

Numéro de candidat :

Sujet Stephen Hawking

“The mystery of life isn't a problem to solve, but a reality to experience.”

Frank Herbert, «Dune »

« Dune » est une célèbre saga de science-fiction composée de six romans écrits par Frank Herbert et publiée pour la première fois en 1965. L'histoire se déroule dans un futur lointain, où l'humanité a colonisé des planètes à travers l'univers. Dans ses premiers tomes, elle suit Paul Atréides, héritier de la maison Atréides, qui est plongé dans un conflit pour le contrôle de la planète désertique Arrakis également connue sous le nom de Dune. Le roman est apprécié non seulement pour sa narration captivante, mais aussi pour sa réflexion approfondie sur l'écologie, le pouvoir et la survie humaine.



Les six romans de Dune totalisent 849 000 mots, ce qui est similaire au contenu du classique manuel de biochimie de Lehninger (859 000 mots) que vous pourrez être amenés à rencontrer dans le futur et ce qui dépasse le nombre de mots du manuel de référence en chimie organique de Clayden et al., qui, lui, contient 604 000 mots.

Partie I

La planète centrale de la saga, Arrakis, est une planète désertique qui est grandement dépourvue du composé **A** mais dont l'atmosphère est semblable à celle de la Terre. Dans ce monde aride où la surface de sable présente une température de 75 °C, une population indigène résiliente, les Fremen, ont subsisté en maîtres de la survie. Ils ont développé des coutumes et des technologies avancées pour s'y adapter. Parmi eux, l'écologiste impérial et planétologue Liet Kynes a étudié la planète en profondeur et il est hanté par le rêve de transformer cette planète désertique en un écosystème viable. D'après ses études, l'atmosphère d'Arrakis a pour fraction molaire : 75,4% de gaz **B**, 23,0% de gaz **C**, 0,023% des gaz **D** et **E**. Par ailleurs, il a déterminé que la masse volumique de l'atmosphère, à 75 °C et sous une pression P° , est de 1,023 g L⁻¹. En outre, Liet Kynes mène de nombreuses recherches pour trouver un moyen de synthétiser **A**. Il a songé à mettre en place des dispositifs de réduction afin de produire **A** à partir des gaz **C** et **F** présents dans la roche, mais a dû renoncer, le coût énergétique s'avérant beaucoup trop important. Liet a estimé que, pour produire **A**, la première méthode de synthèse envisagée consiste à faire réagir un mélange stœchiométrique des gaz **C** et **F** (proportions massiques 8:1) selon une transformation totale. Toutefois, cette transformation est exothermique et elle peut être à l'origine d'explosions.

Les vaisseaux arrivant sur Arrakis utilisent un monergol **G**, de masse molaire égale à 34 g mol⁻¹, dont la décomposition produit uniquement les gaz **A** et **C**.

De manière surprenante, on a découvert d'abondantes dunes sur Titan, une lune de Saturne dont la température moyenne est de $-179\text{ }^{\circ}\text{C}$. Titan a par ailleurs un caractère unique parmi les lunes présentes dans le système solaire car il possède une atmosphère dense, et c'est le vent créé par la gravité de Saturne qui génère les dunes. Il est par ailleurs également possible d'observer sur cette lune une mer composée de deux liquides, **H** et **I**, ainsi que des pluies de ces liquides. Les liquides **H** et **I** sont des composés binaires (constitués de deux éléments) contenant respectivement 25% et 20% (fraction molaire) du même élément. L'action de **C** sur ces deux liquides donne seulement deux produits : **A** et **D**.

1. Calculer la masse molaire de l'atmosphère d'Arrakis. Déterminer les formules moléculaires des espèces **B**, **C**, **D** et **E**.

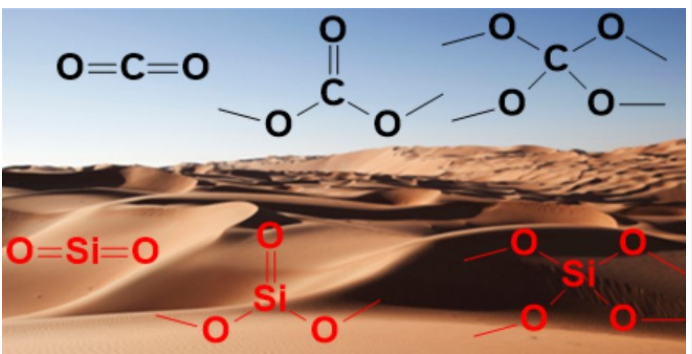
2. Donner les formules moléculaires des espèces **A**, **F**, **G**, **H** et **I** en détaillant votre raisonnement.

3. Écrire les équations des réactions mises en jeu.

4. Estimer, en le justifiant, si les pluies sur Titan sont acides.

Le sable a pour composition SiO_2 . Le carbone et le silicium sont des éléments de la même famille du tableau périodique, mais leurs propriétés parfois diffèrent notablement. Ainsi, le dioxyde de silicium est un solide tandis que le dioxyde de carbone (CO_2) est un gaz.

Il est possible d'expliquer simplement cette différence en s'appuyant sur les énergies de liaison mises en jeu, en faisant l'hypothèse que l'état le plus stable correspond à celui où les liaisons sont les plus fortes.

Liaison	Énergie de liaison (kJ mol ⁻¹)	
C-O	358	
Si-O	463	
C=O	799	
Si=O	572	

5. Donner la nature des interactions pouvant s'établir entre les molécules de CO₂ et de SiO₂. Préciser l'ordre de grandeur de ces interactions. La comparer à l'énergie thermique qui est de l'ordre R·T et conclure.

6. En vous basant sur la figure et sur les grandeurs énergétiques relatives aux liaisons, justifier que SiO_2 se trouve plutôt à l'état solide alors que CO_2 est plutôt à l'état gazeux.

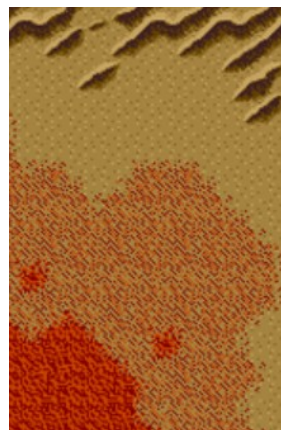
Partie II

“He who controls the spice controls the universe.”

Frank Herbert, «Dune »

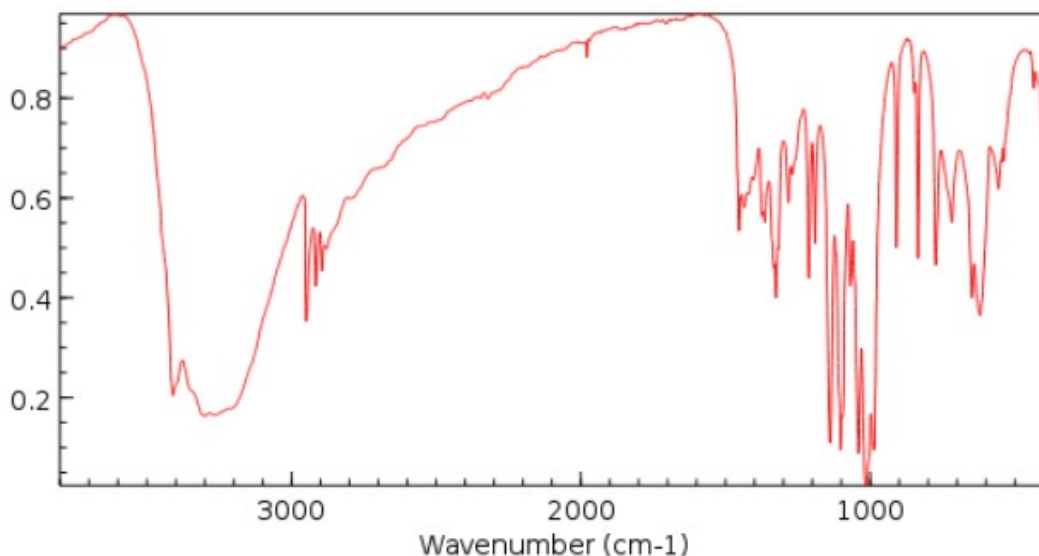
Arrakis occupe une place centrale dans Dune pour son lien avec une substance orange miraculeuse, *l'épice*. Également appelée "le mélange", il s'agit de la substance la plus précieuse de l'univers et elle ne peut être trouvée que sur cette planète. *L'épice* prolonge la vie, augmente la vitalité humaine et confère des capacités prescientes, essentielles pour les navigateurs de la Guilde spatiale, qui dépendent de ces visions pour piloter les vaisseaux à travers l'espace.

Les créatures énormes vivant dans le sable de cette planète et appelés Shai-Hulud ou vers des sables jouent un rôle crucial dans l'écosystème de la planète, notamment pour leur contribution à la production de *l'épice* et de gaz **C**. En effet, sur Arrakis, la génération de gaz **C** via la photosynthèse (comme sur Terre où **A** réagit avec **D**) est impossible, bien qu'on y trouve des zones de verdure.



7. Proposer une équation pour la réaction de photosynthèse formant un seul produit organique, le glucose, de formule $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.

Le spectre infra-rouge de $C_6H_{12}O_6$ présente les bandes suivantes : bandes intenses à $3300-3100\text{ cm}^{-1}$, 2950 cm^{-1} et 1150 cm^{-1} et aucune bande entre 1600 cm^{-1} et 2600 cm^{-1} :



8. Indiquer quels groupes sont présents dans le glucose et associer les nombres d'ondes correspondants :

- a) C=O (aldéhyde) b) C=O (cétone) c) O-H d) R-O-R' e) R-C(=O)OR' (ester)
 f) -C-H g) =C-H h) $\equiv$ C-H i) R-C(=O)OR' (anhydride)

Frank Herbert écrit dans l'Appendice I de Dune :

Même Shai-Hulud figurait dans les relevés... Son système digestif interne, véritable « usine » produisant d'énormes concentrations d'aldéhydes et d'acides, était une source gigantesque du gaz C. Un ver de taille moyenne (environ 200 mètres de long) rejetait dans l'atmosphère autant d'espèce C que dix kilomètres carrés de surface photosynthétique végétale.

On considérera qu'une forêt de 100 m^2 produit en moyenne 0,330 moles par heure de C. Le métabolisme au sein du ver permet la conversion des aldéhydes et des acides carboxyliques en alcène et en gaz C.

9. Expliquer pourquoi les composés organiques pouvant être transformés par le ver ne peuvent pas être l'éthanal ou l'acide propanoïque. Vous pourrez débiter par écrire les équations des réactions correspondantes.

Le ver peut convertir un mélange de deux composés de structure linéaire **J** (l'aldéhyde $C_nH_{2n}O$) et de **K** (l'acide carboxylique, $C_mH_{2m}O$) pour produire le gaz **C**. Un mélange de 85,36 kg de **J** et de **K** est consommé chaque minute par le ver pour conduire au gaz **C** et à deux alcènes dans les proportions en quantité de matière 2:1. L'écart entre les masses molaires des composés **J** et **K** est $M(K) - M(J) = 2 \text{ g mol}^{-1}$.

10. Déterminer la fraction massique du carbone dans ce mélange **J+K**.

11. Déterminer les formules moléculaires de **J**, **K** et de deux alcènes sachant que ces deux derniers ne possèdent pas d'isomérisie E/Z.

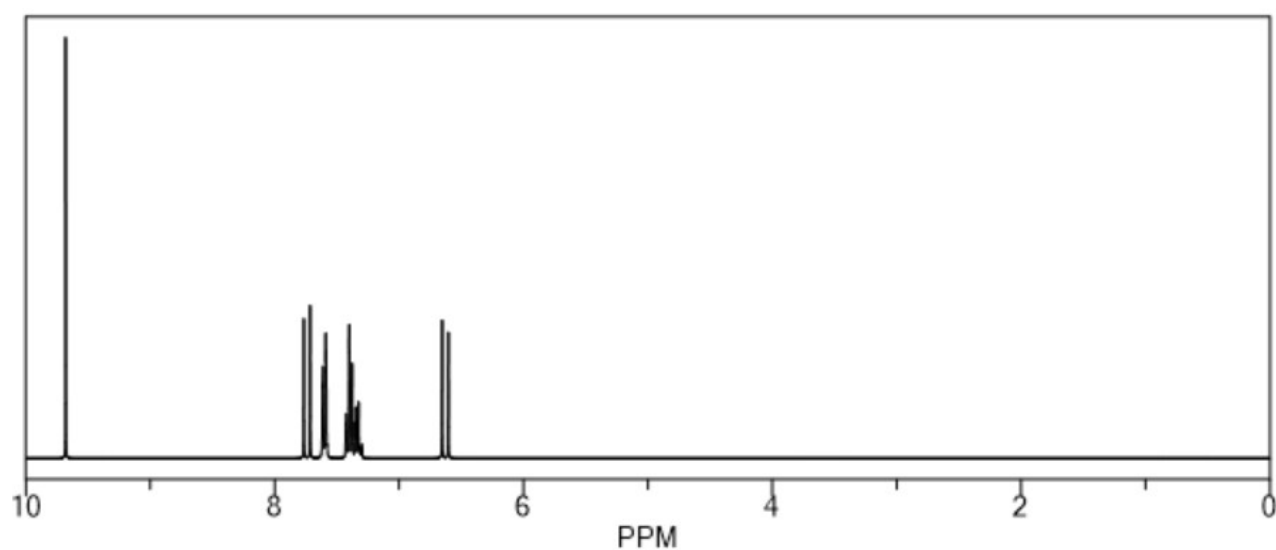
L'épice est récoltée par d'imposantes machines appelées moissonneuses, mélangée à de grandes quantités de sable. Sa composition chimique précise n'est pas révélée dans le roman, bien que de nombreuses hypothèses basées sur des composés terrestres aient été proposées. Ces propositions n'arrivent cependant pas à reproduire l'ensemble des incroyables propriétés de l'épice.



L'une de ces propositions suggère que l'épice pourrait être un solide organique **L** de formule C_9H_8O .

12. Compte-tenu du manque de **A** sur Arrakis, proposer une méthode de séparation de **L** et du sable.

Le spectre de RMN ^1H de **L** est donné ci-dessous :



^1H NMR: δ 6,67 (1H, dd, $J = 15,8, 10,4$ Hz), 7,36-7,53 (5H, m), 7,56 (d, $J = 15,8$ Hz), 9,45 (1H, d, $J = 10,4$ Hz).

13. À partir du spectre RMN, donner la structure de ***l'épice L***.

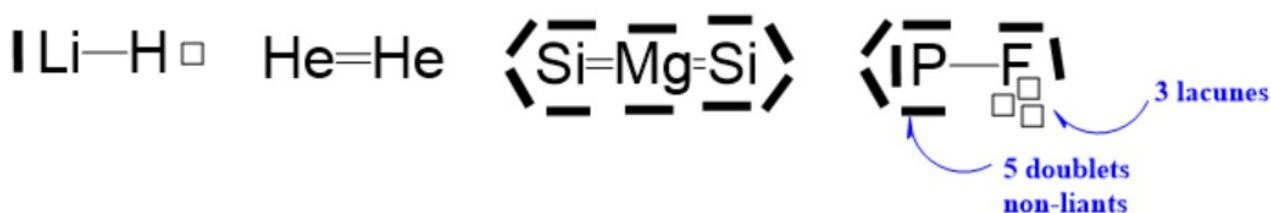


Partie III : au delà de la saga, vers plus de science-fiction

À l'occasion du centenaire de la publication
du principe d'exclusion de Pauli en février 1925
Pauli, W. Zeitschrift für Physik, 31, 765-783 Février 1925

Pour approfondir encore la science-fiction, imaginons un univers alternatif et multidimensionnel où les lois fondamentales de la physique diffèrent des nôtres. Dans cet univers, le principe d'exclusion de Pauli resterait le même, à savoir que chaque orbitale pourrait contenir deux électrons. De même, les éléments chimiques conserveraient leur nom, défini par leur nombre de protons.

Voici quatre exemples de molécules qui existent dans cet univers alternatif :



14. À partir de ces exemples, déduire la règle qui remplace la règle de l'octet dans cet univers.

15. Indiquer alors quels sont les deux premiers éléments qui sont des gaz nobles.

Dans cet espace multidimensionnel, les réactions peuvent être facilement d'ordre global 2025 comme par exemple la réaction imaginaire : $825 X + 1025 Y + 175 Z = \text{produits}$.

16. Entourer, parmi les propositions suivantes, la ou les loi(s) de vitesse qui pourrai(en)t être correcte(s).

a) $v = k[X]^{20}[Y]^2[Z]^5$, b) $v = k[X]^{2025}$, c) $v = k[X]^{2002}[Y]^{12}[Z]^{12}$, d) $v = k[X]^{1999}[Y][Z]^{25}$

17. Donner, pour chaque cas retenu, l'unité de la constante de vitesse correspondante.

Dans cet espace, la réaction $A + B + C + D = P$ a été étudiée par mesure de la vitesse initiale au cours d'une série d'expériences de conditions initiales différentes. Les résultats des mesures sont présentés dans le tableau suivant (le symbole M correspond à mol L⁻¹) :

Expérience	C ₀ (A), M	C ₀ (B), M	C ₀ (C), M	C ₀ (D), M	v ₀ ·10 ⁵
1	0,6	0,2	0,2	0,3	19,4
2	1,2	0,2	0,2	0,6	622,1
3	0,8	0,2	0,4	0,8	34,6
4	0,8	0,1	0,2	0,8	8,64
5	0,6	0,2	0,3	0,3	19,4
6	0,6	0,2	0,2	0,6	155,5

18. En indiquant votre raisonnement, déterminer l'ordre de la réaction par rapport à chaque réactif ainsi que l'ordre global de la réaction.

