



Sujet spécifique n°1 (usage de la calculatrice autorisé)

Exercice 1 – Le satellite PLANCK (6 points)

Synthèse : la mission « Planck »

Les astrophysiciens tirent des informations précieuses de l'étude du rayonnement électromagnétique en provenance de l'Univers tout entier. Le satellite PLANCK a été conçu pour détecter une partie de ce rayonnement afin de mieux connaître l'origine de l'Univers.

Les documents utiles à la résolution sont donnés aux pages 3 et 4.

À l'aide des documents et en utilisant vos connaissances, rédiger, en 30 lignes maximum, une synthèse argumentée répondant à la problématique suivante :

« Comment les informations recueillies par le satellite Planck permettent-elles de cartographier "l'Univers fossile" ? »

Pour cela, présenter le satellite Planck et sa mission. Préciser ensuite les principales caractéristiques du rayonnement fossile (source, nature, intensité et direction, longueur d'onde dans le vide au maximum d'intensité λ_{max}). Justifier alors l'intérêt de réaliser des mesures hors de l'atmosphère et conclure enfin sur la problématique posée, en expliquant notamment le lien entre cartographie du rayonnement et cartographie de l'Univers.

Analyse du mouvement du satellite Planck

Pour éviter la lumière parasite venant du Soleil, le satellite PLANCK a été mis en orbite de sorte que la Terre se trouve toujours entre le Soleil et le satellite. Les centres du Soleil, de la Terre et le satellite Planck sont toujours alignés.

La période de révolution de la Terre et celle du satellite autour du Soleil sont donc exactement les mêmes : 365 jours.

Représenter par un schéma les positions relatives du Soleil, de la Terre et de Planck.

Montrer, sans calcul, que cette configuration semble en contradiction avec une loi physique connue.

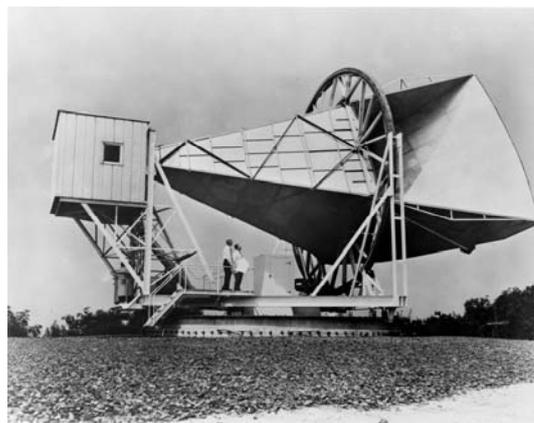
Proposer une hypothèse permettant de lever cette contradiction.

Documents de l'exercice 1

Document 1 : Découverte du rayonnement fossile

En 1965, afin de capter les signaux de l'un des premiers satellites de télécommunication, deux jeunes radioastronomes du laboratoire de la Bell Telephone, Penzias et Wilson, entreprennent d'utiliser une antenne de 6 mètres installée sur la colline de Crawford, à Holmdel (USA). À leur grande surprise, les deux scientifiques tombent sur un étrange bruit de fond radio venant de toutes les directions du ciel.

La très faible intensité du signal détecté ne varie ni au fil du jour, ni au cours des saisons. Ce signal est étranger au Soleil et à la Voie Lactée.



Penzias et Wilson viennent de détecter le « rayonnement fossile ». Ils reçoivent le prix Nobel en 1978.

Très vite, le rayonnement fossile procurera la « première image de l'Univers ». Il lèvera le voile sur une époque cruciale : quelques centaines de milliers d'années après le Big Bang. À cette époque, des grumeaux de matière sont déjà assemblés afin de constituer les embryons de nos galaxies.

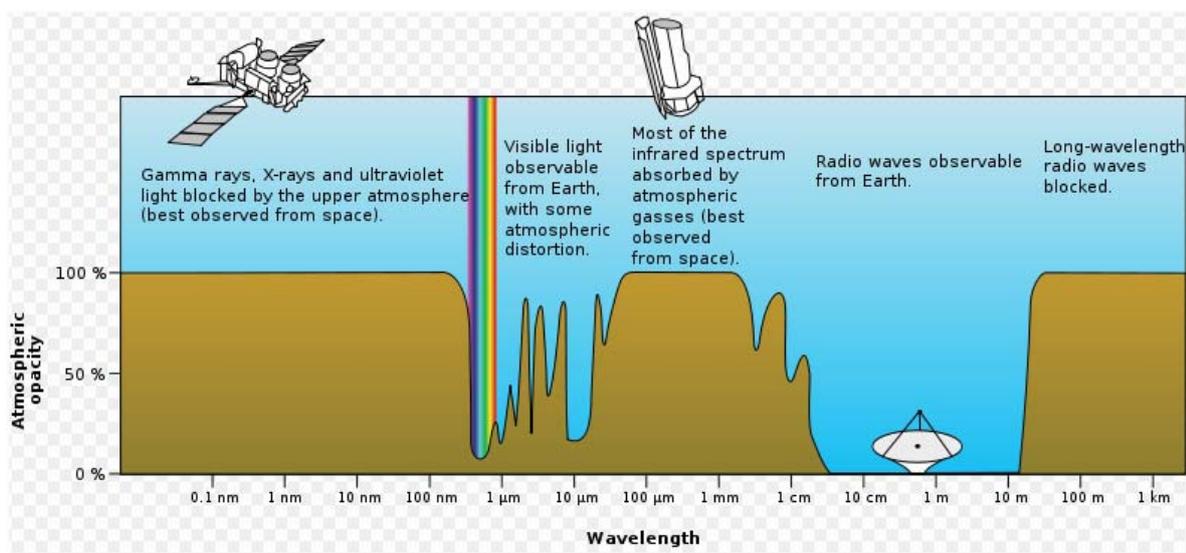
À force d'analyse et de déduction, les spécialistes sont parvenus à retracer ce qu'a pu être le parcours du rayonnement cosmique :

L'Univers a rapidement été composé de matière "ionisée" dans laquelle la lumière ne se propage pas ; les grains de lumière, les photons, se heurtent aux particules, sans cesse absorbés puis réémis en tout sens. Le cosmos se comporte alors comme un épais brouillard.

Puis l'Univers se dilate, la température s'abaisse. Pour une valeur de la température de l'ordre de 3×10^3 K, les électrons s'assemblent aux protons. On entre alors dans l'ère de la matière neutre : les charges électriques s'apparient et se compensent. Les atomes se créent. L'Univers devient transparent : quelques centaines de milliers d'années après le Big Bang, le rayonnement émis par l'Univers se comportant comme un corps noir peut alors se propager librement. Le rayonnement fossile détecté de nos jours a ainsi cheminé pendant près de quatorze milliards d'années. Durant cette période, l'Univers s'est dilaté, expliquant ainsi que le rayonnement fossile perçu à l'heure actuelle correspond au rayonnement émis par un corps noir à la température de 3 K.

D'après http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbig/decouv/xcroire/rayFoss/niv1_1.htm

Document 2 : Atmospheric opacity versus wavelength (Opacité de l'atmosphère en fonction de la longueur d'onde)



D'après Wikipedia

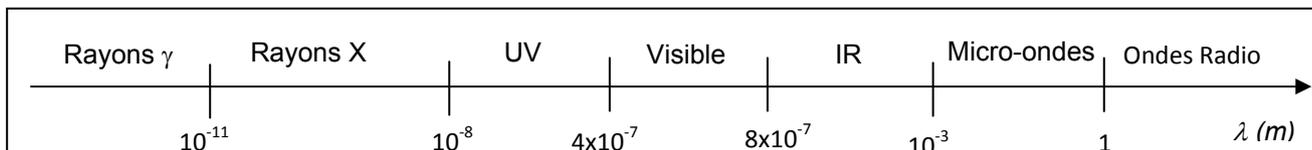
Document 3 : Matière et rayonnement

- Loi de Wien : $\lambda_{\max} \cdot T = A$

A est une constante telle que $A = 2,9 \text{ mm.K}$

λ_{\max} est la longueur d'onde dans le vide au maximum d'intensité émise par le corps noir de température T.

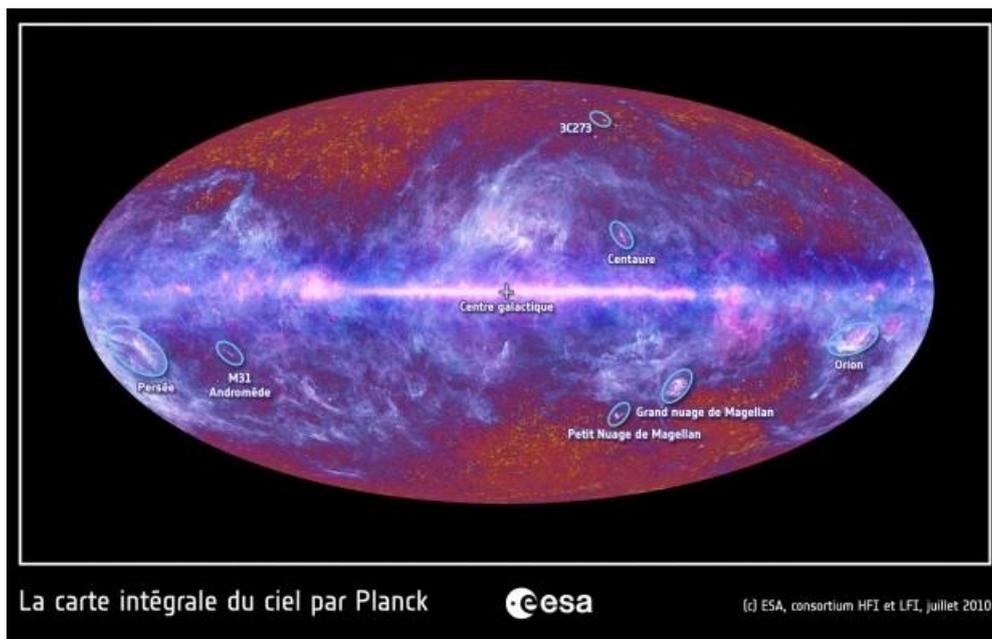
- L'intensité du rayonnement émis par une source dépend de sa densité de matière.

Document 4 : Domaines du spectre électromagnétique en fonction de la longueur d'onde (échelle non respectée)**Document 5** : Lancement du satellite Planck

Le satellite Planck a été lancé le 14 mai 2009 par Ariane 5 depuis le Centre Spatial Guyanais à Kourou. Les premières observations du ciel ont commencé le 13 août 2009 pour 15 mois de balayage du ciel sans interruption.

Planck balaie l'intégralité du ciel et fournit une cartographie du rayonnement cosmique fossile.

Le signal détecté varie légèrement en fonction de la direction d'observation.



L'analyse du signal permet de révéler l'inhomogénéité de l'Univers primordial. Ces observations donnent des informations uniques sur l'origine et l'assemblage des galaxies, et permettent de tester différentes hypothèses sur le déroulement des premiers instants qui ont suivi le Big Bang.

D'après des communiqués de presse du CNES

Exercice 2 – L'anesthésie des prémices à nos jours (9 points)

Pendant longtemps la chirurgie a été confrontée au problème de la douleur des patients. Ne disposant d'aucun produit permettant de la soulager, le médecin ne pouvait pratiquer une opération « à vif » du patient.

L'éther diéthylique était connu depuis le XVI^{ème} siècle, mais ce n'est qu'en 1840 que William T.G. Morton eut l'idée de l'utiliser afin d'endormir un patient. Et il fallut attendre l'automne 1846 pour que, dans deux amphithéâtres comblés, le docteur John Warren, assisté de William Morton, réussisse deux opérations chirurgicales indolores pour les patients. L'anesthésie venait de naître et allait permettre un essor bien plus rapide de la chirurgie ...



William Morton
(1819-1868)

Données :

Composé	Éthanol	Éther diéthylique ou Ether	Eau	Éthylène ou Ethène
Formule brute	C ₂ H ₆ O	C ₄ H ₁₀ O	H ₂ O	C ₂ H ₄
Température d'ébullition sous une pression de 1 bar (en°C)	78	35	100	-104
Masse molaire (g.mol ⁻¹)	46	74	18	28

- Masse volumique d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium : $\rho = 1,0 \text{ g.mL}^{-1}$;
- Masse volumique de l'éthanol : $\rho_{\text{éthanol}} = 0,81 \text{ g.mL}^{-1}$;
- Masse volumique de l'éther diéthylique : $\rho_{\text{éther}} = 0,71 \text{ g.mL}^{-1}$;
- L'eau et l'éther ne sont pas miscibles ;
- La température du laboratoire est de 20°C.

Partie A : Synthèse de l'éther diéthylique

1. Choix d'un protocole

La synthèse de l'éther diéthylique peut se faire par déshydratation de l'éthanol. Cependant selon les conditions opératoires choisies, la déshydratation peut aboutir à deux produits différents.

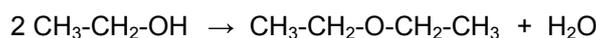
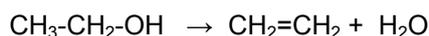
On étudie donc deux protocoles possibles :

Conditions opératoires 1 : on fait passer à 300°C des vapeurs d'éthanol sur de l'alumine ;

Conditions opératoires 2 : on chauffe l'éthanol à 140°C en présence d'un acide fort.

La température joue un rôle important dans l'orientation de la réaction : une température moyenne favorise la formation de l'éther diéthylique, une température élevée celle de l'éthylène.

Les deux équations de réaction correspondantes sont les suivantes :

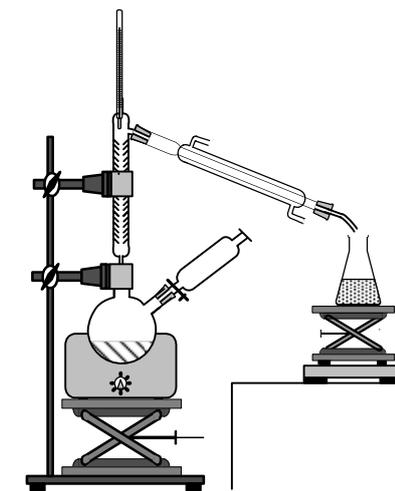


Compléter le tableau donné en annexe à rendre avec la copie à la page 14.

2. Analyse du protocole retenu

Pour synthétiser l'éther diéthylique, on suit le protocole expérimental suivant :

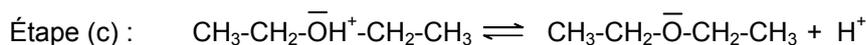
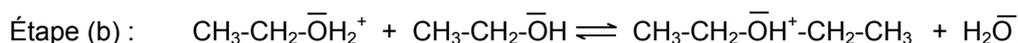
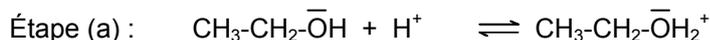
- réaliser un montage de distillation fractionnée dans lequel un ballon bicol supporte une colonne à distiller ainsi qu'une ampoule de coulée ;
- verser 25 mL d'éthanol dans le ballon et placer dans l'ampoule de coulée 10 mL d'un acide fort, l'acide sulfurique concentré ;
- sous agitation, verser goutte à goutte l'acide sulfurique dans le mélange, puis chauffer ;
- récupérer le distillat lorsque la température en tête de colonne est à 35°C ;
- verser le distillat dans une ampoule à décanner, ajouter une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium $\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$;
- récupérer la phase contenant l'éther diéthylique.



- 2.1. Pourquoi faut-il mettre l'erlenmeyer de récupération du distillat dans un bain de glace ?
- 2.2. Malgré les précautions prises, la formation d'éthylène peut avoir lieu de façon minoritaire mais pour autant on ne le trouve pas dans le distillat. À l'aide des données, proposer une explication.
- 2.3. Calculer la quantité de matière d'éthanol introduite dans le ballon et la masse attendue d'éther diéthylique.
- 2.4. Le distillat obtenu présente un caractère acide. Quelle étape du protocole permet d'éliminer les traces acides du distillat ? Justifier.
- 2.5. Où se trouve l'éther diéthylique dans l'ampoule à décanner ? Justifier.

3. Étude du mécanisme de la synthèse de l'éther diéthylique

Le mécanisme réactionnel proposé pour la réaction de déshydratation conduisant à l'éther diéthylique est proposé ci-dessous. Il comporte trois étapes.



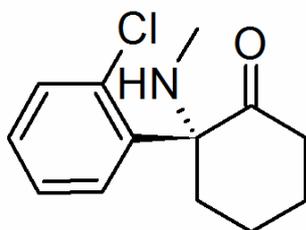
- 3.1. À l'aide de vos connaissances sur les sites donneurs et accepteurs de doublets d'électrons, expliquer l'étape (a) du mécanisme. Recopier l'équation de l'étape (a) et faire apparaître la flèche courbe schématisant le transfert électronique.
- 3.2. En observant les équations des étapes (a) et (c), justifier que l'acide sulfurique n'est pas un réactif dans cette synthèse. Quel peut alors être son rôle dans la synthèse ?

4. Techniques d'analyse des espèces chimiques intervenant dans la réaction

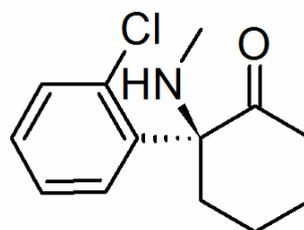
Les techniques utilisées sont la spectroscopie infrarouge IR et la spectrométrie RMN du proton. On donne pages 8 et 9 deux spectres RMN du proton et deux spectres infrarouge (IR) correspondant à l'éther diéthylique et à l'éthanol ainsi qu'une table de données de spectroscopie infrarouge IR. Associer chaque spectre infrarouge IR et RMN à la molécule correspondante en justifiant. Attribuer un signal à chaque groupe de protons chimiquement équivalents en RMN et justifier pour chacun sa multiplicité.

Partie B : Un remplaçant de l'éther diéthylique

À l'heure actuelle, du fait de son extrême inflammabilité, de ses nombreux effets secondaires, de sa toxicité ainsi que du risque élevé de dépendance qu'il entraîne, l'éther diéthylique n'est pratiquement plus utilisé comme anesthésiant, et d'autres molécules beaucoup plus spécifiques l'ont remplacé. C'est le cas par exemple de la kétamine, qui contient un mélange équimolaire des deux molécules ci-dessous.



Molécule A



Molécule A'

5. Etude des molécules de la kétamine

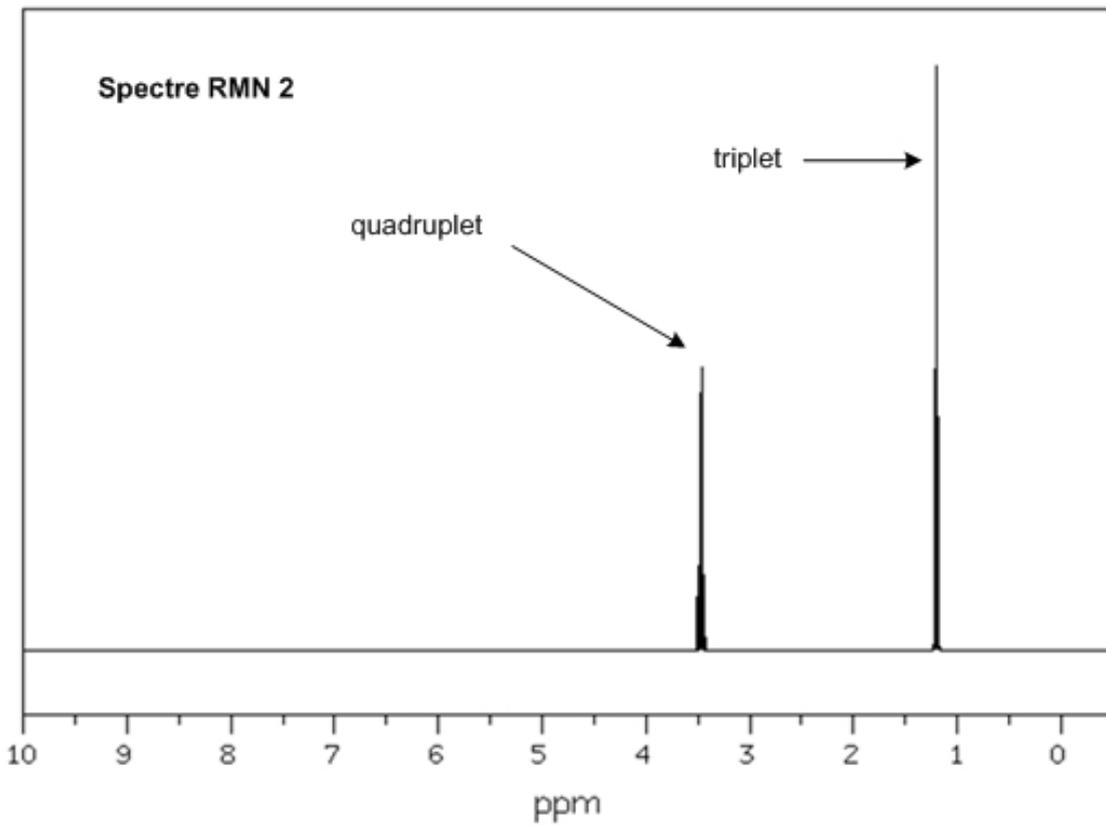
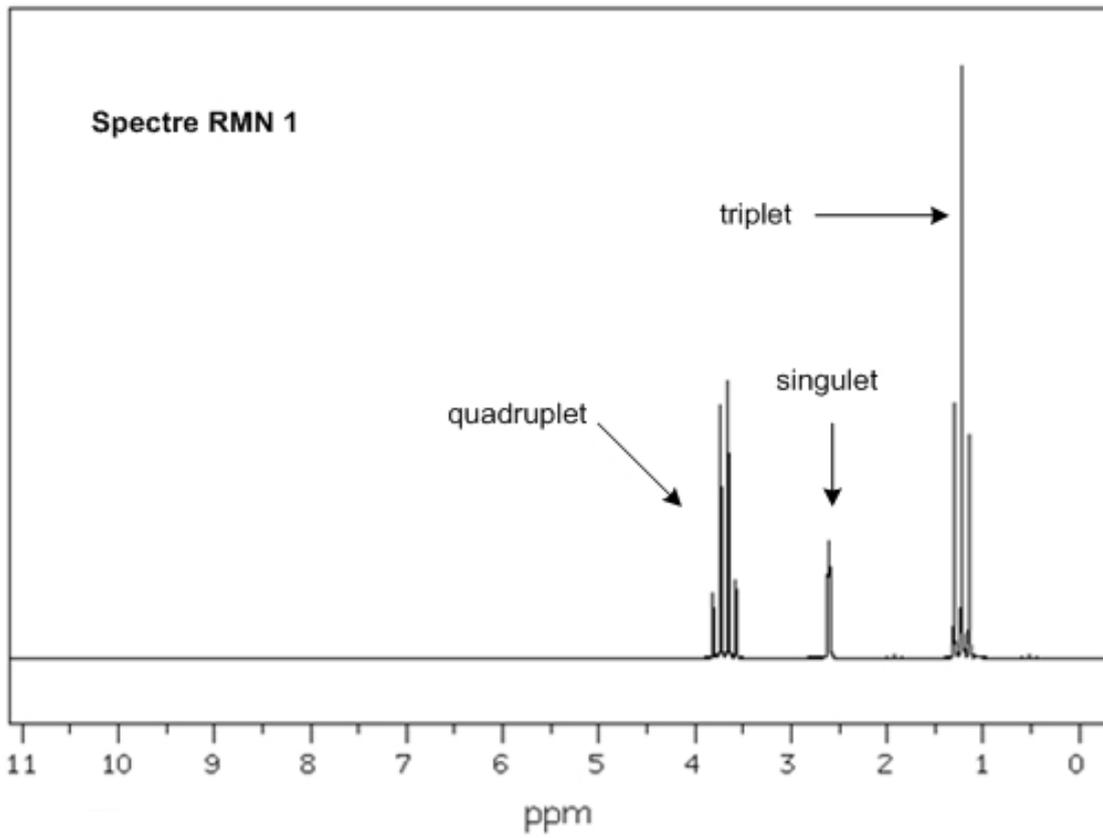
5.1. Recopier la représentation de la molécule A. Entourer et identifier les groupes caractéristiques présents sur cette molécule.

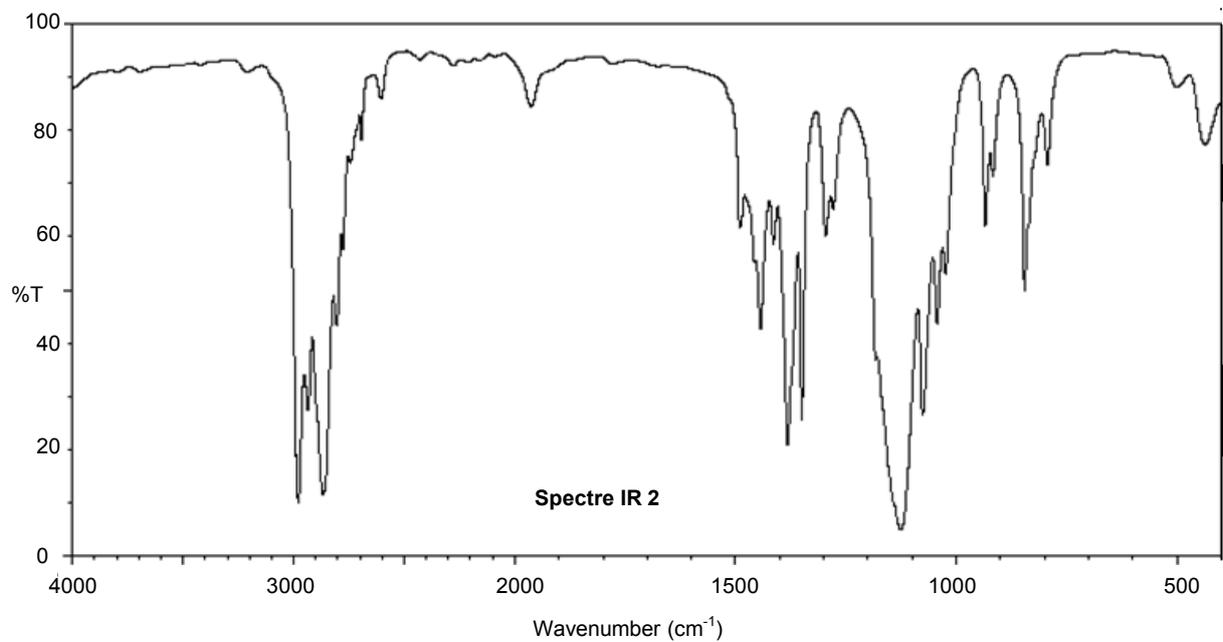
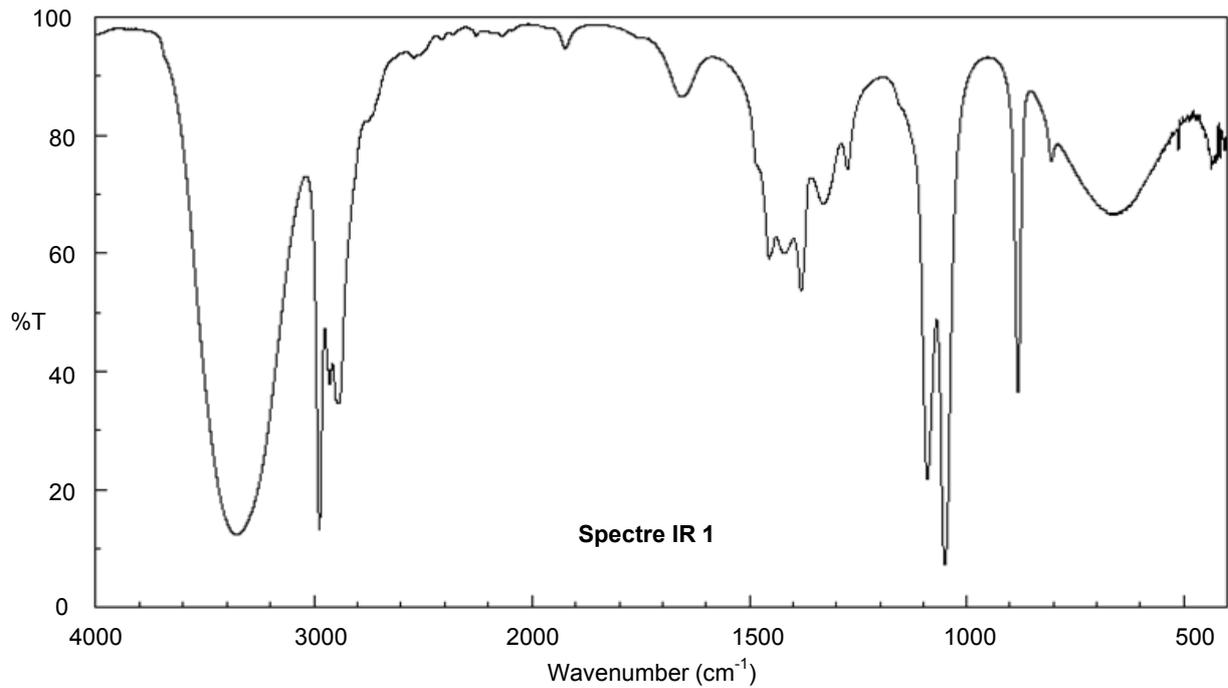
5.2. Quelle est la différence entre les molécules A et A' ?

6. Utilisation médicale de la kétamine

Du fait de son action rapide, la kétamine est principalement utilisée en médecine d'urgence. Elle est le plus souvent administrée via une injection intraveineuse unique avec une dose de l'ordre de 2 mg par kg de corps humain et sa demi-vie d'élimination est de 2 à 4 heures.

Par analogie avec le temps de demi-réaction défini en cinétique chimique, proposer une définition au terme de « demi-vie d'élimination » donné dans le texte.





Liaison	C-C	C-O	O-H (acide carboxylique)	C-H	O-H (alcool)
Nombre d'onde (cm ⁻¹)	1000-1250	1050-1450	2500-3200	2800-3000	3200-3700

Table de données pour la spectroscopie IR

Exercice 3 – Quand les astrophysiciens voient rouge...(5 points)

La mesure du déplacement vers le rouge, par effet Doppler, de raies caractéristiques des spectres émis par des sources lointaines (galaxies, quasars etc...) est la preuve d'un univers en expansion, aussi bien que le moyen de mesurer la vitesse d'éloignement de ces objets lointains. En faisant appel à des modèles cosmologiques, on peut tirer des informations sur la distance de ces sources à la Terre.

D'après Boratav & R. Kerner, *Relativité*, Ellipse, 1991

Dans cet exercice, on se propose de déterminer la vitesse d'éloignement d'une galaxie puis sa distance par rapport à un observateur terrestre.

Les documents utiles à la résolution sont donnés aux pages 11, 12 et 13.

Questions

1. L'effet Doppler (voir document 1)

Pour des vitesses largement inférieures à la célérité c de la lumière, on se place dans le cadre non-relativiste. Choisir, en justifiant, la relation entre λ_0 , la longueur d'onde mesurée en observant une source immobile, et λ' , la longueur d'onde mesurée en observant la même source s'éloignant à la vitesse v :

$$(1) \lambda' = \frac{v}{c} \cdot \lambda_0 \quad (2) \lambda' = \lambda_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right) \quad (3) \lambda' = \lambda_0 (c - v) \quad (4) \lambda' = \lambda_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

2. Détermination de la vitesse d'une galaxie

2.1. Rechercher les longueurs d'onde des raies H_α , H_β et H_γ pour le spectre de l'hydrogène sur Terre et les longueurs d'onde de ces mêmes raies lorsqu'elles sont issues de la galaxie TGS153Z170. Compléter les deux premières colonnes du tableau donné en annexe à rendre avec la copie à la page 14.

2.2. Choix du modèle d'étude

2.2.1. En se plaçant dans le cadre non-relativiste montrer que l'expression de la vitesse v de la galaxie est : $v = c \cdot \left(\frac{\lambda'}{\lambda_0} - 1\right)$.

2.2.2. Calculer la valeur de la vitesse de la galaxie TGS153Z170 en travaillant avec les valeurs de la raie H_β . On donne la relation d'incertitude suivante pour la vitesse : $\Delta v = \sqrt{2}c \frac{\Delta \lambda}{\lambda'}$. On exprimera le résultat sous la forme : $v \pm \Delta v$. Les valeurs numériques sur les spectres sont données à ± 1 nm.

2.2.3. Dans le cadre relativiste ($v \approx c$) on montre que la vitesse v_{rel} a pour expression :

$$v_{\text{rel}} = c \cdot \frac{\left(\frac{\lambda'}{\lambda_0}\right)^2 - 1}{\left(\frac{\lambda'}{\lambda_0}\right)^2 + 1}. \text{ Pour la galaxie TGS153Z170, on trouve } v_{\text{rel}} = (1,27 \pm 0,009) \times 10^7 \text{ m.s}^{-1}.$$

Si l'écart relatif entre les deux vitesses précédemment calculées est inférieur à 5%, on peut choisir le modèle non relativiste plus simple à utiliser. Justifier le choix du modèle non-relativiste pour la suite de l'exercice.

2.3. Décalage vers le rouge

2.3.1. En comparant les longueurs d'onde λ_0 et λ' , justifier l'expression « décalage vers le rouge ».

2.3.2. On définit le décalage spectral relatif z défini par $z = \frac{\lambda' - \lambda_0}{\lambda_0}$. On montre que z ne dépend pas de la raie choisie. Compléter la troisième colonne du tableau donné en annexe à rendre avec la copie à la page 14.

2.3.3. En déduire la meilleure estimation de z pour la galaxie TGS153Z170.

2.3.4. À l'aide de la définition de z montrer que $z = \frac{v}{c}$.

2.3.5. Calculer la nouvelle valeur de la vitesse d'éloignement de la galaxie. Expliquer pourquoi cette valeur est plus pertinente que celle calculée à la question 2.2.2.

3. Détermination de la distance d'une galaxie

En 1929, Edwin Hubble observe depuis le Mont Wilson aux USA le décalage Doppler de dizaines de galaxies. Ses mesures lui permettent de tracer le diagramme qui porte son nom. Il en déduit une relation simple entre la vitesse d'éloignement v d'une galaxie et sa distance d par rapport à la Terre: $v = H.d$ où H est la constante de Hubble.

3.1. Déterminer la valeur de la constante de Hubble H en $\text{km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$.

3.2. Établir l'expression de la distance d de la galaxie à la Terre en fonction de c , z et H . En déduire la distance en Mpc de la galaxie TGS153Z170 à la Terre.

4. Comparaison des spectres de deux galaxies

4.1. Lequel des spectres des galaxies TGS153Z170 et TGS912Z356 est un spectre d'absorption ?

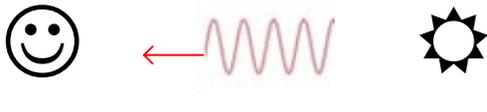
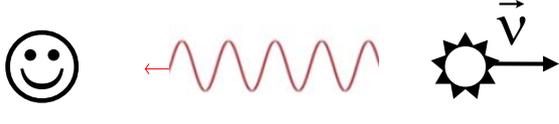
4.2. De ces deux galaxies, laquelle est la plus éloignée de la Terre ? Justifier.

Documents de l'exercice 3

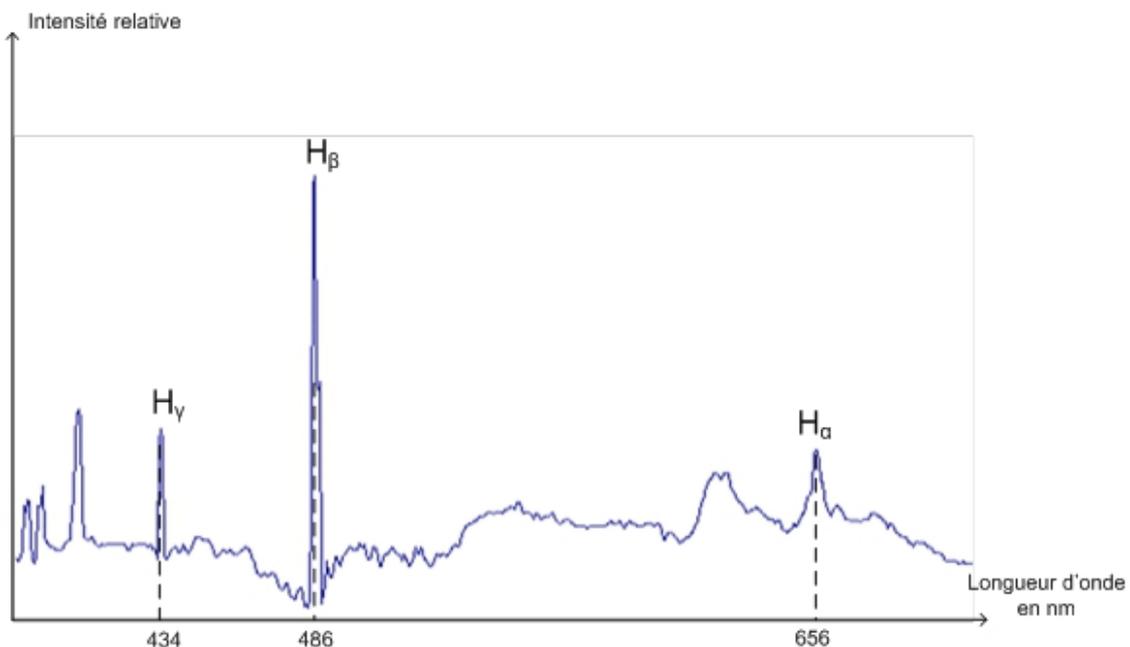
Données :

- vitesse de propagation la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$;
- Le parsec est une unité de longueur utilisée par les astronomes de symbole pc : $1 \text{ pc} = 3,08 \times 10^{16} \text{ m}$

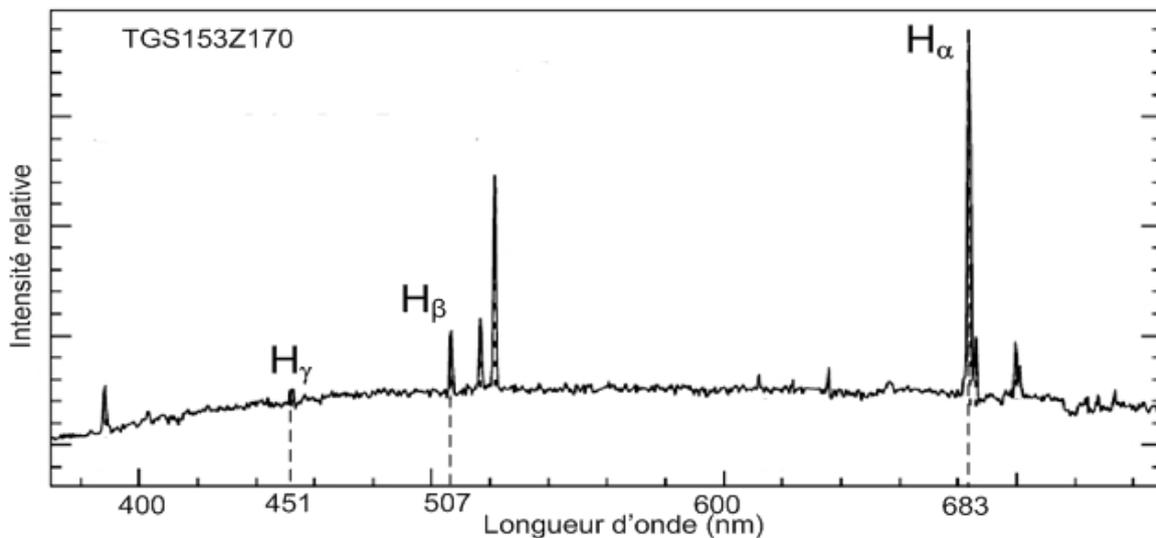
Document 1 : Principe de l'effet Doppler.

 <p>observateur</p> <p>source</p>	 <p>observateur</p> <p>source</p>
L'observateur mesure la longueur d'onde λ_0 du signal lumineux émis par une source immobile.	L'observateur mesure la longueur d'onde λ' du signal lumineux émis par la même source s'éloignant à la vitesse v . On obtient $\lambda' > \lambda_0$.

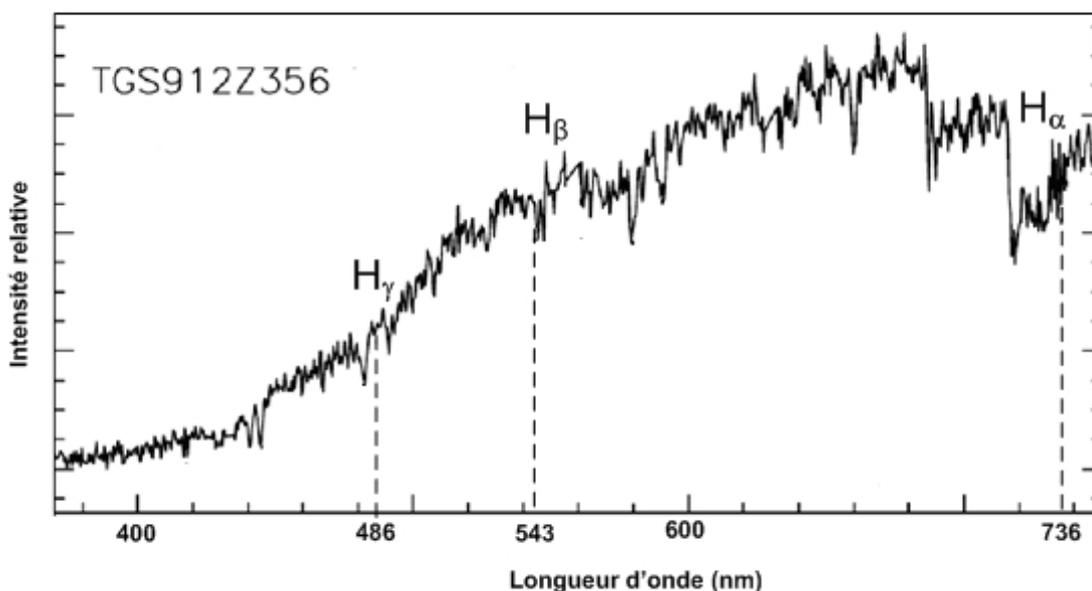
Document 2 : Spectre d'émission de l'hydrogène mesuré sur Terre obtenu avec une source présente au laboratoire.



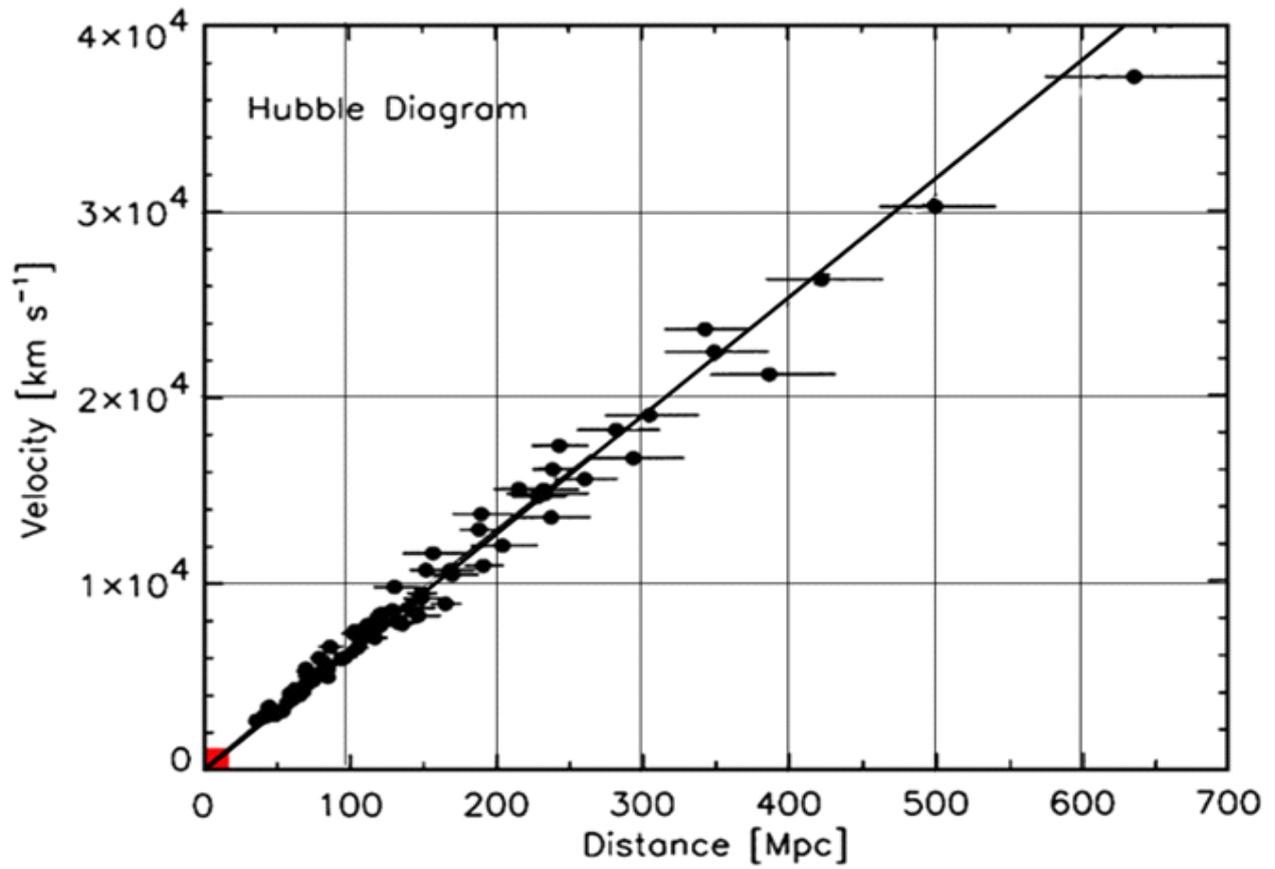
Document 3 : Spectre de la galaxie TGS153Z170 avec indexage des raies (source M. Colless et al. *The 2dF Galaxy Redshift Survey: spectra and redshifts*, Mon. Not. R. Astron. Soc. 328, 1039–1063 (2001))



Document 4 : Spectre de la galaxie TGS912Z356 avec indexage des raies (source M. Colless et al., *The 2dF Galaxy Redshift Survey: spectra and redshifts*, Mon. Not. R. Astron. Soc. 328, 1039–1063 (2001))



Document 5 : Diagramme de Hubble (source Kirshner R P PNAS 2004;101:8-13)



Annexe à rendre avec la copie

Annexe de l'exercice 2

Conditions opératoires	Température (°C)	Nom du produit obtenu	Catégorie de la réaction en chimie organique
1	300		
2	140		

Annexe de l'exercice 3

Nom de la raie	Longueur d'onde de référence λ_0 (nm)	Longueur d'onde mesurée λ' (nm)	Décalage spectral relatif z
H $_{\alpha}$			
H $_{\beta}$			
H $_{\gamma}$			



Sujet spécifique n°2 (usage de la calculatrice autorisé)

Exercice 1 – Prévisions des séismes par gravimétrie (10 points)

La prévision des séismes demeure un défi majeur posé aux géophysiciens. Une nouvelle voie de recherche utilisant la gravimétrie pourrait prédire les tremblements de terre à moyen terme (2 – 3 ans). En effet des études scientifiques ont mis en évidence une variation anormale du champ de pesanteur local précédant le déclenchement d'un séisme. Ainsi, il est nécessaire d'avoir à disposition un instrument qui permette une mesure suffisamment précise de la valeur g du champ de pesanteur local ; c'est le rôle du gravimètre dont le fonctionnement est étudié ci-après.

1. Mesure de g et prévision des séismes

Des chercheurs ont réalisé des mesures répétées de g dans différentes régions de la Chine entre 1998 et 2005 à l'aide de gravimètres. Ils ont constaté une variation sensible de g avant le déclenchement d'un séisme dans une de ces régions.

Le Gal est une unité d'accélération : $1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm.s}^{-2}$. Son nom provient du célèbre physicien italien Galilée. Les mesures sont rassemblées dans le tableau suivant :

Lieu du séisme (province)	magnitude	date du séisme	Variation de gravité Δg (en μGal)
Kunlun (Xinjiang)	8,1	14 Nov. 2001	130
Côte Est de Taïwan	7,5	31 Mars 2002	80
Wangqing (Jilin)	7,2	29 Juin 2002	60
Jashi (Xinjiang)	6,8	24 Fév. 2003	60
Frontière entre Chine et Russie	7,9	28 Sep. 2003	60
Gaizhe (Tibet)	6,9	9 Jan. 2008	80
Yutian (Xinjiang)	7,3	21 Mars 2008	90
Wenchuan (Sichuan)	8,0	12 Mai 2008	130

Figure 1. Tableau présentant les séismes d'envergure (magnitude supérieure à 6,8) ayant eu lieu en Chine entre 2001 et 2008 et les variations de gravité observées entre 1998 et 2005

- 1.1. Citer un domaine de recherche dans lequel s'est illustré Galilée.
- 1.2. D'après vos connaissances, donner une estimation de la valeur de g en m.s^{-2} .
- 1.3. Donner la variation de gravité en m.s^{-2} précédant le séisme survenu à Wangqing en 2002.
- 1.4. Sachant que l'incertitude sur les mesures de g par cette méthode est de $1 \times 10^{-8} \text{ m.s}^{-2}$, en déduire le nombre de chiffres significatifs sur g .

2. Principe de fonctionnement d'un gravimètre

Un gravimètre est un appareil permettant de déterminer la valeur g du champ de pesanteur. Une des méthodes consiste à mesurer l'accélération d'un corps qui chute en l'absence de tout frottement. Pour cela on lâche un objet et on mesure le temps qu'il met pour parcourir une certaine distance.

Dans le dispositif étudié, un miroir tombant de masse m , enfermé dans une chambre à vide, est lâché sans vitesse initiale, à la position $z = 0$ (voir figure 2). Un faisceau laser est envoyé sur une lame semi-réfléchissante qui le sépare en deux au point A (voir figure 2). Une partie de ce faisceau la traverse et atteint directement le détecteur (trajet S-A-D). L'autre partie est réfléchiée vers le miroir tombant puis poursuit son trajet jusqu'à atteindre à son tour le détecteur (trajet S-A-B-A-C-A-D). Les deux parties du faisceau interfèrent au niveau du détecteur.

Le laser utilisé a une longueur d'onde dans l'air connue avec une grande précision : $\lambda = 632,991357$ nm.

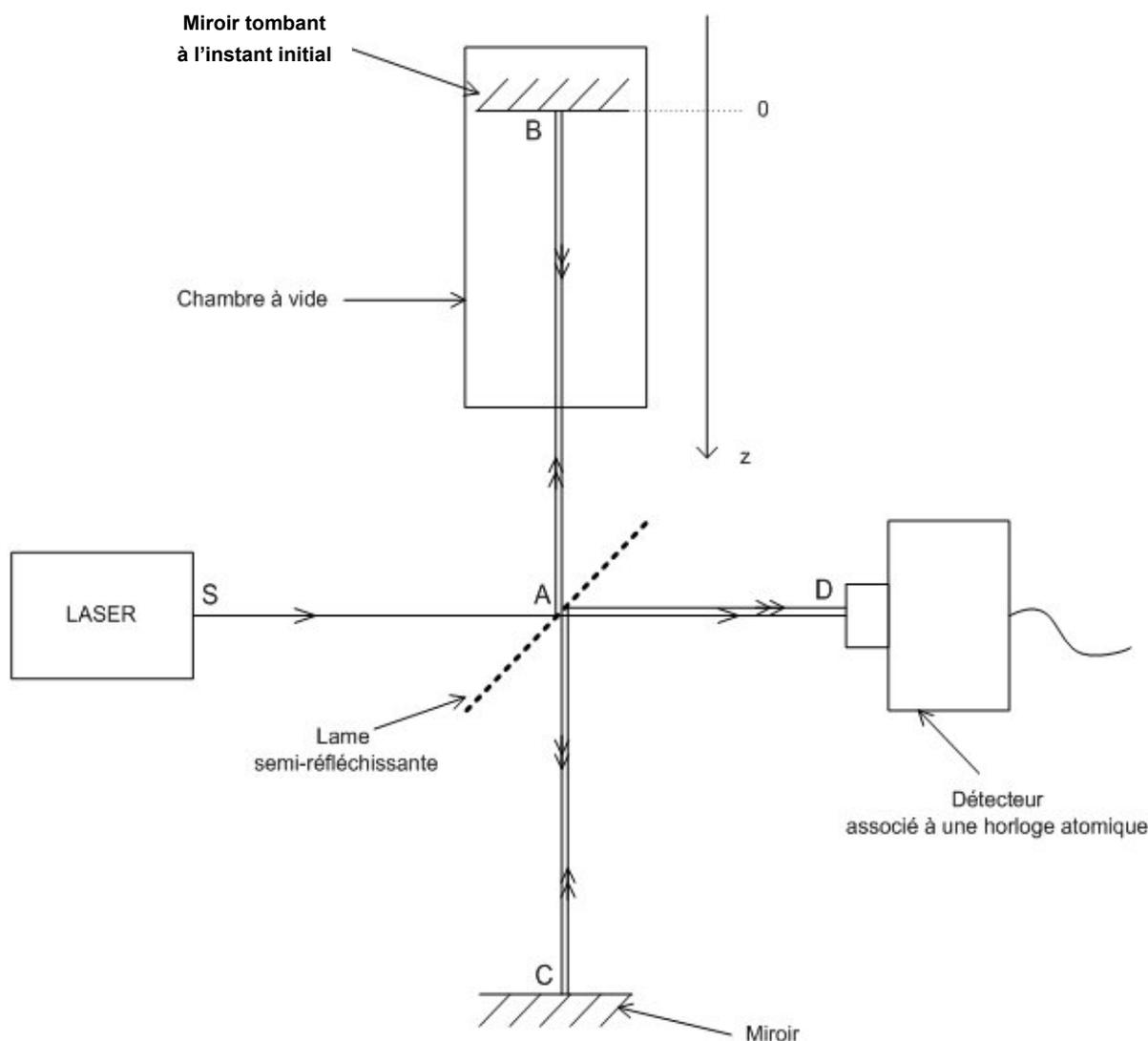


Figure 2. Principe de fonctionnement du gravimètre

2.1. Quel est l'intérêt de la chambre à vide dans ce dispositif ?

2.2. On appelle z la position verticale du miroir tombant. Montrer que son mouvement est décrit par l'équation horaire $z(t) = \frac{1}{2} g \cdot t^2$.

2.3. Quelles sont les deux grandeurs physiques qu'il faudrait mesurer pour accéder à la valeur g du champ de pesanteur local ?

3. Mesure de g à l'aide du gravimètre

Afin de mesurer avec une certaine précision la valeur de g , on utilise une méthode interférométrique. Au cours de la chute du miroir, le détecteur enregistre l'évolution temporelle de l'intensité lumineuse I due aux interférences entre les deux faisceaux reçus au point D (voir figure 3).

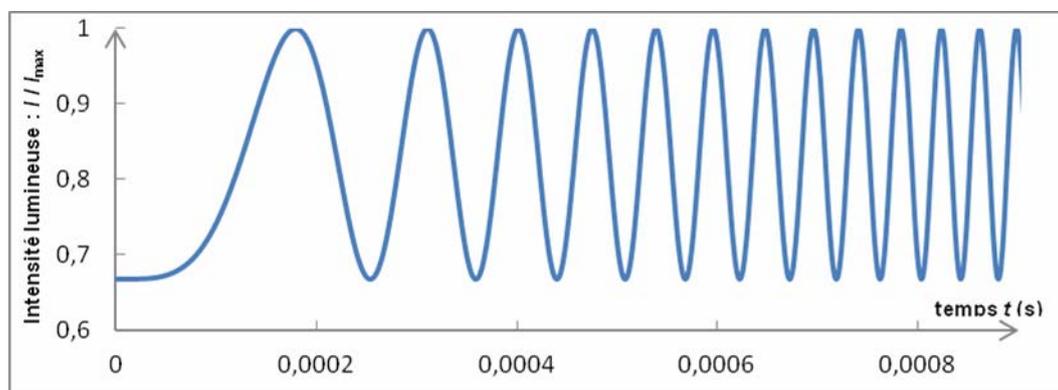


Figure 3. Évolution temporelle de l'intensité lumineuse I rapportée à l'intensité maximale I_{\max} .

3.1. À quoi est dû le phénomène d'interférences ?

3.2. Que peut-on dire de l'intensité reçue par le détecteur lorsque les deux faisceaux interfèrent de manière destructive ? Et de manière constructive ?

3.3. Soit $\Delta t = t_2 - t_1$ où t_2 et t_1 représentent respectivement les durées des trajets lumineux S-A-B-A-C-A-D et S-A-D. Choisir parmi les propositions suivantes, l'expression de Δt lorsque les deux faisceaux interfèrent en D de manière destructive.

- a. kT b. $\frac{1}{2}kT$ c. $\frac{1}{2}(2k+1)T$ d. $(2k+1)T$

avec k entier, et T la période de l'onde émise par le laser.

3.4. Dans la suite, on admettra que la distance Δz parcourue par le miroir tombant pendant l'intervalle de temps séparant 2 interférences destructives consécutives vaut $\frac{\lambda}{2}$ ou λ désigne la longueur d'onde du laser.

3.4.1. Compléter le texte à trous suivant qui justifie la phrase qui précède, en indiquant sur la copie l'expression correspondant à chaque numéro.

La durée t_1 du trajet S-A-D est constante. Pour une variation de hauteur du miroir tombant de Δz , la durée t_2 du trajet S-A-B-A-C-A-D varie de ... (1) ... à cause de l'aller-retour A-B-A du rayon lumineux. Entre deux interférences destructives consécutives, $\Delta t = t_2 - t_1$ varie de ... (2) ... On en déduit donc que $\Delta z = \dots$ (3) ...

3.4.2. Le miroir parcourt au cours de sa chute une distance $d = 20$ cm. Choisir parmi les propositions suivantes la valeur estimée du nombre d'interférences destructives détectées. Justifier la réponse par un calcul.

- a. 6×10^5 b. 6×10^6 c. 6×10^7

3.5. Pourquoi les interférences destructives sont-elles de plus en plus rapprochées dans le temps (voir figure 3) ?

3.6. On appelle t_n la date de détection de la $n^{\text{ième}}$ interférence destructive, mesurée avec une grande précision grâce à une horloge atomique. En exploitant les résultats expérimentaux de la figure 4 et l'équation horaire du mouvement du miroir, déterminer la valeur de g avec la meilleure précision possible.

$n^{\text{ième}}$ interférence destructive	t_n (en s)
0	0
1	$2,54033314 \times 10^{-4}$
2	$3,59257358 \times 10^{-4}$
3	$4,39998607 \times 10^{-4}$
1000	$8,033238750 \times 10^{-3}$
10000	$2,5403331438 \times 10^{-2}$

Figure 4. Tableau des dates de détection de quelques interférences destructives

4. Etude du capteur

Le détecteur est équipé d'une photodiode. Les figures 5.a, 5.b et 6 donnent quelques caractéristiques des photodiodes InGaAs G8931-04 et Si S10341-02.

4.1. Quel type de conversion effectue la photodiode ?

4.2. À quel domaine spectral appartient la radiation du laser utilisé ?

4.3. En comparant les réponses spectrales de ces deux composants (voir figures 5.a et 5.b), quelle est la photodiode utilisée dans le gravimètre ? Justifier la réponse.

4.4. Le capteur détecte les dix mille premières interférences destructives en 25 ms (voir figure 4). Estimer la durée moyenne entre deux interférences destructives consécutives.

4.5. On définit le temps de réponse d'un capteur comme le temps minimal qu'il met pour suivre l'évolution temporelle de la grandeur mesurée. Le temps de réponse est environ égal à l'inverse de la fréquence de coupure. À l'aide de ses caractéristiques, données en figure 6, en déduire si la photodiode choisie est adaptée à ce type de mesures.

D'après site internet constructeur Hamamatsu

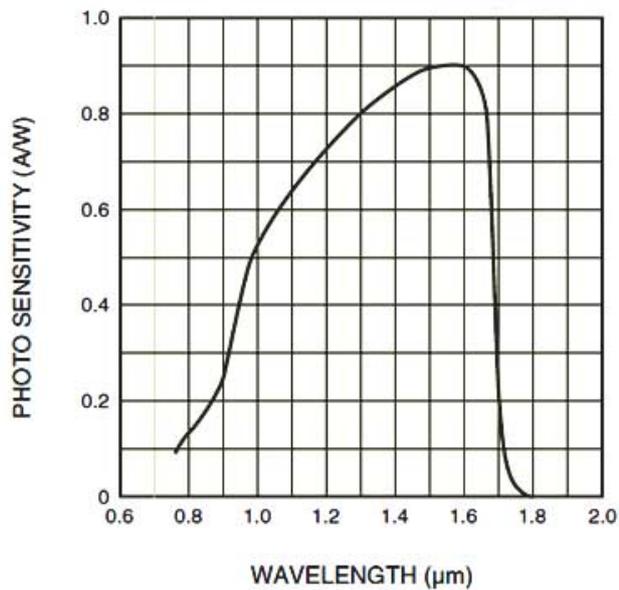


Figure 5.a. Réponse spectrale de la photodiode InGaAs G8931-04

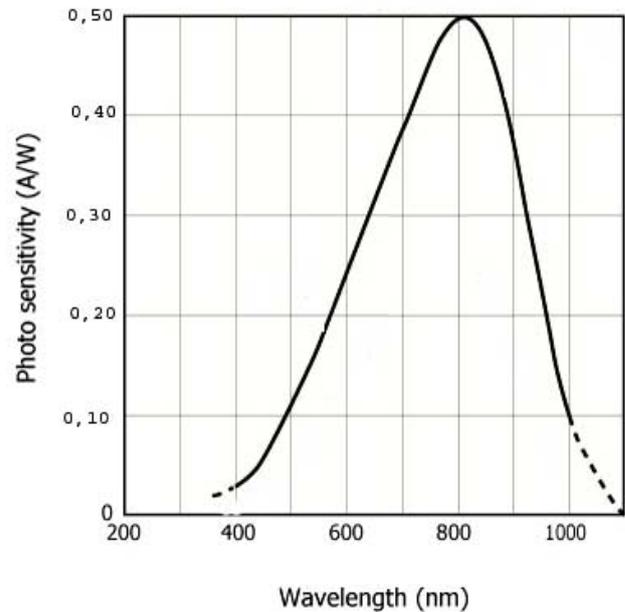


Figure 5.b. Réponse spectrale de la photodiode Si S10341-02

Package	Plastic
Package Feature	Surface mount type
Active Area	dia.0,2 mm
Spectral Response Range	400 to 1000 nm
Peak Wavelength	800 nm
Photo Sensitivity at peak	0,5 A/W
Breakdown Voltage	150 V
Temperature Coefficient of VBR	0,65 V/deg. C
Dark Current Max.	0,5 nA
Cut-off Frequency	1000 MHz
Terminal Capacitance	1 pF
Gain	100

Figure 6. Caractéristiques techniques de la photodiode choisie

Exercice 2 – La chaptalisation (5 points)

Cet exercice se propose d'étudier le procédé de chaptalisation décrit par Jean-Antoine Chaptal (1756-1832) dans son essai *L'art de faire, de gouverner et de perfectionner les vins*.



1. Fermentation alcoolique du glucose

En 1801, Jean-Antoine Chaptal écrit : « Le principe sucré existe dans le moût* et en fait un des principaux caractères, il disparaît par la fermentation et est remplacé par l'alcool qui caractérise essentiellement le vin. » Le sucre mentionné est du glucose contenu dans le jus de raisin, de formule brute $C_6H_{12}O_6$ qui, sous l'action des levures de la peau du raisin, se transforme en éthanol. Cette réaction, dite fermentation alcoolique, produit également du dioxyde de carbone.

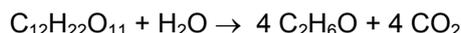
* Le *moût* désigne la mixture obtenue après pression ou cuisson de fruits ou d'autres produits destinés à la fermentation.

- 1.1. Donner la formule topologique de l'éthanol de formule brute C_2H_6O .
- 1.2. Quelle est la classe de l'éthanol ?
- 1.3. Écrire l'équation de la réaction de formation de l'éthanol lors de la fermentation alcoolique du glucose.

2. Fermentation alcoolique du saccharose

Plus loin, Chaptal précise : « Comme le but et l'effet de la fermentation spiritueuse se réduisent à produire de l'alcool, en décomposant le principe sucré, il s'ensuit que la formation de l'un est toujours en proportion de la destruction de l'autre [...] c'est pour cela qu'on augmente à volonté la quantité d'alcool, en ajoutant du sucre au moût qui paroît en manquer. » Cette méthode d'ajout de sucre a gardé son nom, la chaptalisation ; elle est utilisée depuis la fin du XVIII^e siècle.

Le sucre utilisé pour la chaptalisation est le saccharose de formule de brute $C_{12}H_{22}O_{11}$. L'équation de la transformation du saccharose en éthanol s'écrit :



On appelle degré alcoolique d'un vin d° , le volume V (exprimé en mL) d'éthanol pur présent dans 100 mL de ce vin. Par exemple, lorsque $d^\circ = 7$, cela veut dire que dans 100 mL de vin, il y a 7 mL d'éthanol pur.

On s'intéresse à la quantité de saccharose à ajouter pour augmenter le degré alcoolique d'un vin.

Données :

- Masse volumique de l'éthanol $\rho = 0,79 \text{ g.mL}^{-1}$;
- Masses molaires moléculaires :
 $M(\text{éthanol}) = 46 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{saccharose}) = 342 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{glucose}) = 180 \text{ g.mol}^{-1}$.

2.1. En considérant la fermentation alcoolique à partir du saccharose comme une réaction totale, quelle est la relation liant la quantité de matière de saccharose initiale notée $n_{\text{saccharose}}$ à la quantité de matière finale d'éthanol obtenue notée $n_{\text{éthanol}}$?

2.2. Montrer que la quantité de matière d'éthanol correspondant à l'augmentation d'un degré alcoolique d'un litre de vin est égale à $1,7 \times 10^{-1} \text{ mol}$. En déduire la masse théorique de saccharose correspondante.

3. Peut-on chaptaliser le Muscadet ?

Dans l'appellation muscadet, la chaptalisation est autorisée si la teneur en glucose du moût est inférieure à 161 g.L^{-1} . Pour savoir s'il est possible légalement d'ajouter du saccharose dans le moût de ce vin, il est nécessaire de doser le glucose qu'il contient.

Principe du dosage :

On oxyde le glucose par l'acide 3,5-dinitrosalicylique (DNS), espèce chimique incolore, à chaud et en milieu basique. Cette réaction produit l'acide 3-amino-5-nitrosalicylique qui est un composé rouge. Une fois la réaction avec le DNS terminée, l'acide 3-amino-5-nitrosalicylique formé est dosé par spectrophotométrie visible. Cette réaction étant totale et le DNS étant en excès, la quantité d'acide formé est proportionnelle à la quantité de glucose oxydé.

Protocole du dosage :

Étape 1 : à partir d'une solution mère de glucose de concentration $C_{\text{glucose}} = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$, un groupe d'élèves prépare cinq solutions dont ils mesurent l'absorbance. Les volumes utilisés pour préparer ces solutions et les valeurs d'absorbance mesurée sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

Solution	1	2	3	4	5
Volume de la solution mère (mL)	0	0,30	0,60	0,90	1,20
Volume du réactif contenant le DNS (mL)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Volume d'eau distillée (mL)	3,0	2,7	2,4	2,1	1,8
Absorbance	0	0,25	0,51	0,74	1,1

Étape 2 : le groupe d'élèves prépare une solution X à partir d'une solution de moût du raisin Muscadet que l'on a dilué 50 fois. Les volumes utilisés pour préparer cette solution et la valeur de l'absorbance mesurée sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

Solution	X
Volume du moût de raisin dilué (mL)	0,40
Volume du réactif contenant le DNS (mL)	2,0
Volume d'eau distillée (mL)	2,6
Absorbance	0,67

Exploitation :

3.1. Pourquoi a-t-on dilué le moût avant de préparer la solution X ?

3.2. Est-il possible de rajouter du saccharose dans le moût du raisin de Muscadet dans le respect de la réglementation ?

On attend pour cette question l'explicitation détaillée du raisonnement, les calculs et une conclusion.

Exercice 3 - Des équilibres acido-basiques en milieu biologique (5 points)

Le pH des liquides biologiques doit être maintenu dans des fourchettes étroites pour que la vie soit possible.

Un changement de pH perturberait très sérieusement le métabolisme des organismes vivants. Les différents milieux disposent de systèmes tampon performant pour maintenir constant leur pH.

L'objectif de l'exercice est de comprendre le maintien et la régulation du pH des milieux biologiques, puis d'effectuer une étude de l'acide lactique, acide intervenant dans des processus biologique de notre organisme.

Donnée :

- Pour un couple acido-basique symbolisé A/B, on peut écrire : $\text{pH} = \text{pK}_A + \log \frac{[B]}{[A]}$
- Demi-équation associée au couple $\text{CO}_{2(\text{aq})} / \text{HCO}_3^-_{(\text{aq})}$: $\text{CO}_{2(\text{aq})} + 2 \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} = \text{HCO}_3^-_{(\text{aq})} + \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$

1. Les solutions tampon : maintien du pH des milieux biologiques

Document 1

Dans les milieux biologiques, les systèmes tampon amortissent les variations de pH lorsqu'il y a une perturbation de l'équilibre acide-base. L'effet du système tampon est plus efficace si la concentration en chacune des espèces le constituant est grande et si le pK_A du système tampon est proche du pH des milieux biologiques ; il est maximum lorsque $\text{pH} = \text{pK}_A$.

Dans le corps humain, le pH du sang et des fluides extracellulaires varie peu autour de 7,4 et le pH normal intracellulaire est de 6,8 à 7,0 selon les cellules.

Ainsi, le pH intracellulaire est maintenu pratiquement constant grâce au système "phosphate" ($\text{H}_2\text{PO}_4^-_{(\text{aq})} / \text{HPO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$).

1.1. Donner une estimation de la valeur du pK_A du couple $\text{H}_2\text{PO}_4^-_{(\text{aq})} / \text{HPO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$.

Document 2

Un autre système tampon important dans l'organisme fait intervenir le couple dioxyde de carbone / ion hydrogénocarbonate $\text{CO}_{2(\text{aq})} / \text{HCO}_3^-_{(\text{aq})}$. Dans les conditions normales de respiration, la concentration en dioxyde de carbone dans le sang est telle que $[\text{CO}_{2(\text{aq})}] = \alpha \times p(\text{CO}_2)$. α est la constante de solubilité de valeur $\alpha = 0,030 \text{ mmol.L}^{-1}.\text{mmHg}^{-1}$ et $p(\text{CO}_2)$ la pression partielle du dioxyde de carbone dans l'alvéole pulmonaire exprimée en millimètre de mercure (mmHg). Sa valeur est normalement $p(\text{CO}_2) = 40 \text{ mmHg}$. La concentration des ions hydrogénocarbonate est $[\text{HCO}_3^-_{(\text{aq})}] = 24 \text{ mmol.L}^{-1}$.

1.2. Sachant que le pK_A du couple $\text{CO}_{2(\text{aq})} / \text{HCO}_3^-_{(\text{aq})}$ est égal à 6,1 à 37°C, montrer que le pH du sang humain est maintenu à la valeur habituelle dans les conditions normales de respiration.

2. Les perturbations et les mécanismes régulateurs

Document 3

Les perturbations portant sur la régulation du pH dans l'organisme peuvent provenir du métabolisme. Par exemple les acidoses métaboliques peuvent être dues à une activité physique importante au cours de laquelle un acide est fabriqué par l'organisme suite à une mauvaise oxygénation des tissus.

Dans les acidoses métaboliques, la réaction ventilatoire est rapide, elle implique une hyperventilation pour abaisser la quantité de dioxyde de carbone dans le sang, qui doit normalement diminuer en quelques minutes.

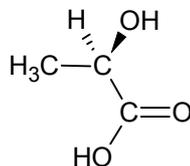
Le sang contient, à l'état normal, $1,65 \text{ g.L}^{-1}$ d'ions hydrogénocarbonate et $0,060 \text{ g.L}^{-1}$ de dioxyde de carbone dissous, les concentrations en base et en acide pouvant être régulées par contrôle de leur excrétion : $\text{CO}_{2(\text{g})}$ par voie respiratoire (rapide) et $\text{HCO}_3^-_{(\text{aq})}$ par voie rénale (lente).

À l'aide de l'expression de la constante d'acidité du couple $\text{CO}_{2(\text{aq})} / \text{HCO}_3^-_{(\text{aq})}$, expliquer comment une hyperventilation permet de corriger une acidose métabolique.

3. Un acide de l'organisme : l'acide lactique

L'acide produit par l'organisme lors d'une acidose métabolique est l'acide lactique. C'est un acide faible de formule brute $C_3H_6O_3$.

3.1. Recopier la représentation de l'acide lactique figurant ci-dessous puis entourer et nommer les groupes caractéristiques.



3.2. La figure 7 représente deux simulations de courbes de titrage pH-métrique de deux solutions aqueuses acides différentes par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$).

Les deux acides sont l'acide chlorhydrique, un acide fort et l'acide lactique, un acide faible.

La concentration molaire en soluté apporté des deux solutions aqueuses d'acide est $c = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

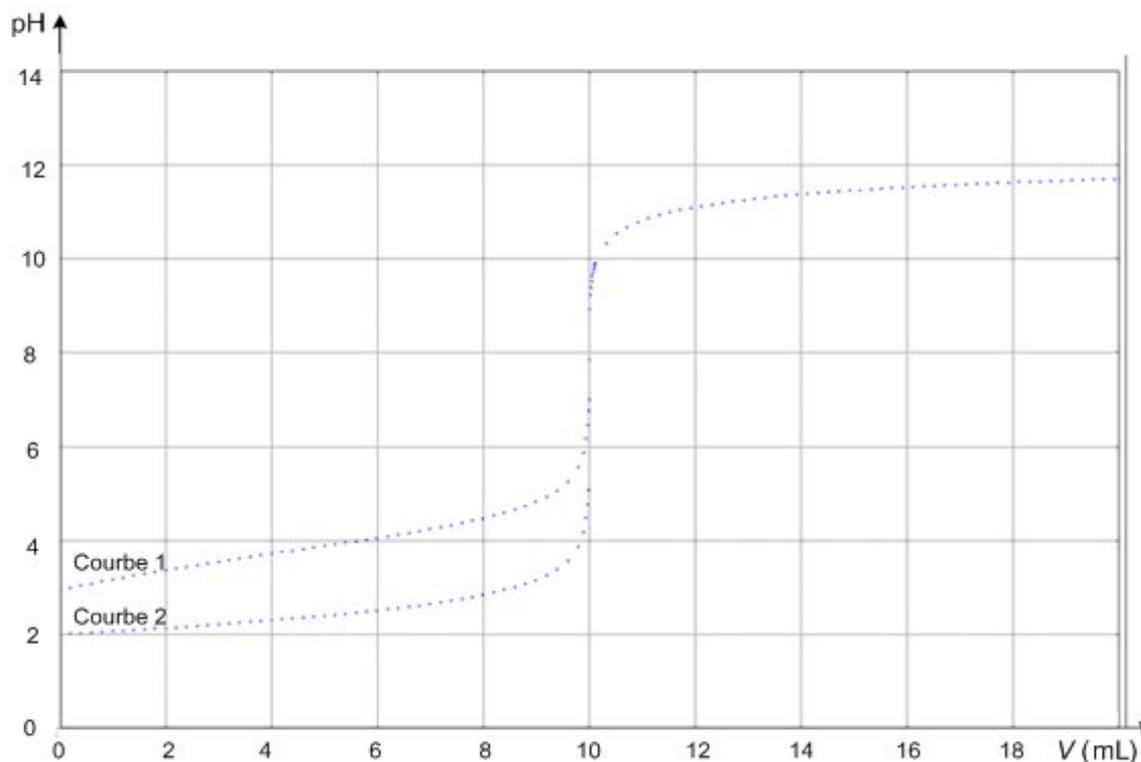
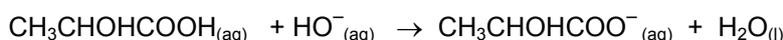


Figure 7. Titration des solutions A et B

3.2.1. Calculer le pH de la solution d'acide fort avant l'ajout de la solution aqueuse de soude et en déduire la courbe correspondant à son titrage pH-métrique.

3.2.2. On donne l'équation de la réaction de titrage de l'acide lactique :



Montrer que pour un volume de solution aqueuse de soude ajouté égal à $\frac{V_E}{2}$, V_E étant le volume versé à l'équivalence, le pH de la solution vaut pK_A .

En déduire une estimation du pK_A de l'acide lactique.

4. La précision d'un titrage

Un élève effectue le titrage colorimétrique d'un volume $V_A = (20,0 \pm 0,05)$ mL d'une solution aqueuse d'acide lactique de concentration molaire attendue $c_A = (2,22 \pm 0,005) \times 10^{-2}$ mol.L⁻¹ par une solution aqueuse de soude étiquetée «concentration $c_B = (3,00 \pm 0,01) \times 10^{-2}$ mol.L⁻¹».

4.1. La valeur du volume à l'équivalence relevée par un élève est $V_E = (10,1 \pm 0,3)$ mL. L'estimation de l'incertitude sur la mesure est liée au repérage de l'équivalence et la précision de la burette dans les conditions de l'expérience. Déterminer la concentration molaire expérimentale $c_{A\text{exp}}$ en acide lactique, obtenue par l'élève.

4.2. On définit l'incertitude relative d'une grandeur X par le rapport $\frac{\Delta X}{X}$. On estime qu'une incertitude relative est négligeable devant une autre, si elle est environ dix fois plus petite.

4.2.1. Montrer que les incertitudes relatives sur V_A et c_B sont négligeables devant celle sur V_E .

4.2.2. Dans cette hypothèse, on peut montrer que l'incertitude relative $\frac{\Delta c_{A\text{exp}}}{c_{A\text{exp}}}$ est égale à $\frac{\Delta V_E}{V_E}$.

En déduire l'encadrement de la concentration en acide lactique $c_{A\text{exp}}$, obtenue par l'élève.

4.2.3. L'encadrement de la concentration obtenue expérimentalement est-elle cohérente avec l'encadrement de la concentration attendue ? Justifier.

4.2.4. Quelle(s) raison(s) pourrai(en)t expliquer un écart éventuel entre l'encadrement attendu et l'encadrement expérimental ?

Sujets de spécialité

Extrait du BO spécial n°8 du 13 octobre 2011

En plaçant l'élève en situation de recherche et d'action, cet enseignement lui permet de consolider les compétences associées à une démarche scientifique. L'élève est ainsi amené à développer trois activités essentielles chez un scientifique :

- la pratique expérimentale
- l'analyse et la synthèse de documents scientifiques
- la résolution de problèmes scientifiques.

Exemple 1 – Comment sont positionnées les frettes sur le manche d'une guitare ? (5 points)

Comme le montre la photographie ci-dessous, pour modifier la hauteur du son émis, le guitariste appuie sur la corde au niveau d'une case, de façon à modifier la longueur de la corde utilisée. Des pièces métalliques, nommées frettes, délimitent les cases sur le manche d'une guitare.



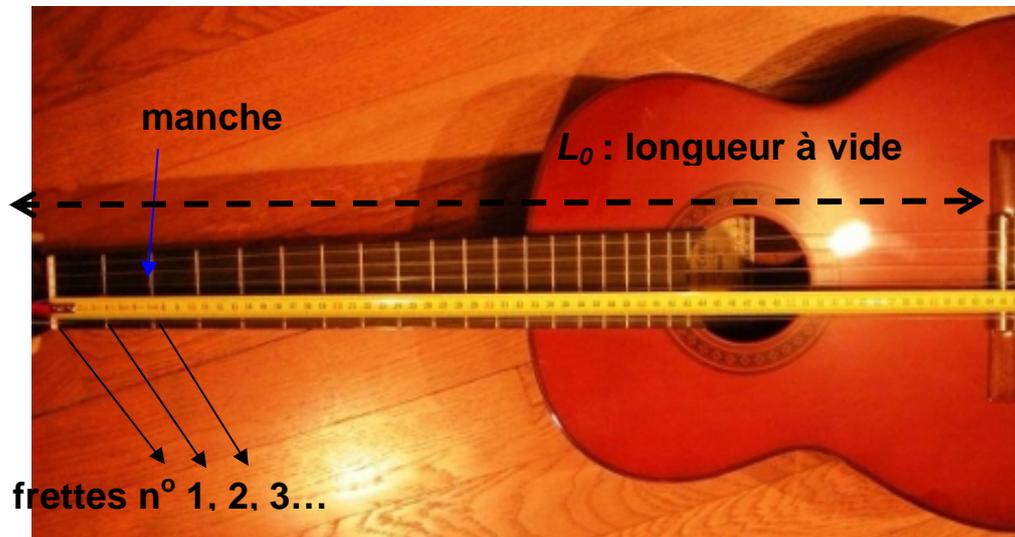
Carlo Domeniconi, guitariste virtuose italien
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Carlo-domeniconi>

En s'appuyant sur les documents donnés aux pages 2 et 3, répondre aux questions suivantes :

1. Discuter qualitativement de l'influence de la longueur, de la tension et de la masse par unité de longueur de la corde sur la fréquence du son émis par une corde vibrante.
2. Expliquer qualitativement comment un guitariste passe d'une note jouée Sol à la note La de la même octave et à l'aide de la même corde.
3. Déterminer les fréquences de Do_3 et Do_4 .
4. Prévoir les positions approchées en cm des quatre premières frettes. Effectuer ensuite quelques vérifications simples à l'aide de la photo du document 1.

Documents de l'exercice**Document 1 :** Description du manche d'une guitare

La photographie ci-dessous montre le manche d'une guitare classique. La longueur d'une corde à vide L_0 est de 65,2 cm.



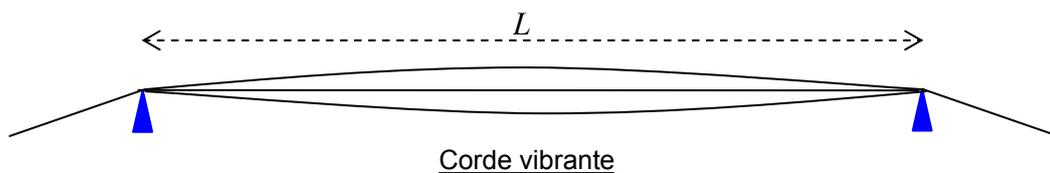
Les six cordes se différencient par leur masse par unité de longueur et leur diamètre.

Document 2 : Corde vibrante

Si l'on considère une corde vibrante maintenue entre ses deux extrémités, la hauteur du son émis dépend de la longueur L de la corde, de sa masse par unité de longueur μ et de la tension T de la corde.

La composition spectrale du son émis est complexe et la fréquence f du fondamental est donnée par

la relation : $f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$.



Document 3 : Gamme tempérée

- Les notes se suivent dans l'ordre Do, Ré, Mi, Fa, Sol, La, Si, Do ; un « cycle » correspond à une octave.
- On envisage 10 octaves numérotées de -1 à 8.
- Chaque note d'une gamme est caractérisée par sa fréquence. Par convention, le La₃ (diapason des musiciens) de l'octave numérotée 3 a une fréquence de 440 Hz.
- Le passage d'une note à la note du même nom à l'octave supérieure multiplie sa fréquence par deux ; ainsi la fréquence du La₂ est égale à 220 Hz et celle du La₄ à 880 Hz.
- Dans la gamme tempérée, le quotient de la fréquence d'une note sur la fréquence de la note précédente est égal à $(2)^{\frac{1}{12}} \approx 1,059$. Si l'on note f la fréquence de la note Do, note fondamentale d'une octave donnée, les fréquences des notes successives de cette octave sont regroupées dans le tableau suivant :

note	fréquence
Do	f
Do# Réb	$(2)^{\frac{1}{12}} \times f = 1,059 \times f$
Ré	$(2)^{\frac{2}{12}} \times f = 1,122 \times f$
Ré# Mib	$(2)^{\frac{3}{12}} \times f = 1,189 \times f$
Mi Fab	$(2)^{\frac{4}{12}} \times f = 1,260 \times f$
Mi# Fa	$(2)^{\frac{5}{12}} \times f = 1,335 \times f$
Fa# Solb	$(2)^{\frac{6}{12}} \times f = 1,414 \times f$
Sol	$(2)^{\frac{7}{12}} \times f = 1,498 \times f$
Sol# Lab	$(2)^{\frac{8}{12}} \times f = 1,587 \times f$
La	$(2)^{\frac{9}{12}} \times f = 1,682 \times f$
La# Sib	$(2)^{\frac{10}{12}} \times f = 1,782 \times f$
Si Dob	$(2)^{\frac{11}{12}} \times f = 1,888 \times f$
Do Si#	$2f$

- Pour une corde donnée, pour passer par exemple d'un Ré à un Ré#, le guitariste bloque cette corde sur la case située juste à côté de celle utilisée pour jouer le Ré, de façon à raccourcir la corde.

Exemple 2 – Étude de deux nano-objets (5 points)

Cet exercice s'intéresse à l'interaction lumière-matière pour deux nano-objets : les cyanines et les nanocristaux Cadmium-Sélénium.

Un dossier documentaire est mis à la disposition du candidat pour répondre aux questions posées.

Un raisonnement scientifique est attendu à chaque réponse.

Après les Led (*Light Emitting Diodes*) et les Oled (*Organic Leds*), bienvenue aux QLed, avec un Q pour *Quantum*. Cette nouvelle génération d'écrans utilise en effet des « boîtes quantiques » pour allumer les pixels. Ces minuscules nanoparticules émettent de la lumière lorsqu'elles sont excitées. Cette curiosité de laboratoire pourrait devenir une nouvelle technologie d'affichage.

La société américaine QD Vision, issue du MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), a ainsi présenté un prototype au salon « Society of Information Display 2011 » consacré aux écrans.

Source : *Forum Futura Sciences*

On propose de trouver le lien entre la taille d'un nano-objet et la couleur de la lumière perçue.

1. Montrer par un raisonnement quantitatif simple qu'une molécule de cyanine est un objet de taille nanométrique :
2. Recopier sur votre copie la figure 3.2. du document 3 puis compléter le mécanisme d'absorption par une molécule de cyanine. Vérifier que la variation d'énergie ΔE correspondant à l'absorption d'une molécule de cyanine du document 2 est de l'ordre de quelques électron-volts.
3. Montrer que l'énergie cinétique d'un électron pour la molécule de cyanine en fonction de sa longueur L est :

$$E_c = \frac{h^2}{8m_e L^2}$$

4. Justifier l'évolution de l'énergie de fluorescence ΔE en fonction de la taille du nanocristal.
5. Déterminer la taille d'un des trois nanocristaux présentés dans le document 5.
6. Pour réaliser un affichage couleur sans source auxiliaire, peut-on utiliser des cyanines ou des nanocristaux Cadmium-Sélénium ? Justifier la réponse.

Documents de l'exercice

Document 1 : Données

- Constante de Planck : $h = 6,62 \times 10^{-34}$ J.s
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8$ m.s⁻¹
- Valeur de l'électron-volt : $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ J
- Masse de l'électron : $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$ kg
- Longueur moyenne d'une liaison covalente : $\lambda = 0,1$ nm

Document 2 : La cyanine : un colorant organique

Les cyanines sont des colorants organiques répandus. Par exemple, on les utilise dans les pellicules pour la photographie argentique en couleurs. La longueur L d'une telle molécule détermine la longueur d'onde lumineuse λ qu'elle absorbe, c'est-à-dire la couleur absorbée. La couleur de la substance vue en lumière blanche sera donc complémentaire de la couleur absorbée.

Dans ces molécules, chaque électron qui participe à une double liaison se répartit tout le long de la chaîne. Autrement dit, la molécule se comporte comme un segment de fil conducteur.

Quel est le spectre d'énergie de ces électrons ? Il dépend de la longueur L de la molécule et l'explication fait appel à la mécanique quantique. Depuis le début XXe siècle, on sait que tout corpuscule se comporte aussi comme une onde. Quelles sont les longueurs d'onde possibles dans un fil conducteur ? On peut utiliser l'analogie avec une corde vibrante de longueur L , fixée à ses deux extrémités. Ces dernières devant être des nœuds de l'onde, le mode fondamental de vibration correspond à une longueur d'onde de De Broglie

$\lambda_{DB} = 2L$. Ainsi, plus un fil conducteur est court, plus la longueur d'onde associée à l'électron est petite.

D'après Pour la science

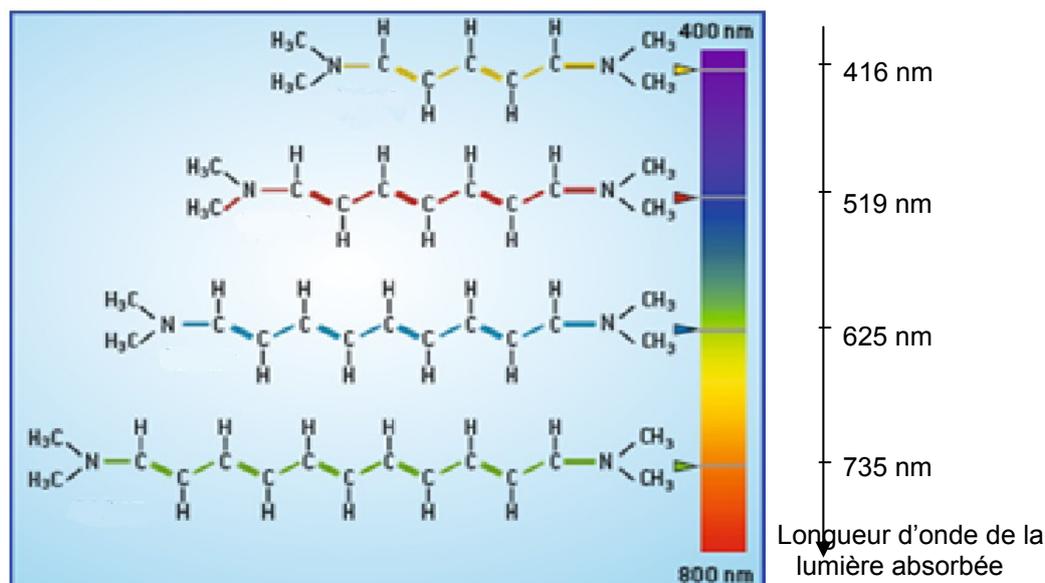
**Document 3** : Étapes du processus d'absorption de la cyanine

Figure 3.1.

Figure 3.2.

Document 4 : Le nanocristal CdSe : une nanoparticule semi-conductrice

Des nanosphères de sélénure de cadmium de quelques nanomètres de diamètre sont utilisées comme marqueurs fluorescents. Dans une telle sphère, l'onde associée à un électron mobile est confinée, ce qui produit des niveaux d'énergie discrets. L'écart entre niveaux, qui détermine la couleur de fluorescence, dépend notamment de la taille de la nanosphère. Le choix de cette taille permet alors d'obtenir la couleur de fluorescence désirée.

Selon les mêmes principes que ceux à l'œuvre dans les molécules de cyanines, seule la taille des sphères détermine la couleur de ces objets.

Si l'énergie cinétique de l'électron augmente, les différences d'énergie augmentent aussi.

Des nanosphères de 5 nm de diamètre ont ainsi une fluorescence de couleur bleue, tandis que celles mesurant 20 nm sont rouges.

D'après Pour la science

Document 5 : Influence du rayon d'un nanocristal sur l'énergie de fluorescence

Dans un semiconducteur macroscopique, les états d'énergie électroniques se répartissent de façon continue en deux bandes appelées bande de valence et bande de conduction. Elles sont séparées par une bande dite interdite où il n'y a pas d'état d'énergie permise pour les électrons. Par excitation lumineuse il est possible de transférer un électron du haut de la bande de valence (état fondamental) au bas de la bande de conduction (état excité). La fluorescence est une émission lumineuse provoquée par l'excitation d'une nanocristal initialement dans son état fondamental (généralement par absorption d'un photon) immédiatement suivie d'une désexcitation du nanocristal par émission spontanée d'un photon de même longueur d'onde.

Les expériences effectuées sur les premiers nanocristaux semiconducteurs dans les années 90 ont montré que les états électroniques ne se répartissent pas en bandes d'énergie mais en un ensemble de niveaux discrets. Il s'agit d'un effet quantique dû à la dimension réduite du nanocristal.

Source CEA

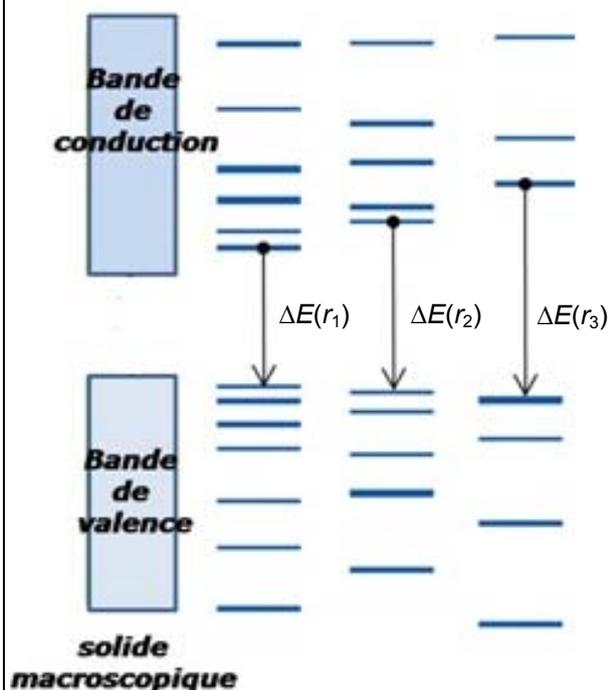
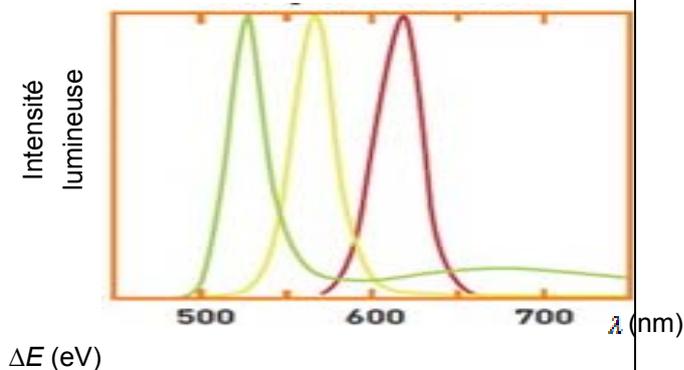


Figure 5.1. Niveaux d'énergie discrets de nanocristaux de tailles différentes

Figure 5.2. Spectre de fluorescence de trois nanocristaux de rayons différents



ΔE (eV)

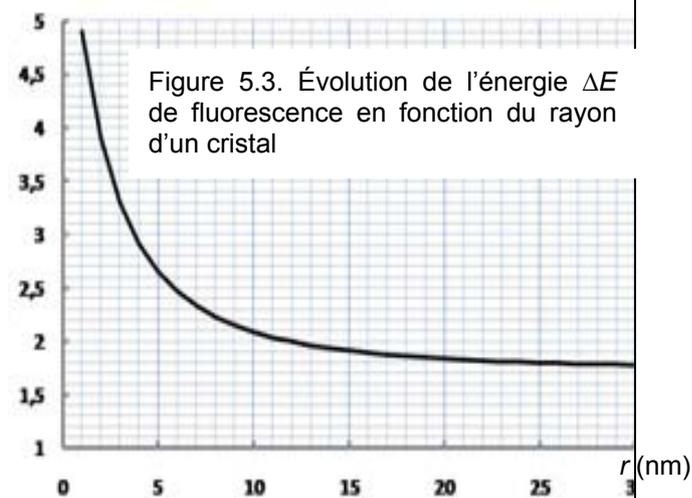


Figure 5.3. Évolution de l'énergie ΔE de fluorescence en fonction du rayon d'un cristal

Exemple 3 – La salinité pour surveiller les océans (5 points)

L'eau des océans est en mouvement permanent. C'est un tapis roulant géant, à l'échelle du globe, d'eaux chaude ou froide. On connaît une partie de ce tapis roulant : le Gulf Stream.

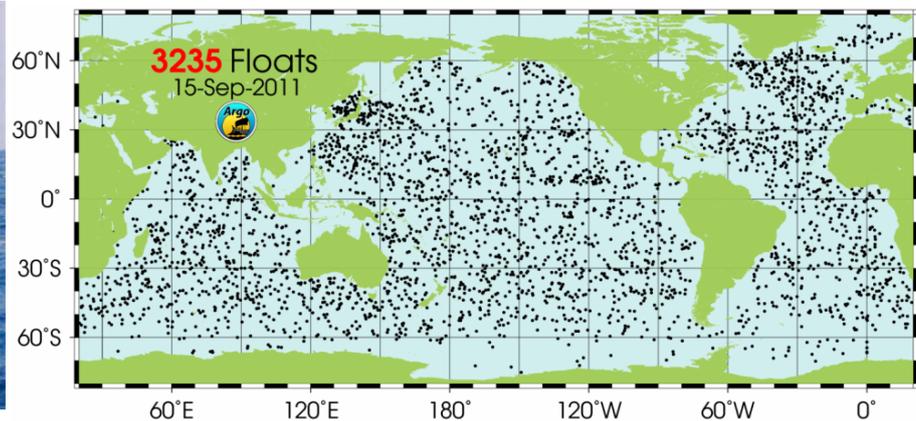
Les mesures de paramètres physico-chimiques de l'eau des océans alimentent les modèles de circulation océanique. En effet, les mouvements des masses d'eau sont régis par trois facteurs principaux :

- les vents de surface pour les courants de surface (non abordé dans l'exercice) ;
- la température : une masse d'eau chaude est moins dense qu'une masse d'eau froide, ce qui entraîne un mouvement ascendant de l'eau plus chaude et descendant de l'eau plus froide ;
- la salinité : plus une eau est salée plus elle est dense, ce qui entraîne un mouvement descendant de cette eau.

L'évolution de cette circulation est sûrement liée au réchauffement climatique et peut être étudiée grâce à des mesures de la salinité de l'eau. Les océans sont donc sous surveillance.

Par exemple, le programme ARGO (www.argo.ucsd.edu) est lancé depuis plus de 10 ans : environ 3000 bouées enregistrent quotidiennement température et salinité de l'eau de mer en surface, au gré de leur errance sur tous les océans. Une de ces bouées est photographiée ci-dessous.

Régulièrement, les bouées émettent leurs données par satellite. Chaque point sur le document ci-dessous correspond à la position d'une des bouées au 15 septembre 2011.



1. Comprendre la notion de salinité

L'eau de mer contient de nombreuses espèces dissoutes, la majorité d'entre elles est sous forme d'ions. Celle-ci est définie comme la masse en grammes d'espèces dissoutes contenues dans un kilogramme d'eau de mer. L'eau de mer de référence appelée « eau de mer normale » à la température de 15°C et à la pression atmosphérique normale de 1,0 bar, possède une salinité S de 35 g.kg⁻¹.

1.1. La densité de l'eau de mer normale d est égale à 1,02597. Quelle est la masse d'espèces dissoutes dans un m³ de cette eau de mer ?

1.2. Proposer un protocole simple permettant de mesurer la salinité d'une eau de mer au laboratoire.

2. Mesurer la salinité des océans

2.1. Les espèces dissoutes dans l'eau de mer étant essentiellement ioniques, la mesure de la conductivité électrique de l'eau de mer s'est imposée pour en déduire la salinité. Dans les océans, les salinomètres comme ceux présents sur les bouées du programme ARGO mesurent simultanément la température, la pression et la conductivité de l'eau de mer. Elles peuvent réaliser jusqu'à huit mesures de conductivité par seconde, aboutissant à autant de valeurs de salinité.

Les mesures de conductivité permettent de calculer la salinité S en g.kg^{-1} d'un échantillon d'eau de mer à partir de la formule suivante :

$$S = 0,0080 - 0,1692 K^{1/2} + 25,3853 K + 14,0941 K^{3/2} - 7,0261 K^2 + 2,7081 K^{5/2}$$

avec K défini comme le rapport entre la conductivité électrique de cet échantillon d'eau de mer (à 15°C et à la pression de 1,0 bar), et la conductivité électrique d'une solution de chlorure de potassium de référence de concentration molaire $C = 4,48 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ à la même température et à la même pression.

Données :

- Conductivité électrique d'une solution : $\sigma = \sum_i \lambda_i \cdot [X_i]$ pour $[X_i] < 10 \text{ mol.m}^{-3}$;
- Conductivité molaire ionique des ions chlorure à 15°C : $\lambda(\text{Cl}^-) = 6,10 \times 10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$
- Conductivité molaire ionique des ions potassium à 15°C : $\lambda(\text{K}^+) = 5,88 \times 10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$

2.2. En utilisant la relation donnant la conductivité électrique d'une solution, calculer la conductivité électrique de la solution de référence de chlorure de potassium. On mesure, à 15°C , la valeur de cette conductivité $\sigma_{\text{mesurée}} = 4,2914 \text{ S.m}^{-1}$. Comparer ce résultat à la valeur calculée précédemment. Proposer une explication à l'écart obtenu.

2.3. Pour un échantillon de l'eau de l'océan arctique (à 15°C et à la pression de 1,0 bar), on mesure la conductivité $\sigma_{\text{arct}} = 3,9604 \text{ S.m}^{-1}$. Calculer la valeur de la salinité S d'une solution de cette eau de mer en donnant le résultat avec deux chiffres significatifs. Comparer à la salinité de « l'eau de mer normale ».

3. La salinité des eaux de surface océaniques et le climat

Les mesures relevées par les bouées du programme ARGO, ont permis de relever différents paramètres en fonction de la latitude.

La salinité de l'océan est un paramètre clef pour étudier la circulation océanique des eaux de surface et comprendre le lien avec le changement climatique.

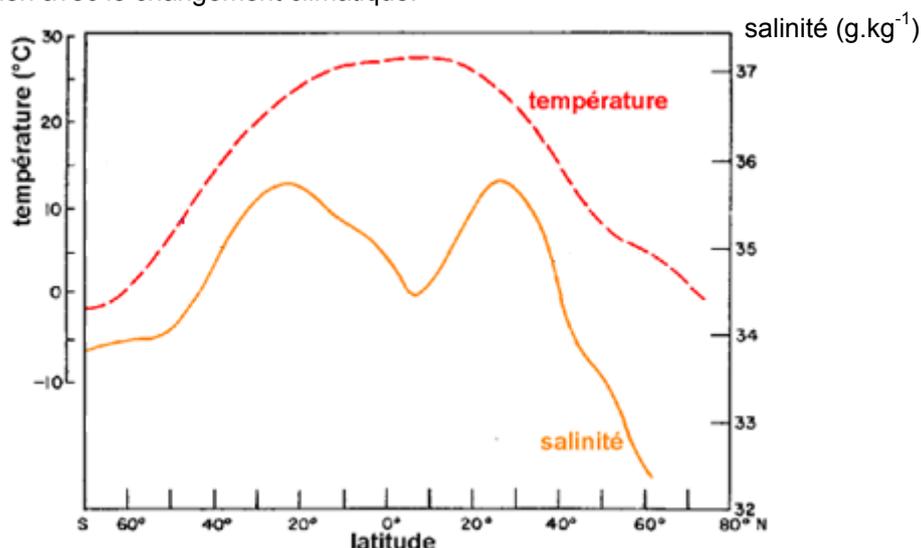


Figure 7. Évolution de la température, de la salinité des eaux de surface en fonction de la latitude à partir des relevés de balise ARGO.

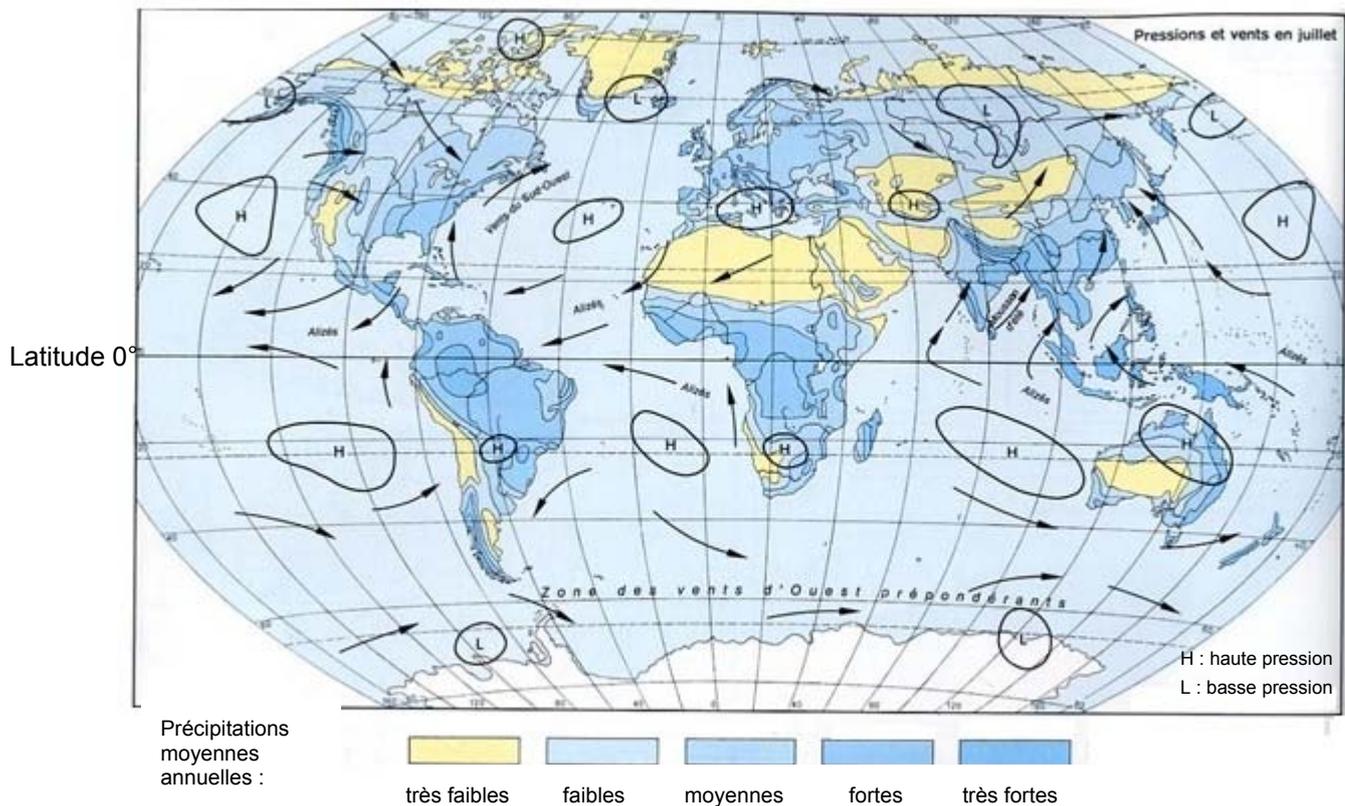


Figure 8. Précipitations annuelles en mm

3.1. À l'aide de la figure 7, proposer une explication à l'évolution de la salinité des eaux de surface pour les latitudes comprises entre 60° et 20° sud.

3.2. À l'aide des figures 7 et 8, proposer une explication à l'évolution de la salinité des eaux de surface au voisinage de la latitude de 0°. 3.3. Proposer une explication aux écarts de salinité moyenne des zones B et C par rapport à l'eau de mer normale (zone Atlantique Nord).

Zone étudiée	Atlantique Nord	Zone A (zone arctique)	Zone B (mer Méditerranée)	Zone C (embouchure du fleuve Amazone)
Salinité moyenne (g.kg ⁻¹)	35	32	39	31

3.4. Émettre une hypothèse sur l'évolution de la salinité dans la zone arctique compte tenu de l'augmentation de la température dans cette zone due au réchauffement climatique.