

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL BLANC

Lycée de Chamalières — Mars 2013

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3h30** — Sur 20 points — COEFFICIENT : 6

L'usage des calculatrices est autorisé

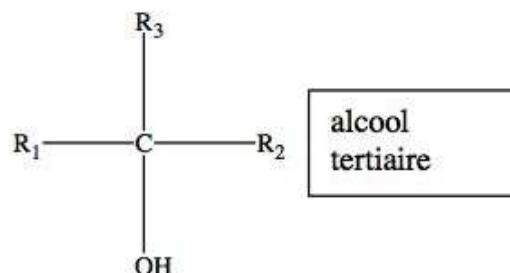
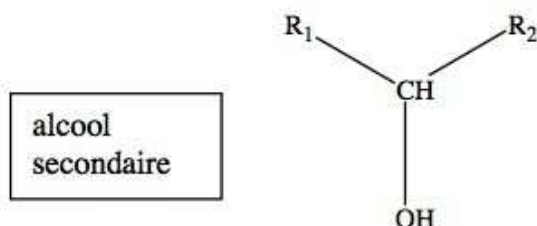
Ce sujet comporte un exercice de CHIMIE et deux exercices de PHYSIQUE, présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10, y compris celle-ci.

*Le candidat doit traiter les trois exercices **sur des feuilles doubles séparées**. Les trois exercices sont indépendants les uns des autres. Toute copie mal présentée ne sera pas corrigée et recevra la note zéro.*

- | | | |
|------|-------------------------|------------|
| I. | Identifier une molécule | (6 points) |
| II. | Le satellite Planck | (6 points) |
| III. | La comète de Halley | (4 points) |

Exercice I – 6 points Identifier une molécule

- Par oxydation ménagée, on peut obtenir d'un alcool:
 - Si c'est un alcool primaire RCH_2OH , un aldéhyde ou un acide carboxylique
 - Si c'est un alcool secondaire, une cétone.
 - Si c'est un alcool tertiaire, il n'y a pas d'oxydation.
- Pour réaliser une oxydation ménagée, il faut faire réagir l'alcool avec un oxydant comme le CrO_2 (les ions permanganate ou dichromate oxydent de manière forte c'est-à-dire oxyde un alcool primaire en acide carboxylique et non en aldéhyde) ou le PCC. Il se produit alors une réaction d'oxydoréduction.
- Une réaction d'oxydoréduction est une réaction chimique au cours de laquelle se produit un échange d'électrons. L'espèce chimique qui capte les électrons est appelée « oxydant » ; celle qui les cède, « réducteur ».



1. Molécule organique, notée A

- Une molécule organique, notée A, a pour formule brute C_4H_8O . On sait qu'il ne s'agit pas d'une molécule cyclique.
- 1.1. Quels sont les groupes caractéristiques connus qui sont compatibles avec la présence d'un seul atome d'oxygène dans la molécule A ?
- 1.2. Donner la formule semi-développée du butanol. En déduire sa formule brute.
- 1.3. Par comparaison de la formule brute de la molécule A, avec la formule brute du butanol, confirmer la présence d'une liaison double au sein de la molécule A, soit entre deux atomes de carbone, soit entre un atome de carbone et un atome d'oxygène.

2. Spectre IR de l'espèce chimique A en phase condensée

- Le spectre IR de l'espèce chimique A en phase condensée est donné en Annexe 1 de chimie.
- 2.1. Quel renseignement supplémentaire ce spectre fournit-il ?
On pourra s'aider du tableau donné en Annexe 2, qui donne les valeurs du nombre d'onde pour différents types de liaison.
- 2.2. Ecrire les formules topologiques des trois molécules envisageables, puis les nommer.
- 2.3. Rappeler la définition d'un isomère.

3. La molécule A a été obtenue par oxydation d'un alcool secondaire noté B pour la suite du devoir

- 3.1. Conclure sur l'identité de la molécule A.
- 3.2. Etablir la formule développée de la molécule A. Y faire apparaître les protons considérés comme équivalents pour un spectre RMN. On pourra mettre en évidence les protons équivalents par une même couleur.
- 3.3. Parmi les spectres RMN donnés en Annexe 4 de chimie, indiquer celui qui correspond à la molécule A. Justifier.
- 3.4. Comment se nomme la grandeur δ ?
- 3.5. Parmi les spectres IR (réalisés en phase condensée) donnés en Annexe 3, indiquer celui qui correspond à la molécule B, c'est-à-dire l'alcool qui a été oxydé pour former la molécule A. Justifier.
On pourra s'aider du tableau donné en Annexe 2, qui donne les valeurs du nombre d'onde pour différents types de liaison.
- 3.6. Pour les deux autres spectres IR qui ne correspondent pas à la molécule B et qui sont donnés en Annexe 3, identifier les familles respectives à laquelle appartiennent ces deux molécules (que l'on appelle C et D). On pourra s'aider du tableau donné en Annexe 2, qui donne les valeurs du nombre d'onde pour différents types de liaison.

4. On réalise à nouveau le spectre IR de l'alcool B (donné en Annexe 5), mais en phase gazeuse.

- 4.1. Quelle différence majeure observe-t-on entre ce spectre donné en Annexe 5 et celui que vous avez choisi à la question 3.5, pour des nombres d'onde supérieurs à $1\,500\text{ cm}^{-1}$?
- 4.2. Comment interpréter cette différence majeure ?

EXERCICE II - LE SATELLITE PLANCK (6 points)

1. 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 suivantes.

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.

2. 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.

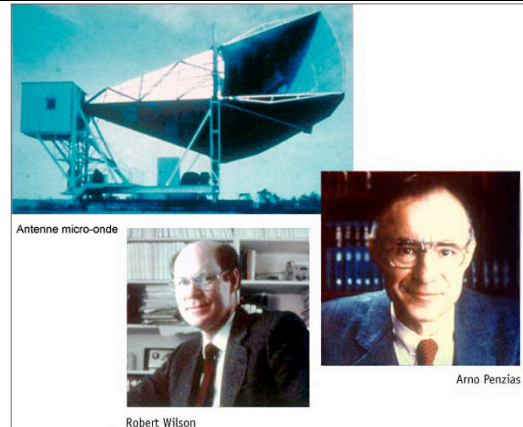
DOCUMENTS DE L'EXERCICE II

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.

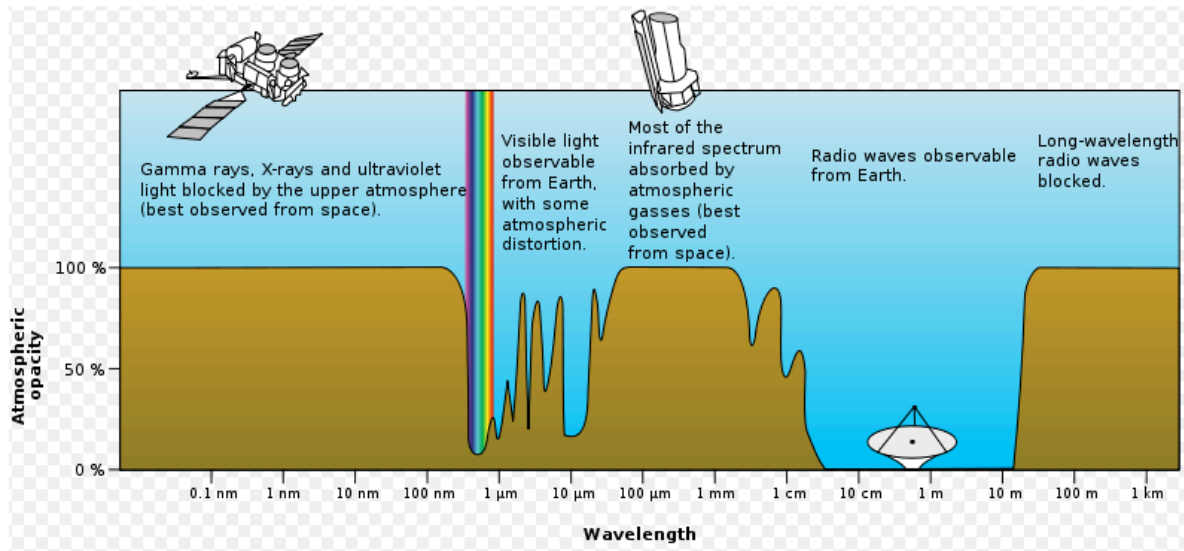
À force d'analyse et de déduction, les spécialistes sont parvenus à retracer ce qu'a pu être le parcours du rayonnement cosmique :

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)

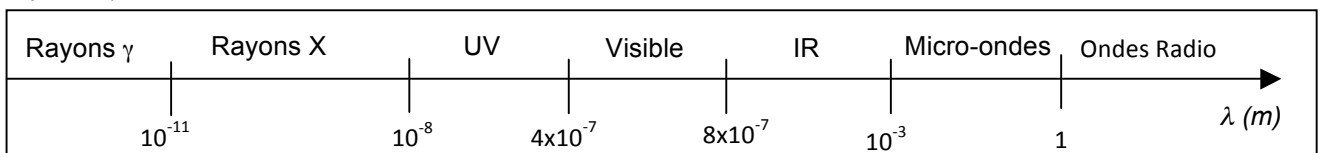


D'après Wikipedia

Document 3 : Matière et rayonnement

- Loi de Wien : $\lambda_{\max} \cdot T = A$
A est une constante telle que $A = 2,9 \text{ mm.K}$
 $\lambda_{\max}$ 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)

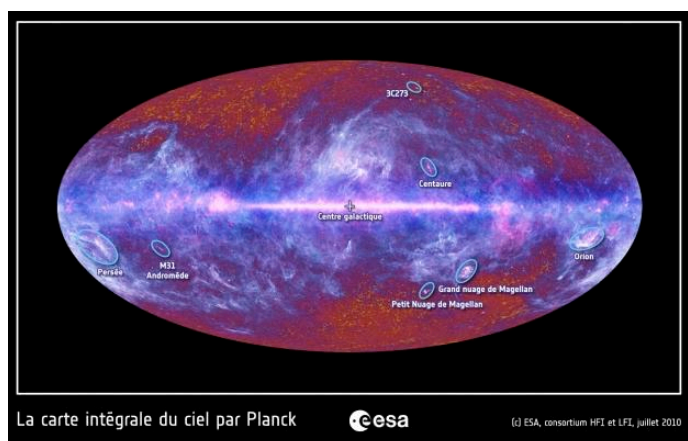


Document 5 : Lancement du satellite Planck

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 III – 4 points La comète de Halley

Découverte de la comète de Halley

"Comètes que l'on craint à l'égal du tonnerre,
Cessez d'épouvanter les peuples de la Terre,
Dans une ellipse immense achevez votre cours,
Remontez, descendez près de l'astre des jours,
Lancez vos feux, volez, et revenant sans cesse,
Des mondes épuisés ranimez la vieillesse."

Voltaire (1694-1778)



doc.1 La comète de Halley, photographiée le 8 mars 1986 sur l'île de Pâques.

- Ecrits en 1738 par Voltaire à son amie la marquise du Châtelet, ce poème illustre d'une façon remarquable une révolution capitale dans l'histoire de la compréhension des comètes par l'humanité. Jusque-là, ces astres au cours apparemment erratique, à l'apparition imprévisible, à l'aspect spectaculaire et rapidement changeant, étaient considérés avec crainte et superstition comme des présages néfastes et annonciateurs de grandes catastrophes. Mais au XVII^{ème} siècle, on comprenait enfin, grâce notamment aux travaux de Johannes Kepler, d'Isaac Newton et d'Edmund Halley que le mouvement apparemment étrange des comètes sur la voûte céleste obéit en fait aux mêmes lois que le mouvement des planètes. Dans le cas des comètes, l'ellipse est simplement beaucoup plus allongée (plus excentrique) que celles qui sont parcourues par les planètes.
- Selon des annales chinoises, les premières observations de la comète de Halley datent de 240 av. J.C. En 1682, Edmund Halley (1656 - 1743), alors âgé de 26 ans, aidé par Isaac Newton, prédit le retour de cette comète pour 1759. La comète fut au rendez-vous, vérifiant ainsi les lois de Kepler.
- Durant l'été 1911, la Terre traversa la queue de poussière et de gaz de la comète provoquant une grande inquiétude populaire allant même jusqu'aux grandes prédictions de fin du monde apocalyptique propres à toute fin proche d'un millénaire. On avait en effet détecté par spectroscopie la présence dans l'atmosphère de la comète d'un gaz très toxique, le cyanogène CN, et des escrocs en profitèrent pour vendre des pilules « anticomète » ...

Etude du mouvement de la comète

1. Analyse du texte (Analyser)

- 1.1. D'après le poème de Voltaire, quelle est la trajectoire d'une comète ?
- 1.2. Que signifie l'alexandrin "Remontez, descendez près de l'astre des jours" ?
- 1.3. Ces deux réponses sont-elles en accord avec la première loi de Kepler ? Justifier.

2. Analyse du mouvement (S'approprier)

- Le document en annexe représente la chronophotographie de la comète de Halley.
- 2.1. Sur le document en annexe, utiliser les données pour placer précisément la position du Soleil.
- 2.2. Justifier qualitativement que le mouvement de la comète autour du Soleil respecte la deuxième loi de Kepler.
- 2.3. Déterminer la valeur de la vitesse (en km.s^{-1}) de la comète en 1988 ainsi que celle en 1990.
- 2.4. Construire en annexe, avec soin, le vecteur accélération $\vec{a}$ en 1989. Que remarque-t-on ?
- 2.5. Parmi les trois relations ci-dessous, quelle est l'expression correcte du vecteur $\vec{a}$ de la comète ? Justifier.

Données : Dans le repère de Frenet centré sur la comète :

$$\textcircled{1} \quad \vec{a} = \frac{v}{r} \vec{u}_n + \frac{dv}{dt} \vec{u}_t$$

$$\textcircled{2} \quad \vec{a} = \frac{dv}{dt} \vec{u}_t$$

$$\textcircled{3} \quad \vec{a} = \frac{v}{r} \vec{u}_n$$

- Le vecteur unitaire $\vec{u}_n$ est normal à la trajectoire et centripète ;
- Le vecteur unitaire $\vec{u}_t$ est tangent à la trajectoire et dans le sens du mouvement.

- 2.6. Quelle est la principale force qui s'exerce sur la comète ? Calculer sa norme en 1989.

Données : Constante universelle de gravitation : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ usi}$; Masse du Soleil : $M_S = 2,0 \times 10^{30} \text{ kg}$

- 2.7. Représenter cette force en 1989 en précisant l'échelle.
- 2.8. Justifier que la deuxième loi de Newton est bien respectée.

3. Vers la troisième loi de Kepler (Valider)

- 3.1. Pour la comète de Halley, calculer le rapport $\frac{T}{A^3}$.
- 3.2. Calculer ce même rapport pour la Terre.
- 3.3. Que remarque-t-on ? Quelle conclusion peut-on tirer de ces calculs ?

Annexe Chimie

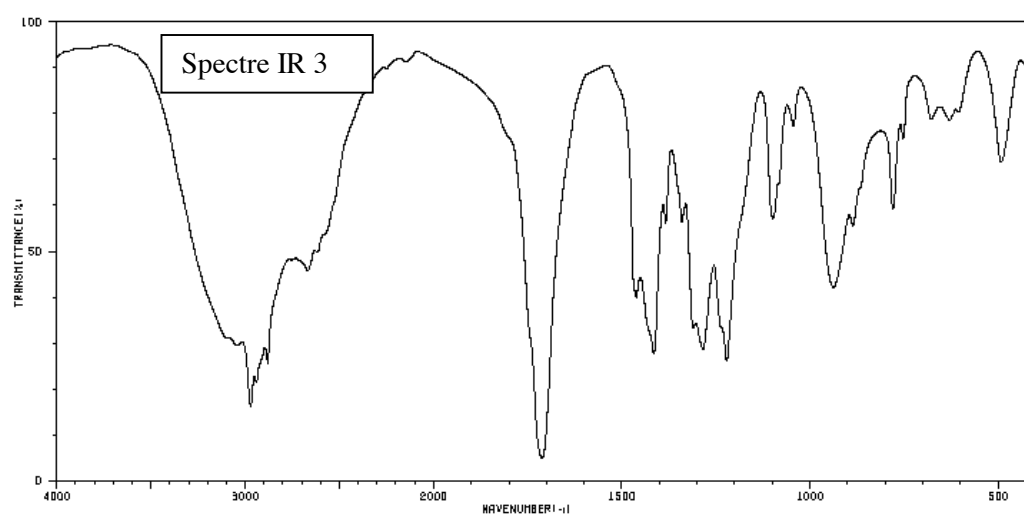
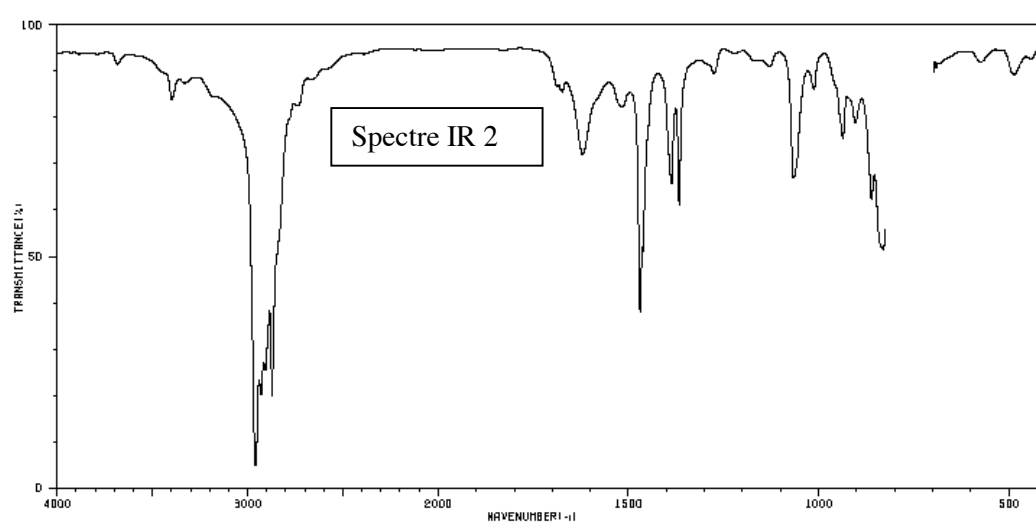
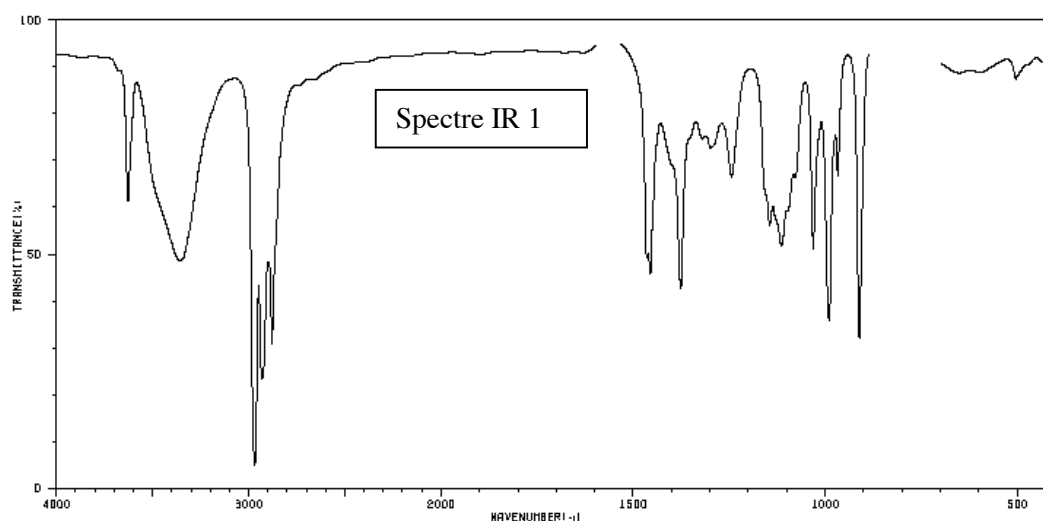
Annexe 1



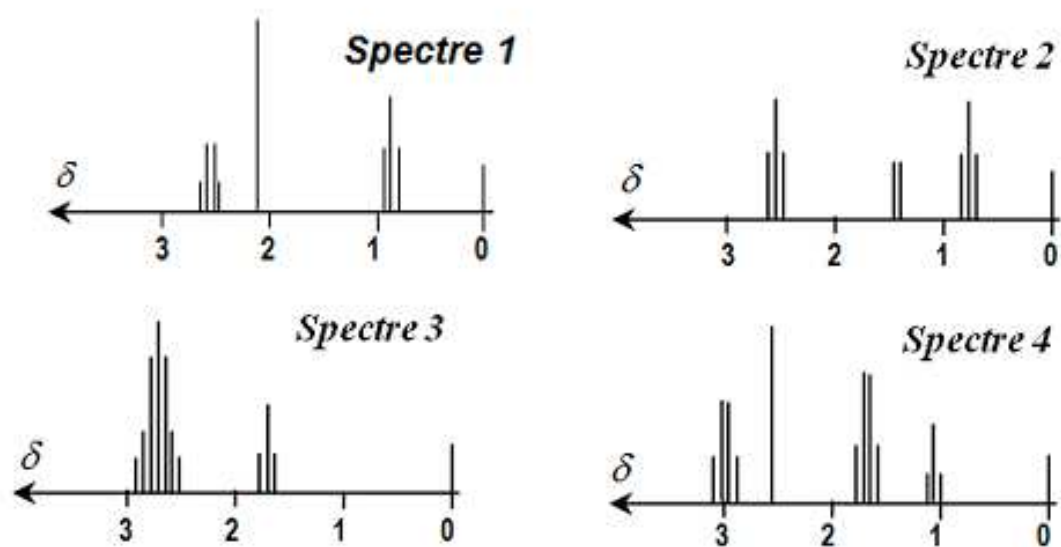
Annexe 2

Type de liaison	nombre d'onde (cm ⁻¹)	largeur de la bande	Intensité d'absorption
O-H en phase gazeuse	3500-3700	fine	moyenne
O-H en phase condensée	3200-3400	large	forte
N-H en phase gazeuse	3300-3500	fine	faible
N-H en phase condensée	3100-3300	large	forte
C-H	2900-3100	large	moyenne à forte
C=O	1700-1800	fine	forte
C=C	1500-1700	variable	moyenne à forte

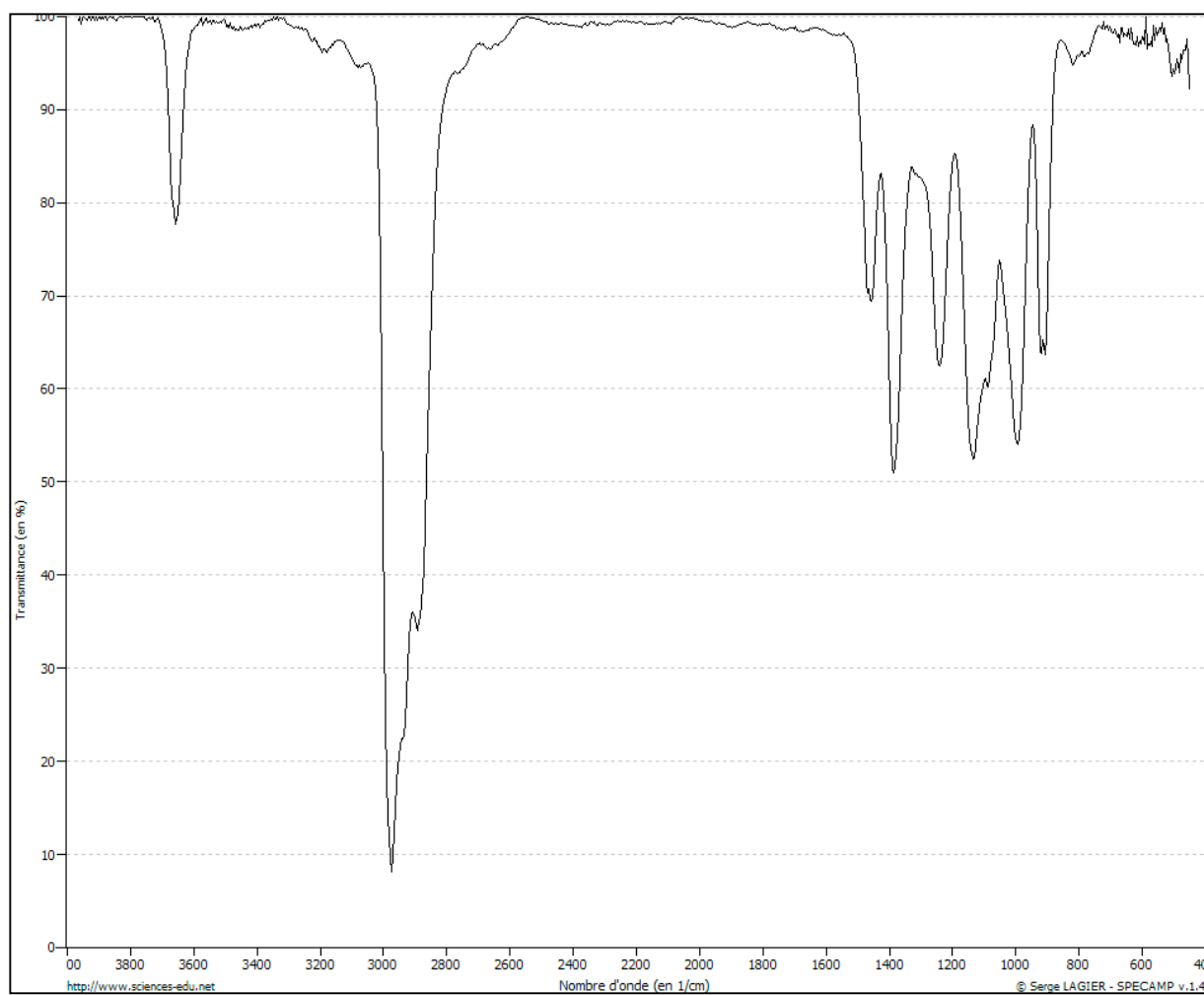
Annexe 3



ANNEXE 4 CHIMIE



Annexe 5



NOM :

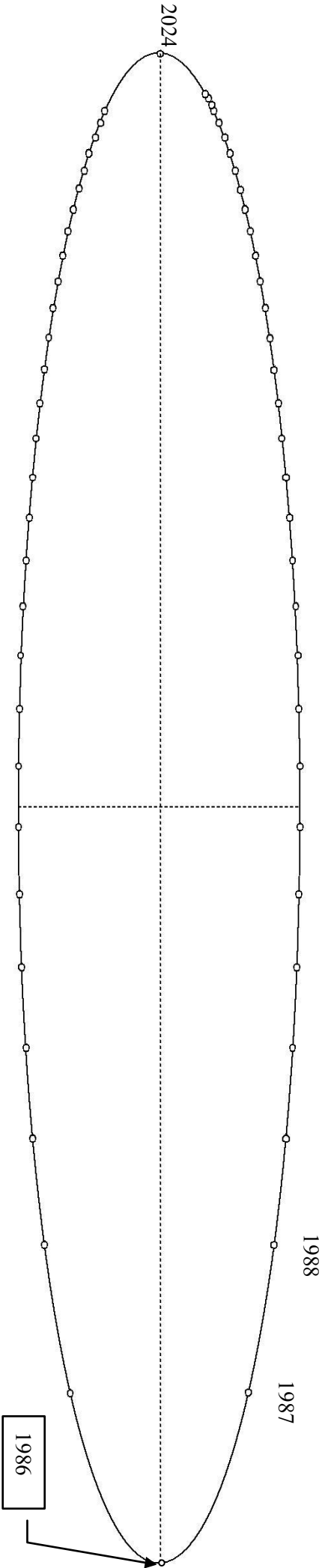
Prénom :

Classe : TS

Chronophotographie de la trajectoire de la comète de Halley

Echelles : Intervalle de temps : $\tau = 1$ an (soit $\approx 365,25$ jours)

Distance : 1 cm $\leftrightarrow$ 200 millions de km



Caractéristiques de la comète :

Masse : $\approx 10^{14}$ kg

Diamètre du noyau : ≈ 10 km

Période de révolution : $T = 76$ ans

Périhélie : $0,6$ u.a.

Aphélie : 35 u.a.

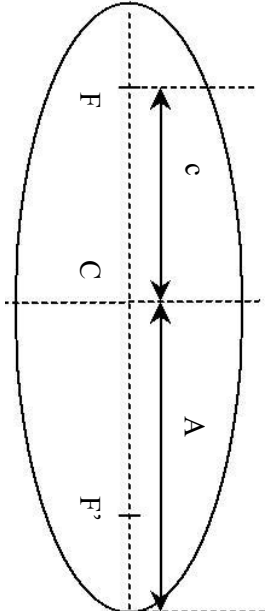
Excentricité : $e = c / A = 0,967$

Inclinaison sur l'écliptique : $162,2^\circ$ (mouvement rétrograde)

Remarques :

Une unité astronomique (u.a.) correspond à la distance Terre-Soleil, soit 150 millions de km environ.

Le périhélie est le point de l'orbite le plus proche du Soleil (par opposition à l'aphélie).



C : centre de l'ellipse

F et F' : foyers de l'ellipse

A : demi grand axe

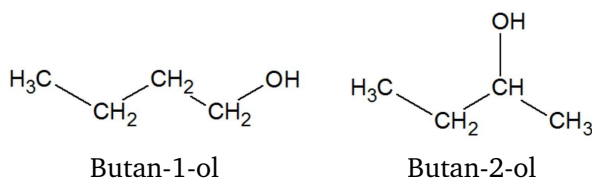
Corrigé du Bac Blanc n°3 – TS 2013

Exercice I – Identifier une molécule

1.1. Les groupes caractéristiques qui sont formés d'un seul atome d'oxygène sont :

- le groupe hydroxyle (fonction ou famille des alcools) $R-OH$;
- le groupe carbonyle (fonctions ou familles des aldéhydes $R=O$ ou des cétones $R-CO-R'$) ;
- le groupe ou fonction ou famille des éthers-oxydes $R-O-R'$ (ce dernier groupe étant hors programme, la réponse était facultative).

1.2. Formules semi-développées possibles pour les deux isomères du butanol :



Formule brute correspondante : $C_4H_{10}O$.

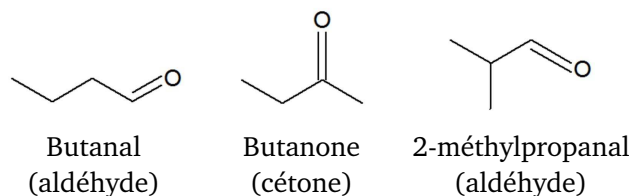
1.3. On constate que A a deux atomes d'hydrogène en moins par rapport au butanol ; par conséquent, afin de conserver toujours quatre liaisons à chacun des atomes de carbone et deux liaisons à l'atome d'oxygène tel que l'impose la règle de l'octet, il faut soit insérer quelque part dans la molécule une double liaison, soit créer un cycle. Or l'énoncé indique que la molécule n'est pas cyclique, par conséquent la molécule A comporte une double liaison $C=C$ ou $C=O$.

2.1. Sur le spectre IR de l'annexe, on observe, de gauche à droite :

- l'absence de bande fine entre 3500 cm^{-1} et 3700 cm^{-1} qui pourrait correspondre à une liaison $O-H$ libre ou de bande large entre 3200 cm^{-1} et 3400 cm^{-1} qui pourrait correspondre à une liaison $O-H$ liée : il n'y a donc pas de liaison $O-H$;
- une bande large d'intensité moyenne vers 2900 cm^{-1} que l'on peut attribuer à une liaison $C-H$; ceci ne rajoute aucun renseignement supplémentaire ;
- une bande fine d'intensité forte vers 1700 cm^{-1} que l'on peut attribuer à une liaison $C=O$;
- une succession de bandes difficile à interpréter et que l'on nomme « empreinte digitale ».

En conclusion, la molécule A contient le groupe carbonyle $C=O$, il s'agit donc soit d'un aldéhyde soit d'une cétone.

2.2. La molécule n'étant pas cyclique, on part d'une chaîne carbonée linéaire, que l'on ramifie pour trouver les différents isomères (dits isomères « de chaîne »). Sur cette chaîne, on place ensuite la fonction carbonyle, soit aux extrémités (aldéhyde), soit au centre (cétones).



En ce qui concerne les noms des molécules, il est inutile de préciser les indices de position des fonctions chimiques dans nos trois cas, car il s'agit à chaque fois du seul isomère « de position » de la fonction chimique correspondante.

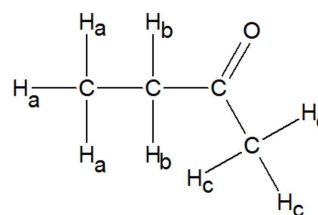
En ce qui concerne les formules topologiques, on rappelle qu'il ne faut représenter aucune liaison $C-H$ et que seuls les atomes autres que C et H sont explicitement indiqués (à l'exception des hydrogènes portés par une fonction chimique).

2.3. Des molécules isomères ont même formule brute, mais des formules développées différentes.

On constate que les trois molécules précédentes sont isomères, elles partagent la même formule brute C_4H_8O .

3.1. L'énoncé, dans sa grande mansuétude, rappelle le résultat de Première S comme quoi l'oxydation ménagée d'un alcool secondaire B conduit à une cétone A. Dans les trois molécules isomères précédentes, seule la deuxième est une cétone : la molécule A est donc la butanone.

3.2. Dans la formule développée suivante, les protons équivalents sont mis en exergue par une lettre :



On a ainsi trois groupes de protons équivalents : ceux de gauche, marqués (a), ceux du deuxième carbone, marqués (b), et ceux de droite, marqués (c).

3.3. Le groupe des trois protons équivalents (a) a deux protons voisins, donc ils vont former un triplet ;

Le groupe de deux protons équivalents (b) a trois protons voisins, ils vont former un quadruplet ;

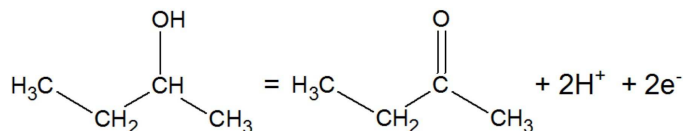
Le groupe de trois protons équivalents (c) n'a aucun proton voisin, ils forment un singulet.

Le seul spectre compatible est donc le spectre n°1 (où le singulet à $\delta = 0$ ppm correspond à la référence).

3.4. La grandeur δ est nommée « déplacement chimique ».

3.5. Il est facile de trouver la formule de la molécule B, connaissant le produit A formé par oxydation. Il s'agit

d'une simple demi-équation d'oxydoréduction :



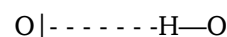
En tant qu'alcool en phase condensée, il doit comporter une bande large et intense entre $3\,200\text{ cm}^{-1}$ et $3\,400\text{ cm}^{-1}$. Seuls les spectres 1 et 3 présentent une telle bande. Il faut néanmoins éliminer le spectre 3, car il présente une bande fine d'intensité forte vers $1\,700\text{ cm}^{-1}$ que l'on peut attribuer à une liaison $\text{C}=\text{O}$, absente de la molécule d'alcool B.

- 3.6. Le spectre 2 présente une bande large et intense entre $2\,800$ et $3\,000\text{ cm}^{-1}$, caractéristique de la liaison $\text{N}-\text{H}$ en phase condensée (avec visiblement un petit déplacement chimique). Il s'agit de la famille des amines.

Le spectre 3 présente, comme indiqué précédemment, des bandes qui permettent d'identifier les liaisons $\text{C}=\text{O}$ et $\text{O}-\text{H}$. Il s'agit de la famille des alcools

(groupe hydroxyle $\text{O}-\text{H}$) et des aldéhydes ou des cétones (groupe carbonyle $\text{C}=\text{O}$).

- 4.1. On constate que les liaisons $\text{O}-\text{H}$ sont libres dans le cas de l'annexe 5, avec une bande d'absorption fine et d'intensité moyenne, alors qu'elles sont liées dans le cas du spectre n°1 de l'annexe 3, avec une bande large d'intensité forte.
- 4.2. En phase condensée, c'est-à-dire en phase liquide (ou même solide), les molécules forment entre elles des liaisons hydrogènes, liaisons faibles non covalentes, qui élargissent les bandes d'absorption. Ces liaisons se forment entre un doublet non liant porté par un oxygène et un hydrogène porté par un oxygène. La liaison hydrogène est alignée avec le doublet non liant et la liaison $\text{O}-\text{H}$, et représentée en pointillés :



En phase gazeuse, les liaisons hydrogènes ne peuvent pas se former et la bande due à la liaison $\text{O}-\text{H}$ est fine et d'intensité moyenne.

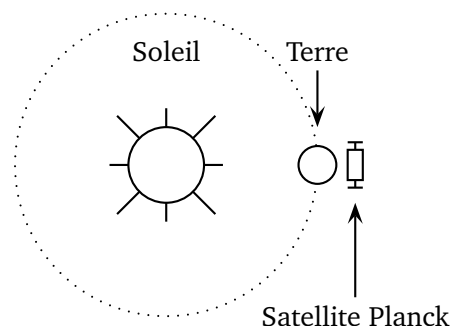
Corrigé du Bac Blanc n°3 – TS 2013 Exercice II – Le satellite Planck

1. Le satellite Planck a été mis en orbite, en 2009, par Ariane 5. Il est équipé de différents capteurs permettant de détecter le rayonnement électromagnétique en provenance du fond cosmologique. Par un balayage systématique du ciel, il a pour mission de recueillir des informations sur l'origine de l'Univers et l'assemblage des galaxies. Le rayonnement électromagnétique détecté par le satellite est un rayonnement dit « fossile », émis par l'Univers se comportant comme un corps noir, quelques centaines de milliers d'années après le Big-Bang. Ce rayonnement provient de toutes les directions du ciel avec une intensité constante dans le temps. À cause de la dilatation de l'Univers, ce rayonnement correspond aujourd'hui au rayonnement d'un corps à la température de 3 K. D'après la loi de Wien :

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{A}{T} = \frac{2,9}{3} = 0,96\text{ mm}$$

Ce rayonnement a donc une longueur d'onde dans le vide de l'ordre de 1 mm, à la frontière entre infrarouge et ondes radio (document 4). Les rayonnements de cette longueur d'onde sont presque totalement absorbés par l'atmosphère terrestre, comme l'indique le document 2. Cela explique l'intérêt de placer les capteurs hors de l'atmosphère pour réaliser la cartographie de l'Univers. Ce rayonnement fossile a été émis par l'Univers primitif lorsqu'il est devenu transparent. L'intensité de ce rayonnement, capté par le satellite Planck, dépend donc de la densité de l'univers primitif dans la direction pointée. Cette observation permet ainsi de mesurer les inhomogénéités de densité de matière de l'Univers quelques centaines de milliers d'années après le Big-Bang, et donc de dresser une carte de l'Univers primordial.

- 2.



Selon la troisième loi de Képler,

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{cte}$$

où T est la période de révolution autour du Soleil et a le demi-grand axe de l'orbite.

La Terre et le satellite Planck, en orbite autour du Soleil, étant à des distances différentes, devraient avoir des périodes de révolution différentes. Ceci est en contradiction avec l'alignement des trois corps célestes à tout instant.

Plusieurs hypothèses sont possibles pour lever cette contradiction :

- La force gravitationnelle exercée par la Terre sur Planck n'est pas à négliger par rapport à la force exercée par le Soleil, la troisième loi de Kepler ne s'applique donc pas (système à trois corps) ;
- Le satellite est muni d'un système de propulsion (ce qui pourrait expliquer sa durée de vie faible, seulement quinze mois, les réserves de carburant d'un satellite étant par principe limitées).

- 1.1.** Voltaire indique explicitement à la troisième ligne de son poème que la trajectoire des comètes est elliptique.
- 1.2.** Par l'alexandrin « Remontez, descendez près de l'astre des jours », Voltaire illustre le fait que l'ellipse est très excentrique, la distance au Soleil au périhélie étant beaucoup plus petite que la distance à l'aphélie. Autrement dit, la comète passe très proche du Soleil lors du périhélie, pour s'en éloigner beaucoup lors de l'aphélie.
- 1.3.** La première loi de Képler indique que les trajectoires des corps en orbite autour du Soleil sont des ellipses dont le Soleil est l'un des foyers. Les réponses précédentes sont donc en parfait accord.
- 2.1.** Le document indique un passage de la comète de Halley proche du Soleil en 1759 et en 1911, et la légende de l'image indique un passage en 1986. Trouvons les autres années de passage, à partir de la période de révolution $T = 76$ ans donnée sur l'annexe :

Années de passage	
	1 759
$1\,759 + 76 =$	1 835
	1 911
	1 986
$1\,986 + 76 =$	2 062

Après cette première analyse et l'observation des pointés disponibles en annexe on trouve que la comète fut à son périhélie (point le plus proche) du Soleil en 1986 (une fois suffisamment proche du Soleil, la surface glacée de la comète fond et génère une queue de poussière opposée au vent solaire de particules chargées). Il faut donc placer le Soleil proche du point 1986.

L'annexe de l'exercice indique un périhélie de 0,6 unité astronomique (point 1986) et un aphélie de 35 unités astronomiques (point 2024), qui se trouve être le double du demi-grand axe A de l'ellipse $2A = 35 + 0,6 = 35,6$ u.a., ce qui va nous servir à établir l'échelle. En effet, cette distance mesure 26,6 cm sur la feuille de l'annexe. Par une règle de trois, on peut trouver la distance en centimètres entre le Soleil et la position 1986 sur le schéma de l'annexe :

$$0,6 \times \frac{26,6}{35,6} = 0,45 \text{ cm}$$

- 2.2.** On constate sur la figure de l'annexe que la comète passe très rapidement à son périhélie, et que son mouvement est plus lent à son aphélie. Ce mouvement varié permet au rayon vecteur $\overrightarrow{SC}$ reliant le centre S du Soleil (un des foyers de l'ellipse) et le centre C de la comète de balayer des aires égales pendant des durées égales. On a hachuré sur la figure annexe les aires balayées pendant une année, et

à défaut de calculer l'intégrale sous la courbe ainsi sous-tendue on se convaincra visuellement que ces deux aires sont bien égales. Ceci est conforme à la deuxième loi de Képler, qui énonce que le rayon vecteur balaye des aires égales pendant des durées égales.

- 2.3.** Pour déterminer (approximativement) la vitesse v_{1988} de la comète en 1988, on mesure la distance parcourue entre 1987 et 1989 (en tenant compte de la même échelle que précédemment), et l'on divise par deux années :

$$C_{1987}C_{1989} = 4,5 \text{ cm} \times \frac{35,6 \text{ u.a.}}{26,6 \text{ cm}} = 6,0 \text{ u.a.}$$

Dans le calcul de la vitesse, il ne faut pas omettre les conversions des unités astronomiques en kilomètres (150 millions de kilomètres pour une unité astronomique, donnée en annexe) et des années en seconde.

$$v_{1988} = \frac{C_{1987}C_{1989}}{1989 - 1987}$$

$$v_{1988} = \frac{6,0 \times 150 \times 10^6}{(1989 - 1987) \times 365,25 \times 24 \times 3\,600}$$

$$v_{1988} = 14 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

On trace le vecteur vitesse $\vec{v}_{1988}$ sur l'annexe, au point 1988, orienté dans le sens de la trajectoire, tangent à la trajectoire (en pratique, parallèle au segment 1987-1989), avec une échelle que l'on choisit : 1 cm pour $2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, donc un vecteur à tracer de 7,0 cm sur la figure (reproduite page suivante).

On effectue le même relevé entre 1989 et 1991 :

$$C_{1989}C_{1991} = 3,0 \text{ cm} \times \frac{35,6 \text{ u.a.}}{26,6 \text{ cm}} = 4,0 \text{ u.a.}$$

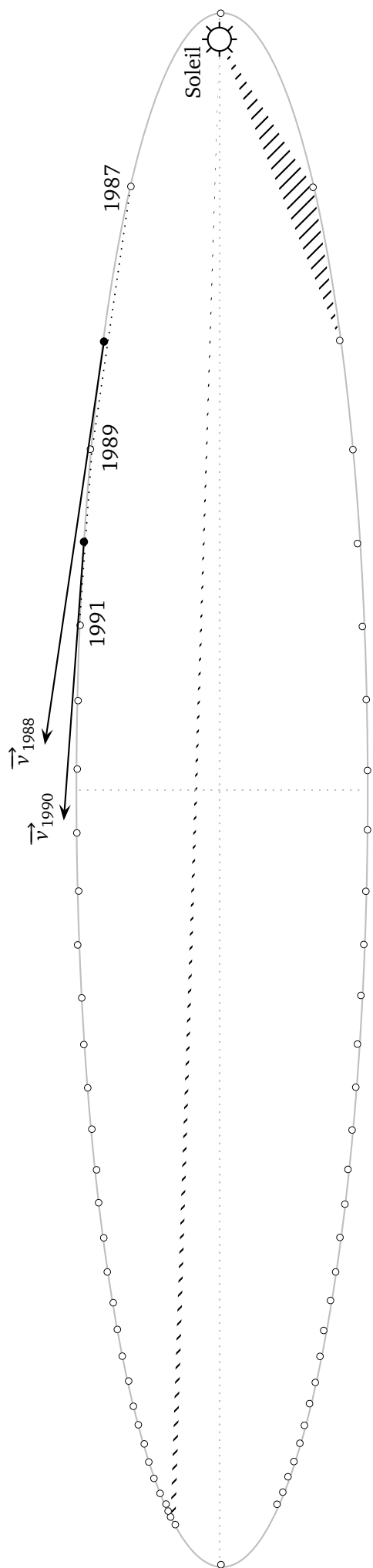
et le même calcul de la norme ou valeur de la vitesse :

$$v_{1990} = \frac{C_{1989}C_{1991}}{1991 - 1989}$$

$$v_{1990} = \frac{4,0 \times 150 \times 10^6}{(1991 - 1989) \times 365,25 \times 24 \times 3\,600}$$

$$v_{1990} = 9,5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

On construit de même le vecteur vitesse $\vec{v}_{1990}$ en 1990, dans le sens du mouvement, tangent à la trajectoire (en pratique, parallèle au segment 1989-1990). Avec la même échelle que précédemment, le vecteur à tracer fait 4,8 cm de longueur.

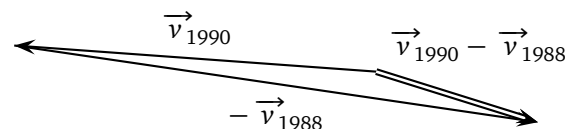


2.4. On peut construire le vecteur accélération $\vec{a}_{1989}$ à

partir des vecteurs vitesse $\vec{v}_{1988}$ et $\vec{v}_{1990}$:

$$\vec{a}_{1989} = \frac{\vec{v}_{1990} - \vec{v}_{1988}}{1990 - 1988}$$

Sur la figure de l'annexe, on soustrait les vecteurs $\vec{v}_{1990}$ et $\vec{v}_{1988}$:

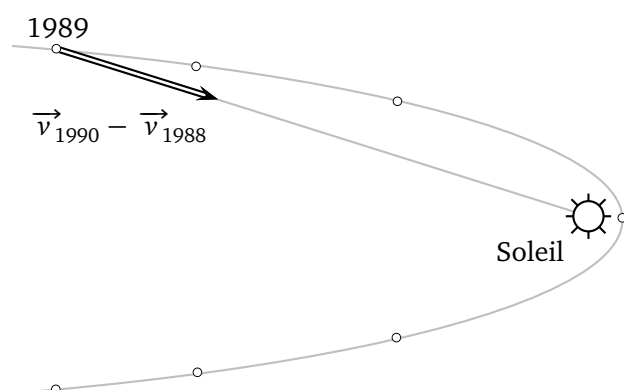


Et l'on mesure la longueur du vecteur vitesse résultant (2,2 cm), ce qui donne en tenant compte de l'échelle :

$$\|\vec{v}_{1990} - \vec{v}_{1988}\| = 2,2 \text{ cm} \times \frac{2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}}{1 \text{ cm}}$$

$$\|\vec{v}_{1990} - \vec{v}_{1988}\| = 4,4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

Placé au point 1989 de la comète, ce vecteur est orienté vers le centre du Soleil, ce qui est logique puisqu'il s'agit de l'astre attracteur. Seule une construction très soignée, au demi-millimètre près, permet d'obtenir ce beau résultat sans tricher :



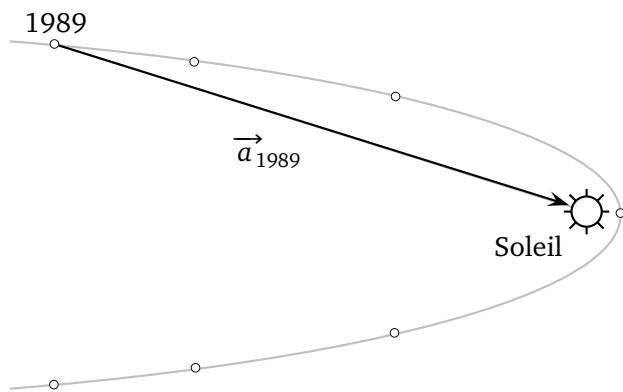
Le calcul de la norme du vecteur $\vec{a}_{1989}$ ne pose pas de problème dès lors que l'on n'omet pas de convertir les durées en seconde :

$$a_{1989} = \frac{\|\vec{v}_{1990} - \vec{v}_{1988}\|}{1990 - 1988}$$

$$a_{1989} = \frac{4,4 \times 10^3}{(1990 - 1989) \times 365,25 \times 24 \times 3600}$$

$$a_{1989} = 7,0 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

On trace le vecteur accélération $\vec{a}_{1989}$ sur l'annexe, au point 1989, orienté vers l'intérieur de la trajectoire, avec une échelle que l'on choisit : 1 cm pour $1 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, donc un vecteur à tracer de 7,0 cm sur la figure (reproduite ci-dessous).



- 2.5. Aucune des trois relations n'était correcte. En fait, il manquait le carré sur la composante normale v^2/r . En rajoutant le carré là où il est manquant, la relation correcte est la ① :

$$\vec{a} = \frac{v^2}{r} \vec{u}_n + \frac{dv}{dt} \vec{u}_t$$

C'est d'ailleurs l'expression la plus générale. L'expression ② ne vaut que pour un mouvement rectiligne varié, et l'expression ③ pour un mouvement circulaire (avec le carré sur v^2).

- 2.6. En négligeant le vent solaire s'exerçant sur les glaces fondues de la comète et cause de l'apparition d'une queue, la force principale qui s'exerce est l'attraction gravitationnelle exercée par le Soleil :

$$\vec{F}_{S/C} = G \frac{M_C M_S}{r^2} \vec{u}$$

Où le vecteur unitaire $\vec{u}$ est orienté de la comète vers le Soleil (il ne s'identifie pas avec le vecteur normal $\vec{u}_n$ de la base de Frenet, car le mouvement n'est pas circulaire). Sa norme s'exprime par :

$$F_{S/C} = G \frac{M_C M_S}{r^2}$$

On mesure la distance $r = SC$ entre le Soleil et la comète sur la figure : 7,4 cm, donc toujours avec la même échelle pour les longueurs :

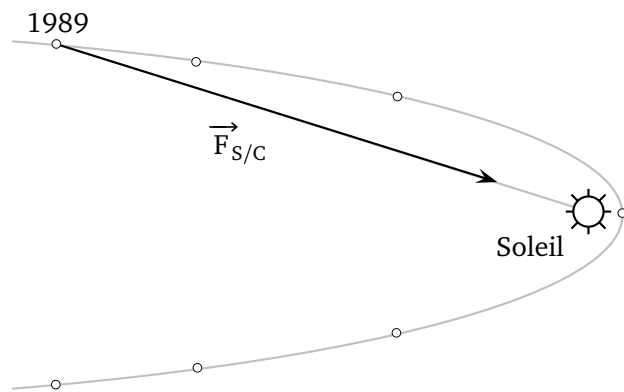
$$r = 7,4 \text{ cm} \times \frac{36,5 \text{ u.a.}}{26,6 \text{ cm}} = 9,9 \text{ u.a.}$$

Pour le calcul de la norme, il ne faut pas omettre de convertir cette distance en mètres :

$$F_{S/C} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{10^{14} \times 2,0 \times 10^{30}}{(9,9 \times 150 \times 10^9)^2}$$

$$F_{S/C} = 6 \times 10^9 \text{ N}$$

- 2.7. On représente le vecteur force $\vec{F}_{S/C}$ avec une échelle de 1 cm pour 10^9 N , donc un vecteur de 6 cm de longueur, de point d'application 1989, de droite d'action le segment CS reliant la comète C au Soleil S, orienté de C vers S :



- 2.8. Toujours en négligeant les forces autres que la force d'interaction gravitationnelle entre la comète et le Soleil, et en supposant le référentiel héliocentrique comme galiléen, la deuxième loi de Newton appliquée au système {comète} s'écrit :

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

La quantité de mouvement (ou « impulsion » en anglais) s'écrit $\vec{p} = M_C \vec{v}$, et en considérant la masse M_C comme constante en première approximation (car en réalité la comète perd de la matière, arrachée par le vent solaire) :

$$\Rightarrow \sum \vec{F}_{\text{ext}} = M_C \frac{d\vec{v}}{dt} = M_C \vec{a}$$

En remplaçant la résultante par la force d'interaction gravitationnelle, supposée prédominante :

$$\Rightarrow \vec{F}_{S/C} = M_C \vec{a}$$

En projetant sur le segment CS reliant la comète C au centre S du Soleil :

$$\Rightarrow F_{S/C} = M_C a$$

Les deux variables $F_{S/C}$ et a ont été calculés aux questions précédentes pour le point 1989, on les compare :

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{S/C} = 6 \times 10^9 \text{ N} \\ M_C a_{1989} = 10^{14} \times 7,0 \times 10^{-5} \\ \quad = 7,0 \times 10^9 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \end{array} \right.$$

On constate un écart en pourcentage de :

$$\frac{7,0 - 6}{6} = 0,17 = 17\%$$

Ce qui est acceptable au regard des imprécisions dans le calcul de a_{1989} à partir des tracés sur l'annexe. La deuxième loi de Newton est bien respectée.

- 3.1.** Encore une fois comme signalé le carré était aux abonnés absents. Cela compliquait légèrement le sujet pour quiconque n'aurait pas été sûr et certain de ses formules. En bref, il faut calculer :

$$\frac{T^2}{A^3} = \frac{76^2}{\left(\frac{35+0,6}{2}\right)^3} = 1,0 \text{ an}^2 \cdot \text{u.a.}^{-3}$$

On remarque que je ne me suis pas trop embêté avec une quelconque conversion d'unités, mais qu'en revanche j'ai pris soin de préciser l'unité de la constante de la troisième loi de Képler. Pour ceux qui seraient repassés en unités du Système International :

$$\frac{T^2}{A^3} = \frac{(76 \times 365,25 \times 24 \times 3\,600)^2}{\left(\frac{35+0,6}{2} \times 150 \times 10^9\right)^3}$$

$$\frac{T^2}{A^3} = 3,0 \times 10^{-19} \text{ s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$$

- 3.2.** Calculons le même rapport pour la Terre, dont le rayon de l'orbite vaut une unité astronomique et la période, une année :

$$\frac{T^2}{A^3} = \frac{1^2}{1^3} = 1 \text{ an}^2 \cdot \text{u.a.}^{-3}$$

ou encore, en unités du Système International :

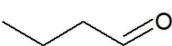
$$\frac{T^2}{A^3} = \frac{(1 \times 365,25 \times 24 \times 3\,600)^2}{(1 \times 150 \times 10^9)^3}$$

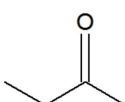
$$\frac{T^2}{A^3} = 3 \times 10^{-19} \text{ s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$$

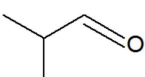
- 3.3.** On remarque que la comète de Halley et la Terre ont une constante de la troisième loi de Képler identique. On peut en conclure que les deux corps sont satellisés autour du même astre attracteur, le Soleil, ce dont on n'a pas douté une seconde depuis le début de ce problème.

★ ★
★

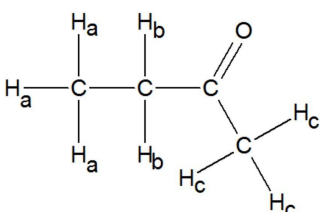
- ☐ Hydroxyle ou carbonyle
- ☐ Formules semi-développées butan-1-ol + $C_4H_{10}O$
- ☐ 2 H de moins donc forcément 1 insaturation
- ☐ Spectre : pas de liaison O – H
- ☐ Spectre : une liaison C = O
- ☐ Donc carbonyle : aldéhyde ou cétone (ici ou 1.1)

☐ Butanal 

☐ Butanone 

☐ 2-méthylpropanal 

- ☐ Définition isomères + δ déplacement chimique
- ☐ A butanone car B alcool secondaire, expliqué

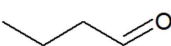
☐ Protons équivalents 

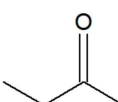
- ☐ Triplet, quadruplet et singulet, donc spectre n°1
- ☐ Alcool lié donc spectres 1 ou 3
- ☐ Spectre 3 éliminé car bande C = O
- ☐ Spectre 2 amine, justifié
- ☐ O – H libre car bande fine et moyenne
- ☐ Liaisons hydrogènes en phase condensée

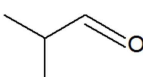
Total .../18

Note .../6

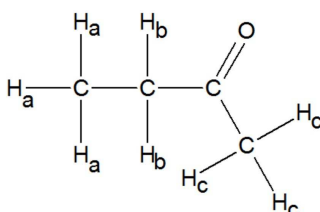
- ☐ Hydroxyle ou carbonyle
- ☐ Formules semi-développées butan-1-ol + $C_4H_{10}O$
- ☐ 2 H de moins donc forcément 1 insaturation
- ☐ Spectre : pas de liaison O – H
- ☐ Spectre : une liaison C = O
- ☐ Donc carbonyle : aldéhyde ou cétone (ici ou 1.1)

☐ Butanal 

☐ Butanone 

☐ 2-méthylpropanal 

- ☐ Définition isomères + δ déplacement chimique
- ☐ A butanone car B alcool secondaire, expliqué

☐ Protons équivalents 

- ☐ Triplet, quadruplet et singulet, donc spectre n°1
- ☐ Alcool lié donc spectres 1 ou 3
- ☐ Spectre 3 éliminé car bande C = O
- ☐ Spectre 2 amine, justifié
- ☐ O – H libre car bande fine et moyenne
- ☐ Liaisons hydrogènes en phase condensée

Total .../18

Note .../6

Grille Exo II BB3 TS 2013

- ☐ Présentation du satellite (année, lancement...)
- ☐ Mission : des informations sur l'origine de l'Univers
- ☐ Source : l'Univers primitif devenu transparent
- ☐ Nature : rayonnement électromagnétique
- ☐ Intensité : constante au cours du temps
- ☐ Direction : provient de toutes les directions du ciel
- ☐ Loi de Wien : $\lambda_{\max} = A/T$
- ☐ Corps noir à 3 K donc $T = 3 \text{ K}$
- ☐ $\lambda_{\max} = 1 \text{ mm}$
- ☐ Rayonnement à la frontière entre IR et onde radio
- ☐ L'atmosphère est totalement opaque à ce λ
- ☐ Donc nécessité de capter hors atmosphère
- ☐ Conclusion : le rayonnement fossile donne des infos
- ☐ Conclusion : sur l'Univers primordial
- ☐ Conclusion : dresser une carte des inhomogénéités
- ☐ Soins apportés à la rédaction
- ☐ Schéma Soleil-Terre-Satellite Planck
- ☐ $T^2/a^3 = \text{cte}$ ou énoncé
- ☐ $T^2/a^3 = \text{cte}$ ou énoncé
- ☐ Or distances différentes donc périodes différentes
- ☐ Or distances différentes donc périodes différentes
- ☐ Donc contradiction
- ☐ Deux hypothèses pour lever la contradiction
- ☐ Deux hypothèses pour lever la contradiction

Total .../24
Note .../6

Grille Exo II BB3 TS 2013

- ☐ Présentation du satellite (année, lancement...)
- ☐ Mission : des informations sur l'origine de l'Univers
- ☐ Source : l'Univers primitif devenu transparent
- ☐ Nature : rayonnement électromagnétique
- ☐ Intensité : constante au cours du temps
- ☐ Direction : provient de toutes les directions du ciel
- ☐ Loi de Wien : $\lambda_{\max} = A/T$
- ☐ Corps noir à 3 K donc $T = 3 \text{ K}$
- ☐ $\lambda_{\max} = 1 \text{ mm}$
- ☐ Rayonnement à la frontière entre IR et onde radio
- ☐ L'atmosphère est totalement opaque à ce λ
- ☐ Donc nécessité de capter hors atmosphère
- ☐ Conclusion : le rayonnement fossile donne des infos
- ☐ Conclusion : sur l'Univers primordial
- ☐ Conclusion : dresser une carte des inhomogénéités
- ☐ Soins apportés à la rédaction
- ☐ Schéma Soleil-Terre-Satellite Planck
- ☐ $T^2/a^3 = \text{cte}$ ou énoncé
- ☐ $T^2/a^3 = \text{cte}$ ou énoncé
- ☐ Or distances différentes donc périodes différentes
- ☐ Or distances différentes donc périodes différentes
- ☐ Donc contradiction
- ☐ Deux hypothèses pour lever la contradiction
- ☐ Deux hypothèses pour lever la contradiction

Total .../24
Note .../6

Grille Exo III BB3 TS 2013

- ☐ Trajectoire elliptique + très excentrique
- ☐ Accord première loi de Képler, énoncée
- ☐ Soleil à 0,45 cm de 1986, justifié très soigneusement
- ☐ Accord deuxième loi de Képler, énoncée
- ☐ $v_{1988} = C_{1987}C_{1989}/1989 - 1987$
- ☐ $v_{1988} = 14 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- ☐ $v_{1990} = 9,5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- ☐ Annexe : Construction $\vec{v}_{1990} - \vec{v}_{1988}$
- ☐ $a_{1989} = ||\vec{v}_{1990} - \vec{v}_{1988}||/1990 - 1988$
- ☐ $a_{1989} = 7,0 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- ☐ Annexe : Vecteur $\vec{a}_{1989}$ selon SC pointant vers S
- ☐ Formule ① avec un carré sur v , justifié
- ☐ $F_{S/C} = 6 \times 10^9 \text{ N}$
- ☐ Annexe : Vecteur $\vec{F}_{S/C}$
- ☐ Vérification 2^{ème} loi de Newton
- ☐ Comète $1,0 \text{ an}^2 \cdot \text{u.a.}^{-3}$ ou $3,0 \times 10^{-19} \text{ s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$
- ☐ Terre idem
- ☐ Même astre attracteur

Total .../18
Note .../4

Grille Exo III BB3 TS 2013

- ☐ Trajectoire elliptique + très excentrique
- ☐ Accord première loi de Képler, énoncée
- ☐ Soleil à 0,45 cm de 1986, justifié très soigneusement
- ☐ Accord deuxième loi de Képler, énoncée
- ☐ $v_{1988} = C_{1987}C_{1989}/1989 - 1987$
- ☐ $v_{1988} = 14 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- ☐ $v_{1990} = 9,5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- ☐ Annexe : Construction $\vec{v}_{1990} - \vec{v}_{1988}$
- ☐ $a_{1989} = ||\vec{v}_{1990} - \vec{v}_{1988}||/1990 - 1988$
- ☐ $a_{1989} = 7,0 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- ☐ Annexe : Vecteur $\vec{a}_{1989}$ selon SC pointant vers S
- ☐ Formule ① avec un carré sur v , justifié
- ☐ $F_{S/C} = 6 \times 10^9 \text{ N}$
- ☐ Annexe : Vecteur $\vec{F}_{S/C}$
- ☐ Vérification 2^{ème} loi de Newton
- ☐ Comète $1,0 \text{ an}^2 \cdot \text{u.a.}^{-3}$ ou $3,0 \times 10^{-19} \text{ s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$
- ☐ Terre idem
- ☐ Même astre attracteur

Total .../18
Note .../4

Grille Exo III BB3 TS 2013

- ☐ Trajectoire elliptique + très excentrique
- ☐ Accord première loi de Képler, énoncée
- ☐ Soleil à 0,45 cm de 1986, justifié très soigneusement
- ☐ Accord deuxième loi de Képler, énoncée
- ☐ $v_{1988} = C_{1987}C_{1989}/1989 - 1987$
- ☐ $v_{1988} = 14 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- ☐ $v_{1990} = 9,5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- ☐ Annexe : Construction $\vec{v}_{1990} - \vec{v}_{1988}$
- ☐ $a_{1989} = ||\vec{v}_{1990} - \vec{v}_{1988}||/1990 - 1988$
- ☐ $a_{1989} = 7,0 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- ☐ Annexe : Vecteur $\vec{a}_{1989}$ selon SC pointant vers S
- ☐ Formule ① avec un carré sur v , justifié
- ☐ $F_{S/C} = 6 \times 10^9 \text{ N}$
- ☐ Annexe : Vecteur $\vec{F}_{S/C}$
- ☐ Vérification 2^{ème} loi de Newton
- ☐ Comète $1,0 \text{ an}^2 \cdot \text{u.a.}^{-3}$ ou $3,0 \times 10^{-19} \text{ s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$
- ☐ Terre idem
- ☐ Même astre attracteur

Total .../18
Note .../4

Grille Exo III BB3 TS 2013

- ☐ Trajectoire elliptique + très excentrique
- ☐ Accord première loi de Képler, énoncée
- ☐ Soleil à 0,45 cm de 1986, justifié très soigneusement
- ☐ Accord deuxième loi de Képler, énoncée
- ☐ $v_{1988} = C_{1987}C_{1989}/1989 - 1987$
- ☐ $v_{1988} = 14 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- ☐ $v_{1990} = 9,5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- ☐ Annexe : Construction $\vec{v}_{1990} - \vec{v}_{1988}$
- ☐ $a_{1989} = ||\vec{v}_{1990} - \vec{v}_{1988}||/1990 - 1988$
- ☐ $a_{1989} = 7,0 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- ☐ Annexe : Vecteur $\vec{a}_{1989}$ selon SC pointant vers S
- ☐ Formule ① avec un carré sur v , justifié
- ☐ $F_{S/C} = 6 \times 10^9 \text{ N}$
- ☐ Annexe : Vecteur $\vec{F}_{S/C}$
- ☐ Vérification 2^{ème} loi de Newton
- ☐ Comète $1,0 \text{ an}^2 \cdot \text{u.a.}^{-3}$ ou $3,0 \times 10^{-19} \text{ s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$
- ☐ Terre idem
- ☐ Même astre attracteur

Total .../18
Note .../4