

BACCALAUREAT BLANC

EXTERNAT NOTRE DAME

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3h30

Coefficient : 6

L'usage de la calculatrice électronique est autorisée

Ce sujet comporte 3 exercices présentés sur 13 pages numérotées de 1 à 13, y compris celle-ci.

Le candidat doit traiter, sur des copies séparées, les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres :

Exercice I – Des molécules témoins du mûrissement des pommes (10 points)

Exercice II – Le Sauna (5 points)

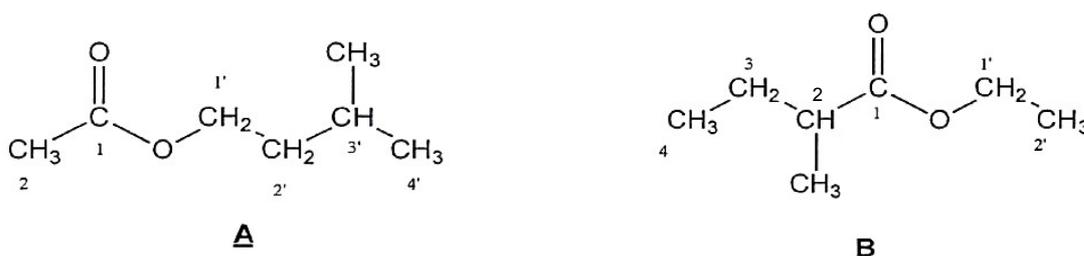
Exercice III – De Hubble à James Webb (5 points)

Exercice I – Des molécules témoins du mûrissement des pommes (10 points)

Lorsque des pommes mûrissent, leurs membranes cellulaires s'oxydent, engendrant la dégradation des acides gras à longues chaînes qu'elles contiennent. Il en résulte la formation de deux molécules **A** et **B** représentées ci-dessous. Ces deux espèces chimiques, dont les concentrations augmentent lors du mûrissement des pommes, ont la propriété de masquer la saveur caractéristique du fruit non mûr.



Les molécules **A** et **B** présentent les formules semi-développées suivantes :



Données :

- Températures d'ébullition sous une pression de 1 bar :

Composé	Molécule A	Stéréoisomère B ₁ de B	Stéréoisomère B ₂ de B
Température d'ébullition sous une pression de 1 bar (en °C)	142	133	133

- Solubilités dans différents solvants :

	Eau à 20 °C	Eau salée saturée à 20 °C	Eau à 0 °C
Molécule A	≈ 2 g.L ⁻¹	≈ 0,5 g.L ⁻¹	≈ 1,0 g.L ⁻¹
3-méthylbutan-1-ol	faible	très faible	très faible
Acide éthanoïque	très forte	très forte	très forte

- Densités par rapport à l'eau à 20 °C et masses molaires en g.mol⁻¹ :

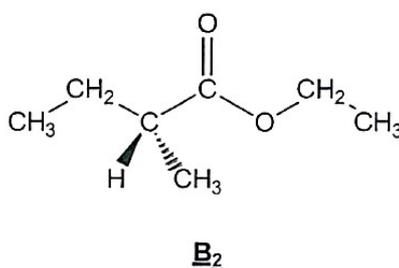
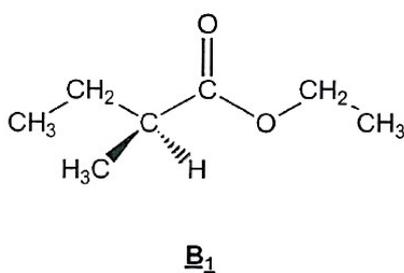
	Molécule A	3-méthylbutan-1-ol	Acide éthanoïque	Eau salée saturée
Densité	0,87	0,81	1,05	1,20
Masse molaire (g.mol⁻¹)	130	88	60	

- Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \text{ g.mL}^{-1}$
- pK_a à 20 °C des couples : $\text{CO}_2(\text{g}), \text{H}_2\text{O}(\text{l}) / \text{HCO}_3^-(\text{aq})$: 6,4 ; $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) / \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$: 4,8
- L'acide sulfurique est un diacide fort.

Partie A : Identification des molécules A et B

1. Propriétés des molécules A et B.

- 1.1. Donner le nom de la fonction chimique présente dans les deux molécules **A** et **B**.
- 1.2. Parmi les molécules **A** et **B**, l'une se nomme éthanoate de 3-méthylbutyle. Laquelle ? Justifier.
- 1.3. Préciser la formule brute des composés **A** et **B**. En déduire par quelle relation les molécules **A** et **B** sont liées.
- 1.4. La molécule **A** présente-t-elle un (ou des) carbones asymétriques ? Si oui, le (ou les) matérialiser sur votre copie à l'aide d'un astérisque (*).
- 1.5. Le composé **B** présente deux stéréoisomères **B₁** et **B₂** dessinés ci-dessous.



Donner le nom du type de stéréoisomérisation de configuration qui lie les composés **B₁** et **B₂**. Justifier.

2. Séparation des molécules A, B₁ et B₂ par distillation fractionnée.

On souhaite séparer par distillation fractionnée un mélange de composés **B₁**, **B₂** et **A**.

- 2.1. Annoter le schéma de distillation fractionnée en **ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**.
- 2.2. À l'aide des données, dire si une séparation est possible. En cas d'affirmation, préciser, en justifiant, quel est l'ordre dans lequel on recueille les composés dans le distillat.

3. Identification des molécules A et B à l'aide de la spectroscopie RMN du proton ¹H.

On donne en **ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE** deux spectres RMN du proton ¹H correspondant aux molécules **A** et **B**.

- 3.1. Noter dans les tableaux donnés en **ANNEXE 3 À RENDRE AVEC LA COPIE** la multiplicité des hydrogènes proches des groupements -COO- des molécules **A** et **B**.
- 3.2. Associer alors les spectres 1 et 2 aux molécules **A** et **B**.

Partie B : Synthèse de la molécule A

1. Analyse du protocole.

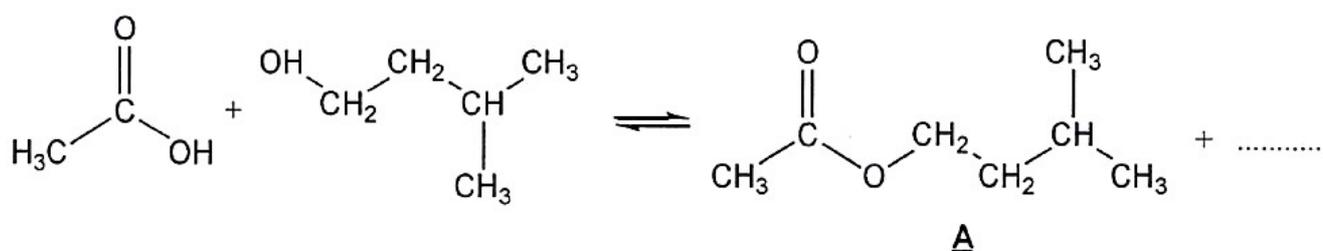
■ Introduction des réactifs et chauffage :

- ✓ Introduire dans un ballon 20,0 mL de 3-méthylbutan-1-ol, puis 30,0 mL d'acide éthanoïque pur et environ 1 mL d'acide sulfurique concentré.
- ✓ Ajouter trois grains de pierre ponce.
- ✓ Adapter le réfrigérant à boules et chauffer à reflux pendant 30 minutes.

■ Extraction de la molécule A :

- ✓ Après refroidissement, verser dans le ballon environ 50 mL d'une solution froide et saturée de chlorure de sodium et transvaser le mélange dans une ampoule à décanter.
- ✓ Agiter, décanter, éliminer la phase aqueuse.
- ✓ Ajouter environ 50 mL d'une solution à 5 % d'hydrogénocarbonate de sodium ($\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HCO}_3^-_{(\text{aq})}$). Agiter l'ampoule jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'effervescence. Décanter. Éliminer alors la phase aqueuse.
- ✓ Recueillir la phase organique dans un erlenmeyer, y ajouter une spatule de sulfate de magnésium anhydre.
- ✓ Agiter puis filtrer sur éprouvette graduée. On obtient un volume $V = 18,1 \text{ mL}$ de la molécule A.

1.1. Donner le nom et la formule du produit manquant dans l'équation :



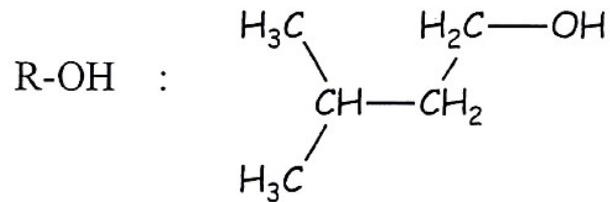
- 1.2.** Pour que la réaction se déroule en un temps relativement court, la présence de l'acide sulfurique est impérative. Sachant que l'acide sulfurique n'intervient pas dans le bilan réactionnel, déduire son rôle.
- 1.3.** En utilisant les données, expliquer pourquoi on ajoute de l'eau salée (et non de l'eau) et pourquoi l'eau salée doit être froide.
- 1.4.** Lors de la première décantation, dans quelle phase (organique ou aqueuse) se trouvent essentiellement la molécule **A**, l'eau, les ions, le 3-méthylbutan-1-ol (qui n'a pas réagi) et l'acide éthanoïque (en excès) ? Quelle est la phase située au-dessus ? Justifier.
- 1.5.** Préciser la nature de l'effervescence observée lors de l'ajout de l'hydrogénocarbonate de sodium ($\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HCO}_3^-_{(\text{aq})}$). Écrire l'équation de la réaction acido-basique mise en jeu.

2. Calcul du rendement :

- 2.1. Calculer les quantités de matière de 3-méthylbutan-1-ol et d'acide éthanoïque introduites dans le ballon.
- 2.2. En déduire le rendement r de la synthèse, défini comme le rapport entre la quantité de matière de produit **A** obtenu et la quantité de matière de réactif limitant.

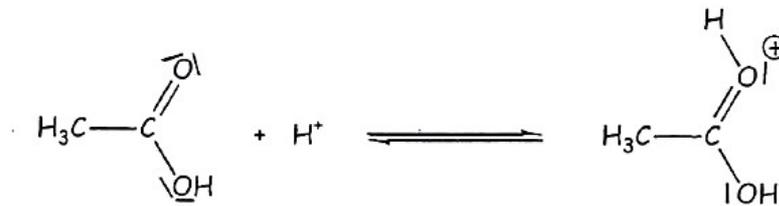
3. Étude du mécanisme de la réaction d'estérification.

Par souci de simplification on notera R-OH le 3-méthylbutan-1-ol :

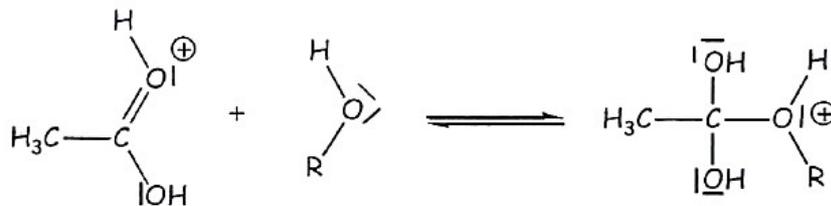


Le mécanisme réactionnel proposé pour la réaction d'estérification conduisant au composé **A** est proposé ci-dessous :

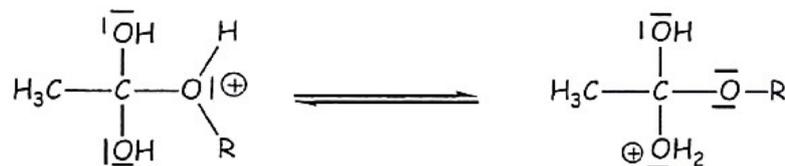
Etape 1 :



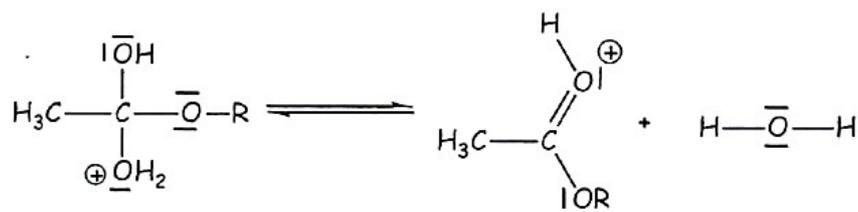
Etape 2 :



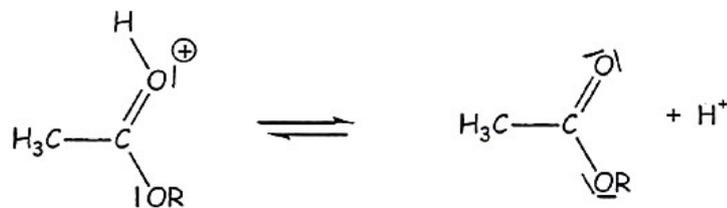
Etape 3 :



Etape 4 :



Etape 5 :



3.1. Indiquer dans le tableau donné en **ANNEXE 4 À RENDRE AVEC LA COPIE** le type de réactions correspondant aux étapes 2 et 4 du mécanisme.

3.2. Recopier l'étape 2 et dessiner les flèches courbes schématisant les transferts électroniques.

3.3. Comment le cation H^+ intervient-il dans le mécanisme ? Cette observation, confirme-t-elle la réponse de la question **B.1.2.** ?

Exercice II – Le sauna (5 points)

La pratique du sauna est une tradition finlandaise vieille de plus de deux mille ans. À l'origine, il s'agissait de s'installer dans une petite cabane en bois dont on chauffait l'atmosphère avec des pierres brûlantes. De nos jours, la pratique du sauna peut avoir lieu dans une pièce équipée d'un poêle électrique (figure 1) dans laquelle on prend un bain de vapeur sèche. Parmi ses nombreuses vertus, on peut citer la stimulation de la circulation sanguine et l'élimination de la fatigue.

Un particulier souhaite installer un sauna* chez lui. Il achète un poêle électrique spécifique et s'intéresse au matériau nécessaire à la construction de la pièce de dimensions 2,0 m x 2,0 m x 3,0 m. Le poêle est constitué d'une résistance chauffante. Des pierres sont posées sur l'appareil : elles ont pour but de générer de la vapeur lorsqu'on y verse de l'eau.

*le terme « sauna » qualifie également la pièce dans laquelle est pratiquée cette tradition ancestrale.

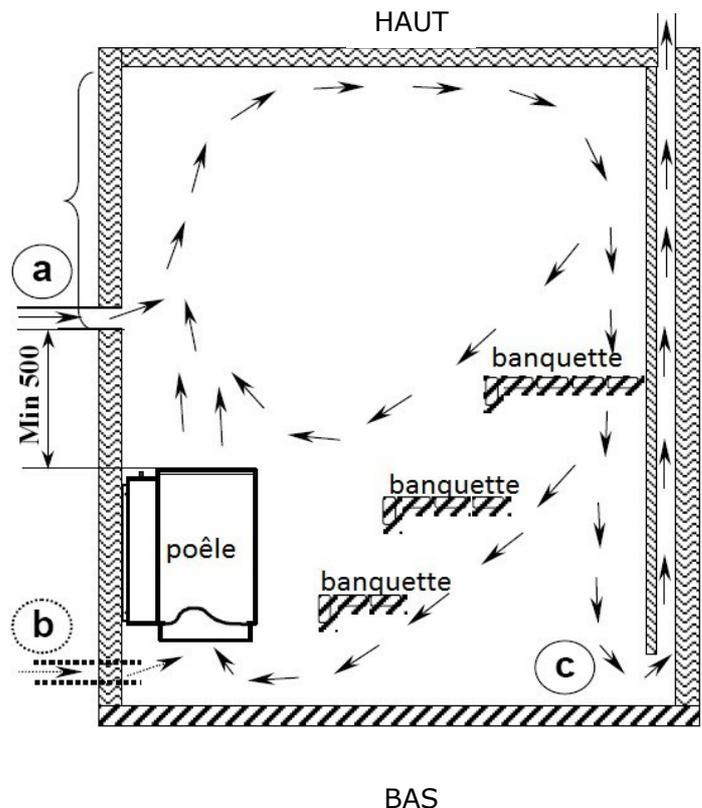
Extraits de la notice du poêle électrique fournie par le constructeur (traduits du suédois) :

L'aération du sauna :

L'air frais est dirigé directement de l'extérieur par un tuyau d'environ 100 mm de diamètre placé 500 mm au-dessus du poêle (a) vers le sauna. L'air frais peut aussi être envoyé sous le poêle près du sol (b). Dans l'alimentation en air frais, il est essentiel de veiller à ce que celui-ci se mélange le plus efficacement possible à l'air chaud et à la vapeur du sauna. L'air évacué est dirigé vers l'extérieur par une trappe située sous les banquettes (c), le plus loin possible de l'arrivée d'air frais.

Durée du préchauffage du sauna :

La durée de préchauffage du sauna est le laps de temps nécessaire pour chauffer le sauna à la température souhaitée pour la séance. Ce temps dépend notamment de la température voulue (la position de réglage de la température), de la quantité de pierre, du volume du sauna, et des matériaux constituant les parois du sauna. Moins on utilise de pierre, plus le sauna chauffe vite. Cependant, une plus petite quantité de pierre ne donne pas autant de vapeur. La durée de préchauffage varie en général entre 40 et 70 minutes.



Vue en coupe verticale du sauna

Caractéristiques techniques du poêle :

Poêle modèle SUPER 10	Poêle puissance kW	Volume du sauna		Poids sans pierre kg	Quantité de pierres (max) kg	Dimensions du poêle		
		min m ³	max m ³			largeur mm	profondeur mm	hauteur mm
DI 10	10,00	8,0	15,0	16	22	∅370	450	590

Capacité thermique massique c , conductivité thermique λ et masse volumique ρ de quelques matériaux :

Matériau	c en J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	λ en W.m ⁻¹ .K ⁻¹	ρ en kg.m ⁻³
Béton	1008	1,75	2200
Sapin	2400	0,15	450
Plâtre	1008	0,43	800
Verre	800	1,15	2530
Stéatite	980	6,4	2980

La **résistance thermique** R_{th} (en $K.W^{-1}$) d'une paroi a pour expression

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda S}$$

λ : conductivité thermique en $W.m^{-1}.K^{-1}$

e : épaisseur de la paroi en m

S : surface de la paroi en m^2

Le **flux thermique** Φ (en W) correspond à une énergie thermique transférée à travers une paroi par unité de temps. Si ΔT est l'écart de température de part et d'autre de la paroi, le flux thermique à travers cette paroi est exprimé par :

$$\Phi = \frac{\Delta T}{R_{th}}$$

1. Les transferts thermiques mis en jeu lors du chauffage

1.1. Caractériser chacun des types de transferts thermiques principaux mis en jeu lors du chauffage par le poêle de l'air ambiant ou des pierres. Pour cela, recopier et compléter le tableau suivant :

	Chauffage par le poêle de l'air de la pièce	Chauffage par le poêle des pierres
Mode de transfert thermique principal		
Avec ou sans déplacement de matière		

1.2. Que symbolisent les flèches représentées sur la figure 1 de la notice du constructeur ?

1.3. Donner une raison justifiant le choix de l'emplacement de l'entrée de l'air. Même question pour le choix de l'emplacement de la sortie de l'air.

1.4. En s'appuyant sur les caractéristiques du poêle choisi, montrer que ce choix est adapté aux besoins du particulier.

2. Les matériaux pour la construction de la pièce

Le particulier hésite entre le bois de sapin et le béton pour les parois de son sauna.

2.1. Comparer le flux thermique traversant une paroi de bois de sapin et une paroi de béton sans effectuer de calcul numérique. Formuler un conseil au particulier.

2.2. Quelle serait l'épaisseur d'une paroi en béton pour que, en termes d'isolation thermique, elle soit équivalente à une paroi en sapin de 5,0 cm d'épaisseur ?

3. C- Les pierres posées sur le poêle

Les pierres utilisées sont souvent d'origine volcanique car elles n'éclatent pas sous les chocs thermiques. C'est le cas de la stéatite.

3.1. On fait l'hypothèse que lors du préchauffage, la puissance du poêle est intégralement utilisée pour le chauffage des pierres d'origine volcanique. À l'aide des caractéristiques électriques du poêle, déterminer la durée Δt nécessaire pour porter une masse $m = 20$ kg de pierre, de la température de $25^\circ C$ à la température de $250^\circ C$ atteinte par les pierres à l'issue du préchauffage.

3.2. D'après la notice, l'hypothèse précédente est-elle vérifiée ? Proposer une explication.

Exercice III – De Hubble à James Webb (5 points)

Dès 1923, Hermann Oberth mentionne l'intérêt d'un télescope spatial. En effet, un télescope terrestre reçoit des radiations filtrées par l'atmosphère terrestre qui absorbe des radiations électromagnétiques dans le domaine de l'infrarouge notamment. Par ailleurs un télescope spatial n'est pas sensible aux turbulences atmosphériques.

Le télescope spatial Hubble, du nom de l'astronome américain Edwin Hubble, a été lancé en 1990. Celui-ci souffrait au départ d'un défaut de courbure du miroir, non détecté avant la mise en orbite, qui provoquait des images floues. Après modification grâce à une mission spatiale, Hubble put enfin fournir ses premières images de l'Univers dans le domaine du spectre ultraviolet, visible et proche infrarouge. Le télescope Hubble, d'une masse $m = 11$ tonnes, est positionné sur une « orbite basse » à une altitude quasi constante $h = 600$ km de la surface de la Terre.

Le télescope spatial James Webb, du nom d'un administrateur de la NASA, doit succéder au télescope Hubble en 2018. Il sera lancé par une fusée Ariane 5. Le télescope spatial James Webb, d'une masse de 6200 kg, sera en orbite à une distance proche de 1,5 millions de kilomètres de la Terre en un point dénommé « point de Lagrange L2 » (voir documents 1 à 3).

D'après www.wikipedia.fr, www.hubblesite.org et <http://www.jwst.nasa.gov>

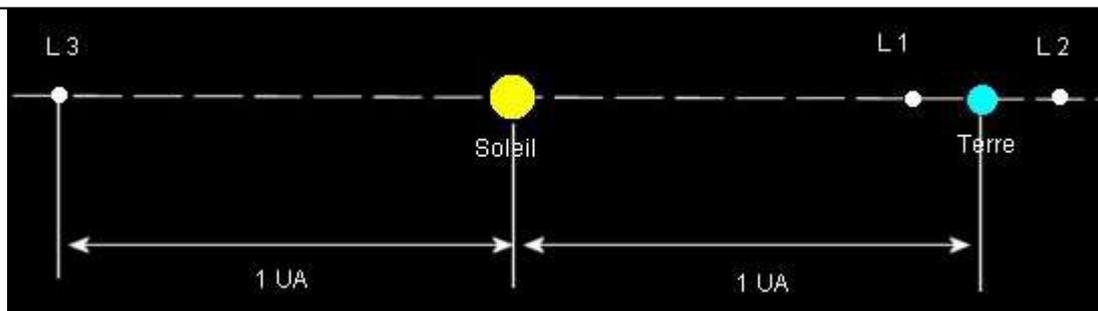
Document 1 : Points de Lagrange

En mécanique céleste, il est un sujet qui a passionné de nombreux mathématiciens : c'est le problème dit « des trois corps ». Joseph-Louis Lagrange étudia le cas d'un petit corps, de masse négligeable, soumis à l'attraction de deux plus gros : le Soleil et, par exemple, une planète. Il découvrit qu'il existait des positions d'équilibre pour le petit corps.

Un point de Lagrange (il en existe 5, notés L1 à L5) est une position de l'espace où les champs de gravité de deux corps très massifs en orbite l'un autour de l'autre fournissent exactement la force centripète requise pour que ce point de l'espace accompagne simultanément la rotation des deux corps.

Dans le cas où les deux corps sont en orbite circulaire, ces points représentent les endroits où un troisième corps de masse négligeable resterait immobile par rapport aux deux autres : il accompagnerait à la même vitesse angulaire leur rotation autour de leur centre de gravité commun sans que sa position par rapport à eux n'évolue. La sonde d'observation SoHO, destinée à observer le Soleil, a par exemple été placée au point L1.

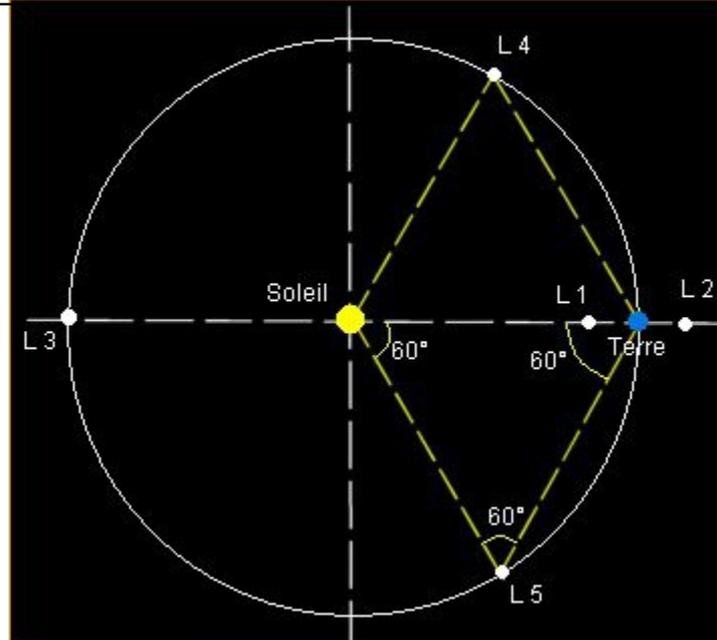
Document 2 : Positions des points de Lagrange sur l'axe Soleil-Terre



Positions des points L1 à L3 sur l'axe Soleil-Terre

<http://fr.wikipedia.org>

Document 3 : Positions des cinq points de Lagrange dans le plan de l'écliptique



Positions des 5 points de Lagrange

<http://fr.wikipedia.org>

Données :

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

Masse du Soleil : $M_S = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$

Masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$

Distance moyenne Soleil-Terre : $d = 149,6 \times 10^6 \text{ km}$ équivaut à 1 UA (unité astronomique)

Rayon de la Terre : $R_T = 6370 \text{ km}$

Durée d'une année terrestre : 365,25 jours

Les deux parties sont indépendantes

1. Première partie : étude de l'orbite du télescope spatial Hubble

On étudie le système {télescope spatial Hubble} dans le référentiel géocentrique en négligeant l'interaction gravitationnelle du Soleil avec le télescope.

- 1.1. Quelle est la trajectoire du télescope Hubble dans ce référentiel ?
- 1.2. À partir de la deuxième loi de Newton, montrer que, dans l'approximation d'une trajectoire circulaire, le mouvement du télescope Hubble est uniforme.
- 1.3. Montrer que l'expression de la valeur de la vitesse v du satellite dans le référentiel géocentrique est :

$$v = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T + h}}$$

- 1.4. Établir l'expression de sa période de révolution T en fonction de R_T , h et v .
- 1.5. Rappeler la troisième loi de Kepler.

Montrer que dans le cas du télescope spatial Hubble on a la relation : $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM_T}$ où $r = R_T + h$ représente

la distance entre le centre de la Terre et le télescope spatial.

- 1.6. Calculer la période de révolution T du télescope spatial Hubble, exprimée en minutes.

2. Deuxième partie : étude de la mise en orbite du télescope spatial James Webb

Le télescope spatial James Webb sera mis en orbite par le lanceur européen Ariane 5 depuis la base de lancement située à Kourou en Guyane. Dans cette partie on étudie tout d'abord le système {Ariane 5} (incluant tout son équipement y compris le télescope) dans le référentiel terrestre que l'on suppose galiléen pendant la durée de l'étude. Initialement le système {Ariane 5} est situé sur sa base de lancement. Le repère d'espace choisi est un axe vertical Oz orienté vers le haut. L'origine O est initialement confondue avec le centre d'inertie de la fusée de sorte que $z(0) = z_0 = 0$.

2.1. Lors de son décollage, la fusée Ariane 5 et son équipement possèdent une masse totale proche de $M = 780$ tonnes. La valeur F de la force de poussée générée par ses propulseurs est de l'ordre de $14,0 \times 10^6$ N.

2.1.1. Déterminer la valeur P du poids de la fusée Ariane 5 au moment de son décollage. Donnée : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ (intensité de la pesanteur).

2.1.2. Dédurre de la deuxième loi de Newton l'expression de la coordonnée a_z du vecteur accélération \mathbf{a} du lanceur Ariane 5 au moment de son décollage en fonction de M, F et g.

2.1.3. L'accélération reste constante si l'on peut négliger les forces de frottement fluide et si le champ de gravitation reste constant. On montre que l'altitude $z(t)$ du lanceur Ariane 5 est alors donnée par la relation :

$$z(t) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{F}{M} - g \right) \cdot t^2$$

Calculer la valeur de l'altitude z du lanceur Ariane 5 au bout de 10 s dans ces conditions.

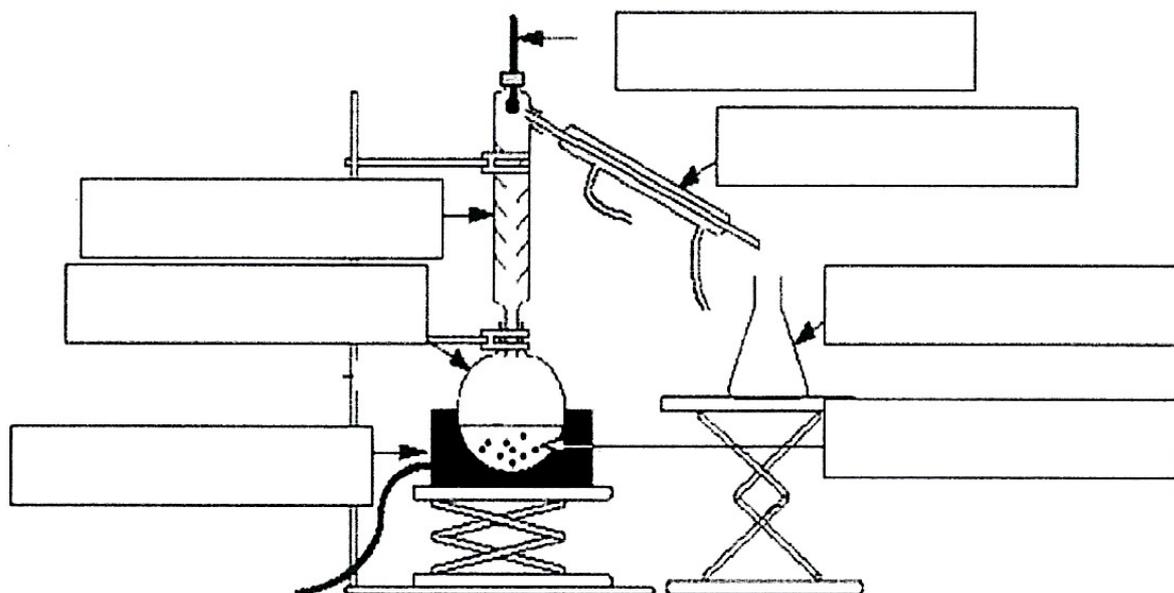
2.1.4. En réalité, l'altitude d'Ariane 5 est nettement plus faible au bout de 10 s. Proposer une explication énergétique.

On envisage à présent le cas où le télescope James Webb aura atteint le point de Lagrange L2.

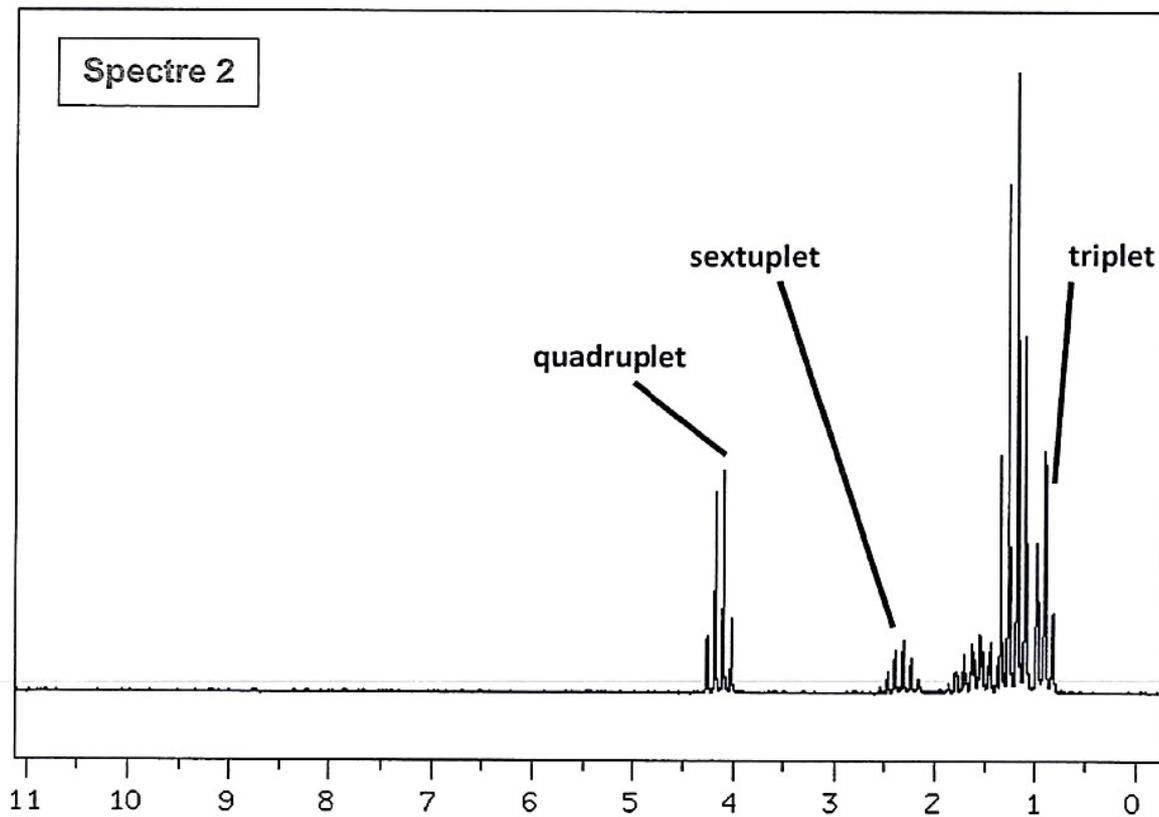
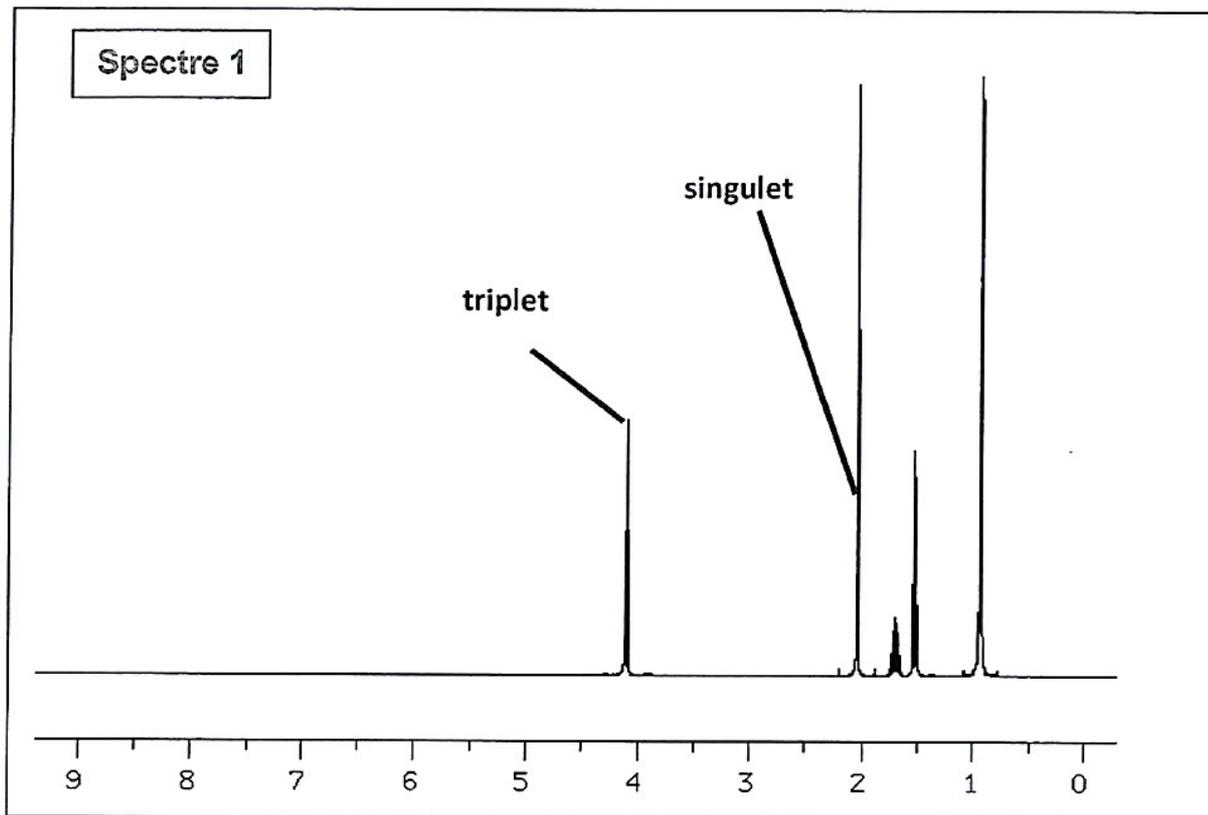
2.2. Pourquoi le point L2 a-t-il été choisi pour l'orbite du télescope James Webb plutôt que le point L1, alors qu'il est envisageable de placer plusieurs satellites au même point de Lagrange ?

ANNEXE 1

Montage de distillation fractionnée :



ANNEXE 2



Données de RMN du proton ^1H : ordre de grandeur de déplacements chimiques (δ en ppm) de quelques types d'hydrogène :

$-\text{CH}_2-\text{COOR}$: 2,4

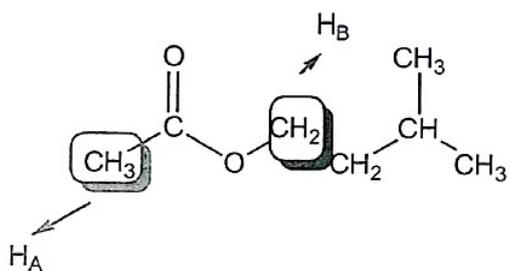
$-\text{CH}-\text{COOR}$: 2,4 -
2,7

$-\text{CH}_2-\text{OCOR}$: 4,0 -
4,5

$-\text{CH}-\text{OCOR}$: 4,8

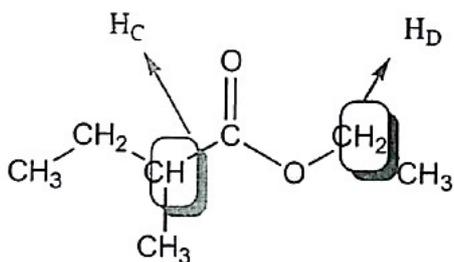
ANNEXE 3

Molécule A



Hydrogène	Multiplicité
H _A	
H _B	

Molécule B



Hydrogène	Multiplicité
H _C	
H _D	

ANNEXE 4

Cocher la bonne case :

	Substitution	Addition	Élimination
Étape 2			
Étape 4			