^\circ (\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}) = -286 \text{ kJ.mol}^{-1}$

$$\Delta_r S^\circ = S^\circ_{\text{H}_2\text{O}} - S^\circ_{\text{H}_2} - \frac{1}{2} S^\circ_{\text{O}_2} = -162,5 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1} \quad r = 1 - T (162,5 / 286. 10^3) = \mathbf{0,81} = r \text{ à } T = 333 \text{ K}$$

Pile DMFC Réaction $\text{CH}_3\text{OH} (\text{l}) + 3/2 \text{O}_2 = \text{CO}_2 (\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O} (\text{l})$ avec

$$\Delta_r H^\circ = 2 \Delta_f H^\circ (\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}) + \Delta_f H^\circ (\text{CO}_{2(\text{g})}) - \Delta_f H^\circ (\text{CH}_3\text{OH}_{(\text{l})}) = -726 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

$$\Delta rS^\circ = 2 S^\circ_{\text{H}_2\text{O}} + S^\circ_{\text{CO}_2} - S^\circ_{\text{CH}_3\text{OH}} - 3/2 S^\circ_{\text{O}_2} = -81,5 \text{ J.K}^{-1}\text{mol}^{-1} \quad r = 1 - T (81,5 / 726. 10^3) = 0,96 = r$$

E.I.2.b Les rendements obtenus sont plus bas. En cause les problèmes cinétiques sur les électrodes avec des surtensions importantes principalement pour l'électrode à oxygène.

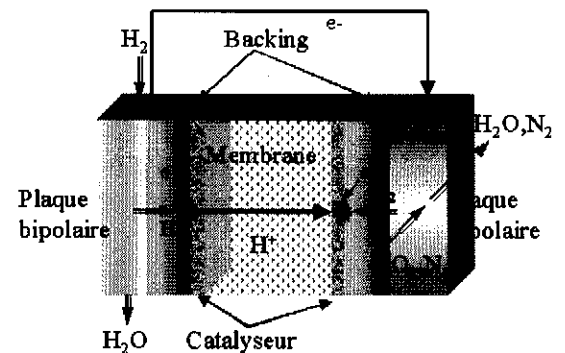
E.II Les membranes des piles PEMFC

E.II.1

Cathode : pôle positif
 $\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\text{O} (\text{l})$

Anode : pôle négatif
 $\text{H}_2 = 2 \text{H}^+ + 2\text{e}^-$

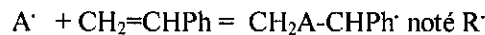
La membrane doit permettre l'échange des protons de l'anode vers la cathode mais empêcher la diffusion du dihydrogène.



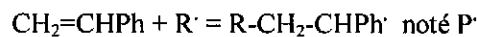
E.II.2 Structure A : Chaîne polymérique primaire $-(\text{CF}_2-\text{CF}_2)_n-$ Monomère $\text{CF}_2=\text{CF}_2$ Tétrafluoroéthène
 Structure B : Chaîne polymérique primaire $-(\text{CH}_2-\text{CHPh})_n-$ Monomère $\text{CH}_2=\text{CHPh}$ Styène

E.II.3a Polymérisation radicalaire

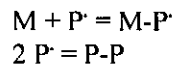
Initiation formation des radicaux $\text{A}_2 = 2 \text{A}^\cdot$



Propagation

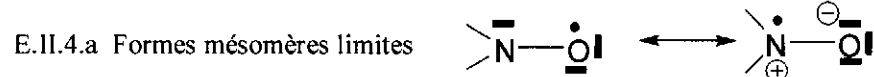


Terminaison



E.II.3.b Polymérisation vivante : polymérisation en chaîne sans réaction de terminaison et sans réaction de transfert. La concentration en centre actif reste constante et les chaînes de polymères continuent à croître tant qu'il reste du monomère. La polymérisation radicalaire classique n'est pas une polymérisation vivante.

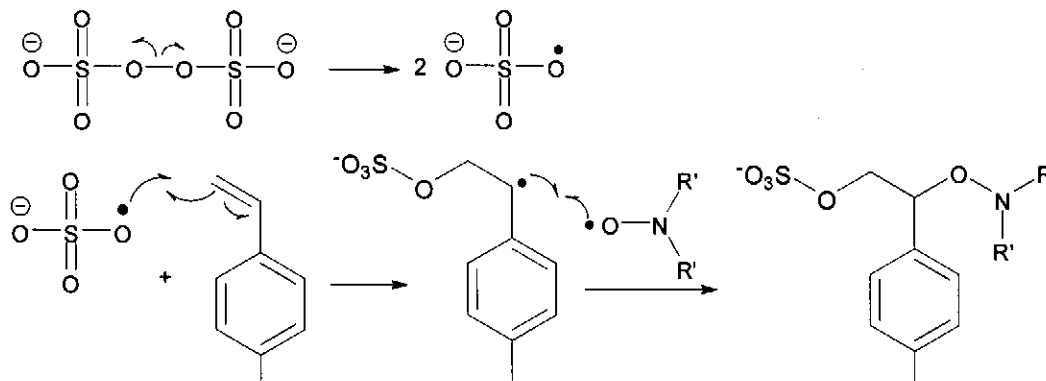
E.II.4 Polymérisation radicalaire vivante



E.II.4.b Une coupure homolytique est endothermique donc favorisée à haute température.

E.II.5 Synthèse du copolymère

E.II.5.a



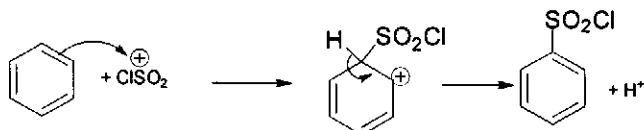
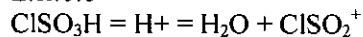
E.II.5.b Les polymères A et B sont effectués selon une polymérisation radicalaire vivante.

E.II.5.c Pour la dernière étape qui n'est pas faite selon une méthode de polymérisation vivante, il faut ajouter du peroxydisulfate pour initier la réaction. Il ne faut pas trop chauffer pour ne pas initier la polymérisation vivante qui viendrait rallonger les chaînes latérales.

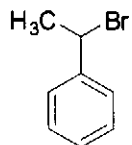
E.II.6 Synthèse du 4-vinylsulfonate de sodium

E.II.6.a Etape 1 : Substitution électrophile aromatique ; étape 2 Substitution radicalaire, étape 3 élimination de HBr et addition nucléophile de OH^- sur le soufre puis élimination de HCl.

E.II.6.b



E.II.6.c Le radical benzyle étant stabilisé par résonance, le composé majoritaire sera



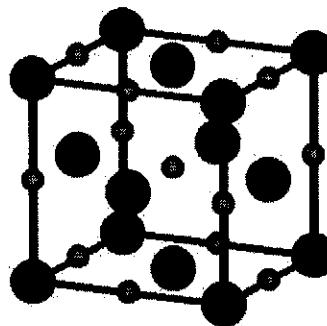
F. Un exemple d'accumulateur : La batterie lithium - ion

F.1 CoO_2 no Co = +IV ; LiCoO_2 no Co = +III

F.2 $\text{Li}^+ + \text{CoO}_2 + 1\text{e}^- = \text{LiCoO}_2$

F.3

Maille cubique à faces centrées en anion O^{2-} (grosses boules vertes) soit 4 anions par maille. Sites octaédriques : milieu des arêtes et centre du cube soit 4 cations (petites boules grises) par maille donc 2 Li^+ et 2 Co^{3+} .



F.4 $2r^+ + 2r^- = a$ et $4r^- = a\sqrt{2}$ soit $\rho = \sqrt{2} - 1 = 0,414$ et $r_{\text{O}^{2-}} = 140$ pm et $r_{\text{Li}^+} = 60$ pm et $r_{\text{Co}^{3+}} = 63$ pm

$$\rho = r_{\text{Li}^+} / r_{\text{O}^{2-}} = 0,428 \quad \rho = r_{\text{Co}^{3+}} / r_{\text{O}^{2-}} = 0,45$$

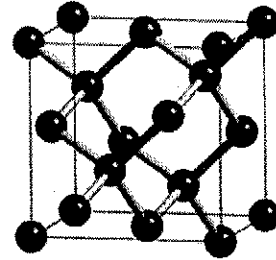
Partie 3 : Cellules photovoltaïques

G.1 Le silicium semi-conducteur

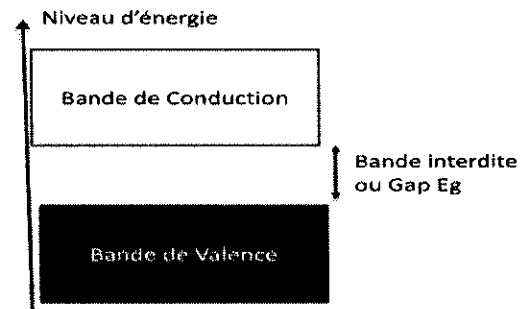
G.1.1 La structure diamant correspond à une structure face centrée avec 4 des 8 sites tétraédriques occupés.

G.1.2 Paramètre de la maille $a = 357 \text{ pm}$

On obtient $\mu = Z \cdot M_{\text{Si}} / (a^3 \cdot N_A)$ avec $Z = 8$ soit $\mu = 2331 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ densité $d = 2,331$



G.1.3 La théorie des bandes appliquées à la structure du silicium cristallin amène à considérer deux bandes ; La bande de valence entièrement remplie qui est à un niveau inférieur et la bande de valence entièrement vide qui est séparée de la bande de valence par la bande interdite. Pour le silicium la bande interdite (gap du semi-conducteur est de 1,1 eV).



G.1.4. Le dopage permet d'augmenter la conductivité du semi-conducteur en insérant des impuretés. Si l'impureté possède un électron de valence de plus que le silicium (cas du Phosphore) le semi-conducteur est dopé N en injectant des électrons dans la bande de conduction. Si l'impureté possède un électron de valence de moins que le silicium (cas du Bore) le semi-conducteur est dopé P en injectant des trous dans la bande de valence.

G.1.5 La formation d'une paire électron trou correspond au passage d'un électron de la bande de valence vers la bande de conduction. La formation de la paire électron-trou est due à l'absorption d'un photon de longueur d'onde adéquate. Il faut que $E_{\text{photon}} = h \cdot \nu > E_g$ avec $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
 $h \cdot c / \lambda > E_g \quad \lambda < 1130 \text{ nm}$ (NIR). Pour le visible entre 300 nm et 700 nm il y a formation d'une paire électron – trou.

G.II Les cellules de types Grätzel

G.II.1 La réaction de photosynthèse correspond à la formation d'hydrates de carbones par les plantes à partir de dioxyde de carbone et d'eau. Réactions qui a lieu sous l'action de la lumière.
 $n \text{ CO}_2 + n \text{ H}_2\text{O} + h\nu = \text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n + n \text{ O}_2$

G.II.2 Absorption d'un photon $\text{S} + h\nu = \text{S}^*$

Transfert d'un électron $\text{S}^* = \text{S}^+ + 1\text{e}^-$ (électron injecté dans la bande de conduction de TiO_2)

Oxydation des ions iodures par S^+ : $3\text{I}^- + 2 \text{S}^+ = 2 \text{S} + \text{I}_3^-$

Réduction des ions I_3^- à la cathode : $\text{I}_3^- + 2\text{e}^- = 3\text{I}^-$

G.II.3.a Système conjugué linéaire correspond à une alternance de système $\pi-\sigma-\pi$ comme une alternance de liaison simple et double. Il y a délocalisation d'un système pi.

G.II.3.b HO Niveau d'énergie le plus haut occupé, BV : niveau d'énergie le plus bas vacant.

G.II.3.c Approximation de Hückel

Recouvrement des orbitales Pz pour donner des OM pi.

Intégrales de recouvrement identiques pour des atomes identiques

Intégrale de recouvrement nul pour des atomes non voisins.

G.II.3.d Cas du butadiène et de l'hexatriène

Butadiène $n = 4$ soit HO $p = 2 \quad E_{\text{HO}} = \alpha + 2\beta \cos(2\pi/5)$

BV $p = 3$ $E_{BV} = \alpha + 2\beta\cos(3\pi/5) = E_{BV} = \alpha - 2\beta\cos(2\pi/5)$ Ecart $E_g = E_{BV} - E_{HO} = E_{HO} = -4\beta\cos(2\pi/5) = -1,236.\beta$

Hexatriène $n = 6$ soit HO $p = 3$ $E_{HO} = \alpha + 2\beta\cos(3\pi/7)$

BV $p = 4$ $E_{BV} = \alpha + 2\beta\cos(4\pi/7) = E_{BV} = \alpha - 2\beta\cos(3\pi/7)$ Ecart $E_g = E_{BV} - E_{HO} = E_{HO} = -4\beta\cos(3\pi/7) = -0,89.\beta$

Eg pour l'hexatriène est plus petit.

G.II.3.e La couleur d'un système conjugué est due à l'absorption $\pi-\pi^*$ qui correspond à l'écart E_g . Plus le système conjugué est long, plus l'écart est faible et donc plus la longueur d'onde d'absorption est grande, décalage vers le rouge pour l'absorption. La couleur du produit est la couleur complémentaire soit pour les systèmes courts couleur jaune puis orange, rouge et enfin bleu pour les systèmes conjugués de plus en plus long.

G.II.3.f Si le niveau de la HO augmente alors S s'oxyde de plus en plus facilement pour donner S^+ . Le potentiel d'oxydation du couple S^+/S diminue quand la longueur du système conjugué augmente (S^+ devient un moins bon oxydant). Pour que S^+ oxyde I, il faut $E_{ox}(S^+/S) > E^\circ(I_3^-/I^-)$. Si le système conjugué est trop long on peut avoir l'inversion des potentiels.

Remarque : Si le système conjugué est trop long, on peut également avoir injection des électrons de S vers TiO_2 sans action de la lumière (transfert donneur – accepteur direct).

G.II.3.g Un groupement donneur d'électron va augmenter les niveaux HO et BV le système va s'oxyder plus facilement.

Un groupement accepteur va diminuer les niveaux HO et BV, le système va moins facilement s'oxyder et plus facilement se réduire. Pour la cellule, c'est à la fois le niveau de la HO et l'écart E_g entre la HO et la BV qu'il faut régler.

G.II.3.h Les groupements nitrile et acide carboxylique jouent le rôle d'accepteur d'électron et la triphényle amine le donneur d'électron.

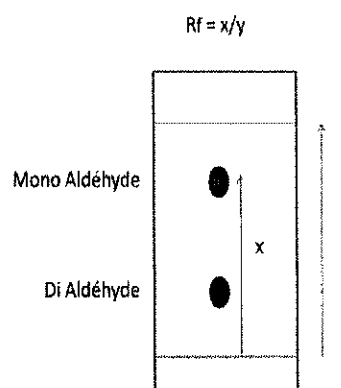
G.II.4 Synthèse d'un dérivé de la triphénylamine

G.II.4.a Protocole de la CCM

L'atmosphère de la cuve doit être saturée en vapeur de solvant (éluant). Le niveau de l'éluant ne doit pas être ni trop haut ni trop bas (il doit tremper la plaque sur 1 cm environ).

Ici comme on a des composés colorés, il n'est pas nécessaire de faire une révélation. Sinon on peut utiliser une lampe UV si la silice est imprégné d'un produit fluorescent ou on peut faire une révélation avec de la vapeur d'iode.

G.II.4.a.2

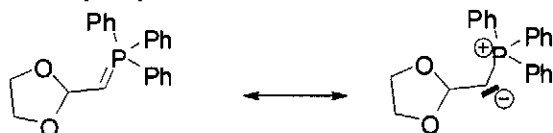


G.II.4.b.1

L'extraction du composé organique est effectuée dans une ampoule à décanter en utilisant de l'éther diéthylique. La phase organique est lavée d'abord avec une solution d'hydrogénocarbonate de sodium ($NaHCO_3$) pour supprimer l'excès d'acide chlorhydrique (attention dégagement de dioxyde de carbone) puis avec de l'eau. Les deux phases sont séparées et la phase organique (phase du dessus) est séchée en ajoutant du sulfate de magnésium anhydre. On considère que la phase organique est sèche quand les cristaux de sulfate de magnésium ne forment plus d'agrégats quand on les rajoute à la solution.

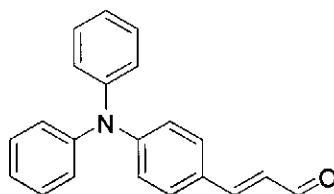
Recristallisation dans l'éthanol. Le solide est dissous à chaud dans le minimum d'éthanol puis la solution chaude est filtrée pour éliminer les impuretés insolubles à chaud. Le refroidissement lent de la solution permet la formation de cristaux. Ces derniers sont filtrés puis séchés.

G.II.4.b.2 On obtient un ylide de phosphore



G.II.4.b.3 Le dégagement gazeux est du dihydrogène due à la réaction entre les ions hydrures H^- (base) et le sel de phosphonium (acide).

G.II.4.b.4 Réaction de Wittig
Formule du composé A



Composé A

9. RAPPORT RELATIF A LA COMPOSITION DE CHIMIE

La composition de chimie traitait de quelques aspects de la production d'énergie mettant en jeu des processus chimiques. Le sujet était découpé en trois parties indépendantes qui mêlaient chimie générale, organique et inorganique. Comme pour les sessions précédentes, des questions relatives aux pratiques pédagogiques dans les classes de collège et de lycée étaient disséminées dans les trois parties et représentaient environ un quart du barème.

La première partie concernait les réactions de combustion des énergies fossiles comme le charbon, l'utilisation et la production des carburants issus du pétrole ainsi que l'exemple d'un agrocarburant.

La deuxième partie abordait la conversion de l'énergie chimique en énergie électrique à l'aide d'exemples de piles commerciales classiques, de piles à combustible et d'un accumulateur lithium – cadmium.

La troisième partie portait sur la conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique en considérant les matériaux utilisés dans deux types de cellules photovoltaïques : les cellules au silicium et les cellules à colorant.

Les trois parties ont été abordées par les candidats et toutes les questions ont reçu au moins une réponse juste.

Observations générales

Comme dans les rapports précédents, le jury tient à rappeler qu'il est très sensible à la qualité des copies et qu'il est regrettable qu'un enseignant présente une copie à peine lisible, pleine de ratures et écrite dans tous les sens. Les candidats doivent être conscients que, si la rédaction et l'orthographe ne sont pas directement sanctionnées, le correcteur pourra ne pas mettre le maximum de points à une réponse correcte mais mal rédigée ou illisible. Les réponses laconiques sans justification ne peuvent pas être acceptées. À l'inverse, un développement trop long insistant sur des détails sans intérêt démontre que le candidat ne maîtrise pas bien le sujet.

Pour les descriptions d'expériences, un schéma est souvent très utile mais il doit être soigné et accompagné d'un minimum de commentaires. De façon générale, le formalisme n'est pas respecté avec suffisamment de rigueur. En thermodynamique par exemple, les notations ΔX et $\Delta_r X$ ne doivent pas être confondues. Dans les mécanismes réactionnels, les formules des molécules et les flèches doivent être dessinées avec soin. Un doublet non liant ne doit pas être confondu avec une charge négative et l'électron non apparié d'un radical est représenté par un point qui doit

être bien visible. Les valeurs numériques doivent être données avec un nombre raisonnable de chiffres significatifs et évidemment accompagnées de leurs unités.

En abordant la production d'énergie et les problèmes environnementaux qui en découlent, le sujet faisait référence à un des problèmes scientifiques contemporains majeurs. Plusieurs questions d'actualité étaient directement posées et le jury attendait des réponses pertinentes de la part d'enseignants en exercice qui peuvent être amenés à parler de ces problèmes en classe. Il est par exemple assez curieux d'affirmer que la combustion d'un agrocarburant n'émet pas de dioxyde de carbone mais seulement de l'eau alors qu'un des objectifs en chimie est de faire comprendre aux élèves la conservation des éléments.

Observations particulières

Première partie : les énergies fossiles

A. Réactions de combustion

Les premières questions demandaient quelques définitions de thermodynamique. Si le premier principe a été plus ou moins bien rappelé, la définition de l'enthalpie de réaction a été très rarement donnée et parfois confondue avec l'enthalpie libre de réaction (énergie de Gibbs). Parmi les candidats qui ont rappelé la définition de l'enthalpie standard de formation d'une espèce chimique, il y a eu souvent confusion entre corps simple et corps pur pour désigner le dihydrogène ou le carbone graphite par exemple. Trop souvent, l'état physique des espèces chimiques n'est pas mentionné alors que les enthalpies standards de formation de l'eau liquide et de l'eau gaz sont différentes comme le montraient les données thermodynamiques figurant en début d'énoncé. Ainsi, pour le calcul du PE, l'état physique de l'eau formée lors de la combustion du dihydrogène et du méthane devait être précisé.

Les expériences simples mettant en évidence les produits formés lors de la combustion du carbone ou du méthane ont été généralement bien décrites même si quelques candidats ont indiqué que la combustion du carbone produisait de l'eau. Certains candidats ont également précisé que comme le gaz de ville est souvent interdit dans les lycées et les collèges (signalons que le gaz de ville n'est pas « interdit », mais que les établissements n'en disposent pas toujours, pour des raisons souvent liées à la maintenance coûteuse des installations), ils faisaient l'expérience avec du butane à l'aide d'un briquet par exemple ; cela a été évidemment accepté.

Alors que l'eau de chaux est un réactif très largement utilisé en classe de collège, il est étonnant que beaucoup d'enseignants ignorent sa composition et sa préparation. Il n'est pas utile de fabriquer initialement de la chaux par calcination du calcaire comme certains candidats l'ont indiqué. Le plus simple est de préparer une solution

saturée d'hydroxyde de calcium puis de la filtrer. Si les réactions conduisant à la précipitation de carbonate de calcium à partir du dioxyde de carbone sont généralement bien connues, la redissolution du précipité par formation d'ions hydrogénocarbonate lorsque l'on fait barboter en continu du dioxyde de carbone a été rarement citée.

B. Le charbon

Le diagramme d'Ellingham pour les oxydes de carbone semble bien connu. Les erreurs les plus courantes concernent les unités, en particulier l'unité de l'entropie standard de réaction, et une confusion entre enthalpie libre de réaction $\Delta_r G$ et enthalpie libre standard de réaction $\Delta_r G^\circ$. A l'équilibre $\Delta_r G = 0$ mais pas $\Delta_r G^\circ$ sauf dans le cas particulier où la constante d'équilibre vaut 1. La réaction de la vapeur d'eau avec le carbone conduit toujours à du dihydrogène mais produit du dioxyde de carbone ou du monoxyde de carbone selon la température. Le but de l'exercice était de montrer que la formation de H_2 et CO à haute température était favorisée. Le jury a constaté que trop souvent les équations des réactions étaient mal ajustées.

C. Les carburants

L'impact de l'émission de CO_2 comme gaz à effet de serre est connu par une grande majorité des candidats; cependant quelques-uns ont été jusqu'à considérer qu'il participait également à détruire la couche d'ozone voire qu'il était hautement toxique.

La rédaction d'un contrôle pour évaluer au mieux les élèves est un exercice important et souvent délicat pour un professeur. Le jury a eu le plaisir de constater que cette question a été traitée très correctement par de nombreux candidats. Cependant, le jury a pu remarquer que le niveau des exercices posés pouvait être très différent, allant d'une interrogation en deux questions très sèches à une longue série de questions à la suite desquelles l'élève n'avait plus qu'à effectuer des applications numériques simples. La justification des étapes du questionnement a été très souvent omise par les candidats comme si les questions étaient posées de façon non réfléchie par les professeurs. Les étapes du raisonnement pour calculer l'énergie totale dépensée par le véhicule ont très rarement été décrites convenablement : phrases souvent incompréhensibles par les correcteurs, et donc a fortiori par des élèves, ou aboutissant à un résultat faux.

Le diester[®], contraction des mots diesel et ester, est la marque d'un agrocarburant et ne correspond pas à un di-ester comme indiqué dans quelques copies. La formule brute de l'ester donnée en fin d'exercice indiquait bien qu'il n'y avait qu'une seule fonction ester. Les triglycérides d'huiles végétales sont encore trop souvent considérés comme des acides carboxyliques. Il est vrai que le langage usuel évoque les acides gras contenus dans les huiles mais ces derniers sont obtenus par hydrolyse. Un enseignant de sciences physiques et chimiques doit faire la différence

entre les discours publicitaires et la réalité scientifique. La réaction de transestérification a été confondue avec la réaction d'estérification des acides gras.

Le dosage en retour du diester[®] a généralement été bien mené. Les consignes données aux personnels du laboratoire pour préparer la soude à $1,00 \text{ mol.L}^{-1}$ ont été interprétées soit pour les mesures de sécurité, soit pour obtenir une concentration de grande précision. Les deux réponses étaient attendues.

La définition de l'indice d'octane est mal connue; mais son évolution en fonction de la structure des alcanes a été bien interprétée.

La définition d'un milieu idéal est inconnue de la plupart des candidats. L'exploitation du diagramme binaire nécessitait quelques calculs qu'il fallait clairement présenter pour que le raisonnement puisse être aisément suivi par le correcteur.

Le principe de la distillation fractionnée devait être expliqué en prenant appui sur le diagramme binaire étudié précédemment. Le montage de distillation classique utilisé au laboratoire n'était pas demandé.

Deuxième partie : piles et accumulateurs

Cette partie n'a été traitée que très partiellement par les candidats alors que de nombreuses questions étaient du niveau des classes du lycée.

D. Piles électrochimiques

S'agissant du principe de fonctionnement d'une pile, le rôle du pont électrolytique devait être expliqué. Trop de candidats se sont contentés de donner le parcours des électrons dans le circuit extérieur de la pile sans préciser ce qui se passait au sein de la pile.

Lors de l'impression du sujet, les droites verticales du diagramme potentiel – pH ont été décalées de 0,5 unité pH. De nombreux candidats ont signalé ce décalage et ont donné correctement les coordonnées des points A et B ainsi que l'équation de la droite.

L'équation de la réaction de fonctionnement de la pile alcaline devait être écrite en considérant un milieu basique. Ici encore, les coefficients des équations ont été trop souvent mal ajustés. Les calculs des énergies massiques ont été très rarement effectués alors qu'ils nécessitaient des concepts vus en classe de 1^{ère} S.

E. Pile à combustible

S'il était plus difficile de retrouver l'expression du rendement théorique d'une pile à combustion, par contre le calcul du rendement pour les piles à hydrogène et au méthanol était une application très simple de l'équation donnée. Encore fallait-il écrire correctement les équations en considérant la formation de H_2O (liq).

La partie concernant les membranes des piles décrivait un exemple de synthèse d'un copolymère selon le principe d'une polymérisation radicalaire vivante. Ce type de polymérisation est peu connu des candidats mais une analyse des conditions décrites dans le schéma E permettait de répondre simplement aux questions posées. La compréhension d'un protocole pour interpréter une expérience nouvelle fait partie des compétences exigées d'un élève en TPE par exemple.

F. Un exemple d'accumulateur : la batterie au lithium.

La structure cristalline de LiCoO_2 a été relativement bien décrite; par contre la condition limite de contact entre les anions a été plus rarement invoquée pour établir la relation donnant le rapport minimal ρ .

Troisième partie : les cellules photovoltaïques.

Cette partie a été traitée de façon très différente par les candidats. Certains ont répondu à toutes les questions tandis que d'autres se sont contentés de décrire le principe de la chromatographie sur couche mince (CCM). Ceux qui ont abordé sérieusement la partie sur les matériaux utilisés dans les cellules l'ont souvent réussie.

Le principe de la CCM a été bien décrit, ce qui montre que la plupart des candidats connaissent cette technique d'identification d'un composé organique. Il est donc étonnant que la CCM soit trop rarement mise en œuvre lors des épreuves de montage. À l'inverse, la description et la justification du protocole expérimental au niveau d'une classe de Terminale S utilisé pour le traitement de la réaction de Wittig a été plutôt décevant. Il est vrai que cette question située en fin de sujet a parfois été abordée très rapidement en fin d'épreuve.

L'hydrolyse de la fonction acétal qui s'effectuait in situ directement après la réaction de Wittig a été très rarement remarquée par les candidats.

Conclusion

Si le sujet pouvait paraître un peu long, il est indiqué aux candidats qu'il n'était pas nécessaire de tout traiter pour obtenir une note convenable. Un sujet long peut donner à chaque candidat les possibilités de trouver des parties qu'il pourra aborder. Ainsi, de nombreuses questions pouvaient être traitées en ayant une bonne connaissance des programmes des classes de lycée et de collège.

D'autre part, le jury encourage les futurs candidats à préparer les leçons proposées aux épreuves orales afin de revoir les notions essentielles qui permettent d'aborder au mieux un sujet d'écrit de l'agrégation interne.

10. DÉROULEMENT DES ÉPREUVES ORALES

SESSION 2010

Conditions matérielles et généralités

Les épreuves d'admission se sont déroulées au Lycée Saint Louis à Paris du 22 au 30 avril 2010. Le jury a délibéré immédiatement après la fin des épreuves. Les résultats ont été proclamés le 1 mai 2010.

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

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

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

Ces enveloppes sont ouvertes par le candidat au début de chacune des épreuves qui commencent dès le lendemain du tirage au sort. Lors de la session 2010, les horaires ont été les suivants :

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

Une épreuve se déroule de la façon suivante :

- ouverture du sujet tiré au sort : un sujet obligatoire pour les leçons, et un sujet à choisir parmi deux proposés pour le montage ;
- 4 h de préparation à l'épreuve
- 1 h 20 d'épreuve, dont 50 min pour l'exposé d'une leçon ou la présentation du montage, le reste du temps pouvant être utilisé par le jury pour les questions.

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

Les épreuves sont publiques.

Il est demandé aux candidats de se munir d'une pièce d'identité en cours de validité ainsi que d'une blouse pour les épreuves de chimie.

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

Le matériel ainsi que les livres et documents, doivent être envoyés ou déposés (éventuellement par les candidats eux-mêmes), au plus tard avant le début de la première épreuve de la première série. Pour le matériel il est nécessaire de fournir un inventaire et une notice de fonctionnement. Ils sont récupérés le jour de la proclamation des résultats.

Les équipes techniques

A chacune des trois épreuves orales, le candidat est accueilli par une équipe technique constituée de techniciens et de professeurs préparateurs.

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

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

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

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

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

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

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

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

11. SUJETS DES ÉPREUVES ORALES DE LA SESSION 2010

Leçons de physique

Les leçons de physique de la session 2010 sont à traiter au niveau des classes préparatoires scientifiques ou aux niveaux des deux premières années (niveaux L1 et L2) de la licence de physique ou de la licence de physique chimie.

1. Caractère galiléen approché du référentiel géocentrique et du référentiel terrestre.
2. Energie mécanique d'un point matériel.
3. Energie mécanique d'un système matériel.
4. Mouvement dans un champ de forces centrales newtonien.
5. Système isolé de deux points matériels en interaction.
6. Rotation d'un solide autour d'un axe dont la direction est fixe.
7. Actions de contact entre deux solides.
8. Statique des fluides.
9. Dynamique des écoulements parfaits.
10. Premier principe de la thermodynamique.
11. Deuxième principe de la thermodynamique.
12. Machines thermiques.
13. Diffusion thermique.
14. Dipôle électrostatique.
15. Le champ électrostatique.
16. Le champ magnétostatique.
17. Induction électromagnétique : cas d'un circuit fixe dans un champ magnétique dépendant du temps.
18. Induction électromagnétique : cas d'un circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire.
19. Énergie du champ électromagnétique.
20. Vibrations transversales sur une corde.
21. Ondes sonores dans les fluides.
22. Ondes dans un milieu dispersif.
23. Rayonnement dipolaire électrique (les composantes du champ électromagnétique rayonné à grande distance seront admises).
24. Réflexion-réfraction d'une onde électromagnétique à l'interface entre deux diélectriques. Lois de Descartes.
25. Miroirs sphériques et lentilles minces.
26. Interférences en optique. Notion de cohérence.
27. Diffraction de Fraunhofer.
28. Réseaux plans en optique.
29. Oscillateur harmonique, avec ou sans amortissement.
30. Résonance.

Montages de physique

Chaque candidat a le choix entre deux sujets.

Pour chacun des sujets de la liste ci-dessous, il conviendra, dans la mesure du possible, de présenter des applications. L'utilisation de l'ordinateur interfacé, pour l'acquisition et le traitement des données expérimentales, est à privilégier.

Document 14 Agrégation interne de sciences physiques 2009 : sujets des épreuves orales session 2010

1. Dynamique newtonienne.
2. Transitions de phase.
3. Ondes acoustiques.
4. Formation des images en optique.
5. Spectrométrie optique.
6. Polarisation de la lumière.
7. Condensateurs.
8. Bobines ; transformateurs.
9. Capteurs.
10. Induction, auto-induction.
11. Production et mesure de champs magnétiques.
12. Transducteurs électromécaniques.
13. Régimes transitoires en électricité.
14. Oscillateurs électriques auto-entretenus.
15. Filtres actifs et passifs.
16. Amplification en électronique.
17. Analyse harmonique. Synthèse d'un signal périodique.
18. Modulation d'amplitude et modulation de fréquence.
19. Conversions alternatif-continu et continu-alternatif en électricité
20. Moteurs électriques.
21. Oscillateurs couplés.
22. Mesure de longueurs d'onde.
23. Mesure de fréquences.
24. Mesure d'impédances.
25. Mesure de puissance et d'énergie.
26. Interférences.
27. Diffraction.
28. Ondes stationnaires.
29. Résonance.
30. Propagation d'une onde.

Leçons de chimie

Les leçons de chimie de la session 2010 sont à traiter au niveau des classes préparatoires scientifiques ou aux niveaux des deux premières années (niveaux L1 et L2) de la licence de chimie ou de la licence de physique chimie.

1. Mécanismes réactionnels en cinétique homogène.
2. Caractères généraux de la catalyse (catalyse hétérogène exclue).
3. Lecture et utilisation des diagrammes d'Ellingham. Applications.
4. Réactions de complexation ; applications en analyse quantitative.
5. Lois de déplacement des équilibres : influence de la température et de la pression, de l'introduction d'un constituant actif et d'un constituant inactif.
6. Lecture et utilisation des diagrammes binaires liquide/vapeur isobares.
7. Aspect thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction en solution aqueuse.
8. Réactions de précipitation ; applications en analyse quantitative.
9. Réactions acido-basiques ; applications en analyse quantitative.

10. Cristaux métalliques : description, propriétés.
11. Cristaux ioniques.
12. Lecture et utilisation des diagrammes binaires solide/liquide.
13. Classification périodique des éléments : construction, évolution de quelques propriétés.
14. Structure électronique et géométrique des molécules : liaisons covalentes localisées et délocalisées dans les modèles de Lewis et de Gillespie.
15. Applications des diagrammes potentiel-pH.
16. Applications des courbes intensité-potentiel.
17. Applications de la spectroscopie RMN du proton.
18. Réaction de Diels Alder : caractéristiques et modélisation.
19. Stéréochimie des molécules organiques.
20. Liaison carbone-halogène : réactions de substitution.
21. Liaison carbone-halogène : réactions d'élimination.
22. Alcools et alcoolates : réactions de substitution et d'élimination.
23. Préparation et réactivité des organomagnésiens mixtes.
24. Alcènes : réduction et oxydation.
25. Hydrocarbures aromatiques : aromaticité. Substitution électrophile aromatique sur le benzène.
26. Substitution électrophile aromatique : benzène substitué, cas d'un hétérocycle.
27. Polymérisation en chaîne : polymérisation radicalaire, polymérisation anionique. Structure moléculaire des polymères en chaîne, conséquences.
28. Composés carbonylés : préparations, réactions d'addition nucléophile.
29. Réactivité spécifique des composés carbonylés énolisables et des α -étones.
30. Synthèses et réactivité des dérivés d'acide.

Montages de chimie

Chaque candidat a le choix entre deux sujets.

Pour chacun des thèmes de la liste ci-dessous, il conviendra, dans la mesure du possible, de présenter des applications.

1. Dosages de produits de la vie courante.
2. Piles électrochimiques et électrolyses.
3. Constante de formation d'ions complexes.
4. Produit de solubilité.
5. Equilibres acido-basiques en solution aqueuse.
6. Vitesse de réaction et catalyse.
7. Indicateurs de fin de dosage.
8. Influence du pH, de la complexation, de la solubilité sur le pouvoir oxydant ou réducteur.
9. Diagramme potentiel-pH du fer.
10. Spectrophotométrie UV-visible.
11. L'azote et ses composés en chimie inorganique.
12. Le zinc et ses composés.
13. Notion d'équilibre chimique.
14. Les halogènes (fluor exclu)
15. Le dioxygène et l'eau oxygénée.
16. Oxydants minéraux.
17. Réducteurs minéraux.
18. Alcènes et alcynes (éthylène et acétylène exclus).
19. Aldéhydes.

20. Cétones.
21. Alcools.
22. Amines.
23. Organométalliques.
24. Substitutions électrophiles.
25. Substitutions nucléophiles.
26. Acides carboxyliques et dérivés.
27. Acides aminés, amides, polypeptides, polyamides.
28. Méthodes de séparation des constituants d'un mélange en chimie organique.
29. L'eau en chimie organique.
30. Produits organiques contenus dans les substances naturelles. Séparation et identification.

12. Rapport sur les épreuves orales de Physique

Le jury a eu, comme par le passé, le plaisir d'assister à d'excellentes prestations, mais aussi le regret de voir certains candidats confrontés à de graves difficultés.

C'est évidemment à ces derniers que le présent rapport s'adresse en priorité ainsi qu'à ceux qui envisagent de se présenter aux prochaines sessions. Tous auront également intérêt à étudier les documents analogues édités les années précédentes.

1 - Deux épreuves de nature différente

Les deux épreuves de physique, leçon et montage, ont des objectifs sensiblement différents.

- Elles présentent certes des points communs : illustration scientifiquement irréprochable d'un sujet donné ; nécessité pour le candidat de faire preuve d'une aisance et d'un dynamisme communicatifs ; soin et cohérence apportés à la présentation.

Les durées de préparation puis de présentation (qui sont les mêmes pour les deux épreuves, respectivement 4 h et 50 min) ne sont pas si longues qu'il y paraît. Le candidat doit donc aller à l'essentiel et faire preuve de concision. Lors de la présentation, il évitera de se lancer dans une longue introduction, "chronophage" et possiblement ennuyeuse.

Enfin, il n'est pas inutile de rappeler que l'ensemble des points abordés doit former un tout cohérent.

- Parmi les différences mentionnées plus haut, la part de l'expérience n'est pas la même.

Dans l'épreuve de la leçon, il s'agit d'une simple illustration d'un concept qui peut être qualitative ou se limiter à des considérations d'ordres de grandeur ne nécessitant pas un recours aux incertitudes de mesures.

En revanche, comme nous allons le préciser ci-dessous, l'expérience est au cœur de l'épreuve du montage.

2 - Le montage

Le candidat a le choix entre deux sujets pris dans deux domaines différents de la physique.

Il s'agit de proposer un ensemble cohérent d'expériences variées qui illustrent le sujet proposé. Celles-ci doivent fournir des résultats quantitatifs permettant, par exemple, d'établir ou de vérifier une loi ou de déterminer la valeur d'une constante physique que l'on pourra comparer à celle tabulée. C'est dire que les expériences présentées doivent avoir un objectif précis, à l'intérieur du thème proposé.

Les mesures doivent être soignées et leur précision estimée avec soin. Cela prend du temps. Il n'est donc pas judicieux, sauf exception, de se lancer dans de multiples expériences qualitatives.

Il est d'ailleurs conseillé de se restreindre à un nombre raisonnable de manipulations (trois ou quatre) dont le contenu doit être maîtrisé.

Dans l'ensemble, les candidats maîtrisent les outils modernes de communication et de mesure : vidéoprojecteur, tableau numérique interactif, ordinateur interfacé, oscilloscope à mémoire numérique ... mais le jury regrette que des appareils tels que les wattmètre, "dBmètre", phasemètre ... soient peu ou pas utilisés.

Il est à noter que la connaissance fine du fonctionnement des instruments n'est, d'une façon générale, pas attendue. Les candidats n'ont donc pas à se lancer dans de longues considérations sur ce sujet.

Si la connaissance du principe de fonctionnement de l'appareil est nécessaire pour effectuer correctement la mesure, le jury pourra interroger le candidat à ce sujet.

D'une façon générale, le temps est compté. Les candidats éviteront d'annoncer et de décrire longuement les résultats qui vont être obtenus. Ils n'ont pas à démontrer ou même à justifier les lois et théorèmes utilisés. Là encore, le jury pourra intervenir si nécessaire.

Enfin, aucun résultat ne doit jamais être laissé au jugement du jury sans que son homogénéité et son "réalisme" aient été préalablement vérifiés.

Le point le moins bien traité reste la discussion de la qualité des mesures. Rappelons qu'en l'absence d'évaluation et d'optimisation de la précision, une mesure n'est qu'une estimation d'ordre de grandeur. Une telle opération est importante parce qu'elle permet de savoir si un phénomène est notable ou au contraire négligeable. Elle ne constitue pas pour autant une mesure, et ne permet donc pas de vérifier la validité d'une loi.

Les mesures doivent être soignées et analysées de manière critique. Les erreurs systématiques (biais) doivent être prises en compte et le protocole optimisé. L'estimation des incertitudes se limite la plupart du temps à un calcul fondé sur des petites variations prises en valeur absolue. Il faut savoir

qu'un tel traitement est très pessimiste, la probabilité d'être partout dans les conditions les plus défavorables étant très faible (sauf, évidemment, si les grandeurs sont corrélées). Enfin, la prise en compte d'un nombre important de points de mesure permet facilement de réduire l'incertitude sur le résultat.

Remarques concernant les montages d'électricité

- Les montages électriques sont trop souvent "multifonctionnels" c'est-à-dire démontés puis montés au dernier moment devant le jury. Il est pourtant plus sûr d'étudier un dispositif déjà opérationnel, les résultats obtenus ayant été enregistrés. Le candidat reprend alors un point de mesure en présence du jury.
- Les valeurs affichées des caractéristiques des composants sont mesurées dans des conditions spécifiques : tension, fréquence ... Il convient de les prendre en compte avec précaution et si possible de les vérifier dans les conditions d'utilisation.
- L'étude du transformateur est trop souvent rapidement survolée. Certes, l'introduction d'un noyau ferromagnétique augmente l'inductance d'une bobine, mais elle présente aussi des inconvénients comme des effets de non-linéarité, de saturation, d'hystérésis, des courants de Foucault ... L'utilisation systématique de bobines prélevées sur des transformateurs démontables n'est pas judicieuse car ces composants sont prévus pour fonctionner à 50 Hz. Il est éventuellement intéressant d'en mesurer les caractéristiques. Cependant, il existe d'autres composants plus adaptés aux fréquences supérieures au kHz comme, par exemple, les pots de ferrite, utilisés pour des transformateurs en audio fréquence (filtres et oscillateurs) et qui permettent de réaliser des bobines de forte inductance avec relativement peu de spires.
- L'étude des réponses transitoires en électricité est souvent limitée à l'attaque par un échelon de tension. Certains circuits (vibrateurs astables, horloges) restent dans un état transitoire parce que leurs caractéristiques varient perpétuellement. L'étude de l'attaque par une tension sinusoïdale $U(t) = Y(t) \cdot \sin \omega t$ est rarement traitée de façon convaincante.
- Trop souvent, l'étude des filtres se limite à celle d'un passe-bas (RC ou premier ordre actif) et d'un circuit RLC série. Rappelons que celui-ci n'est pas un "bon passe-bande". Les filtres universels (commutation capacitive) permettent de faire varier indépendamment la fréquence centrale et la longueur de la fenêtre passante. L'ordre d'un filtre est rarement étudié. Enfin, sans entrer dans les détails, il n'est pas mauvais de savoir que les différents filtres (Rauch, Butterworth, Tchebychev ...) correspondent à des usages particuliers.

Remarques concernant les autres montages

- Les mesures de thermodynamique sont délicates. Celle d'une enthalpie de changement d'état (chaleur latente) doit être particulièrement soignée. Si ce n'est pas le cas, l'écart à la valeur tabulée peut approcher les 100 %.
Les transitions de phase comprennent les changements d'état (1^{er} ordre) mais aussi des transformations de deuxième espèce. On peut au moins mentionner les cristaux liquides qui ont, actuellement, une place toute particulière.
- En mécanique, le mouvement d'un solide autour d'un axe fixe est d'une grande importance pratique. Mais la rotation et, d'une façon générale, le moment cinétique inspirent peu les candidats.
- La résonance est un phénomène qui concerne plusieurs domaines de la physique. Il est important de souligner la généralité du concept et d'évoquer les problèmes énergétiques qui sont souvent négligés.
La résonance pour un circuit RLC série (résonance en courant la plupart du temps) semble être l'expérience de base. Cela est admissible mais, si l'acuité du phénomène est grande, le générateur est pratiquement en court-circuit. La tension à ses bornes chute avec les conséquences prévisibles sur la valeur du courant. Des solutions à ce problème existent, manuelles ou automatiques, mais, de ce point de vue, l'étude d'un circuit parallèle (bouchon) est plus simple.
Un pendule élastique dont l'extrémité libre est reliée à une corde elle-même attaquée par un excentrique est présenté comme l'équivalent mécanique du circuit RLC. L'étude quantitative présente des surprises et il n'est pas évident que l'excitation soit une simple force alternative.
La corde de Melde est un exemple de résonateur à fréquences multiples. L'étude doit en être menée de façon un peu différente que lorsqu'il s'agit d'étudier les ondes.
La résonance optique (sodium) n'a pas été réalisée avec succès.

- Le montage sur la notion d'impédance est voisin. Certaines des expériences précédentes peuvent pratiquement s'y retrouver.
Il est conseillé de ne pas se limiter au domaine de l'électricité. La mécanique et les ondes proposent des exemples convaincants. Pour autant l'électricité ne doit pas être exclue. Bien entendu, il convient de souligner la transversalité du concept d'impédance.
- Dans certains montages d'optique, les réglages sont trop souvent approximatifs. L'utilisation du laser les a considérablement simplifiés. Il n'en reste pas moins que les montages doivent être soignés. Rappelons la nécessité pour les axes optiques des lentilles et diaphragmes d'être confondus et horizontaux.
- Les conditions de Fraunhofer pour la diffraction ne sont pas connues avec la précision souhaitée. Elles se limitent trop souvent à de vagues considérations à la distance réseau – écran qui doit être "grande".
- L'analyse d'un état de polarisation de la lumière qui a traversé une lame cristalline n'est quasiment jamais abordée.

3 - La leçon

Les candidats ont en général le choix de placer leur leçon dans le cursus universitaire (L1 ou L2) ou dans le cadre des classes préparatoires aux grandes écoles scientifiques. La première option donne davantage de liberté, la seconde est plus contraignante mais elle offre l'avantage d'un encadrement plus fort.

Attention, le candidat ne doit pas évoquer des prérequis qui lui permettent de contourner des difficultés inhérentes à la leçon en prétextant que leur traitement en a été vu auparavant.

Tout d'abord,

- Les candidats doivent être très au clair sur les objectifs à atteindre et savoir précisément quelles compétences ils désirent développer chez leurs élèves.
- Ils doivent, bien évidemment, veiller à préparer un exposé structuré et rigoureux dans lequel se dégagent clairement les idées principales de la leçon.
- Il convient aussi de se montrer conscient des points difficiles et/ou délicats de la leçon : les identifier et chercher comment les traiter au mieux.

Pendant la présentation,

- On pourra, si cela s'avère possible, utiliser une situation déclenchante, expérimentale par exemple, pour introduire les concepts à étudier.
- Il faudra que des ordres de grandeur viennent éclairer les concepts présentés. Ces ordres de grandeur pourront, lorsque possible, être associés à des situations de la vie quotidienne.
- Les applications gagneront à ne pas être systématiquement reléguées en fin de séance. Elles devraient plutôt permettre d'illustrer les concepts chaque fois que cela s'avère nécessaire.
- Il faudra prendre le temps de s'arrêter sur l'équation (ou les équations) principale(s) de la leçon : ne pas se contenter d'une écriture mathématique mais tenter de les expliciter, de les faire « parler » pour leur donner tout leur sens. Le jury regrette que trop de leçons fassent la part excessivement belle à des considérations mathématiques et abstraites.
- On fera apparaître, si possible, des concepts transversaux en montrant les analogies entre les différents domaines de la physique (ce qui suppose montrer une connaissance des programmes, non restreinte à la seule leçon présentée).
- On pensera toujours à rappeler les limites de validité des lois phénoménologiques.
- Le candidat pourra utilement terminer sa leçon en précisant, de façon claire et synthétique, ce que les élèves devraient avoir appris (ce qui n'est pas la même chose que proposer un résumé de la leçon).

Après la présentation,

- Il faut savoir que les questions posées permettent au candidat de préciser sa pensée, de la formuler au plus juste, de rectifier une éventuelle erreur ... Elles ne sont pas destinées à mettre le candidat en difficulté mais elles doivent être écoutées avec attention et dans leur ensemble au risque évident, si l'on se précipite, de ne pas en saisir l'étendue ou la subtilité.
- Le candidat pourra réfléchir, pendant sa préparation, à la façon dont il pourrait, suite à la leçon présentée, évaluer son enseignement (sous quelle forme, par exemple) et apporter cette précision si elle lui est demandée.

Par ailleurs,

- L'utilisation des nouvelles technologies doit être pensée et adaptée. Y avoir recours systématiquement n'est pas nécessairement ce qu'attend le jury. Choisir d'y avoir recours à certains moments et pouvoir expliciter ce choix est plus intéressant (par exemple, ne pas utiliser une flexcam pour montrer une courbe toute simple longuement recherchée dans un livre quand elle pourrait être rapidement reproduite en quelques gestes ; ne pas utiliser un TNI pour écrire de longues phrases au stilet ...). Nous rappelons que le fait de savoir utiliser les outils des TICE n'est pas évalué en soi. En revanche, le fait de savoir quand les utiliser au mieux, au service des apprentissages, ne peut être qu'un plus.
- Enfin, on peut essayer de montrer que le champ de connaissances de l'enseignant ne se limite pas aux frontières de la leçon présentée et qu'il possède des éléments d'une culture scientifique plus large.

13. RAPPORT SUR LES EPREUVES ORALES DE CHIMIE

Le jury constate que les candidats ne tiennent pas toujours compte des conseils indiqués dans les rapports précédents, qui restent tout à fait d'actualité et que de nombreux candidats ne connaissent pas les programmes des collèges et lycées.

L'épreuve de leçon

Le sujet de la leçon est tiré de la liste publiée au Bulletin Officiel de l'Education Nationale. Le niveau choisi est signalé par le candidat ; il doit se situer dans le cadre des programmes des classes préparatoires aux grandes écoles ou bien au niveau L1 ou L2.

Le titre et le plan doivent être indiqués, soit au tableau, soit en utilisant le matériel informatique mis à disposition.

La leçon est censée s'adresser à des étudiants qui auraient assimilé les leçons précédentes et qui sont aptes à acquérir rapidement les nouvelles notions.

Le candidat doit préciser, en début d'exposé, la situation de la leçon dans la progression du programme ainsi que les pré-requis nécessaires. Les objectifs peuvent être précisés au début ou au cours de la leçon ou rappelés dans la conclusion pour confirmer qu'ils ont été atteints.

Très souvent, le jury constate que le candidat oublie, tout au long de sa progression, de faire le lien avec le plan présenté au début de la leçon.

Le candidat doit s'assurer de la lisibilité des documents projetés. S'il utilise la flexcam, l'horizontalité du document est nécessaire pour une bonne lisibilité. L'exposé d'une leçon ne saurait cependant se limiter à une simple projection de documents ou de pages d'ouvrages.

Il faut rappeler à ce propos que les ouvrages sur lesquels le candidat s'appuie pour bâtir sa leçon doivent être variés, en évitant de se limiter aux seuls manuels des classes préparatoires.

Il est rappelé que le candidat peut effacer le tableau à sa convenance ; il ne doit en outre pas perdre de temps en y écrivant trop d'informations simples dont l'énoncé oral suffit.

Même s'il dispose d'une certaine latitude pour traiter la leçon, le candidat doit pouvoir aborder de façon approfondie les notions essentielles. C'est pourquoi le rythme de la leçon doit être assez soutenu.

Des exemples bien choisis, faisant référence à l'actualité de la chimie, des applications industrielles ou de la vie courante, ainsi que des résultats d'expériences peuvent venir illustrer ces nouvelles notions. Le candidat peut également réaliser quelques expériences appropriées s'il a le temps de les exploiter.

La présentation formelle d'équations de transformations chimiques est à éviter ; un exemple particulier bien exploité est toujours plus parlant que la chimie des R, R', E⁺, Nu⁻, ML_n et autres. Il peut être d'ailleurs parfois intéressant de présenter des exemples ou applications sous forme de résolution rapide d'exercice convenablement posé.

Certaines leçons sont libellées : « Applications de ... ». Ces leçons ne doivent pas se limiter à un cours magistral. Après un bref rappel des pré-requis, l'exposé doit se consacrer à l'utilisation et aux applications de ces notions à des exemples convenablement choisis dans les différents domaines de la chimie.

Enfin, le jury tient à attirer l'attention des candidats sur le fait que le professeur doit servir d'exemple à ses élèves. C'est pourquoi il doit maîtriser parfaitement la langue française et être d'une grande précision dans le vocabulaire qu'il emploie.

L'épreuve de montage

Le candidat doit faire un choix pertinent d'expériences en relation avec le titre, et il doit justifier ce choix lors de sa présentation. Comme pour la leçon, le montage doit comporter un titre et un plan, clairement indiqués au tableau par exemple.

Une brève introduction et une présentation rapide du contenu sont souhaitables, ce qui permet de mettre en évidence le fil directeur, une analyse fine du sujet, des transitions réfléchies.

Le jury rappelle que l'épreuve de montage est aussi l'occasion pour le candidat de mettre en avant ses qualités pédagogiques.

Document 13 : Agrégation interne de sciences physiques 200 : rapport sur l'oral de chimie

Le candidat doit maîtriser les aspects théoriques abordés qui feront souvent l'objet de questions de la part du jury.

L'entretien avec le jury a lieu tout au long du montage. Ceci permet de tester la réactivité du candidat et son aptitude à répondre à des questions qu'il n'a pas toujours prévues ; il est aussi souvent invité à proposer des hypothèses sur des observations expérimentales parfois inattendues mais souvent explicables en s'appuyant sur ses connaissances.

Au début ou en cours de préparation le candidat fournit au personnel technique une liste de ses besoins en matériel, produits et solutions titrées, et peut lui demander de l'aider dans la réalisation d'expériences à condition de lui donner un protocole opératoire détaillé et placé sous l'entière responsabilité du candidat.

Lors de la présentation devant le jury, le candidat doit mettre en avant ses qualités d'expérimentateur, sans pour autant reproduire l'intégralité des expériences. Les aptitudes et les techniques présentées doivent être variées et bien choisies. On souligne à ce sujet que la manipulation de la pipette (verticalité, notamment) et de la poire d'aspiration n'est pas toujours maîtrisée.

Les expériences présentées par le candidat doivent être comprises. Il ne s'agit pas uniquement de suivre à la lettre les protocoles indiqués dans les ouvrages. Il faut avoir un regard critique sur ces protocoles, savoir par exemple justifier les proportions de réactifs utilisées en calculant les quantités de matière correspondantes pour déterminer le réactif limitant, comprendre les différentes étapes indiquées et justifier à la fois l'ordre dans lequel elles sont réalisées et leur raison d'être.

Il arrive trop souvent que les équations des transformations chimiques ainsi que les formules des composés utilisés et/ou formés ne soient pas explicités.

Par ailleurs, si la présentation d'expériences souvent réalisées dans l'enseignement secondaire ne saurait être réhibitoire, on attend aussi dans ce cas une présentation et une interprétation des résultats ainsi qu'une analyse des protocoles à un niveau qui peut dépasser les connaissances des élèves du secondaire.

Expériences de chimie organique

Le candidat peut demander aux techniciens de réaliser une analyse des produits synthétisés par spectroscopie infrarouge ou par chromatographie en phase gazeuse. Cela peut permettre une comparaison avec les produits commerciaux, vivement recommandée. Il faut cependant penser à formuler cette demande suffisamment tôt avant l'arrivée du jury.

Lors d'une synthèse organique, il est normal de ne pas reproduire toutes les étapes. Le candidat peut décrire le dispositif expérimental et réaliser devant le jury une des étapes importantes de la synthèse. On peut également attendre un calcul de rendement, dont la valeur sera évidemment dépendante du contexte de l'expérience (durée de chauffage souvent écourtée, séchage parfois insuffisant).

Expériences de chimie générale

Les dosages colorimétriques doivent s'effectuer à la goutte près. Pour ces dosages et pour toute expérience mettant en jeu un changement de couleur, une comparaison de couleur à l'aide de solutions témoins est souvent appréciée.

Lors des expériences de suivi cinétique, les candidats se contentent assez souvent de présenter une courbe d'évolution de concentration en fonction du temps. Il est important de savoir exploiter cette courbe en déterminant par exemple les ordres partiels, le temps de demi-réaction ou une constante de vitesse. Il faut faire pour cela une analyse fine des conditions opératoires choisies.

Les logiciels informatiques permettent une modélisation des courbes. Celle-ci doit être faite de façon plus systématique. On peut ensuite comparer les paramètres de modélisation avec les valeurs attendues.

14. SUJETS DES ÉPREUVES ORALES DE LA SESSION 2011

Les sujets des leçons et montages de physique et de chimie de la session 2011 de la session 2011 sont inchangés par rapport à ceux de la session 2010.