

Cet exercice comporte deux parties A et B indépendantes.

### Document 1 : Le télescope spatial Hubble

Le télescope spatial Hubble (HST pour Hubble Space Telescope) a été nommé en l'honneur d'Edwin Powell Hubble (1889-1953), l'un des grands pionniers de l'astronomie moderne.

Lancé dans l'espace le 24 Avril 1990 depuis Cap Canaveral et mis sur orbite par la navette spatiale Discovery (STS-31), le HST a été placé sur une orbite circulaire de type LEO (Low Earth Orbit) inclinée à 28,5 degrés à l'équateur. Hubble accomplit ainsi le tour de la Terre en environ 100 minutes (pratiquement 1,5 heure) à 600 km au-dessus de notre planète (soit environ 42 000 km de circonférence). Cette position dans l'espace permet au télescope d'effectuer des observations avec une très haute résolution, en infrarouge ou ultraviolet, sans les contraintes dues à l'atmosphère terrestre.



[hubblesite.org](http://hubblesite.org)



Edwin Powell Hubble

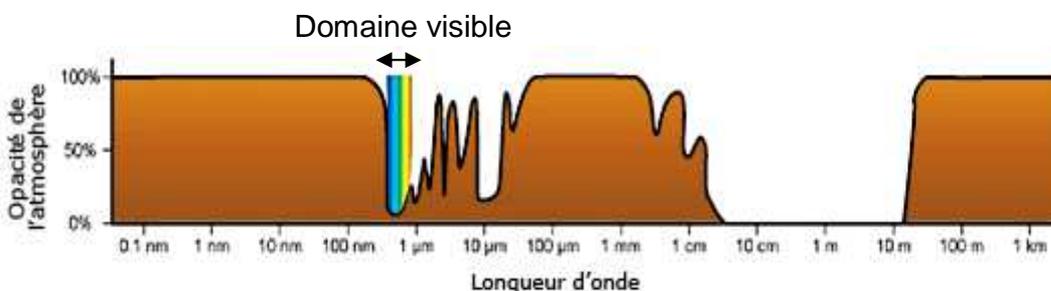
[Encyclopaedia Britannica](http://Encyclopaedia Britannica)

Le HST a révolutionné l'astronomie moderne ; il est non seulement un outil extraordinaire pour explorer notre univers, mais il est également leader dans la recherche astronomique de précurseurs organiques (acides aminés dans des météorites, comètes, etc.).

L'œil rivé au plus profond de l'espace, le HST a collecté pour les scientifiques une immense quantité de données numériques, apportant par exemple la preuve de l'existence des trous noirs, ou validant la théorie de l'expansion de l'Univers émise en 1929 par Edwin Hubble.

D'après futura-sciences.com

### Document 2 : Absorption de l'atmosphère en fonction de la longueur d'onde



D'après Wikipédia

Notations utilisées dans l'exercice :

- rayon de la Terre :  $R_T$
- constante de gravitation universelle :  $G$
- masse de la Terre :  $M$

## **PARTIE A : Étude du satellite Hubble**

### **1. Intérêt du satellite**

**1.1.** Indiquer les limites en longueur d'onde de la partie visible du spectre électromagnétique.

**1.2.** Justifier précisément l'expression «...en infrarouge ou ultraviolet, sans les contraintes dues à l'atmosphère terrestre. ».

**1.3.** Citer une source de rayonnement ultraviolet extraterrestre détectable par le HST.

### **2. Mouvement du satellite**

**2.1.** Représenter sans souci d'échelle sur **la figure 1 de l'ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE** la force d'interaction gravitationnelle  $\vec{F}_{T/H}$  exercée par la Terre sur le satellite de masse  $m$ , supposé ponctuel et noté H.

**2.2.** On suppose que les durées de parcours du satellite sur sa trajectoire circulaire entre les points  $H_1$  et  $H'_1$  puis  $H_2$  et  $H'_2$  sont égales.

**2.2.1.** Énoncer la deuxième loi de Kepler et compléter **la figure 2 de l'ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE** pour illustrer cette loi.

**2.2.2.** En déduire que le mouvement du satellite est circulaire uniforme.

**2.3.** Établir à l'aide des lois de Newton l'expression de la valeur  $a$  de l'accélération du satellite dans le référentiel géocentrique, supposé galiléen, en fonction de  $G$ ,  $M$ , de l'altitude  $h$  et de  $R_T$ .

**2.4.** Montrer que la vitesse du satellite peut se mettre sous la forme :  $v = \sqrt{\frac{G.M}{R_T + h}}$ .

**2.5.** Le calcul de cette vitesse conduit à une valeur d'environ  $7 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1}$ .

Montrer que cette valeur est compatible avec les données.

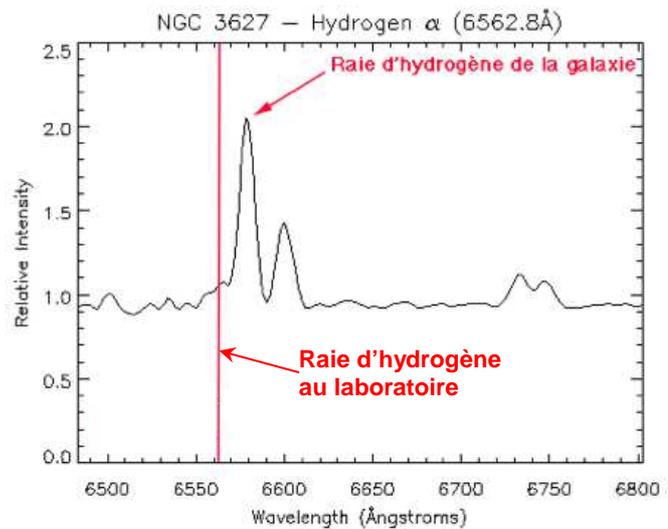
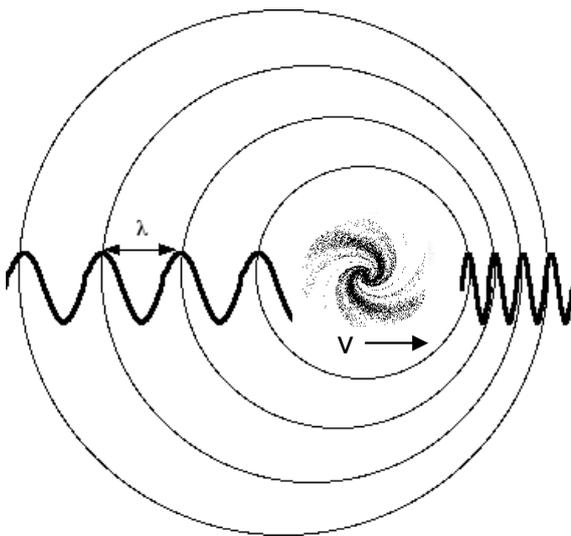
## PARTIE B : Edwin Hubble et l'expansion de l'Univers

### Document 3 : L'effet Doppler

L'effet Doppler (ou Doppler-Fizeau) traduit le décalage de longueur d'onde (ou de fréquence) perçu par un observateur lorsque une onde est reçue en provenance d'un émetteur en mouvement par rapport à la situation où ce même corps est immobile.

Il peut être montré que ce décalage est proportionnel à la vitesse du corps et dépend du sens du mouvement. Si le corps s'éloigne, la longueur d'onde d'une lumière visible émise par ce corps est décalée vers le rouge (la fréquence diminue), s'il se rapproche, elle est décalée vers le bleu (la fréquence augmente).

#### Schéma général de l'effet Doppler Extrait du spectre d'émission de la galaxie NGC 3627

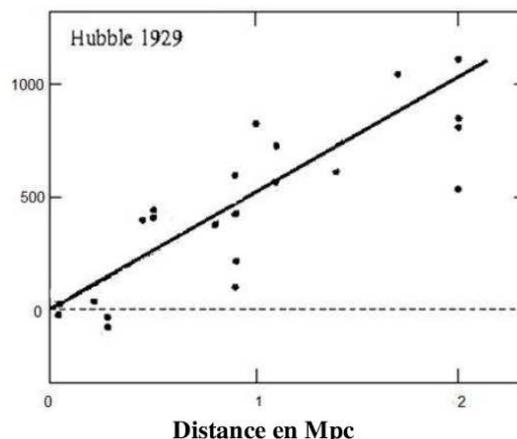


Wavelength : longueur d'onde 1 Ångström = 0,1 nm

[http://bonnetbidaud.free.fr/pedagogie/hubble\\_law/index.html](http://bonnetbidaud.free.fr/pedagogie/hubble_law/index.html)

### Document 4 : Résultats historiques de Edwin Hubble

Vitesse en  $\text{km.s}^{-1}$

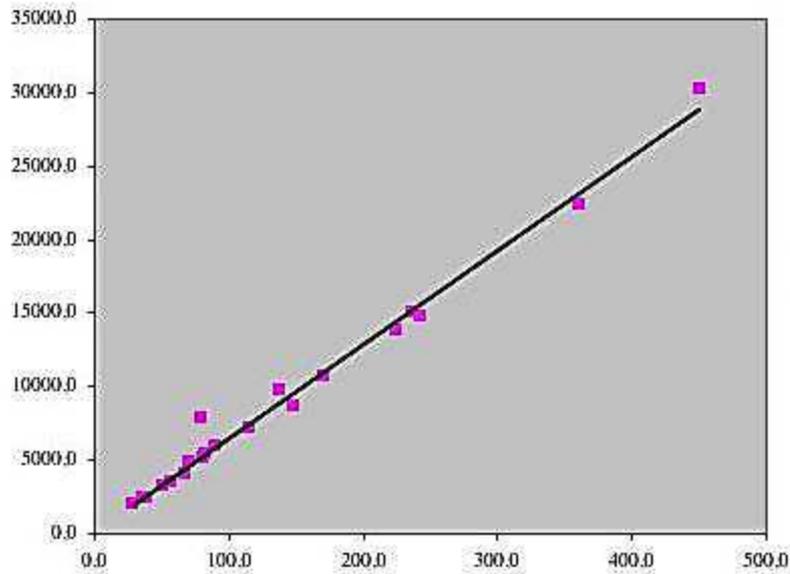


Dès 1929, Edwin Hubble a remarqué que la vitesse à laquelle semblaient s'éloigner les galaxies qu'il observait était proportionnelle à leur distance à la Terre. La constante de proportionnalité a ensuite été appelée "constante de Hubble". La figure ci-dessus indique les premiers résultats obtenus par Edwin Hubble en 1929, pour des galaxies très proches (distance inférieure à 2 Mpc\*).

\* Le mégaparsec noté Mpc est une unité de longueur utilisée couramment en astronomie

**Document 5 : La loi de Hubble en 1996 (Vitesse des galaxies en fonction de leur distance à la Terre jusqu'à 500 Mpc).**

**Vitesse en km.s<sup>-1</sup>**



**Distance en Mpc**

[http://media4.obspm.fr/public/AMC/pages\\_redshift/bb-decalage-rouge.html](http://media4.obspm.fr/public/AMC/pages_redshift/bb-decalage-rouge.html)

Crédit : Riess, Press & Kirshner (1996), Astrophysical Journal 473,88

**3.1.** L'effet Doppler est observé dans le cas des ondes sonores (par exemple une sirène d'ambulance en mouvement).

Indiquer dans le cas d'une source sonore s'éloignant de l'observateur si le son perçu par celui-ci est plus aigu ou plus grave que le son perçu lorsque la source est immobile. Justifier la réponse.

**3.2.** La galaxie NGC 3627 s'éloigne-t-elle ou se rapproche-t-elle de la Terre ?

**3.3.** Commenter la phrase « Edwin Hubble a remarqué que la vitesse à laquelle semblaient s'éloigner les galaxies qu'il observait était proportionnelle à leur distance à la Terre ».

**3.4.** La constante de proportionnalité dite « constante de Hubble » est notée en général  $H_0$ .

**3.4.1.** À partir du graphique du document 4, estimer la valeur de  $H_0$  proposée par Edwin Hubble. On précisera l'unité associée à cette valeur.

En réalité des mesures plus récentes réalisées en partie par le télescope Hubble ont permis d'obtenir des mesures plus précises sur des galaxies plus éloignées (voir document 5).

**3.4.2.** Discuter de la validité de la loi de Hubble et comparer la valeur actuelle de  $H_0$  à celle proposée par Edwin Hubble.

**3.5.** Expliquer pourquoi l'application de cette loi pour une galaxie située à 10 000 Mpc se heurterait à un principe fondamental de la physique.

PARTIE A :

Figure 1 :

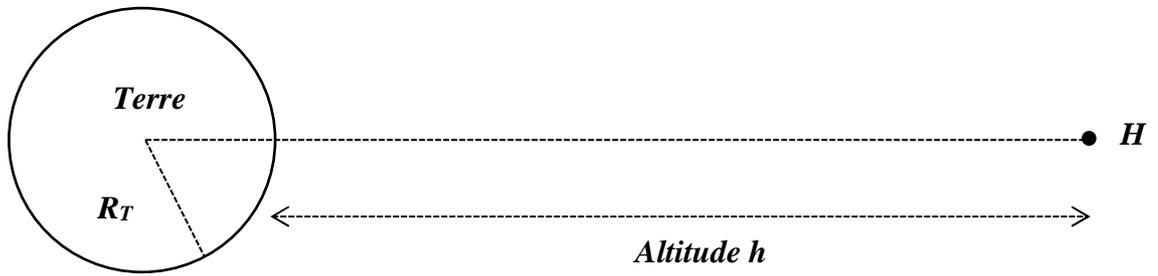
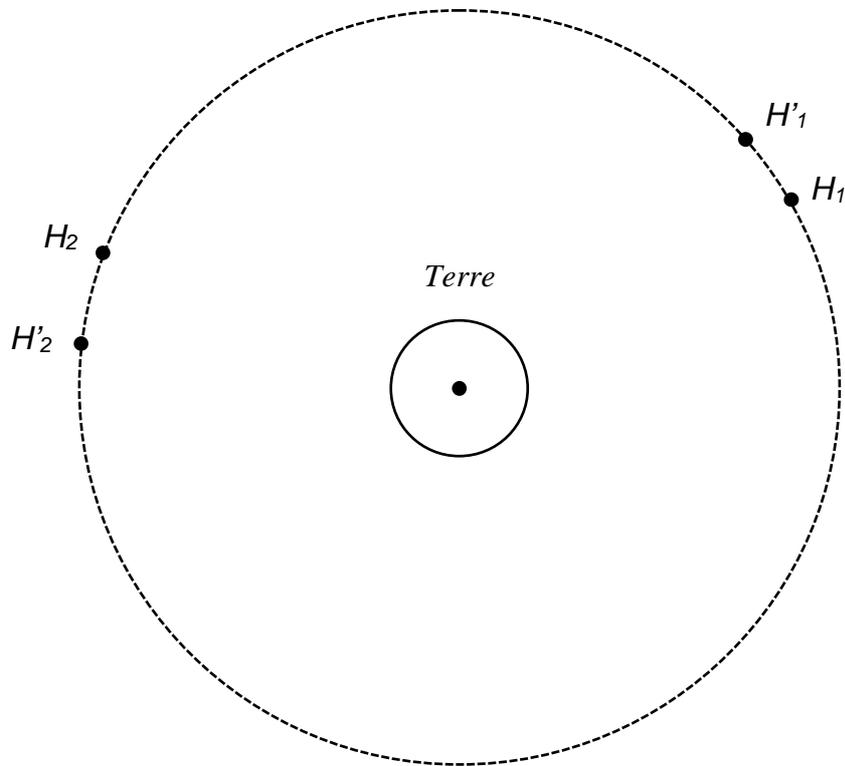


Figure 2 :



**Document 1**

L'origine des molécules prébiotiques dont l'évolution chimique aurait conduit aux polymères aujourd'hui caractéristiques de la vie, comme les polynucléotides et les protéines, n'est pas connue. Diverses hypothèses ont été formulées. Les premières molécules organiques auraient pu se former sur la Terre par réactions chimiques entre certains constituants de l'atmosphère primitive dissous dans l'eau. Diverses expériences ont en effet montré la possibilité de synthèse de constituants organiques à partir des composants de l'atmosphère primitive. Les premières molécules organiques auraient pu aussi se former au fond des océans au niveau des sources hydrothermales où on a en effet montré expérimentalement la possibilité de synthèse de substances organiques à partir de composés soufrés et d'oxydes de carbone. Enfin, elles auraient pu provenir de l'espace car on a identifié divers précurseurs organiques, notamment des acides aminés, dans des météorites, comètes, etc.

[acces.ens-lyon.fr/biotic/evolut/orivie/html/syn-pre.htm](http://acces.ens-lyon.fr/biotic/evolut/orivie/html/syn-pre.htm)

**Document 2**

Ce genre de molécules organiques avait été découvert dans la **météorite** tombée près de la petite ville de Murchison en Australie en 1969. Dans cette **chondrite** carbonée, les cosmochimistes de l'époque et leurs successeurs ont dénombré plus de 70 acides aminés.

Ils y ont ainsi découvert, sous forme de traces, l'alanine, la glycine, la valine, la leucine, l'isoleucine, la proline, l'acide aspartique et l'acide glutamique, molécules toutes précurseurs pour former les diverses protéines des êtres vivants terrestres. Bien mieux, des purines et des pyrimidines y ont également été trouvées. Or ces molécules sont les bases azotées précurseurs de l'ADN et de l'ARN qui constituent le matériel génétique de tous les êtres vivants que porte la Terre.



Grâce à la technique de spectrométrie de masse, Philippe Schmitt-Kopplin, du *Helmholtz Centre* de Munich, a détecté plus de 14 000 molécules organiques différentes au sein de la célèbre météorite. Selon les chercheurs, ces analyses impliqueraient que cette roche abriterait en réalité des millions de molécules organiques différentes.

d'après <http://www.futura-sciences.com/>

**Document 3**

Entre les étoiles, l'espace est extraordinairement froid. Pourtant, les scientifiques ont découvert il y a un demi-siècle que des réactions chimiques d'une étonnante complexité y ont cours : les briques élémentaires du vivant y sont façonnées. Comment est-ce possible ? Louis d'Hendecourt, de l'*Institut d'Astrophysique Spatiale (IAS)* explique comment les grains, sorte de paillettes faites de carbone et de silicate, jouent un rôle essentiel de catalyseur. Selon les résultats de ses dernières recherches, l'une des conditions sine qua non au développement de la vie, la chiralité, résulte aussi de processus à l'œuvre entre les étoiles. Ce n'est pas pour autant que la vie est banale dans l'Univers : les planètes sont loin de toujours offrir le nid douillet requis pour qu'elle émerge...

Résumé de l'entretien de Louis d'Hendecourt astrophysicien à l'IAS, au magazine Ciel et Espace



## 2. Identification des molécules

2.1. On veut différencier la leucine de l'isoleucine par une technique d'identification appropriée.

2.1.1. Écrire la formule topologique de la leucine.

2.1.2. Quelle relation lie ces deux molécules ?

2.2. Trois techniques simples d'identification de molécules peuvent être envisagées en chimie organique :

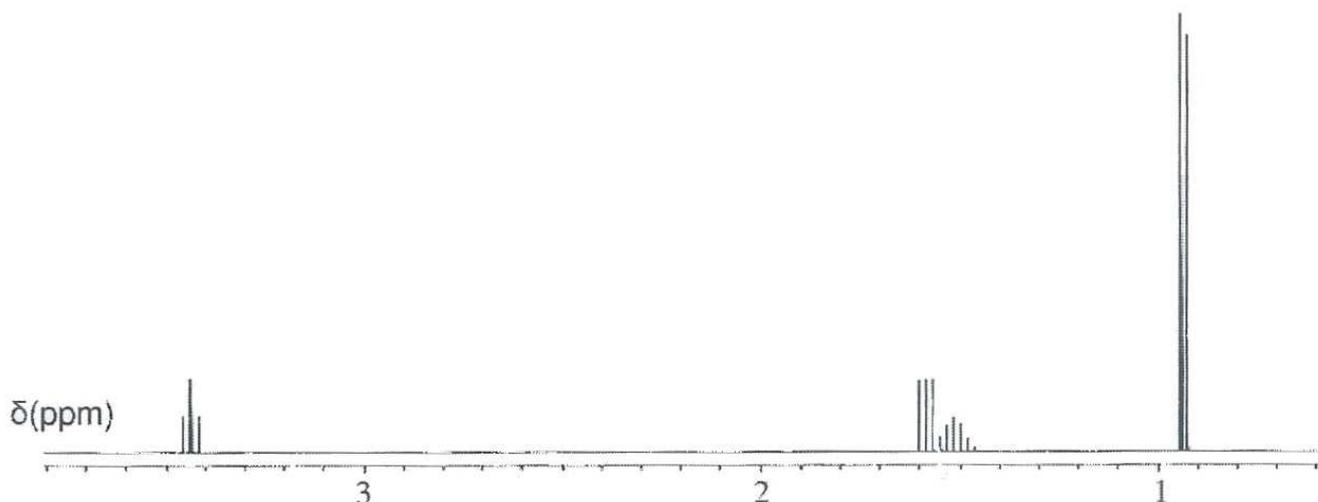
- la spectroscopie de masse citée dans le document 2 qui sépare les entités chimiques en fonction de leur masse et qui identifie ces masses,
- la spectroscopie infrarouge,
- la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire.

Laquelle (ou lesquelles) de ces trois techniques peut (peuvent) être choisie(s) pour différencier les molécules de leucine et d'isoleucine ? On expliquera pourquoi l' (ou les) autre(s) technique(s) n'est (ne sont pas) adaptée(s) à cette différenciation.

2.3. Les spectres de RMN des deux molécules sont réalisés en ajoutant un peu d'"eau lourde" à l'échantillon. On appelle "eau lourde" l'eau deutérée  $D_2O$ . L'objectif de cet ajout est de permettre le remplacement des protons acides par des atomes de deutérium, c'est-à-dire les protons des groupes  $COOH$  et  $NH_2$ . Le deutérium ne provoquant aucun signal en RMN du proton, **la conséquence de cet ajout est de faire disparaître les signaux dus aux protons des groupes  $COOH$  et  $NH_2$ .**

L'un de ces deux spectres est donné ci-dessous et comporte :

- un doublet de déplacement chimique  $\delta = 0,9$  ppm intégrant pour 6H ;
- un multiplet (non résolu) de déplacement chimique  $\delta = 1,5$  ppm intégrant pour 1 H ;
- un triplet de déplacement chimique  $\delta = 1,6$  ppm intégrant pour 2H ;
- un triplet de déplacement chimique  $\delta = 3,4$  ppm intégrant pour 1H.



Ce spectre est-il celui de la leucine ou de l'isoleucine ? Justifier la réponse par au moins deux arguments.

3. On envisage que la synthèse des acides aminés puisse s'opérer dans l'espace.

3.1. Quel(s) paramètre(s) identifié(s) dans le document 3 semble(nt) pouvoir avoir un effet favorable ou défavorable à la réalisation de synthèses dans l'espace ?

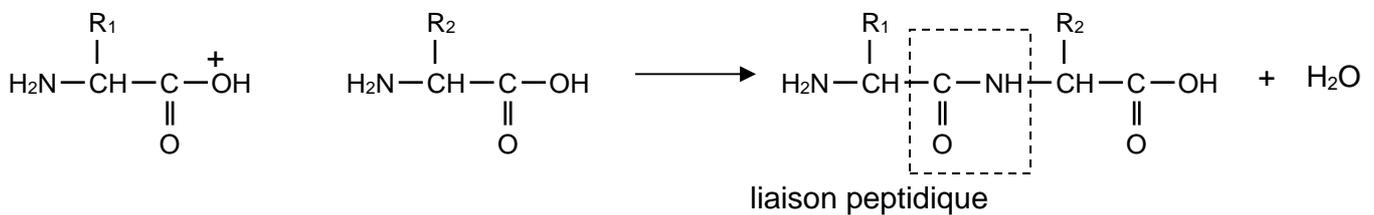
3.2. Le document 3 fait allusion à la chiralité des molécules produites et utilisées par tous les êtres vivants de la Terre, alors que les réactions de synthèses chimiques produisent en général des mélanges dits « racémiques ».

3.2.1. Que signifient les termes « racémique » et « chirale » ?

3.2.2. Illustrer ces deux termes à l'aide de la leucine.

4. Les chimistes se sont efforcés de reconstituer en laboratoire les familles de longues chaînes biologiques indispensables au fonctionnement de la cellule.

Il faut pour cela réaliser des enchaînements d'acides aminés à l'aide d'une réaction nommée synthèse peptidique dont l'équation générale est donnée ci-dessous :

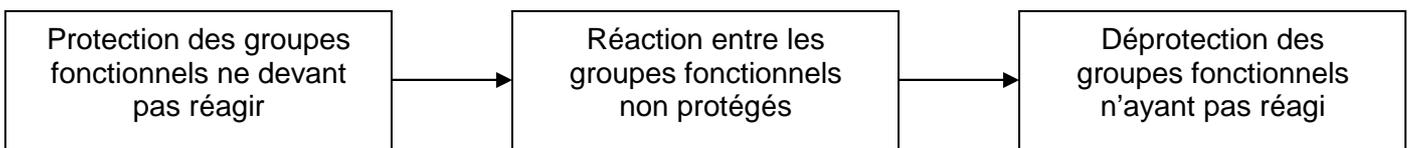


4.1. À partir d'un mélange initial de leucine et d'isoleucine, combien de dipeptides différents peut-on a priori obtenir ? Justifier.

4.2. Un dipeptide obtenu est nommé à partir de l'abréviation des deux acides aminés ayant permis de l'obtenir.

Écrire l'équation de la synthèse du dipeptide Leu-Ile en indiquant en rouge les groupes qui doivent être protégés pour obtenir ce seul dipeptide.

4.3. La synthèse d'un dipeptide donné demande ainsi plusieurs étapes schématisées ci-dessous :

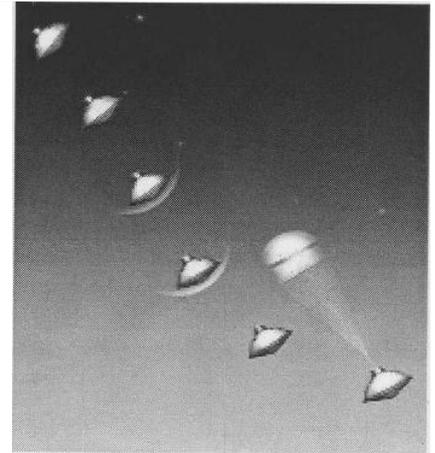


Expliquer en quelques lignes pourquoi réaliser chimiquement la synthèse d'une protéine donnée (de plus de 50 acides aminés) reste un défi industriel.

Lorsqu'un engin spatial revient sur Terre ou se pose sur une autre planète, la traversée de l'atmosphère (si elle existe) ne peut se faire que si le véhicule de transport est recouvert d'une protection thermique capable de supporter des températures très élevées au contact des parois.

En effet, la rentrée dans l'atmosphère constitue une phase critique. Une fissure de quelques centimètres dans une des tuiles de la protection thermique de la navette Columbia a été à l'origine de sa désintégration en plein vol (février 2003).

La prochaine génération de protections thermiques est déjà à l'étude. Cela passe par le développement de nouveaux matériaux plus résistants à la chaleur et plus légers.



*D'après Flashespace (18/01/2008).*

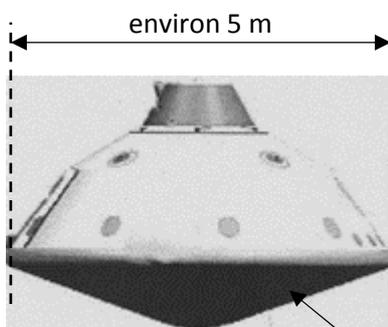
**Cet exercice porte sur le choix d'un matériau constituant le bouclier thermique de la sonde qui s'est posée sur Mars en Août 2012. Vous devez, lire attentivement l'ensemble des documents proposés pour répondre aux questions suivantes :**

Après avoir résumé le principe et l'intérêt des systèmes de protection thermique des engins spatiaux, vous justifierez, le choix du projet MSL d'utiliser le PICA comme matériau pour son bouclier thermique. Vous prendrez soin de valider par un calcul le terme « bouclier thermique » en estimant le flux de transfert thermique traversant un module muni d'un bouclier ainsi que le flux de transfert thermique théorique qui traverserait un module non muni d'un bouclier thermique.

Vous veillerez à structurer les informations recueillies, à faire preuve d'esprit critique et à rédiger avec soin votre solution.

#### Document 1 : La mission MSL vers Mars

Mars Science Laboratory (MSL) est une mission d'exploration de la planète Mars développée par l'Agence Spatiale Américaine (NASA) dont l'un des buts est de déterminer si la vie a pu exister sur cette planète. Une sonde spatiale s'est posée sur Mars le 6 Août 2012. Elle transportait un module d'exploration ou rover (appelé « Curiosity ») protégé par un bouclier thermique. La question du choix du matériau utilisé pour ce bouclier thermique a été délicate. Un premier matériau, nommé SLA561V avait été choisi, mais les tests de qualification n'ont pas été satisfaisants. Le centre de la NASA, en charge du projet, l'a donc remplacé par le Phenolic Impregnated Carbon Ablator (PICA) qui est une fibre de carbone imprégnée d'une résine phénolique.



Bouclier thermique

#### Caractéristiques du véhicule de rentrée :

Masse totale :  $3,9 \times 10^3$  kg

Surface du bouclier thermique : environ  $20 \text{ m}^2$

Surface du module sans bouclier exposé aux frottements : environ  $20 \text{ m}^2$

Épaisseur du PICA : environ 10 cm

Vitesse d'entrée dans l'atmosphère de Mars :  $18,3 \times 10^3 \text{ km.h}^{-1}$  soit une énergie cinétique  $E_{c1} = 5,03 \times 10^{10} \text{ J}$

Vitesse à l'ouverture du parachute :  $1,4 \times 10^3 \text{ km.h}^{-1}$  soit une énergie cinétique  $E_{c2} = 0,03 \times 10^{10} \text{ J}$

Durée de la phase de décélération : 200 s

Source : NASA

## Document 2 : Traversée de l'atmosphère de Mars par le véhicule MSL.

La température de surface du bouclier thermique de la mission MSL peut atteindre environ 2000 °C. À cette température, la couche superficielle de PICA (matériau choisi par la NASA pour construire le bouclier thermique) se décompose. L'épaisseur du bouclier thermique diminue. On appelle ce phénomène l'ablation.

La couche de matériau restant sert d'isolant thermique pour maintenir les équipements à l'intérieur du véhicule à une température acceptable d'environ 10 °C.

Lors de l'entrée dans l'atmosphère de Mars, le véhicule spatial est ralenti du fait du travail  $W$  des forces de frottement de l'atmosphère martienne. Il pourrait être alors exposé sans bouclier thermique à un flux thermique  $\phi_{th}$  (en  $\text{kW.m}^{-2}$ ) mettant en jeu environ 20 % de la variation de l'énergie cinétique.

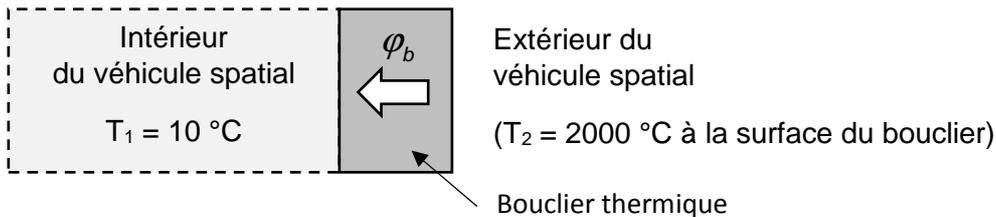
On néglige la perte d'énergie potentielle du fait de la vitesse élevée à l'entrée dans l'atmosphère de telle sorte que  $\Delta E_C = W$ .

## Document 3 : Transfert thermique à travers le bouclier.

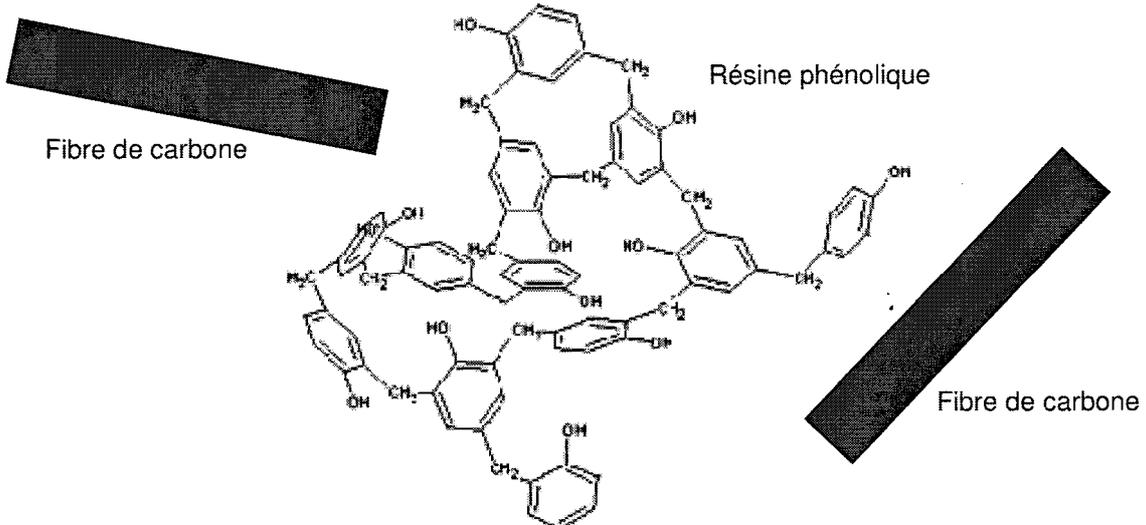
Le transfert thermique par conduction à travers le bouclier donne lieu à un flux  $\phi_b$

$$\phi_b = \frac{\Delta T \cdot \lambda}{e}$$

$\Delta T$  est la différence de température entre les deux côtés du matériau (en K)  
 $\lambda$  est la conductivité thermique du matériau (en  $\text{W.m}^{-1} \text{K}^{-1}$ )  
 $e$  est l'épaisseur du matériau (en m)



## Document 4 : Composition chimique du PICA.



**Document 5 : Données sur le PICA.**

Source : NASA et Key Laboratory of Science and Technology for Advanced Composites in Spécial Environments, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, PR China

Caractéristiques physiques :

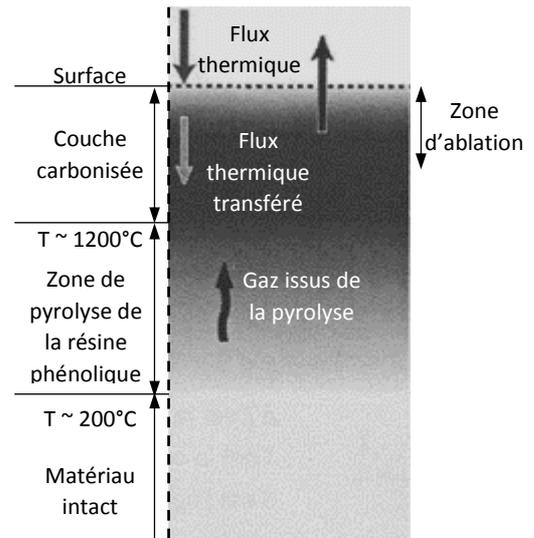
Densité	Conductivité thermique ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )	Pourcentage en volume de fibre de carbone	Pourcentage en volume de résine phénolique	Émissivité* du substrat de carbone au cours de l'ablation
0,35	0,1	12,5 %	11,1 %	0,9

\* nombre variant entre 0 et 1 qui rend compte de la capacité d'un matériau à émettre de l'énergie par rayonnement.

Mécanisme d'ablation :

Du fait de la température de surface très élevée sous l'effet du flux thermique, la résine phénolique est pyrolysée\* et les fibres de carbone commencent à se sublimer\*\* dans la zone d'ablation si bien que l'épaisseur du matériau diminue. Ces deux phénomènes de sublimation et pyrolyse absorbent une partie de l'énergie reçue.

Le carbone formé par pyrolyse\* de la résine phénolique est très poreux et forme une couche très isolante. Le PICA ayant déjà une faible conductivité thermique, une faible capacité thermique, le flux thermique est rejeté vers la surface par convection plutôt que d'être diffusé vers l'intérieur par conduction.



D'autre part la couche de carbone formée dissipe une grande partie du flux d'énergie incident par radiation du fait de sa forte émissivité. Ce mécanisme semble être prépondérant dans le phénomène de dissipation de l'énergie thermique.

Pour une durée d'ablation de l'ordre de 200 s, la variation d'épaisseur du matériau à la température de 2000 °C est de 0,02 mm.s<sup>-1</sup>.

\*Pyrolyse : décomposition d'un composé organique sous l'effet d'une température élevée (entre 200°C et 1000°C)

\*\* Sublimation : Passage de l'état solide à l'état gazeux.

Température intérieure du matériau : (Tests en laboratoire ; Température de surface de 1600 °C)

