BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2014

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : **6**

Obligatoire

L'usage d'une calculatrice EST autorisé

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 12 pages numérotées de 1 à 12, y compris celle-ci.

L'ANNEXE (page 12) EST À RENDRE AVEC LA COPIE, même si elle n'a pas été complétée.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

EXERCICE I. UN TROU NOIR AU CENTRE DE LA GALAXIE (5 points)

Document 1 : Un trou noir massif au centre de la galaxie.

Depuis plusieurs années les astronomes tournent un regard de plus en plus acéré vers le centre de notre galaxie, soupçonné d'abriter un trou noir extrêmement massif. C'est une technique nouvelle, l'optique adaptative, qui a permis une percée décisive dans ce domaine de recherche. La finesse des images obtenues en infrarouge sur le Very Large Telescope (VLT situé au Chili), équipé du système d'optique adaptative NAOS, a rendu possible la détermination des orbites d'étoiles appartenant à un amas très dense autour du centre galactique. L'orbite d'une étoile particulière a permis de démontrer l'existence d'un trou noir(1) de 3 à 4 millions de masses solaires.

Le centre de notre galaxie.

Le voyageur qui se dirigerait vers le centre de notre galaxie serait sans doute frappé par la densité des étoiles autour de lui : un million de fois plus grande que dans la région de notre Soleil. Cette densité d'étoiles, il ne la soupçonnait pas quand il levait son regard dans cette direction du ciel, depuis la Terre : un voile opaque de grains de poussière submicroniques lui dissimulait totalement le cœur de la galaxie. En infrarouge cependant, la longueur d'onde devient nettement plus grande que la taille des particules de poussière et les ondes électromagnétiques peuvent se propager plus facilement.

La traque du trou noir en infrarouge.

Certaines étoiles très proches du centre galactique sont suivies depuis plusieurs années par une équipe internationale.

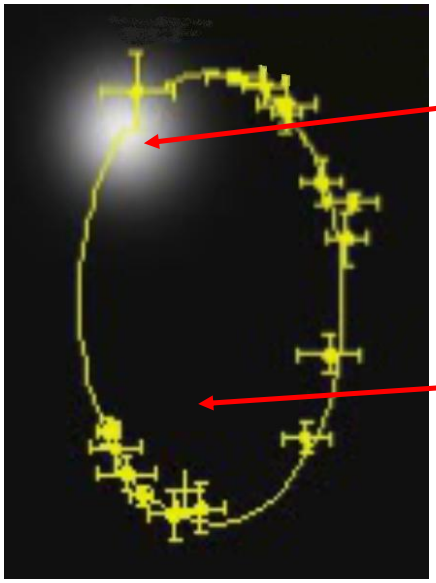
Les premières mesures ont révélé que ces étoiles décrivent des trajectoires elliptiques, ce qui implique effectivement qu'un objet sombre de plusieurs millions de masses solaires doit résider dans un volume très petit au centre de la galaxie. Il s'agissait là d'un premier résultat important.

C'est dans la période du printemps et de l'été 2002 que les choses se sont cristallisées.

La chance a voulu que d'une part l'une des étoiles surveillées – dénommée S2 – est passée au plus proche du centre de masse durant cette période et que, d'autre part, cette approche s'est faite à une distance remarquablement petite : seulement 17 heures-lumière.

Le fait que la trajectoire soit restée purement képlérienne(2) a ainsi permis d'éliminer définitivement toute possibilité que la masse de quelques millions de masses solaires soit sous forme d'un amas dense stellaire sombre. En effet la taille de toutes ces structures est bien plus grande que les 17 heures-lumière de la distance d'approche. Seule reste la possibilité du trou noir très massif.

D' après http://www.cnrs.fr/publications/imagesdelaphysique/couv-PDF/IdP2005/10Rouan.pdf



Données numériques :

Constante de gravitation universelle :
$G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ m^3.s^{-2}.kg^{-1}

Masse du soleil :
$M_S = 2{,}0 \times 10^{30}$ kg

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

Une heure-lumière est la distance parcourue par la lumière dans le vide en une heure.

(1) Trou noir : en astrophysique, un trou noir est un corps extrêmement massif dont le champ gravitationnel est si intense qu'il empêche toute forme de matière ou de rayonnement de s'en échapper. De tels objets n'émettent donc pas de lumière et sont alors perçus comme étant noirs.
(2) Képlérienne : qui suit les lois de Kepler.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 2 / 12
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

Document 2 : Principe de l'optique adaptative.

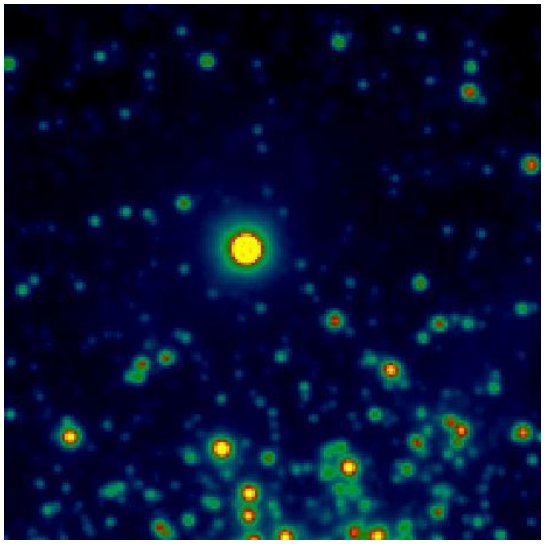
Parfois la nuit, nous avons l'impression que les étoiles scintillent. Ce n'est pas parce que l'étoile émet de la lumière d'une façon particulière mais parce que les turbulences atmosphériques déforment l'image.

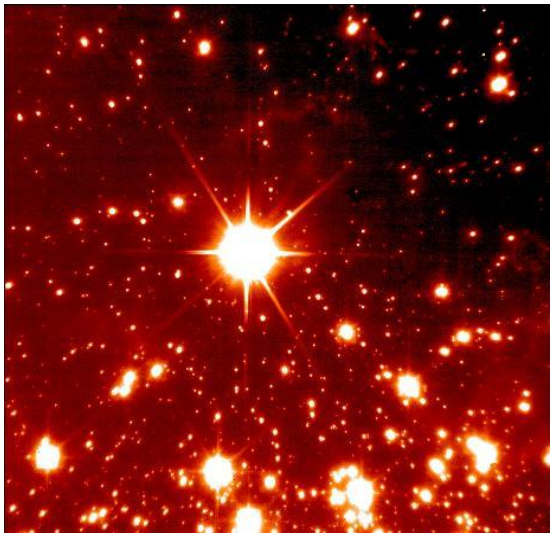
L'optique adaptative est une technique qui permet de corriger en temps réel les déformations de l'image donnée par un instrument d'optique, provoquées par les turbulences de l'atmosphère. Elle est notamment utilisée en astronomie par les télescopes au sol qui, en raison de ces turbulences, ont une qualité d'image dégradée.

On utilise une étoile brillante comme référence dans le champ de l'objet que l'on souhaite observer. On analyse la lumière provenant de cette étoile de référence pour estimer la perturbation due à l'atmosphère, puis on déforme un miroir (grâce à un système de pistons) de manière à compenser exactement cette perturbation. Ainsi l'image après réflexion sur le miroir est presque telle que s'il n'y avait pas eu de dégradation.

Document 3 : NAOS et l'optique adaptative.

Le système NAOS permet d'aiguiser le regard de l'un des quatre télescopes géants du VLT en lui redonnant la capacité de distinguer des détails d'autant plus fins que les miroirs sont de grande taille, capacité dont l'atmosphère l'avait privé.
NAOS permet, grâce à un ensemble de miroirs orientables, de corriger l'onde provenant d'un objet astronomique, celle-ci ayant été dégradée par sa traversée de l'atmosphère, afin de lui rendre sa forme initiale.
Restituée pratiquement telle qu'elle était avant son entrée dans l'atmosphère, cette onde peut alors être focalisée pour former une image quasi-parfaite sur une caméra. NAOS fournit ses images corrigées à CONICA, une caméra infrarouge.





Les images ci-dessus illustrent le gain remarquable apporté par l'optique adaptative NAOS en comparant la photo d'un même objet (…) obtenue sans optique adaptative (à gauche) et avec optique adaptative (à droite). Le nombre d'étoiles détectées, en particulier les étoiles de très faible éclat, est très supérieur sur l'image de droite.

D'après http://lesia.obspm.fr/NAOS.html

1. Mise en évidence de l'existence du trou noir.

Répondre aux questions suivantes en vous appuyant sur les documents 1, 2 et 3 :

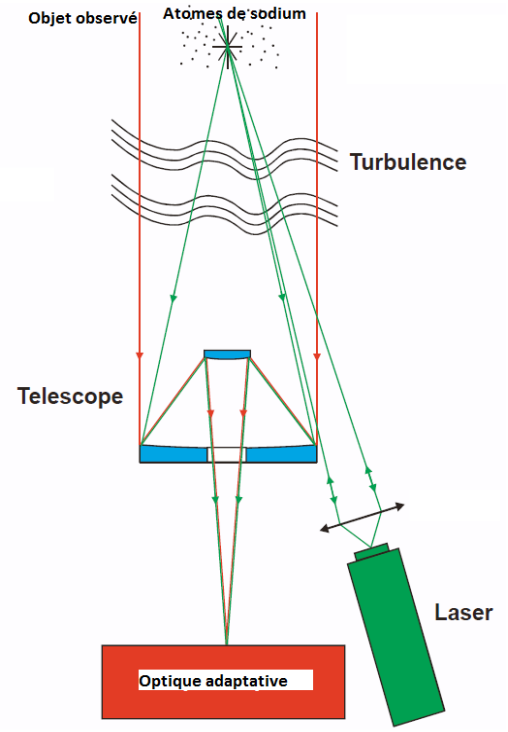
1.1 Énoncer la première loi de Kepler et, à partir de celle-ci, expliquer comment la détermination de la trajectoire de l'étoile S2 a permis de justifier l'existence d'un trou noir très massif au centre de la galaxie.

1.2 Pour quelle raison doit-on utiliser l'optique adaptative pour mettre en évidence la présence de ce trou noir ?

2. Nécessité d'une étoile guide laser pour étudier la trajectoire de S2.

Document 4 : Étoile guide laser.

En astronomie, une étoile guide laser est un système qui utilise un laser pour créer une étoile de référence lors des observations, c'est-à-dire une étoile brillante "artificielle", proche de l'objet observé, permettant d'utiliser l'optique adaptative. Sans cette étoile artificielle, l'utilisation de l'optique adaptative dépend de la proximité d'une étoile brillante avec l'objet observé. Une étoile guide laser a été installée sur Yepun, le quatrième télescope du Very Large Telescope.
Pour exciter les atomes de sodium de la mésosphère (située vers 90 km d'altitude) et ainsi créer une source de lumière artificielle, on utilise un laser dont la longueur d'onde est identique à celle de la lumière émise lors de la transition entre deux niveaux d'énergie du sodium.



Données :

Principales raies d'émission dans le visible de quelques éléments chimiques :

Elément chimique	Sodium	Hydrogène	Mercure
Longueur d'onde des principales raies d'émission dans le visible	589 nm	656 nm ; 486 nm	405 nm ; 436 nm 546 nm ; 577 nm 579 nm

Constante de Planck $h = 6{,}626 \times 10^{-34}$ J.s.
Charge élémentaire $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C.

2.1 Expliquer pourquoi une étoile guide laser peut être nécessaire pour utiliser l'optique adaptative avec un télescope.

2.2 Justifier le choix d'une source laser pour créer une étoile guide.

2.3 Dans cette expérience, comment doit être choisie la longueur d'onde du laser ? Justifier.

2.4 Interpréter la création de l'étoile guide à l'aide d'un diagramme de niveaux d'énergie. Quelle information quantitative cette expérience nous permet-elle d'avoir sur ces niveaux d'énergie ?

3. Estimation de la masse du trou noir.

Pour déterminer un ordre de grandeur de la masse M du trou noir, on considère dans cette question que l'étoile S2, de masse m, décrit une orbite circulaire de rayon r = 132 heures-lumière, la période de révolution étant T = 15,2 ans.

3.1 Schématiser la trajectoire de l'étoile S2 et représenter, en plusieurs points de la trajectoire, l'étoile, son vecteur vitesse, son vecteur accélération.

3.2 Montrer que la valeur v de la vitesse de l'étoile S2 a pour expression : $v = \sqrt{\frac{G.M}{r}}$.

3.3 En déduire l'expression de la période de révolution T de l'étoile.

3.4 Déterminer la valeur de la masse M du trou noir et la comparer à celle annoncée dans le document 1.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

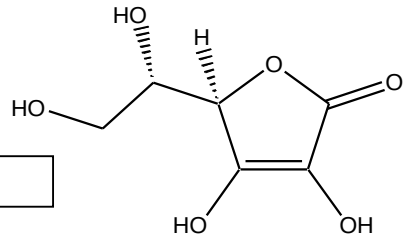
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

EXERCICE II. ÉTUDE DE L'ACIDE ASCORBIQUE (10 points)

À la fin du XVI^{e} siècle, beaucoup de marins succombaient au scorbut. Cette mortalité était due à une carence en vitamine C aussi appelée « acide ascorbique ». Il s'agit d'un acide organique ayant entre autres des propriétés anti-oxydantes. Il est présent dans les citrons, les jus de fruits et les légumes frais. Le nom « ascorbique » vient du préfixe grec *a* (privatif) et de *scorbut*, signifiant littéralement anti-scorbut.
La vitamine C intervient dans de nombreuses réactions d'oxydo-réduction dans l'organisme, dans le métabolisme du fer et des acides aminés.

Nous allons dans une première partie nous intéresser à la molécule d'acide ascorbique. Dans une deuxième partie, nous verrons une méthode de titrage par suivi pH-métrique d'un comprimé de vitamine C. La troisième partie sera consacrée à d'autres méthodes de titrage.

A : acide ascorbique



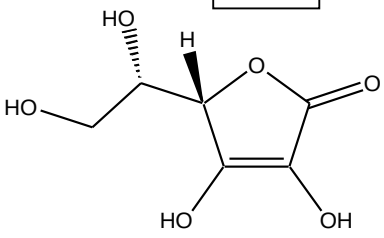
1. La molécule d'acide ascorbique.

1.1. Reproduire la molécule A sur votre copie et marquer d'un astérisque le (ou les) carbone(s) asymétrique(s) présent(s).

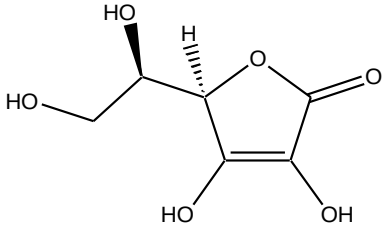
1.2. La molécule A est-elle chirale ? Justifier.

1.3. Quelle est la relation entre A et B (espèces identiques, isomères, formant un couple acide/base ou un couple oxydant/réducteur) ? En cas d'isomérie, préciser la relation d'isomérie. Comparer de même A aux espèces C, D et E. Justifier les réponses.

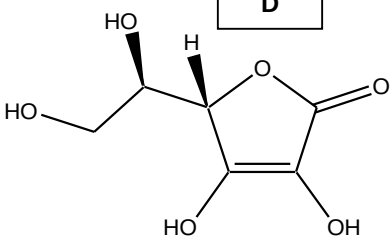
B



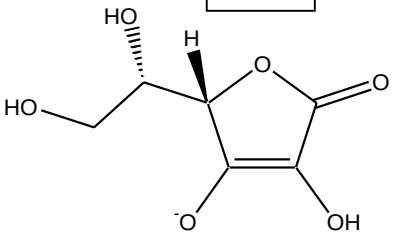
C



D



E



1.4. Déterminer la formule brute de l'acide ascorbique.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

2. Titrage de l'acide ascorbique par suivi pH-métrique.

On souhaite vérifier l'indication figurant sur une boîte de comprimés de vitamine C vendue en pharmacie : le fabricant annonce que la masse d'acide ascorbique est de 500 mg par comprimé.
Un comprimé de vitamine C est écrasé dans un mortier. La poudre est ensuite dissoute dans une fiole jaugée de 200,0 mL que l'on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge en homogénéisant le mélange. On obtient alors la solution S.
On prélève 10,0 mL de cette solution que l'on titre avec une solution d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq) + HO^-(aq)$) de concentration molaire $1{,}00 \times 10^{-2}$ mol.L^{-1}.
On suit le titrage par pH-métrie. Le graphique représentant l'évolution du pH en fonction du volume de solution d'hydroxyde de sodium versé est représenté en **ANNEXE PAGE 12 À RENDRE AVEC LA COPIE.**

L'acide ascorbique sera noté AH dans la suite de l'exercice.

2.1. L'ion hydroxyde HO^- est une base forte en solution aqueuse.
Déterminer le pH de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée pour le titrage. En déduire les précautions qu'il convient d'adopter pour utiliser cette solution.

2.2. Réaliser un schéma annoté du montage expérimental nécessaire à la mise en œuvre du titrage.

2.3. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

2.4. À partir du protocole mis en œuvre et des résultats obtenus, déterminer la masse d'acide ascorbique contenue dans le comprimé. **L'ANNEXE PAGE 12 EST À RENDRE AVEC LA COPIE.**

2.5. Préciser les sources d'erreurs possibles. Calculer l'écart relatif entre la masse théorique et la masse expérimentale. Commenter la valeur obtenue.

2.6. D'après les résultats obtenus, peut-on savoir si l'acide ascorbique est un acide fort ou un acide faible ? Justifier la réponse.

3. Autres méthodes de titrage.

Le titrage de l'acide ascorbique peut également se faire par d'autres techniques. Nous allons dans cette partie en étudier succinctement deux : l'utilisation d'un indicateur coloré et le suivi conductimétrique.

3.1. Utilisation d'un indicateur coloré.

Parmi les indicateurs colorés proposés, lequel utiliseriez-vous pour le titrage de l'acide ascorbique par la solution d'hydroxyde de sodium effectué dans la partie 2. ?
Justifier la réponse et préciser comment l'équivalence serait repérée.

Indicateur coloré	Teinte acide	Zone de virage	Teinte basique
Hélianthine	Rouge	3,1 – 4,4	Jaune
Vert de bromocrésol	Jaune	3,8 – 5,4	Bleu
Bleu de bromothymol	Jaune	6,0 – 7,6	Bleu
Rouge de crésol	Jaune	7,2 – 8,8	Rouge
Phénolphtaléine	Incolore	8,2 – 10,0	Rose
Rouge d'alizarine	Violet	10,0 – 12,0	Jaune
Carmin d'indigo	Bleu	11,6 – 14,0	Jaune

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 7 / 12
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

3.2. Titrage conductimétrique.

On envisage d'effectuer le titrage conductimétrique d'une solution S' d'acide ascorbique dont la concentration molaire est de l'ordre de 6×10^{-3} mol.L^{-1} par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $c'_B = 1{,}00 \times 10^{-1}$ mol.L^{-1}. On dispose de pipettes jaugées de 10,0 mL, 20,0 mL et 25,0 mL ainsi que de fioles jaugées de 50,0 mL, 100,0 mL, 200,0 mL et 250,0 mL.

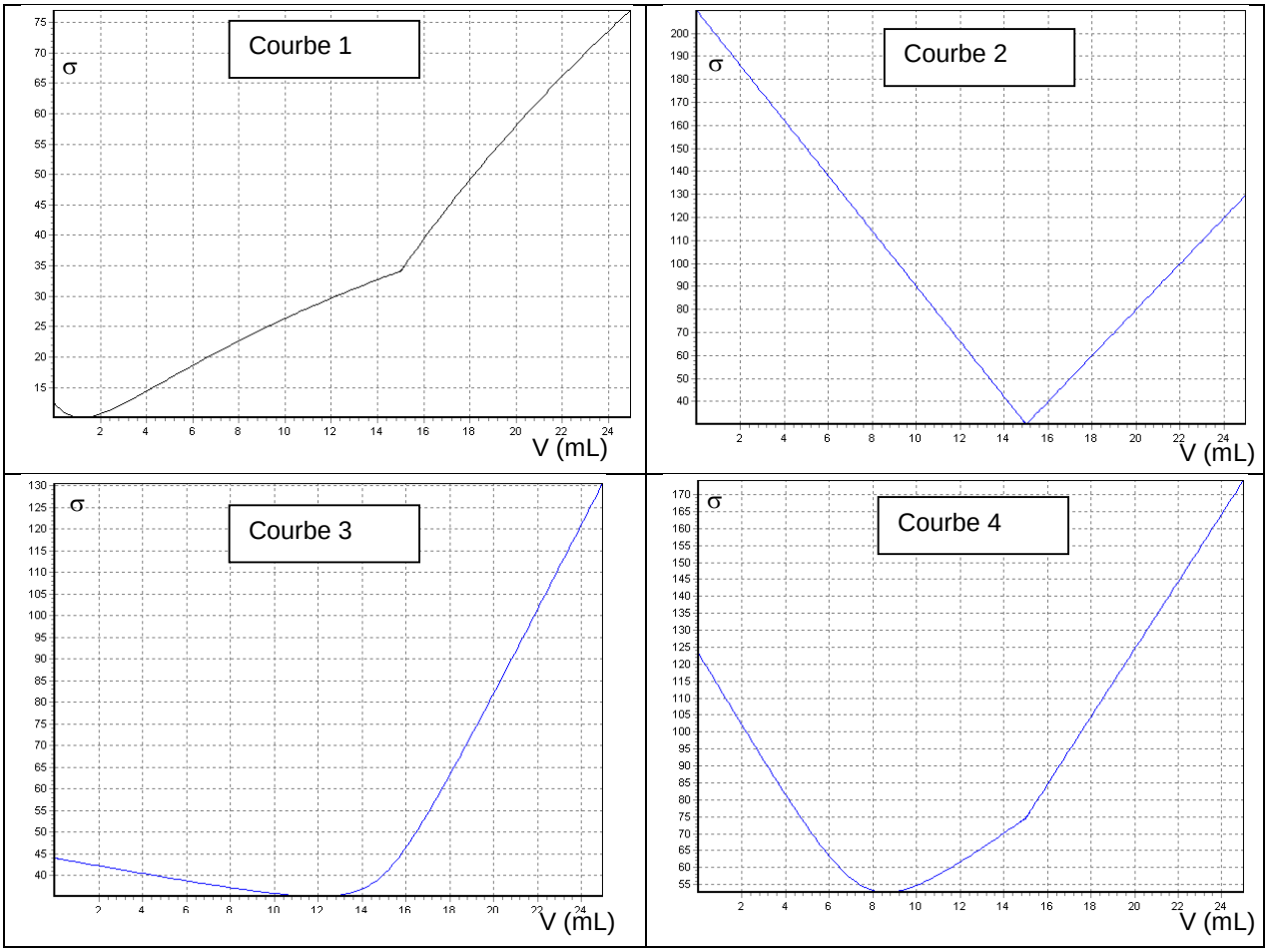
3.2.1. Expliquer pourquoi il n'est pas pertinent de titrer la solution d'acide ascorbique S' par la solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire c'_B.

3.2.2. À partir des réactifs proposés, établir un protocole expérimental permettant d'effectuer le titrage conductimétrique en précisant :

- les éventuelles adaptations effectuées au niveau des concentrations ;
- le volume de solution d'acide ascorbique prélevé.

3.2.3. Plusieurs allures de courbes modélisant ce titrage sont proposées ci-dessous. En argumentant, identifier la courbe qui peut correspondre au titrage conductimétrique de l'acide ascorbique par la solution d'hydroxyde de sodium.

Allures de courbes de titrages conductimétriques.



Données :

- *pKe* = 14,0 à 25 °C.
- Masses molaires atomiques : *M(H)* = 1,0 g.mol^{-1} ; *M(C)* = 12,0 g.mol^{-1} ; *M(O)* = 16,0 g.mol^{-1}.
- Conductivités molaires ioniques à 25 °C :

$\lambda(HO^-)$ = 19,8 mS.m^2.mol^{-1} ; $\lambda(Na^+)$ = 5,01 mS.m^2.mol^{-1} ; λ(*ion ascorbate* A^-) = 2,5 mS.m^2.mol^{-1}.

EXERCICE III. CD ET AUTRES SUPPORTS DE L'INFORMATION (5 points)

À partir du début des années 80, le disque audio (CD) a supplanté les vinyles en raison d'une grande facilité d'utilisation et de la quantité d'information stockable. Nous allons, dans un premier temps, étudier un Compact-Disc, puis nous nous intéresserons à la technologie Blu-ray.

Les documents nécessaires à la résolution sont regroupés en fin d'énoncé.

1. Le Compact-Disc.

1.1 Montrer que la surface « utile » S du CD, correspondant à la surface grisée (document 1), s'exprime par : $S = \pi.(R_2^2 - R_1^2)$.

1.2 On peut estimer la longueur L de la piste par l'expression $L \approx \frac{S}{a}$ où a est le pas de la spirale.

Évaluer la longueur de la piste de ce CD.

1.3 En déduire la durée théorique totale de lecture du CD en minutes.

1.4 Lorsque le spot laser se réfléchit autour d'une alvéole, il y a interférences entre la partie de l'onde qui se réfléchit sur le plat et celle qui se réfléchit sur le creux.

1.4.1 Déterminer la différence de parcours entre l'onde qui se réfléchit sur un creux et celle qui se réfléchit sur un plat.

1.4.2 Ce parcours ayant lieu dans le polycarbonate, déterminer le retard de l'onde réfléchie dans un creux par rapport à l'onde réfléchie sur un plat au niveau du capteur.

1.4.3 Comparer ce retard à la période de l'onde émise par le laser.

1.4.4 En déduire le type d'interférences (constructives ou destructives) entre l'onde réfléchie par un creux et celle réfléchie par un plat au niveau du capteur. La réponse s'appuiera sur un schéma.

1.4.5 Dans ce cas, le signal reçu par le capteur est-il maximal ou minimal ? Commenter.

1.5 Déterminer la capacité totale théorique d'information (en Mo) que l'on peut enregistrer sur ce CD.

2. Le Blu-ray.

La technologie Blu-ray a été développée au début des années 2000 afin de commercialiser des films en haute définition. Le principe de fonctionnement est le même que celui d'un CD.

2.1 Quelle doit-être la profondeur d'un creux sur un disque Blu-ray ?

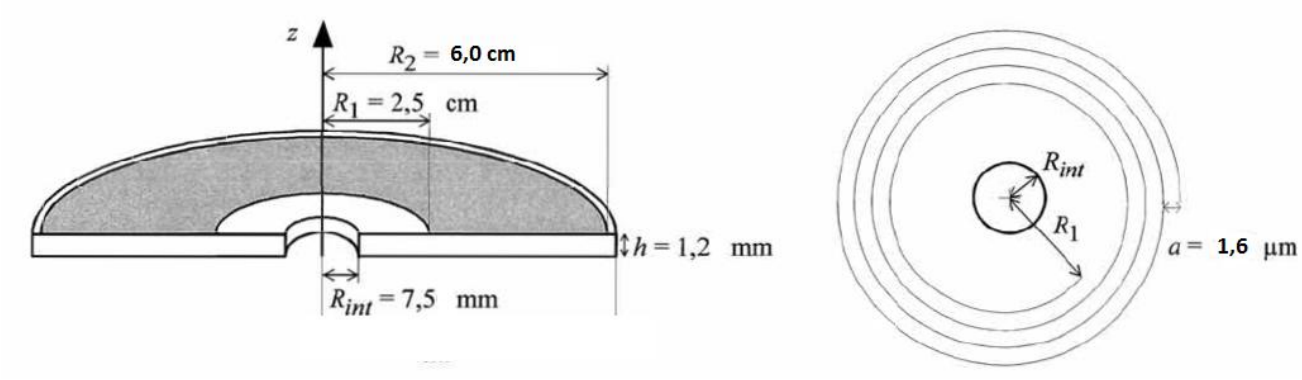
2.2 Pourquoi ne peut-on pas lire un disque Blu-ray avec un lecteur de CD ?

2.3 En supposant que le codage de l'information et la lecture d'un disque Blu-ray sont identiques à ceux d'un CD, déterminer la capacité de stockage qu'aurait un disque Blu-ray. Que peut-on en conclure ?

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 9 / 12
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

Document 1 : Structure d'un CD.

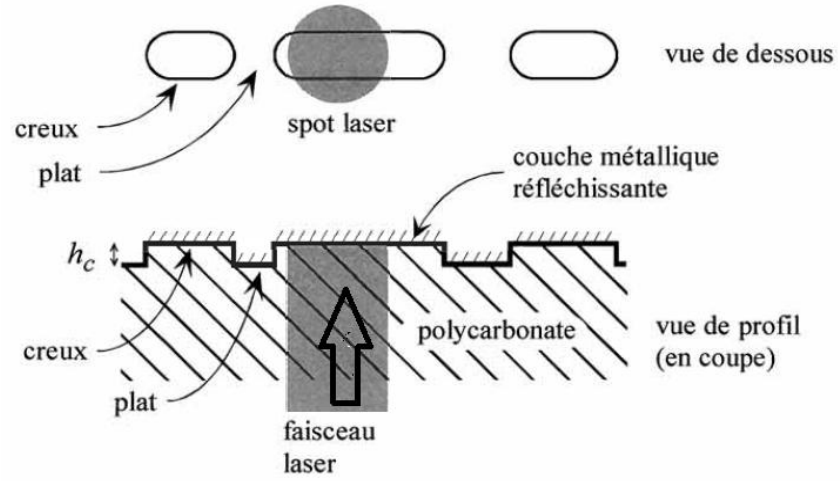
Sur un Compact-Disc, les informations sont stockées sous forme de « creux » et de « plats » le long d'une piste métallique réfléchissante en forme de spirale. Celle-ci commence à une distance R_1 = 2,5 cm de l'axe du CD et se termine à une distance R_2 = 6,0 cm.
La portion grisée correspond à la partie du CD occupée par la piste métallique. Un extrait de la piste est représenté à côté. Le pas de la spirale est a = 1,6 µm.



Lors de la rotation du disque, les structures porteuses de l'information défilent devant un système optique à la vitesse linéaire constante V = 1,2 m.s^{-1}.

Document 2 : Principe optique de lecture d'un CD.

La piste physique est constituée d'alvéoles d'une largeur de 0,67 µm, d'une profondeur h_c = 0,12 µm et de longueur variable. On nomme « creux » le fond d'une alvéole et « plat » l'espace entre deux alvéoles.



La tête de lecture est composée d'un laser émettant un faisceau lumineux et d'une cellule photoélectrique chargée de capter le faisceau réfléchi. Le laser utilisé pour lire les CD a une longueur d'onde λ_0 = 780 nm dans l'air et λ = 503 nm dans le polycarbonate.

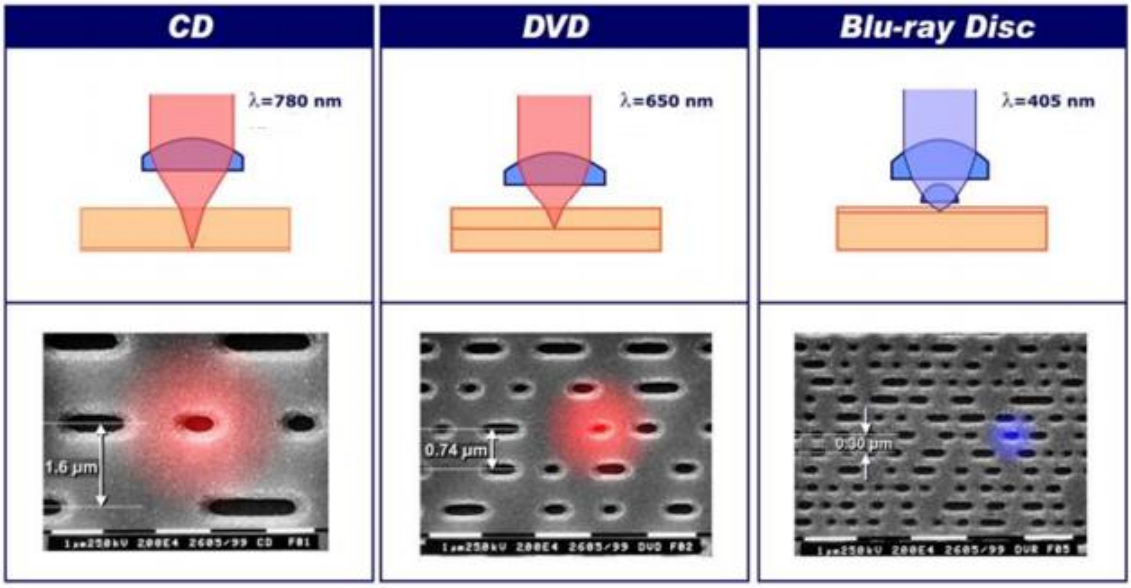
La profondeur h_c des creux est liée à la longueur d'onde λ du laser dans le polycarbonate par : $2.h_c = \frac{\lambda}{2}$

La vitesse de propagation de la lumière émise par le laser dans le polycarbonate vaut 1,93 × 10^8 m.s^{-1}.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

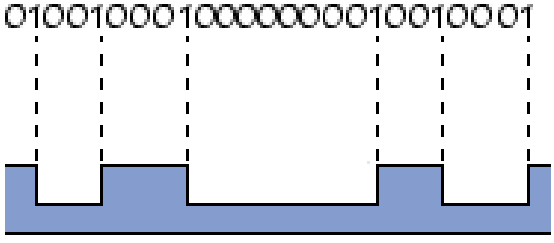
Document 3 : Comparaison entre CD, DVD et Blu-ray.



Type de support	CD	DVD	Blu-ray
Longueur d'onde dans l'air	780 nm	650 nm	405 nm
Longueur d'onde dans le polycarbonate	503 nm	419 nm	261 nm
Capacité réelle de stockage	700 Mo	4,7 Go	25 Go
Distance entre pistes	1,6 µm	0,74 µm	0,3 µm
Largeur du faisceau	2,1 µm	1,2 µm	0,6 µm
Longueur de la piste		11,7 km	27 km

Document 4 : Codage de l'information.

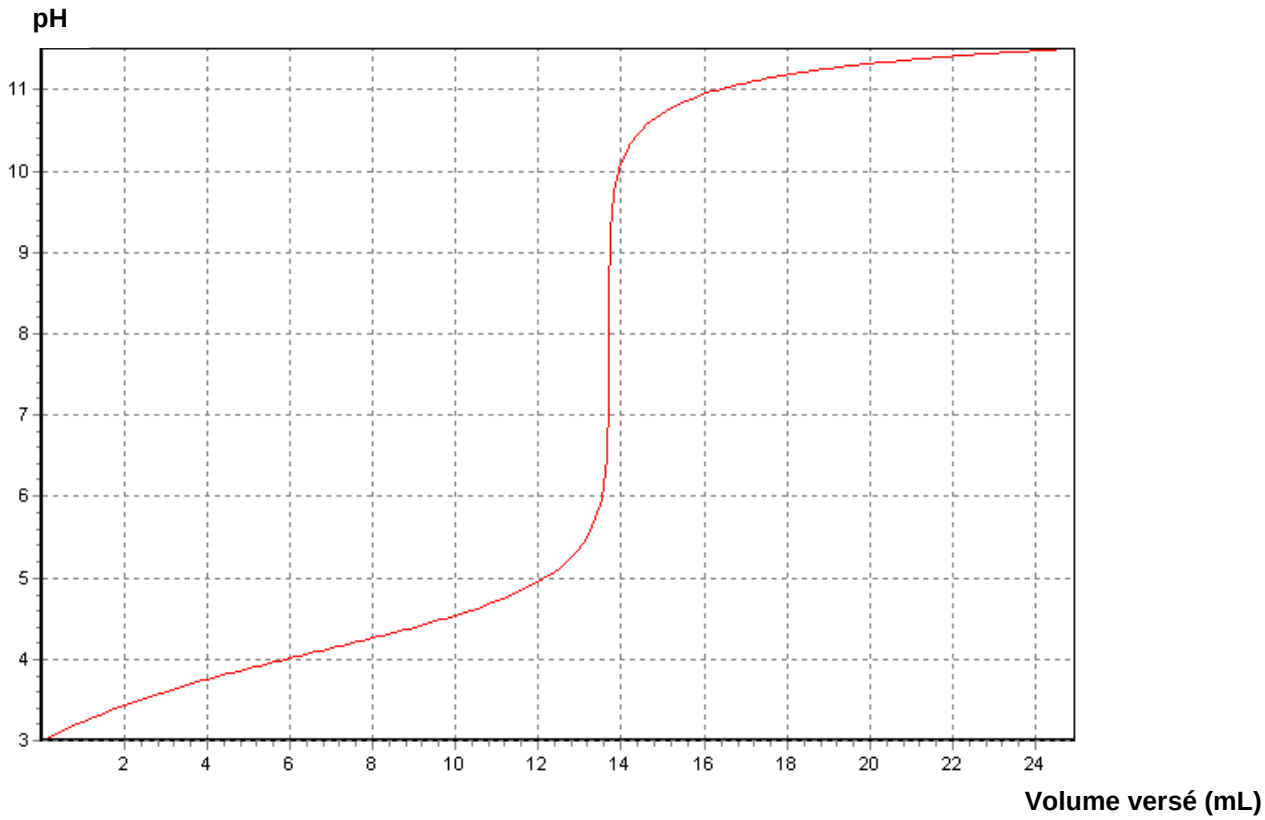
La taille d'un bit sur le CD correspond à la distance parcourue par le faisceau lumineux en 231,4 ns (nanosecondes). Le passage d'un creux à un plat ou d'un plat à un creux équivaut à 1.
Pour le stockage d'information sur un CD, on utilise le standard EFM (Eight-to-Fourteen Modulation). Chaque octet d'information est converti en des mots codés de 14 bits de longueur auxquels s'ajoutent 3 bits supplémentaires de synchronisation. Il faut donc 17 bits sur le CD pour enregistrer un octet.



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

ANNEXE DE L'EXERCICE II À RENDRE AVEC LA COPIE



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer