# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

**SESSION 2026**

# PHYSIQUE-CHIMIE

## JOUR 2

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

*L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.*
*L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.*

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 15 pages numérotées de 1/15 à 15/15.

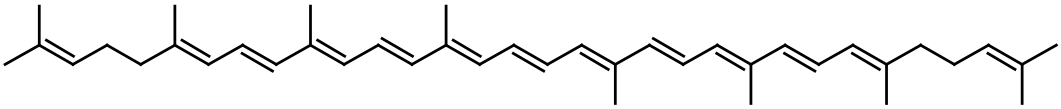
**Les annexes pages 14 et 15 sont à rendre avec la copie.**

## Exercice 1 – La tomate, un fruit plein de ressources (9 points)



La tomate est un fruit originaire d'Amérique du Sud. Consommée crue ou cuite, elle est devenue incontournable dans de nombreuses gastronomies. Elle est une source remarquable en antioxydants comme le lycopène et les vitamines A et C.

Dans cet exercice, on étudie l'effet protecteur sur l'organisme des antioxydants de la tomate, plus particulièrement de l'un d'entre eux, le lycopène, dont la formule topologique est donnée ci-dessous :



### 1. Extraction du lycopène de la tomate

Le lycopène est le principal antioxydant présent dans la tomate et c'est aussi le pigment qui participe à sa couleur. On cherche à extraire le lycopène de la tomate afin de l'utiliser ensuite comme réactif dans la synthèse de molécules organiques.

**Données :**

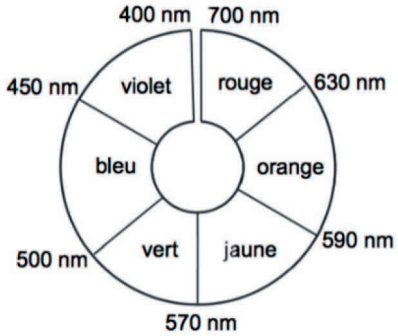
- masse molaire moléculaire du lycopène : $M_{\text{lycopène}} = 536\ \text{g·mol}^{-1}$ ;
- tableau comparatif de propriétés physico-chimiques de différents solvants (à 20 °C) :

| Solvant | Eau | Éthanol | Acétate d'éthyle | Dichlorométhane |
|---|---|---|---|---|
| Miscibilité avec l'eau | Totale | Totale | Faible | Nulle |
| Densité | 1,00 | 0,79 | 0,90 | 1,33 |
| Solubilité du lycopène | Très faible | Moyenne | Très grande | Très grande |
| Pictogrammes de sécurité | – |  |  |  |

- données de spectroscopie infrarouge :

| Liaison | O–H | C–H | C=C | C=O |
|---|---|---|---|---|
| Nombre d'onde (en $\text{cm}^{-1}$) | 3200 – 3700 | 2850 – 3100 | 1620 – 1680 | 1650 – 1730 |
| Allure de la bande caractéristique | Forte et large | Forte | Faible et fine | Forte et fine |

- cercle chromatique :




Le protocole d'extraction du lycopène de la tomate mis en œuvre est le suivant :

- broyer finement 25 g de tomate fraîche puis ajouter 50 mL d'eau distillée et 75 mL d'acétate d'éthyle ;
- laisser macérer sous agitation pendant une dizaine de minutes ;
- filtrer sous vide puis transvaser le filtrat dans une ampoule à décanter ;
- récupérer la phase organique et l'introduire dans une fiole jaugée de 100 mL. Compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'acétate d'éthyle pour obtenir une solution notée $S_1$.

**Q1.** Donner deux arguments en faveur de l'utilisation de l'acétate d'éthyle comme solvant d'extraction du lycopène de la tomate.

**Q2.** Réaliser le schéma de l'ampoule à décanter après décantation et indiquer les positions relatives des phases organique et aqueuse en précisant dans quelle phase se situe le lycopène.

On dispose d'une solution de référence contenant du lycopène, de concentration $C_0 = 1{,}8\times10^{-5}$ mol·L$^{-1}$, notée $S_0$. Pour déterminer la masse de lycopène extraite de la tomate contenue dans la solution $S_1$, on réalise d'une part le spectre UV-visible de la solution de référence $S_0$ et d'autre part celui de la solution $S_1$. Les spectres obtenus sont présentés sur la figure 1.

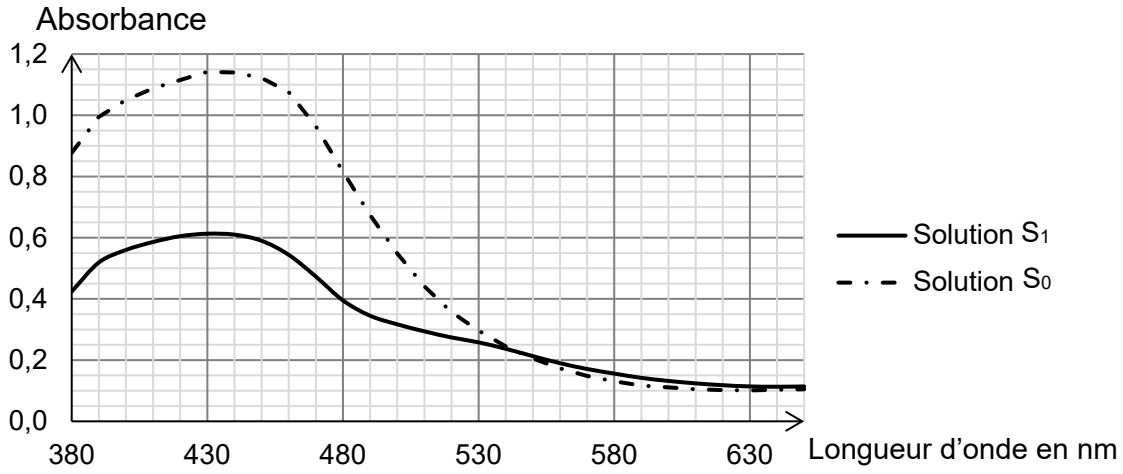



Figure 1. Spectres d'absorption des solutions $S_0$ et $S_1$

**Q3.** Justifier la couleur jaune de la solution $S_0$.

**Q4.** En utilisant la loi de Beer-Lambert, montrer que la concentration en lycopène dans la solution $S_1$ est proche de $C_1 = 0{,}95\times10^{-5}$ mol·L$^{-1}$.

**Q5.** En déduire la masse de lycopène extraite. Commenter, sachant que 100 g de tomate fraîche contiennent quelques milligrammes de lycopène.

## 2. Le lycopène, une espèce chimique pleine de ressources

Au laboratoire, on peut synthétiser de nouveaux antioxydants à partir du lycopène. L'espèce (1) ci-dessous est obtenue au laboratoire à partir du lycopène. Elle est elle-même employée comme réactif de la synthèse de l'espèce (2), connue pour son pouvoir antioxydant encore plus grand que celui du lycopène.

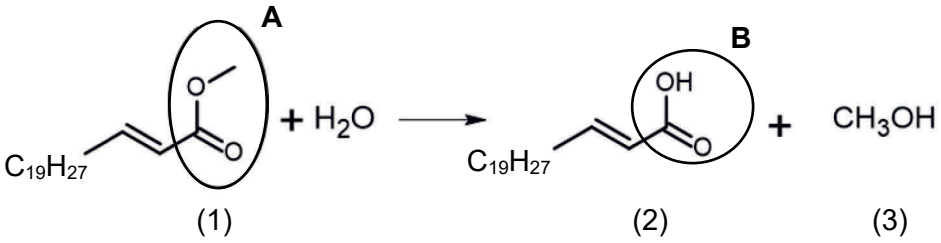



Figure 2. Équation de la réaction de synthèse de l'espèce (2) à partir de l'espèce (1)

**Q6.** Nommer les familles chimiques associées aux groupes caractéristiques **A** et **B** entourés sur la figure 2.

**Q7.** Choisir la catégorie de réaction qui correspond à l'équation représentée en figure 2, parmi les catégories de réaction suivantes : substitution, élimination ou addition. Justifier.

**Q8.** Expliquer en quoi l'étude comparative des spectres IR du réactif (1) et du produit obtenu, isolé après purification et séchage, permettrait de vérifier que la synthèse a bien eu lieu.

### 3. Modélisation des propriétés antioxydantes de la tomate

Dans le corps humain, la dégradation des molécules organiques des cellules peut se faire par des espèces appelées « radicaux libres », qui sont des oxydants puissants. Cette dégradation contribue au vieillissement cellulaire ; le lycopène peut être utilisé pour le combattre.

Dans cette partie, on modélise le vieillissement par une réaction d'oxydoréduction simple qu'on appelle « réaction modèle ». Cette transformation est considérée comme totale et fait intervenir les ions peroxodisulfate $S_2O_8^{2-}$ et les ions iodure $I^-$.

L'équation de réaction est :

$$2\ I^-(aq) + S_2O_8^{2-}(aq) \rightarrow I_2(aq) + 2\ SO_4^{2-}(aq)$$

**Q9.** Écrire les deux demi-équations électroniques et les deux couples oxydant-réducteur mis en jeu dans la « réaction modèle ».

**Q10.** Justifier alors que les ions peroxodisulfate jouent le même rôle que les radicaux libres lors de la transformation chimique.

On veut étudier l'influence de la présence de lycopène sur la transformation chimique. Dans un premier temps, on suit l'évolution temporelle de la « réaction modèle » sans ajout de lycopène.

On introduit dans un bécher 20 mL d'eau distillée et 5 mL de solution d'iodure de potassium de concentration égale à $C = 1{,}0\ mol \cdot L^{-1}$. Puis, on y ajoute le plus rapidement possible un volume $V = 5{,}0$ mL d'une solution de peroxodisulfate de sodium de concentration en ions peroxodisulfate $[S_2O_8^{2-}]_i = 0{,}017\ mol \cdot L^{-1}$.

On déclenche le chronomètre à cet instant. Une série de mesures permet de suivre l'évolution temporelle de la concentration en ions peroxodisulfate dans le mélange. On obtient alors les résultats présentés en figure 3 ci-dessous :

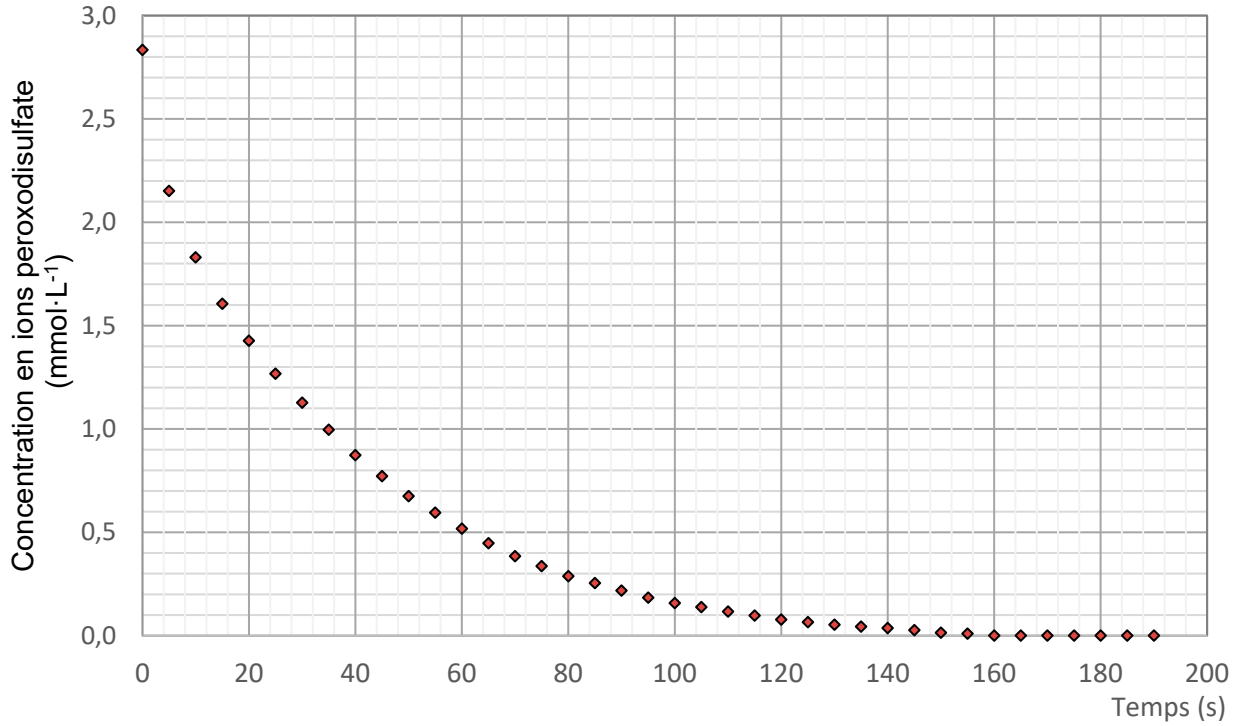



Figure 3. Évolution de la concentration en ions peroxodisulfate en fonction du temps

**Q11.** Définir le temps de demi-réaction noté $t_{1/2}$.

**Q12.** Déterminer graphiquement sa valeur.

L'exploitation des résultats permet d'obtenir le graphique ci-dessous représentant la vitesse de disparition des ions peroxodisulfate en fonction de leur concentration.

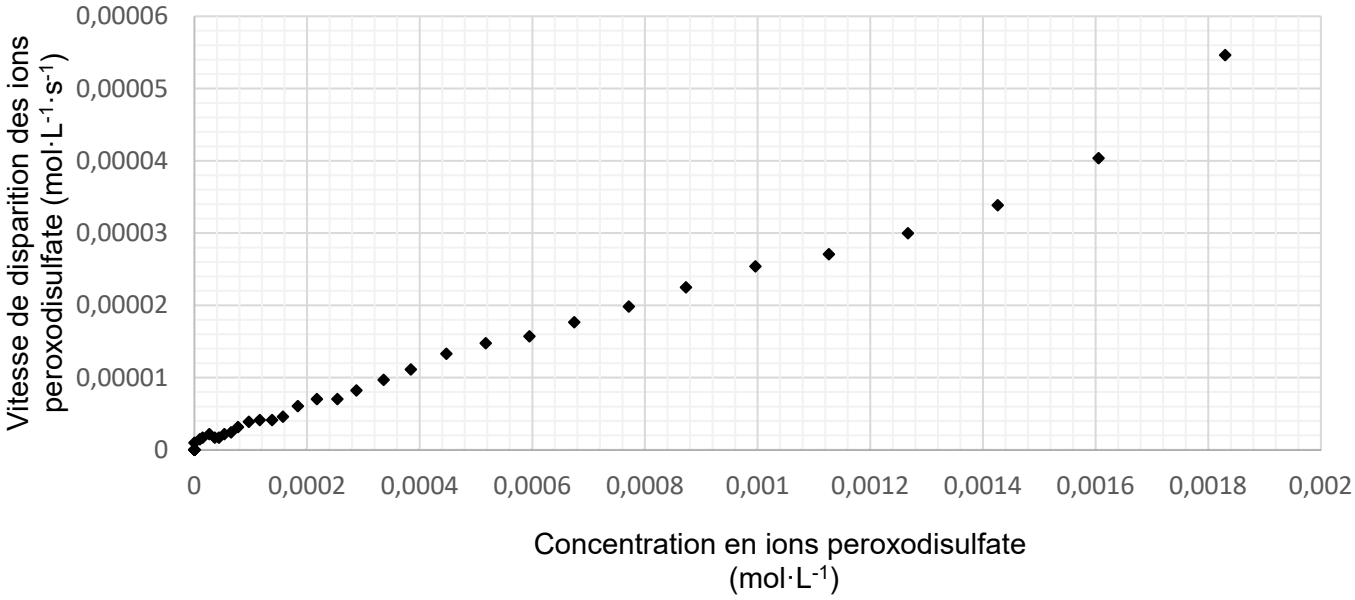



Figure 4. Évolution de la vitesse de disparition des ions peroxodisulfate en fonction de leur concentration

**Q13.** Définir la vitesse volumique de disparition des ions peroxodisulfate.

**Q14.** Discuter la compatibilité des résultats présentés en figure 4 avec le modèle d'une réaction dont la cinétique est d'ordre 1.

Pour étudier l'influence du lycopène sur la « réaction modèle », on broie finement une tomate à laquelle on ajoute de l'eau distillée. On réalise une filtration sous vide : le filtrat obtenu est une eau de tomate.

On prépare quatre solutions en effectuant les mélanges indiqués dans le tableau suivant. La solution A est la même solution que celle ayant servi à l'étude précédente de la « réaction modèle », sans ajout de lycopène.

| | Solution A | Solution B | Solution C | Solution D |
|---|---|---|---|---|
| Volume en mL de solution d'iodure de potassium ($K^+(aq)$ ; $I^-(aq)$) de concentration égale à 1,0 mol·L$^{-1}$ | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| Volume d'eau de tomate en mL | 0 | 5,0 | 10,0 | 20,0 |
| Volume d'eau distillée en mL | 20,0 | 15,0 | 10,0 | 0 |

Dans chacune des solutions préparées, on introduit le plus rapidement possible 5,0 mL d'une solution de peroxodisulfate de sodium de concentration en ions peroxodisulfate $[S_2O_8^{2-}] = 0{,}017$ mol·L$^{-1}$.
On déclenche le chronomètre à cet instant, puis on détermine l'évolution de la concentration en diiode pour chacune des expériences, respectivement appelées expériences A, B, C et D. Les résultats sont présentés en figure 5.

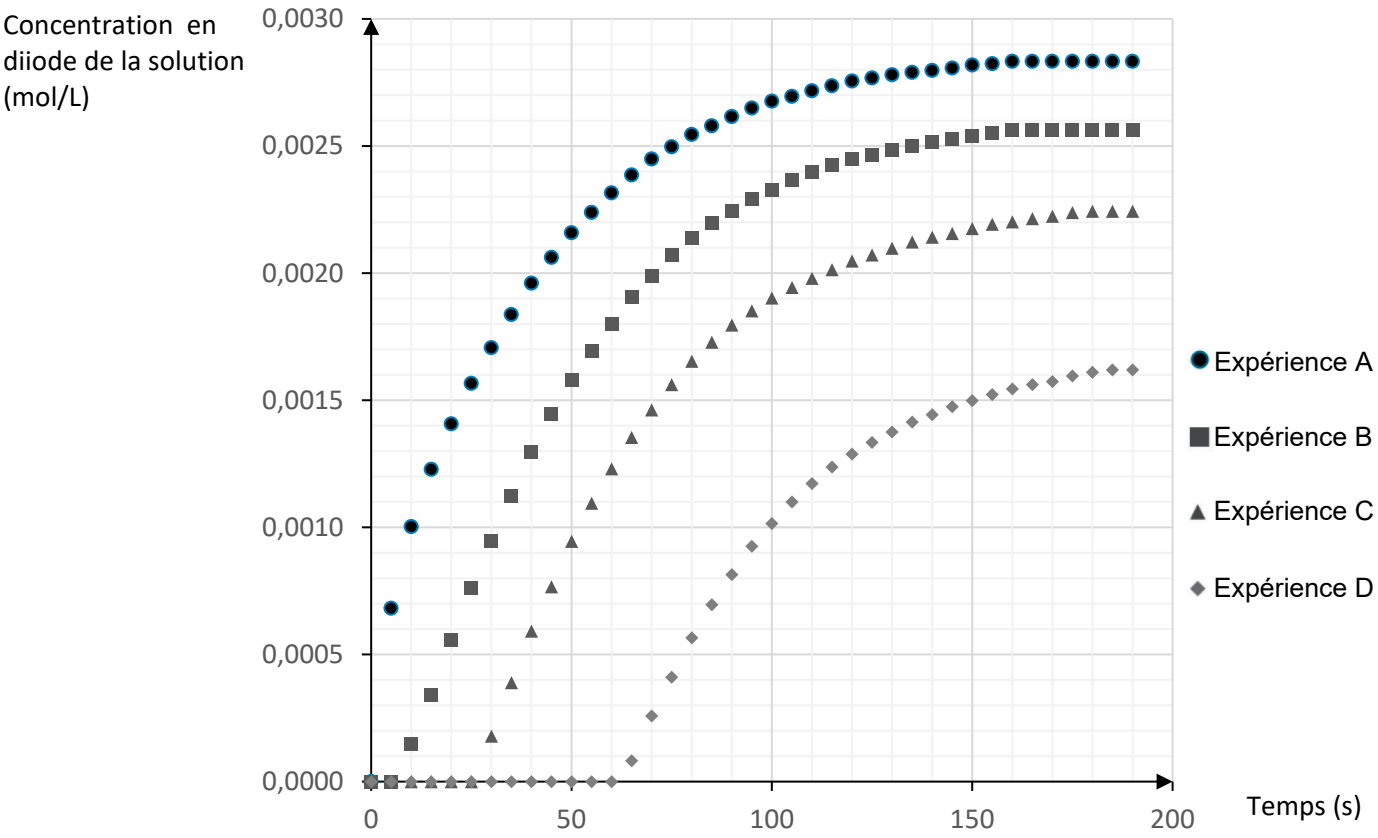



Figure 5. Suivi cinétique de la « réaction modèle » pour chacune des quatre solutions

**Q15.** Expliquer qualitativement la présence d'un palier au début des courbes associées aux expériences B, C et D.

**Q16.** Déterminer le réactif limitant de la « réaction modèle » dans l'étude menée avec la solution A.

**Q17.** Retrouver, par le calcul, la valeur finale de la concentration en diiode de l'expérience avec la solution A.

Le réactif limitant des expériences B, C et D est le même que celui de l'expérience A.

**Q18.** Comparer graphiquement les concentrations finales de diiode obtenues pour les expériences B, C et D, par rapport à celle obtenue dans l'expérience A. Commenter au regard de la quantité d'eau de tomate utilisée.

**Q19.** À partir du graphique, déterminer la quantité de matière d'ions peroxodisulfate ayant réagi avec le lycopène pour la solution D.

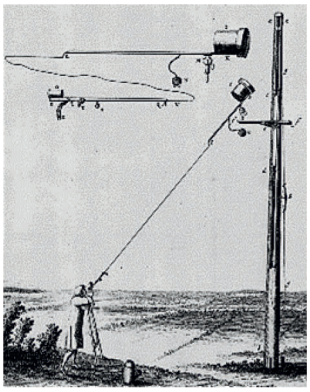
*Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.*

Le lycopène est vendu sous forme de compléments alimentaires pour son pouvoir anti-oxydant.

**Q20.** En analysant les résultats obtenus, justifier cet argument de vente.

## Exercice 2 - L'astroscope (5 points)

Au XVII$^{e}$ siècle, les scientifiques rivalisent d'ingéniosité pour construire des lunettes de plus en plus puissantes, espérant ainsi faire de nouvelles découvertes en astronomie. Cette course passant à l'époque par la réalisation d'instruments de plus en plus longs, Christiaan Huygens, astronome hollandais, a l'idée de fabriquer une lunette afocale « sans tube » qu'il remplace par un fil tendu du haut d'un mât, pour assurer l'alignement des deux lentilles convergentes qui constituent la lunette. L'instrument, nommé astroscope, est mis au point en 1683. Il permettra à Huygens de faire l'une des premières déterminations précises du diamètre de Jupiter.

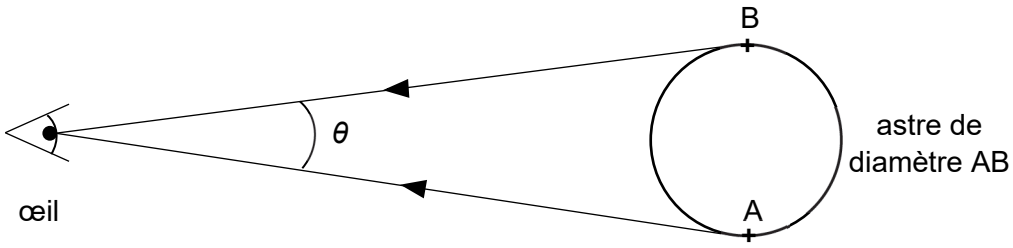


*La lunette à fil tendu*
*Dessin de C. Huygens*

L'objectif de cet exercice est d'étudier les caractéristiques de l'astroscope et de valider la mesure faite par Huygens.

**Données :**

- on note $\theta$ l'angle sous lequel un astre est vu par un observateur à l'œil nu ;




- approximation des petits angles en radian : pour $\theta$ << 1 rad, on peut écrire $\tan(\theta) = \theta$ ;
- pour discuter de l'accord du résultat d'une mesure avec une valeur de référence, on peut utiliser le quotient $\frac{|x-x_{ref}|}{u(x)}$ avec $x$ la valeur mesurée, $x_{ref}$ la valeur de référence et $u(x)$ l'incertitude-type associée à la valeur mesurée $x$.

### 1. Étude de l'astroscope

Huygens utilise un astroscope dont l'objectif $L_1$ a pour distance focale $f_1' = 34$ m et dont l'oculaire $L_2$ possède une distance focale de $f_2' = 7{,}0$ cm.

On donne sur la figure A1 de l'**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE** le schéma de cet astroscope.

**Q1.** Compléter le schéma de la figure A1 de l'**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE** en identifiant l'objectif et l'oculaire de la lunette modélisée.

On considère dans un premier temps que la longueur du fil est égale à $f_1'$.

**Q2.** Montrer que la hauteur minimale du mât nécessaire à la réalisation de l'astroscope est voisine de 25 m.

### 2. Mesure de l'angle sous lequel est vue Jupiter

On donne, sur la figure A2 de l'**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**, le schéma du dispositif optique permettant à Huygens de mesurer le diamètre de Jupiter. L'astronome Jacques Cassini, qui s'intéressait aux travaux de Huygens, a écrit dans une de ses lettres :

« La grande difficulté dans l'usage de grands verres sans tuyau dans l'observation des astres consiste à réunir le foyer oculaire à celui de l'objectif. »

**Q3.** Placer, sur la figure A2 de l'**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**, le foyer objet de l'oculaire noté $F_2$ permettant de remplir la condition décrite par Jacques Cassini.

**Q4.** Tracer, sur la figure A2 de l'**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE,** la marche de deux rayons issus d'un point B très éloigné et émergeant de la lunette vers un point B', très éloigné. On fera apparaître l'image $B_1$ de B donnée par la lentille $L_1$.

Huygens mesure la valeur de l'angle $\theta'$ sous lequel Jupiter est vue à travers l'astroscope : il obtient une valeur de $\theta' = 9{,}4\times10^{-2}$ rad.

On rappelle que le grossissement $G$ est défini par $G = \frac{\theta'}{\theta}$ , où $\theta$ est l'angle sous lequel Jupiter est observée à l'œil nu depuis la Terre.

**Q5.** Montrer que la relation entre le grossissement de l'astroscope et les distances focales $f_1'$ et $f_2'$ des deux lentilles de l'astroscope est :

$$G = \frac{f_1'}{f_2'}$$

On sait aujourd'hui que Jupiter est vue à l'œil nu, depuis la Terre, sous un angle dont la valeur est $\theta_{ref} = 2{,}2\times10^{-4}$ rad.

On admet que :

- l'incertitude-type associée à la valeur de grossissement vaut $u(G) = 40$ ;
- l'incertitude-type associée à la valeur de $\theta'$ vaut $u(\theta') = 2\times10^{-3}$ rad ;
- l'incertitude-type associée à la valeur mesurée par Huygens de l'angle sous lequel Jupiter est observée à l'œil nu depuis la Terre est donnée par l'expression :

$$u(\theta) = \theta \times \sqrt{\left(\frac{u(\theta')}{\theta'}\right)^2 + \left(\frac{u(G)}{G}\right)^2}$$

**Q6.** Préciser, en argumentant, si on peut estimer que la valeur déterminée par Huygens est en accord avec $\theta_{ref}$.

## Exercice 3 – Surveillance de la fonte des glaces (6 points)

L'attraction qu'exerce la Terre sur les objets peut être utilisée pour obtenir des informations précieuses sur la Terre elle-même. La mission spatiale GRACE (pour Gravity Recovery And Climate Experiment) a pour but d'étudier par satellite les variations temporelles du champ de gravitation afin d'évaluer les grands mouvements de matière dans la Terre, notamment de l'eau. À cette fin, deux satellites jumeaux sont placés en orbite basse avec la même trajectoire quasi-circulaire sur laquelle ils sont séparés par une distance moyenne de 220 km.

L'objectif de l'exercice est de comprendre comment un tel couple de satellites en orbite permet de surveiller la fonte des glaces à la surface du globe terrestre.

Les mouvements des satellites sont étudiés dans le référentiel géocentrique supposé galiléen.

### 1. Un satellite autour de la Terre

**Données :**

- constante universelle de gravitation $G = 6{,}674 \times 10^{-11}\ \text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$ ;
- masse de la Terre $M_T = 5{,}972 \times 10^{24}\ \text{kg}$ ;
- rayon moyen de la Terre $R_T = 6371\ \text{km}$ ;
- masse d'un satellite $m = 500\ \text{kg}$ ;
- altitude de l'orbite des satellites $h = 490\ \text{km}$.

La Terre est considérée sphérique et homogène. Dans cette partie, on considère un seul des deux satellites de la mission GRACE, uniquement soumis à l'attraction gravitationnelle de la Terre et dont la trajectoire est circulaire.

**Q1.** Représenter sur un schéma :

- la Terre de centre T ;
- le satellite S à un instant quelconque, considéré comme un point matériel ;
- le repère de Frenet $(S ; \vec{u}_T, \vec{u}_N)$ ;
- le sens du mouvement.

**Q2.** Exprimer, dans le repère de Frenet, la force $\vec{F}$ exercée par la Terre de centre T sur le satellite S de masse $m$, en fonction notamment de l'altitude $h$ du satellite, définie par $h = d_{TS} - R_T$, avec $d_{TS}$ la distance Terre-Satellite.

**Q3.** Représenter sans souci d'échelle, le vecteur force $\vec{F}$ sur le schéma de la question **Q1**.

**Q4.** Montrer que l'expression du vecteur accélération du satellite dans le référentiel géocentrique est :

$$\vec{a} = G\frac{M_T}{(R_T + h)^2}\vec{u}_N$$

**Q5.** En déduire l'expression de la valeur de la vitesse $v$ du satellite. Justifier que cette vitesse est constante au cours du mouvement.

**Q6.** Montrer que l'expression de la période de révolution $T$ du satellite peut s'écrire :

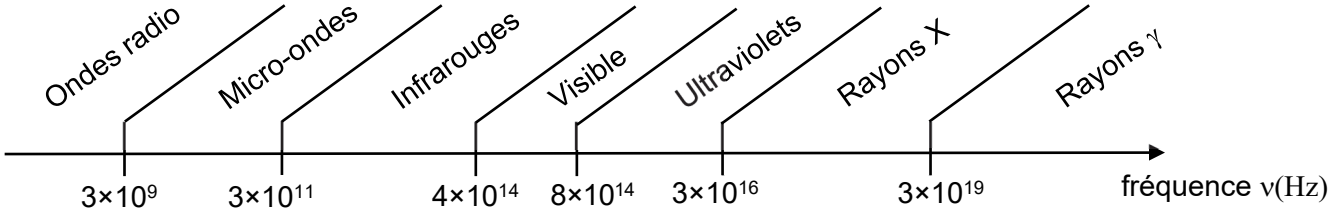
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{G\cdot M_T}}$$

**Q7.** Calculer la période de révolution $T$ du satellite.

## 2. Détection d'un objet massif par un couple de satellites

**Données :**

- valeur de la vitesse de la lumière dans le vide $c = 3{,}00\times10^{8}$ m·s$^{-1}$ ;
- différents domaines des ondes électromagnétiques :




On considère désormais le passage du satellite près d'un objet massif comme une montagne ou un iceberg. L'objet est modélisé par une masse ponctuelle située en un point M, comme présenté sur la figure de l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**.

En première approximation, la perturbation du champ gravitationnel par l'objet est faible : on peut considérer qu'elle ne modifie pas la forme de la trajectoire des satellites qui reste circulaire de même rayon que dans la partie précédente. En revanche, la présence de l'objet induit une variation mesurable de la vitesse des satellites dans le référentiel géocentrique.

**Q8.** Représenter sans se soucier des échelles sur la figure de l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE** pour chaque position A, B et C du satellite :

- la force $\vec{F}_1$ qu'exerce la Terre T sur le satellite S ;
- la force $\vec{F}_2$ qu'exerce l'objet massif M sur le satellite S ;
- la vitesse $\vec{v}$ du satellite.

**Q9.** Justifier que le travail de la force $\vec{F}_1$ est nul entre les points A et C.

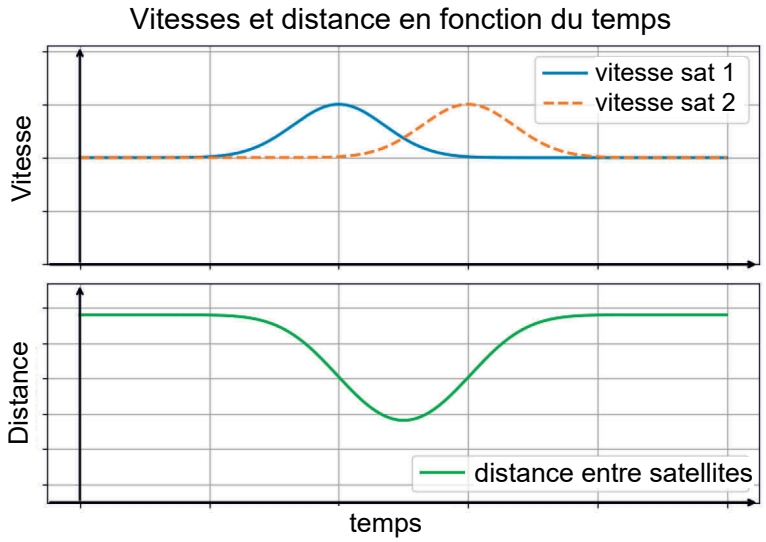
**Q10.** Justifier que le travail de la force $\vec{F}_2$ est positif entre les points A et B puis négatif entre les points B et C.

**Q11.** En déduire que la valeur de la vitesse du satellite augmente jusqu'au point B et diminue ensuite.

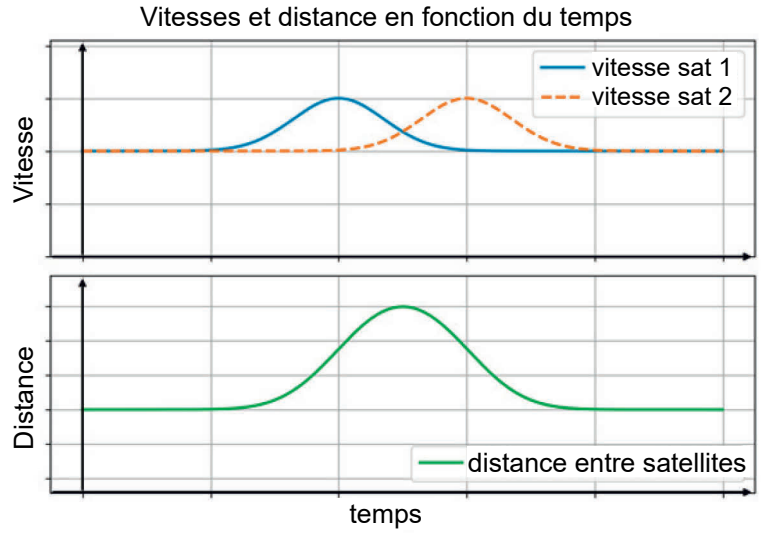
Les deux satellites jumeaux de la mission GRACE se suivent. Pour mesurer leur distance relative, chaque satellite envoie à son jumeau une onde électromagnétique de longueur d'onde de l'ordre de $10^{-2}$ m.

**Q12.** Déterminer à quel domaine appartient l'onde utilisée par les satellites de GRACE.

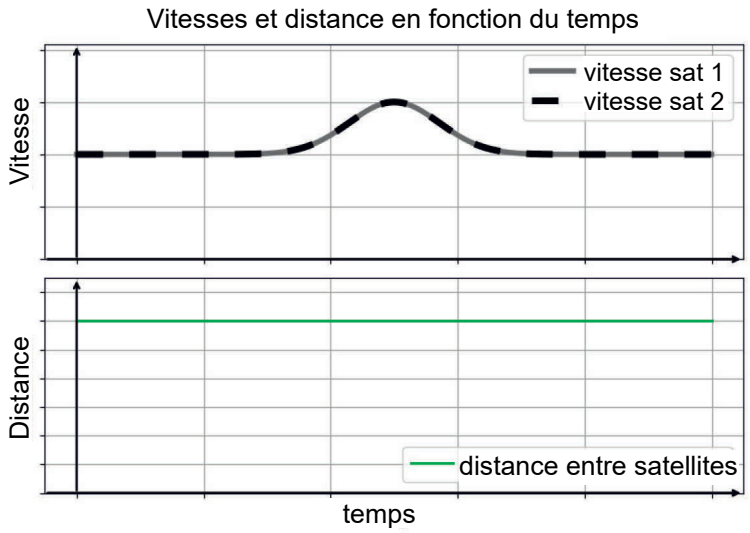
La figure 1 présente 3 couples de graphes qui proposent une représentation de l'évolution de la vitesse de chaque satellite et leur distance relative au cours du temps lors du passage au-dessus de l'objet massif.




(1)




(2)




(3)

Figure 1. Propositions de représentation de l'évolution de la vitesse des satellites et de leur distance relative lors du passage au-dessus de l'objet massif

**Q13.** Choisir, en justifiant, parmi les propositions (1), (2) et (3), celle qui décrit de façon correcte l'évolution des vitesses des satellites et de leur distance relative dans cette modélisation.

La mesure de la distance entre les deux satellites de la mission GRACE peut ainsi être exploitée pour mettre en évidence la modification locale de la distribution des masses à la surface de la Terre, par exemple du fait de la fonte des glaces continentales de l'Antarctique.

**Q14.** Préciser, en justifiant, si cette méthode de mesure nécessite que les deux satellites aient la même masse.

**Q15.** Indiquer l'effet de la fonte progressive des glaces sur la masse de l'Antarctique. En déduire comment varie, sur plusieurs années, la distance maximale séparant les deux satellites lors de leurs passages au-dessus de ce continent.

## ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE

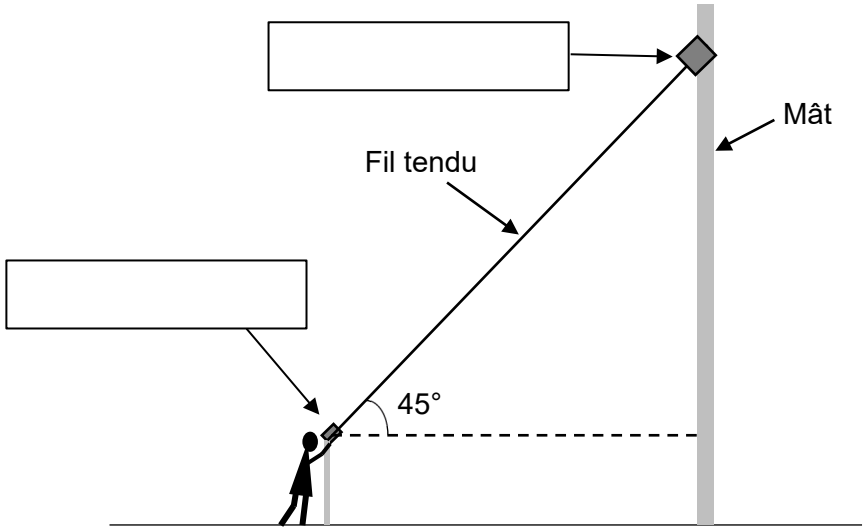



Figure A1. Schéma simplifié de l'astroscope

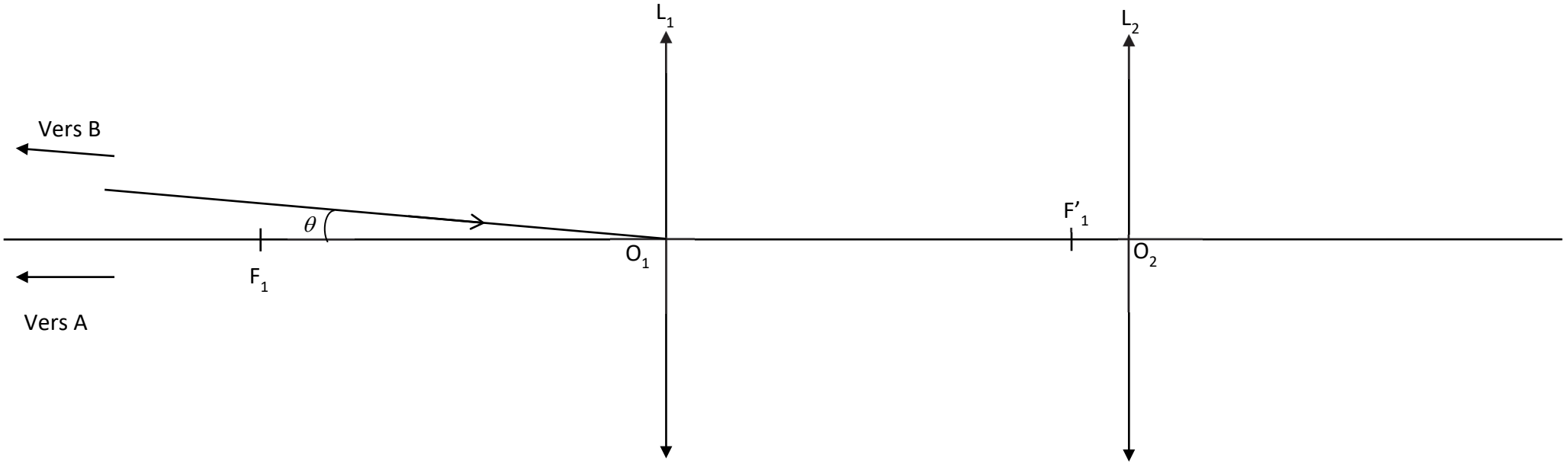
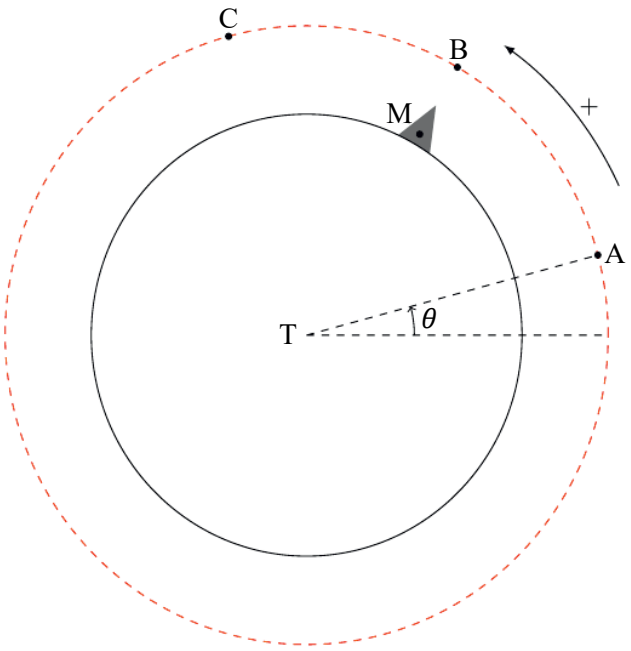



Figure A2. Schéma modélisant l'astroscope (échelle non respectée)

**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**




Modélisation de la présence d'un objet massif à la surface de la Terre assimilée à une sphère homogène