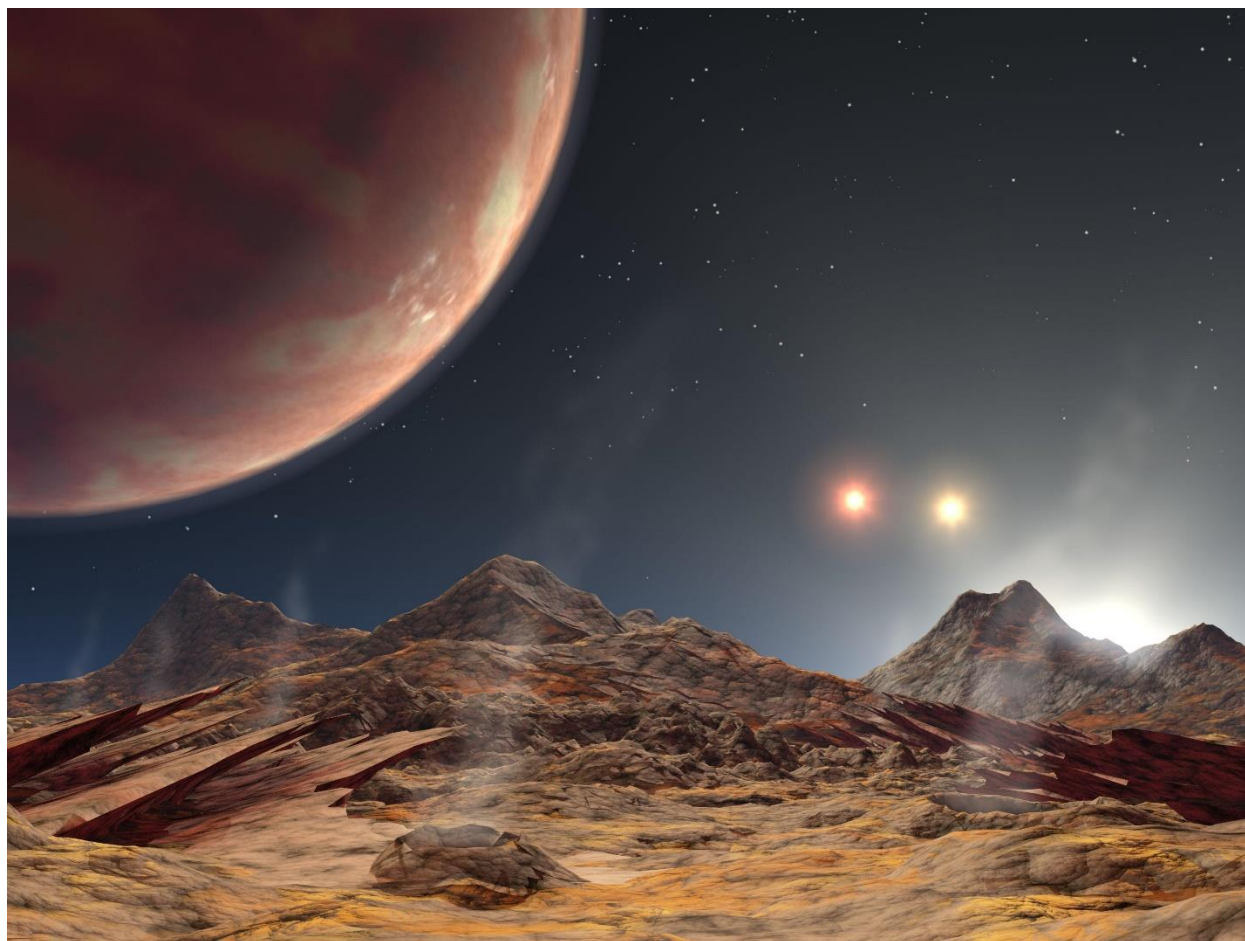


# QUÉBEC SCIENCE AU SECONDAIRE

DOCUMENT PÉDAGOGIQUE



## LA GENESE DE LA CHASSE AUX EXOPLANETES

GUIDE DE L'ENSEIGNANT

| Durée      | Clientèle visée   | Article lié  |
|------------|---|--|
| 75 minutes | Les élèves de première année du deuxième cycle. Science et Technologie (ST) | « La genèse de la chasse aux exoplanètes » (Magazine Québec Science, volume 58, numéro 1, Juillet-Août 2019, pages 32-35), rédigé par le journaliste Sylvain Lumbroso. |

### OBJECTIFS

Québec Science au secondaire propose des documents pédagogiques afin d'arrimer le Programme de formation de l'école québécoise (PFEQ) à l'actualité scientifique. Vous pourrez discuter en classe d'enjeux de société et de nouvelles découvertes, tout en suivant la progression des apprentissages.

L'équipe de Québec Science espère de tout cœur que ces documents vous seront utiles.

### CONCEPTS ABORDES

*Selon la progression des apprentissages*

#### L'univers matériel

- A. Propriétés
  - 2. Propriétés physiques caractéristiques
    - c. Masse volumique
      - ii. Déterminer la masse volumique de différentes substances
- E. Ondes
  - a. Fréquence
    - i. Définir la fréquence d'une onde comme étant le nombre d'oscillations par seconde (Hz)
  - b. Longueur d'onde
    - i. Définir la longueur d'onde comme étant la distance entre deux points identiques d'une onde à un instant donné (ex : distance entre deux crêtes)
  - e. Spectre électromagnétique
    - i. Situer différentes régions sur le spectre électromagnétique (ex. : radio, infrarouge, lumière visible, rayons X)

#### La Terre et l'espace

- A. Caractéristiques de la Terre
  - 4. Atmosphère
    - a. Caractéristiques générales de l'atmosphère
      - ii. Décrire la composition de l'air pur au niveau de la mer (azote, oxygène, gaz carbonique, vapeur d'eau)
- C. Phénomènes astronomiques
  - 1. Notions d'astronomie
    - a. Gravitation universelle
      - i. Définir la gravitation comme étant une force d'attraction mutuelle qui s'exerce entre les corps
    - c. Lumière
      - i. Définir la lumière comme étant une forme d'énergie rayonnante
      - ii. Décrire les propriétés de la lumière : propagation en ligne droite, réflexion diffuse par des surfaces
      - iii. Expliquer divers phénomènes à l'aide des propriétés de la lumière (cycle du jour et de la nuit, saisons, phases de la Lune, éclipse)
  - 2. Système solaire
    - a. Caractéristiques du système solaire

- i. Comparer certaines caractéristiques des planètes du système solaire (ex : distances, dimensions relatives, composition)
  - d. Éclipses
    - i. Expliquer le fonctionnement d'une éclipse lunaire ou solaire
- 3. L'univers
  - a. Échelle de l'univers
    - ii. Année-lumière
    - iii. Situation de la Terre dans l'univers
  - b. Conditions favorables au développement de la vie
    - ii. Décrire des conditions qui favorisent le développement ou le maintien de la vie (ex : présence d'une atmosphère, d'eau, d'une source d'énergie)

---

## RÉSUMÉ DE L'ARTICLE

La première découverte officielle d'une exoplanète - une planète en orbite autour d'une étoile autre que le Soleil - a provoqué en 1995 un véritable bouleversement dans le domaine de l'astrophysique. Avant cela, plusieurs scientifiques croyaient que l'existence d'autres planètes était improbable et que notre système solaire était une exception.

Les méthodes permettant la détection de planètes extrasolaires ont été imaginées il y a plusieurs décennies, mais c'est seulement dans les années 1990 que les avancées technologiques ont rendu ces stratégies réalisables. Depuis la première découverte d'une exoplanète, les équipes de recherche et les sommes investies se sont multipliées. À ce jour, plus de 4000 exoplanètes de tous types ont été décelées, et ce nombre ne cesse d'augmenter.

---

## FONCTIONNEMENT

Commencez par une lecture individuelle du texte. Distribuez à chaque élève une copie du Cahier de l'élève. Récupérez les cahiers et évaluez les élèves en fonction du barème proposé ou corrigez en classe et invitez les élèves à s'autoévaluer. À la suite de cette SAÉ ou à un autre moment de l'année, réalisez les activités complémentaires suggérées.

---

## SUGGESTION D'AMORCE

**Pensez-vous que la vie est possible, ou a déjà été possible, ailleurs dans l'univers ? Si oui, pensez-vous qu'il nous serait possible de détecter la présence de vie à l'extérieur de notre système solaire, considérant que les exoplanètes sont trop loin pour que nous y allions en personne ?**

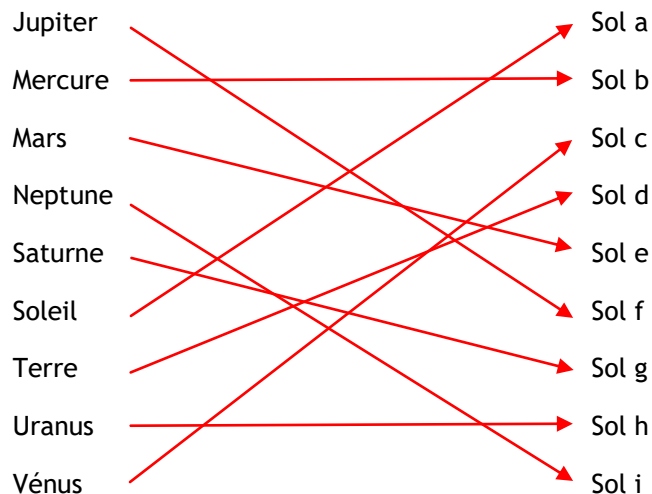
**Animer une discussion sur la pertinence de chercher des exoplanètes. Que peut-on retirer de tous ces efforts ? L'argent consacré en vaut-il la peine ? Étendre la discussion sur l'importance de la recherche fondamentale en général.**

## CORRIGÉ DU CAHIER DE L'ÉLÈVE

La première planète orbitant autour d'une étoile de type solaire autre que le Soleil, découverte par Michel Mayor et Didier Queloz en 1995, a été nommée 51 Pegasi b. Ce nom de planète peut paraître étrange, mais il respecte la convention internationale pour nommer les exoplanètes.

Selon cette nomenclature, la première planète découverte autour d'une étoile porte l'indice « b », la deuxième planète obtient un « c », la troisième un « d » et ainsi de suite, la lettre « a » étant réservée pour l'étoile elle-même. Dans cet exemple, 51 Pegasi b est la première planète à avoir été découverte autour de 51 Pegasi a, qui est l'étoile du système 51 Pegasi (qui porte ce nom puisqu'il est situé dans la constellation de Pégase). Lorsque plus d'une planète sont découvertes simultanément, le « b » est attribué à la planète la plus proche de l'étoile, le « c » à la deuxième plus proche et ainsi de suite.

1. Lorsque cette convention a été adoptée, les planètes de notre système solaire avaient déjà été découvertes. Pour appliquer cette nomenclature aux planètes en orbite autour du Soleil, il faut donc attribuer le « b » à la planète la plus proche du Soleil, le « c » à la deuxième plus proche, comme si les planètes avaient été découvertes en même temps. Considérant que le nom latin du Soleil est « Sol », reliez les astres à leur nom normalisé.



*-1 point par erreur (ne pas surpénaliser si l'erreur induit un décalage des réponses)* 1 2 3

2. Si on découvrait une deuxième planète en orbite autour de l'étoile 51 Pegasi a, comment cette nouvelle exoplanète serait-elle nommée ?

51 Pegasi c

1

L'exoplanète 51 Pegasi b annoncée par Michel Mayor et Didier Queloz a provoqué une onde de choc dans le domaine de l'astrophysique. Mais même s'il s'agissait de la première exoplanète connue à orbiter autour d'une étoile similaire à notre Soleil, il ne s'agissait pas à proprement

parler de la première exoplanète à avoir été découverte. Trois ans auparavant, en 1992, le Canadien Dale Frail et le Polonais Aleksander Wolszczan annonçaient la découverte d'au moins deux planètes en orbite autour du pulsar PSR B1257 +12.

3. Un pulsar est une étoile composée uniquement de neutrons qui tourne très rapidement sur elle-même : le pulsar PSR B1257 +12, par exemple, a une période de rotation de 6,22 millisecondes. Quelle est la fréquence de rotation (en hertz) de ce pulsar, et combien de rotations effectue-t-il à chaque minute ? Laissez les traces de votre démarche.

Fréquence du pulsar

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,00622 \text{ s}} = 160,77 \text{ Hz}$$

Rotations par minute

$$160,77 \frac{\text{rot}}{\text{s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 9646 \frac{\text{rot}}{\text{min}}$$

Fréquence du pulsar : 160,77 Hz

Rotations par minute : 9646 rotations par minute

1 2

4. Les pulsars sont des astres extrêmement denses : chaque millimètre cube de pulsar contient des centaines de milliers de tonnes ! La masse de PSR B1257 +12 vaut 1,4 fois celle du Soleil, et pourtant, ce pulsar a un rayon de seulement 10 km. Sachant que la masse du Soleil est de  $1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ , calculez la masse volumique (en  $\text{kg}/\text{m}^3$ ) du pulsar PSR B1257 +12.

Masse du pulsar

$$m = 1,4 \cdot m_{\text{Soleil}}$$

$$m = 1,4 \cdot 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$m = 2,7846 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

Volume du pulsar

$$V = \frac{4\pi r^3}{3}$$

$$V = \frac{4\pi(10\,000 \text{ m})^3}{3}$$

$$V = 4,1888 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$$

Masse volumique du pulsar

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{2,7846 \cdot 10^{30} \text{ kg}}{4,1888 \cdot 10^{12} \text{ m}^3} = 6,65 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Masse volumique :  $6,65 \cdot 10^{17} \text{ kg}/\text{m}^3$

1 2

Avant même la découverte en 1992 de planètes en orbite autour d'un pulsar, l'Américain Dave Latham et ses collaborateurs (dont faisait partie Michel Mayor) clamaient en 1989 avoir découvert un objet substellaire, c'est-à-dire moins massif qu'une étoile. À l'époque, les scientifiques

pensaient qu'il pouvait s'agir d'une naine brune, un astre par définition trop massif pour être une planète mais trop léger pour être une étoile. Trente ans plus tard, l'identité de cet objet n'a pas encore été déterminée avec certitude, les options les plus probables étant une planète, une naine brune ou encore une naine rouge (une toute petite étoile).

L'étoile 51 Pegasi a et notre Soleil entrent toutes deux dans la catégorie des naines jaunes, qui sont des étoiles de tailles moyennes.

5. Classez les catégories d'astres suivantes en ordre croissant de masse.

|             |             |               |
|-------------|-------------|---------------|
| planète     | naine jaune | planète naine |
| naine rouge | astéroïde   | naine brune   |

astéroïde, planète naine, planète, naine brune, naine rouge, naine jaune

*-1 point par élément mal placé dans l'ordre de la série* 1 2 3

Avant les trois découvertes majeures de 1989, 1992 et 1995, de nombreuses fausses annonces avaient été faites. Parmi les erreurs les plus marquantes, on note celle de l'astronome hollandais Peter Van de Kamp, qui affirmait avoir détecté la présence de deux planètes autour de l'étoile de Barnard, l'étoile la plus proche de notre système solaire après le système Alpha Centauri.

6. Quelle avait été l'erreur de Peter Van de Kamp ?

Le signal correspondait aux périodes de nettoyage de la lentille du télescope.

1

Une autre fausse alerte a eu lieu entre 1987 et 1989 par deux groupes de recherche, dont celui du Canadien Gordon Walker, autour du système stellaire Gamma Cephei. Les scientifiques pensaient avoir découvert la première exoplanète, mais ils se sont rétractés en 1992 puisque les données n'étaient pas suffisamment convaincantes. C'est malheureux pour eux, car ils étaient tout près du but : l'existence de cette exoplanète (Gamma Cephei Ab) a été confirmée en 2002.

7. Le système Gamma Cephei est situé à 45 années-lumière de notre système solaire. Sachant que la lumière voyage (dans le vide) à une vitesse de 300 000 km par seconde, à quelle valeur en kilomètres correspond la distance de 45 années-lumière ? Détaillez votre démarche.

Conversion d'années-lumière à kilomètres

$$45 \text{ al} = 45 \text{ a} \cdot \frac{300\,000 \text{ km}}{1 \text{ s}} \cdot \frac{365,25 \text{ j}}{1 \text{ a}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ j}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 4,26 \cdot 10^{14} \text{ km}$$

45 années-lumière en kilomètres : 4,26 · 10<sup>14</sup> km

1 2

Cinq techniques ont permis de détecter les 4119 exoplanètes connues à ce jour (données de juillet 2020). La méthode la plus fructueuse est celle des transits (3170 exoplanètes trouvées), qui consiste à mesurer la petite baisse de luminosité d'une étoile lorsqu'une planète passe devant. En d'autres mots, cette méthode consiste à détecter les mini éclipses causées par les exoplanètes.

8. La méthode des transits permet de mesurer directement la taille de l'exoplanète et la durée de sa période orbitale (la durée de son année). Cette méthode comporte cependant un désavantage majeur. Quel est-il ?
  - a. Seules les planètes rocheuses peuvent être découvertes.
  - b. **Seules les planètes ayant une orbite alignée avec la Terre peuvent être détectées.**
  - c. Cette technique ne fonctionne que pour les naines jaunes.
  - d. Cette technique n'est possible qu'avec les télescope de l'hémisphère sud.

1

9. Si un peuple extraterrestre hors de notre système solaire était en mesure d'utiliser la méthode des transits pour détecter la présence de Jupiter, de quel pourcentage la luminosité du Soleil diminuerait-elle lors du transit de Jupiter ? Le rayon du Soleil est d'environ 700 000 km et celui de Jupiter vaut approximativement 70 000 km. Détaillez votre démarche.

Aire du disque de Jupiter

$$A_{\text{Jupiter}} = \pi r^2$$

$$A_{\text{Jupiter}} = \pi(35\,000 \text{ km})^2$$

$$A_{\text{Jupiter}} = 3,848 \cdot 10^9 \text{ km}^2$$

Aire du disque du Soleil

$$A_{\text{Soleil}} = \pi R^2$$

$$A_{\text{Soleil}} = \pi(350\,000 \text{ km})^2$$

$$A_{\text{Soleil}} = 3,848 \cdot 10^{11} \text{ km}^2$$

Fraction cachée par Jupiter lors d'un transit

$$\frac{A_{\text{Jupiter}}}{A_{\text{Soleil}}} = \frac{3,848 \cdot 10^9 \text{ km}^2}{3,848 \cdot 10^{11} \text{ km}^2}$$

$$\frac{A_{\text{Jupiter}}}{A_{\text{Soleil}}} = 0,01$$

Baisse de luminosité (en %) : 1 %

1 2

La deuxième méthode de détection d'exoplanètes à avoir permis le plus de découvertes (804 exoplanètes) est celle qui a été utilisée en 1995 par l'équipe de Michel Mayor pour trouver 51 Pegasi b : la méthode des vitesses radiales. Cette technique consiste à mesurer la légère oscillation d'une étoile causée par une planète orbitant autour d'elle. En d'autres mots, la gravité causée par la planète fait légèrement bouger l'étoile : plus la planète est massive et proche de son étoile, plus la vitesse de cette dernière va être grande (et plus sa détection sera facile). En vérité, ce n'est pas tant le mouvement de l'étoile elle-même qui est mesuré, mais plutôt son *changement de couleur*, selon un processus appelé l'effet Doppler.

L'effet Doppler s'observe dans la vie de tous les jours avec les ondes sonores. Lorsqu'une source de son s'approche à grande vitesse (une ambulance, par exemple) le son qu'on entend est plus aigu ; au contraire, lorsque la source s'éloigne de l'observateur, on perçoit un son plus grave. Un

phénomène analogue survient avec les ondes lumineuses, sauf que le changement de fréquence de l'onde se voit par un changement de couleur au lieu de s'entendre par un changement de note.

Lorsqu'une étoile s'approche de nous, la lumière qu'elle émet nous apparaît décalée vers les courtes longueurs d'onde (vers le violet) ; lorsque l'étoile s'éloigne, sa lumière est perçue décalée vers les longues longueurs d'onde (vers le rouge). Il est possible de mesurer cet effet avec une grande précision, puisque la lumière émise par les étoiles contient des lignes sombres appelées *lignes d'absorption*, dont on connaît précisément les valeurs des longueurs d'onde.



Étoile s'éloignant de nous (les lignes d'absorption sont décalées vers le rouge)



Étoile stationnaire (les lignes sont là où elles sont supposées être)



Étoile se rapprochant de nous (les lignes d'absorption sont décalées vers le violet)

Comme pour la méthode des transits, la méthode des vitesses radiales ne peut pas fonctionner pour trouver n'importe quelle exoplanète. En effet, il faut absolument que l'étoile oscille en s'approchant et en s'éloignant de la Terre pour que l'effet Doppler soit perceptible. Si l'orbite de la planète fait en sorte que l'étoile oscille de haut en bas ou de gauche à droite (sans s'approcher et s'éloigner de nous), les lignes d'absorption de l'étoile ne seront pas décalées.

10. On a dit que la méthode des transits permet de déduire la période orbitale d'une exoplanète ainsi que sa taille. La méthode des vitesses radiales permet quant à elle de mesurer la période orbitale de l'exoplanète ainsi que de déduire...
- a. ...sa réflectivité.
  - b. ...son âge.
  - c. ...sa composition atmosphérique.
  - d. ...sa couleur.
  - e. ...la composition de son noyau.
  - f. ...sa masse.



11. Combiner plus d'une méthode est idéal pour confirmer qu'une exoplanète existe bel et bien. Mais en plus de cette confirmation, quelle information supplémentaire sur l'exoplanète peut-on obtenir en combinant la méthode des transits et la méthode des vitesses radiales ?
- L'épaisseur de son atmosphère.
  - Sa masse volumique.
  - L'intensité de son champ magnétique.
  - Son activité volcanique.

1

12. Que ce soit en utilisant la méthode des transits ou celle des vitesses radiales, ou même en combinant les deux, certaines exoplanètes demeurent plus faciles à repérer que d'autres. Nommer trois caractéristiques des exoplanètes qui font qu'elles sont plus aisément détectables avec ces deux méthodes ?

Plus l'exoplanète est massive/grande, plus elle est facile à détecter.

Plus facile si sa période orbitale est courte (exoplanète proche de l'étoile).

Son plan orbital doit être aligné avec la Terre (l'exoplanète doit s'approcher et s'éloigner de nous ; encore mieux si l'alignement est parfait et cause des éclipses).

1 2 3

Les trois autres méthodes ayant réussi à détecter la présence d'exoplanètes (l'imagerie directe, la microlentille gravitationnelle et l'astrométrie), bien que moins largement utilisées, ont quand même certains avantages. D'une part, ces trois techniques fonctionnent peu importe l'orientation de l'orbite de l'exoplanète. De plus, l'imagerie directe fonctionne bien pour les exoplanètes situées très loin de leur étoile. La technique de microlentille gravitationnelle permet même de détecter des exoplanètes qui n'orbitent autour d'aucune étoile (planètes vagabondes).

Peu importe la méthode utilisée, une précision considérable est requise, puisque les effets à mesurer sont à peine perceptibles. Ce qui complique la chose davantage, c'est que la lumière provenant des étoiles doit d'abord traverser l'atmosphère terrestre avant d'atteindre les télescopes au niveau du sol. Les moindres petites variations de température, de pression ou d'humidité dans l'air peuvent ainsi influencer les résultats, sans compter la pollution atmosphérique et lumineuse.

13. Parmi les propositions suivantes, dites s'il s'agit oui ou non d'un endroit intéressant pour y installer un télescope. Justifiez à chaque fois votre réponse.

Au sommet d'une montagne Oui, car moins d'atmosphère à traverser

Sur un bateau au milieu de l'océan Non, car instable

Au sommet d'un gratte-ciel Non, car pollution atmosphérique et lumineuse

1 2 3

14. Les télescopes de la NASA Kepler (actif de 2009 à 2018) et TESS (mis en service en 2018) ont été conçus spécifiquement pour la chasse aux exoplanètes. Afin de recueillir des données optimales et de ne pas dépendre des conditions météorologiques, à quel endroit ont-ils été installés ?

Dans l'espace (en orbite autour de la Terre).

1

/26

## POUR ALLER PLUS LOIN

En plus de détecter la présence d'une exoplanète, la méthode des transits permet également d'avoir un aperçu de la composition de l'atmosphère de la planète, puisqu'une petite partie de la lumière qui nous provient de l'étoile a d'abord dû traverser cette atmosphère.

D'après vous, quels gaz devrait-on retrouver dans l'atmosphère d'une exoplanète si on cherche la présence de vie extraterrestre ? Quelles autres conditions propices à la vie devraient être réunies ?

*Conçu et réalisé grâce au soutien financier du Ministère de l'Économie et de l'Innovation du Québec.*

*Recherche, rédaction, conception : Zapiens Communication Scientifique*