



**Enseignement Secondaire Catholique Cinacien**  
**Institut de la Providence**



**Sera-t-il possible de vivre un jour sur une autre planète que la nôtre en dehors du système solaire ?**

Travail de fin d'études réalisé par BOSSIROY Guillaume

Travail réalisé en avril 2017

Promoteur : Monsieur SCHRAVERUS





**Enseignement Secondaire Catholique Cinacien**  
**Institut de la Providence**

**Sera-t-il possible de vivre un jour sur une autre planète que la nôtre en dehors du système solaire ?**

Travail de fin d'études réalisé par BOSSIROY Guillaume

Travail réalisé en avril 2017  
Promoteur : Monsieur SCHRAVERUS

## **REMERCIEMENTS**

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur Schraeverus, mon promoteur, pour les explications et l'aide apportée pour certains sujets de mon TFE.

Je remercie Madame Géonet pour sa relecture et ses corrections ainsi que pour ces nombreux conseils.

Je tiens également à remercier mes parents qui ont apporté un regard extérieur sur ce travail et pour les relectures.

Je remercie aussi Monsieur Mailleux pour ses différents conseils.

## TABLE DES MATIERES

1	Introduction.....	1
2	Pourquoi vouloir se rendre sur une autre planète ? La surpopulation.....	1
2.1	Manque d'eau.....	2
2.2	Manque de nourriture.....	2
3	Critères d'apparition de la vie.....	3
3.1	L'apparition de la vie (Miller).....	3
3.2	Les molécules et atomes essentiels.....	4
4	Critères d'habitabilité d'une planète.....	4
4.1	Propriétés de l'étoile.....	4
4.1.1	Température/rayonnement.....	5
4.1.2	Masse de l'étoile.....	6
4.2	Propriétés de la planète.....	6
4.2.1	Masse de l'exoplanète.....	7
4.2.2	Position et rotation de l'exoplanète.....	7
4.2.3	Composition de l'exoplanète.....	8
4.2.4	Champ magnétique.....	8
4.2.5	Âge (chaîne de désintégration).....	9
5	Les techniques pour les découvrir et les observer.....	9
5.1	La méthode de vitesse radiale : l'effet Doppler.....	9
5.2	La méthode du transit.....	10
5.3	L'effet de lentille gravitationnelle.....	11
5.4	L'imagerie directe.....	12
6	Problèmes à résoudre pour l'exploration de ces planètes lointaines.....	12
6.1	La distance.....	12
6.1.1	Point de vue technologique.....	12
6.1.2	Ce qu'on voit de la Terre.....	13
6.2	La durée.....	13
6.2.1	La durée de vie d'un humain est très courte à l'échelle de l'univers....	14
6.2.2	Le temps est relatif.....	14
7	Les exoplanètes identifiées.....	15

7.1	Quelques exemples.....	15
7.2	Proxima b : la découverte d'août 2016.....	15
7.2.1	Caractéristiques (masse, orbite, habitabilité).....	16
7.2.2	Implication de cette découverte (le futur).....	16
8	Conclusion.....	17

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 (page 5) : Lumière émise par une étoile en fonction de sa température, *les étoiles et le soleil*, Scientia, URL = <http://www.j3m7.com/les-etoiles-et-le-soleil>, site consulté le 23/03/2017.

Figure 2 (page 7) : Rotation synchrone de la Lune par rapport à la Terre, *Les rotations synchrones – La Lune*, Horizon Astronomie, URL = <http://www.corse-astronomie.com/les-rotations-synchrones-la-lune-a121328358>, site consulté le 23/03/2017.

Figure 3 (page 10) : Décalage spectral de la lumière d'une étoile en fonction de la position de l'exoplanète, *Méthode des vitesses radiales*, Futura Sciences, URL = <http://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/astronomie-methode-vitesses-radiales-12280/>, site consulté le 23/03/2017.

Figure 4 (en annexe) : Spectrographe HARPS, *High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher*, Wikipédia, URL = [https://fr.wikipedia.org/wiki/High\\_Accuracy\\_Radial\\_velocity\\_Planet\\_Searcher](https://fr.wikipedia.org/wiki/High_Accuracy_Radial_velocity_Planet_Searcher), site consulté le 23/03/2017.

Figure 5 (page 10) : Variation de la luminosité d'une étoile perçue depuis la Terre quand une planète passe devant, *Les méthodes de détection d'exoplanètes*, Astronomes, URL = <https://www.astronomes.com/les-planetes-et-la-vie/exoplanete-methode-de-detection/>, site consulté le 23/03/2017.

Figure 6 (en annexe) : Télescope Kepler, *1284 nouvelles exoplanètes découvertes grâce au télescope Kepler*, Radia Canada, URL = <http://ici.radio-canada.ca/nouvelle/780716/nasa-exoplanetes-telescope-kepler-decouverte-systeme-solaire>, site consulté le 23/03/2017.

Figure 7 (page 11) : Arc lumineux correspondant à la lumière émise par une étoile lointaine sous l'effet de lentilles gravitationnelles, *Glossaire d'astronomie*, URL = <http://s.bourdreux.free.fr/sciences/astronomie/glossaire.htm>, site consulté le 23/03/2017.

Figure 8 (en annexe) : Télescope Hubble, *télescopes Hubble*, Futura Sciences, URL =

<http://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/univers-telescope-hubble-2534/>, site consulté le 23/03/2017.

Figure 9 (en annexe) : Télescope VLT, *Very Large Telescope*, BBC, URL = [http://www.bbc.co.uk/science/space/universe/exploration/very\\_large\\_telescope](http://www.bbc.co.uk/science/space/universe/exploration/very_large_telescope), site consulté le 23/03/2017.

Figure 10 (en annexe) : Sonde Voyager 1, *Weekend diversion : Art imitating Space !*, Science Blogs, URL = <http://scienceblogs.com/startswithabang/2010/06/13/weekend-diversion-art-imitatin/>, site consulté le 23/03/2017.

Figure 11 (page 15) : Système TRAPPIST-1 découvert en février 2017, *Trappist – 1*, Wikipédia, URL = <https://fr.wikipedia.org/wiki/TRAPPIST-1>, site consulté le 23/03/2017.

Figure 12 (page 16) : Représentation d'une nanosonde propulsée grâce aux lasers, *Stephen Hawking présente son nanovaisseau 1000 fois plus rapide que nos fusées actuelles*, Journal du Geek, URL = <http://www.journaldugeek.com/2016/04/13/espace-stephen-hawking-presente-son-nano-vaisseau-1000-fois-plus-rapide-que-nos-fusees-actuelles/>, site consulté le 23/03/2017.

## **1 Introduction**

3586, c'est le nombre d'exoplanètes découvertes jusqu'à ce jour, et de nouvelles découvertes sont faites tous les 3 jours. Une exoplanète est une planète orbitant autour d'une étoile hors du système solaire. Elles peuvent être regroupées en système extrasolaire. Des 3586 exoplanètes, seules 156 sont peut-être habitables<sup>1</sup>. Ce TFE va parler des exoplanètes présumées habitables où l'homme pourrait éventuellement se rendre dans le futur. Il apportera aussi des précisions sur les critères d'habitabilité, sur les problèmes liés à l'exploration de ces planètes et sur les méthodes de détection.

Le fil d'amorce de ce travail est : sera-t-il possible de vivre un jour sur une autre planète que la nôtre en dehors du système solaire ? J'ai choisi ce thème car les planètes et tout ce qui s'y rapporte m'intéressent. De plus, c'est un sujet d'actualité. Un jour, dans un futur lointain, qui sait, nous serons peut-être obligés de nous rendre sur de telles planètes.

En premier lieu, j'aborderai les raisons pour lesquelles nous voudrions nous rendre sur d'autres planètes en dehors du système solaire. Je parlerai également des conditions nécessaires à l'apparition de la vie et des molécules indispensables. Ensuite, je parlerai de l'habitabilité d'une planète en fonction des propriétés de l'étoile et des propriétés de la planète. Pour continuer, je vais détailler les différentes techniques pour les observer et les découvrir. J'aborderai aussi les problèmes liés à l'exploration de ces planètes lointaines au niveau de la physique et de la technologie actuelle. Enfin, je parlerai des exoplanètes déjà découvertes et des projets pour le futur.

## **2 Pourquoi vouloir se rendre sur une autre planète ? La surpopulation**

La première exoplanète a été découverte le 6 octobre 1995. Mais pourquoi vouloir continuer d'en découvrir ? Un jour, l'homme sera peut-être contraint de se rendre sur l'une de ces planètes, en dehors de notre système solaire, pour continuer à vivre et à se développer. La raison pour laquelle l'homme voudrait se rendre sur une autre planète vient de la surpopulation.

---

<sup>1</sup> CLUB D'ASTRONOMIE DE WITTELSHEIM, *Compteur d'exoplanètes*, URL = <http://www.astrocaw.eu/ephemerides/compteur-dexoplanetes/>, page consultée le 01/03/2017

Nous sommes actuellement plus de 7 milliards d'êtres humains sur Terre et on prévoit qu'en 2050, on sera plus de 9 milliards. Cette surpopulation cause et causera des conflits et des inégalités dans la distribution des ressources<sup>2</sup>. C'est ce qui en fait la cause principale.

## **2.1 Le manque d'eau**

Selon un rapport spécial sur le réchauffement climatique de mai 2016 de la Banque mondiale, un quart de la population mondiale ne dispose pas encore d'accès à l'eau potable et ce chiffre doublera dans les vingt prochaines années alors que la population mondiale ne cesse d'augmenter.

L'eau est également responsable de nombreux conflits, notamment au Proche-Orient. Si la population mondiale venait à se battre pour l'accès à l'eau, elle en subirait les conséquences désastreuses.

Elle est importante pour l'agriculture mais, à cause de la surexploitation avec des rendements au-dessus de la limite, les nappes phréatiques de nombreuses régions commencent à s'épuiser comme dans le nord de la Chine et aux États-Unis.

De plus, avec le réchauffement climatique, l'eau pourrait s'évaporer de la terre. Ce qui favoriserait d'autant plus le déficit en eau. Cependant, l'eau souillée pourrait être à nouveau purifiée et servir dans d'autres domaines.

## **2.2 Le manque de nourriture**

Qui dit surpopulation, dit manque de nourriture et cela sera inévitable dans quelques années.

Alors que les pays les plus développés ont des rendements en ressources supérieurs à ce que qu'il faudrait normalement pour nourrir les habitants de la planète entière, beaucoup d'individus ne mangent pas à leur faim. Cela étant dû à une répartition inégale des denrées. Avec l'augmentation de la population mondiale, il est évident que ce phénomène ne cessera de s'amplifier et qu'il y aura toujours plus de famines si rien n'est fait.

---

<sup>2</sup> *Surpopulation mondiale : quelles sont les conséquences possibles ?*, Futura Planète, URL = <http://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/terre-surpopulation-mondiale-sont-consequences-possibles-4163/>, page consultée le 01/03/2017

### 3 Critères d'apparition de la vie

Les critères d'apparition de la vie sont bien évidemment à prendre en compte. En effet, si une planète ne possède pas les éléments nécessaires pour l'apparition de la vie, rien ne pourrait se développer et il serait impossible pour nous de vivre et de nous développer sur celle-ci.

La vie doit répondre à trois critères pour se développer : le premier est l'auto-reproduction, le second l'évolution par mutation (voir 4.2.5) et le dernier l'autorégulation au milieu ambiant, en d'autres termes l'adaptation au milieu.

#### 3.1 L'apparition de la vie (Miller)

L'expérience de Miller montre les conditions dans lesquelles la vie est probablement apparue sur Terre. L'apparition de certaines molécules importantes pour le développement de la vie peut venir de réactions chimiques simples et de quelques éclairs qui apportent de l'énergie.

Miller a utilisé pour cette expérience 3 principaux éléments qui sont un récipient d'eau chauffée, des électrodes qui produisent des étincelles et un mélange de gaz. Le mélange de gaz peut venir des éruptions volcaniques si on regarde cela au niveau d'une planète. En réalisant l'expérience, Miller a pu mettre en évidence la présence de 11 acides aminés différents. Les acides aminés sont les constituants des protéines qui assurent la plupart des fonctions de la vie. Les acides aminés sont formés d'un groupement COOH (acide), d'un groupe NH<sub>2</sub> (amine) et d'un radical R (qui peut être composé de carbone, d'azote, de soufre ou d'hydrogène).

De plus, d'autres expériences ont montré qu'il était possible de créer des acides nucléiques qui composent l'ADN.

Cette expérience ne prouve pas que c'est cela qui s'est passé sur Terre et qu'il faut absolument ce type de conditions pour avoir l'apparition d'une forme de vie mais que cela est plausible<sup>3</sup>.

---

3 DAVID, *L'expérience de Miller sur l'apparition de la vie*, Science étonnante, URL = <https://sciencetonnante.wordpress.com/2011/10/17/l'experience-de-miller-sur-l'apparition-de-la-vie/>, page consultée le 25/09/2016

### **3.2 Les molécules et atomes essentiels**

Le point précédent montre comment la vie pourrait être apparue sur Terre mais quelles sont les molécules indispensables pour la création et le développement de la vie ?

Tout d'abord, l'atome carbone est le composant principal des molécules les plus complexes et des molécules du vivant, les molécules organiques. Il possède des propriétés utiles au développement de la vie. En effet, l'atome de carbone peut s'associer avec d'autres atomes comme l'oxygène ou l'azote sans pour autant changer le besoin d'énergie nécessaire à la création des différentes liaisons. Cela lui apporte un grand nombre de combinaisons moléculaires possibles et permet donc un système complexe avec un métabolisme et une symbiose moléculaire.

Ensuite l'eau, elle aussi est un élément indispensable. Cette dernière possède de nombreuses propriétés. L'eau facilite les réactions chimiques de base et permet le transport de molécules ou de micro-organismes plus complexes. Elle permet aussi de dissocier des molécules en ions positifs ou négatifs pour former d'autres molécules.

Pour finir, le silicium peut servir de base à la vie. En effet, comme le carbone, il a la possibilité de former 4 liaisons. Mais il s'associe avec plus de force à l'oxygène que le carbone ce qui diminue le nombre de combinaisons possibles. On pourrait imaginer qu'il y a quelque part dans l'univers une planète qui contient du silicium mais pas d'oxygène. Le silicium agirait alors comme le carbone, mais tout ceci est peu plausible car l'oxygène est beaucoup plus présent dans l'univers que le silicium.

## **4 Critères d'habitabilité d'une planète**

Les différents critères d'habitabilité d'une planète dépendent des propriétés de l'étoile et de la planète elle-même.

### **4.1 Propriétés de l'étoile**

L'habitabilité d'une planète dépend tout d'abord des propriétés de son étoile, plus précisément de son rayonnement et de sa masse.

### 4.1.1. La température/rayonnement

La propriété principale de l'étoile pour qu'une des planètes qui tournent autour soit habitable est le rayonnement. Le rayonnement de l'étoile est en lien avec sa température.

La température d'une étoile est exprimée en température de couleur, c'est à dire en Kelvin. La température idéale doit être comprise entre 7000K et 4000K pour qu'une planète en rotation autour de celle-ci puisse être habitable. Cela représente respectivement 6726,9°C et 3726,8°C. Plus la température de l'étoile est élevée, plus la couleur de l'étoile sera dans les couleurs froides tandis que quand la température est plus faible, la couleur de l'étoile est une couleur chaude comme le représente la figure 1. Si la température de l'étoile est de 4000K, la planète doit avoir une orbite proche de son étoile et inversement pour des étoiles avec une température de 7000K.

Pourquoi doivent-elles avoir une température de cet ordre là ?

Premièrement, elles brûlent au minimum quelques milliards d'années et laissent donc le temps à la vie de se développer, elle doit donc avoir une vie suffisamment longue.

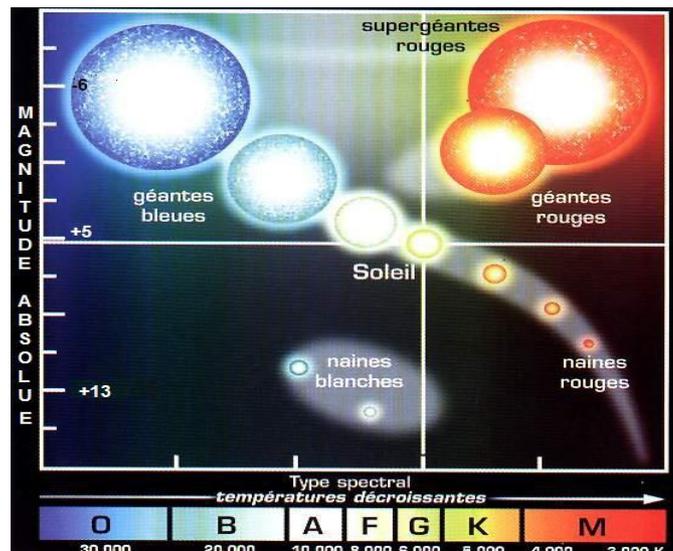


Figure 1: Lumière émise par une étoile en fonction de sa température

Par contre, les étoiles avec une température plus élevée que 7000K évoluent trop vite et ne laisseraient pas le temps à la vie de se développer sur la planète. Tandis que pour les étoiles ayant une température plus basse que 4000K, les planètes qui pourraient abriter la vie devraient orbiter

à une distance assez proche de l'étoile et seraient à portée des jets de plasma de l'étoile.

Deuxièmement, ces étoiles jaunes émettent suffisamment de rayons ultraviolets. Cela a pour conséquence de permettre d'importantes réactions dans l'atmosphère. Ce qui va engendrer la formation d'ozone en quantité raisonnable.

Pour finir, l'eau à l'état liquide peut exister sur les planètes qui tournent autour de ce type d'étoiles pour autant que la planète n'ait pas une rotation synchrone<sup>4</sup> (voir 4.2.2).

#### **4.1.2. La masse de l'étoile**

La masse de l'étoile influence également quelques paramètres.

La masse de l'étoile influence la luminosité de celle-ci. En effet, plus l'étoile a une grosse masse, plus elle brille. Cela vient du fait que les couches externes d'une étoile de grande masse ont une plus grande masse que celles des plus petites. Cette masse assez élevée va provoquer une forte pression au centre de l'astre car le noyau doit résister à tout ce poids. Ceci a pour conséquence de provoquer des réactions nucléaires à un rythme plus élevé et c'est ce qui explique le dégagement d'énergie plus important et donc une plus grande luminosité.

Elle fait également varier la distance à laquelle sa planète orbite. Effectivement, selon la troisième loi de Kepler, la loi des périodes, on peut déduire la distance d'une planète grâce à la masse de son étoile<sup>5</sup>.

### **4.2 Propriétés de la planète**

Une planète doit avoir une série de propriétés pour qu'elle soit favorable à l'apparition de la vie et à son développement.

---

4 Rotation synchrone : satellite qui présente toujours la même face vue de la planète, Wikipédia, URL = [https://fr.wikipedia.org/wiki/Rotation\\_synchrone](https://fr.wikipedia.org/wiki/Rotation_synchrone)

5 *Le système solaire, Troisième loi de Kepler – La loi des périodes*, URL = <https://www.le-systeme-solaire.net/aide-kepler3.html>, site consulté le 12/02/2017

#### 4.2.1. Masse de l'exoplanète

Premièrement, la masse de l'exoplanète peut faire varier plusieurs paramètres.

Si une planète est de masse faible (de masse inférieure à la Terre), son atmosphère serait trop fine. De ce fait, la température de la planète serait trop froide et elle ne posséderait pas une protection suffisante contre les radiations haute-fréquence et les météoroïdes.

Elles possèdent une quantité de matière plus restreinte qui ne suffirait pas à l'apparition de la vie. Ce type de planètes libèrent également leur énergie plus rapidement et n'auraient donc pas d'activité tectonique telle que la présence de volcans et/ou de tremblements de terre qui fournissent des éléments favorisant la vie et permettant de réguler la température (comme le dioxyde de carbone par exemple).

Les planètes de grande masse ne sont pas habitables car elles sont gazeuses et non telluriques comme la Terre.

#### 4.2.2. Rotation de l'exoplanète

La rotation de la planète ne doit pas être synchrone, c'est-à-dire que la planète ne doit pas présenter tout le temps la même face à son étoile comme le montre la figure 2 (comme pour la lune). Cela aurait pour conséquence d'avoir une face gelée avec de l'eau présente sous forme de glace et une face desséchée et brûlante.

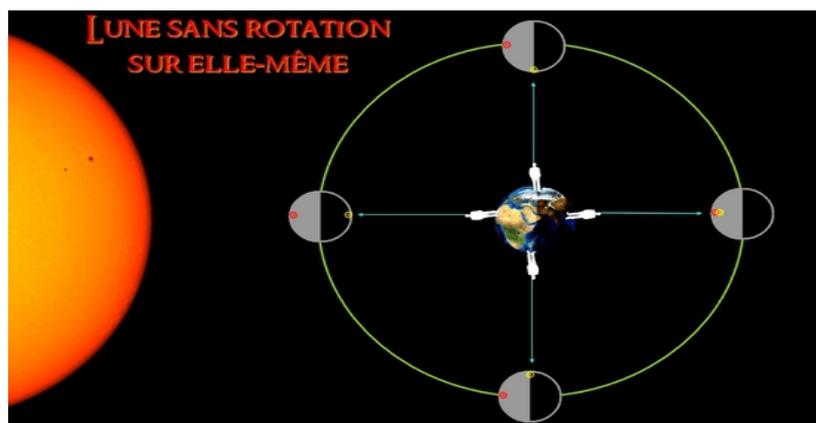


Figure 2: Rotation synchrone de la Lune par rapport à la Terre

De plus, la rotation de la planète sur elle-même ne doit pas être trop lente. En d'autres termes, le cycle jour-nuit ne doit pas être trop long car la différence de température entre le côté jour et le côté nuit sera trop grande et engendrera des problèmes similaires à ceux de la rotation synchrone.

Pour en terminer avec la rotation, il doit y avoir une légère oscillation (l'inclinaison de l'axe de rotation d'une planète) de la planète. Par exemple, l'inclinaison de la Terre varie entre, plus ou moins, 24 et 22°. La Terre ne tourne pas sur elle-même mais plutôt comme une toupie car elle est soumise à la précession (un gyroscope), c'est ce qui engendre l'alternance entre les périodes de glaciation et de périodes chaudes.

#### **4.2.3. Composition de l'exoplanète**

La composition de la planète joue aussi un rôle assez important pour qu'elle soit considérée comme habitable. En effet, elle doit être composée de carbone et d'eau, ce sont les éléments principaux car les molécules les plus complexes sont constituées de liaison carbone – carbone (voir 3.1). Par exemple, une étude poussée a été réalisée sur la météorite Murchison<sup>6</sup> (village où elle est tombée le 28/09/69), il s'est avéré qu'il y avait présence de plus de 500 composés organiques et 70 acides aminés sur cette même météorite.

#### **4.2.4. Champ magnétique**

La planète doit disposer d'un champ magnétique. Les planètes assez petites pourraient ne pas disposer d'un champ magnétique pour se protéger du vent solaire de leur étoile. Les êtres vivants pourraient donc être touchés par des particules ionisées. Pour qu'une planète possède un champ magnétique, sa masse doit être assez élevée et donc avoir une présence de fer dans son noyau. En d'autres termes, il doit y avoir présence de matière magnétique.

---

<sup>6</sup> SACCO L., *La météorite de Murchison abrite des millions de molécules organiques !*, Futura Sciences, URL = <http://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/astronomie-meteorite-murchison-abrite-millions-molecules-organiques-22719/>, site consulté le 20/11/2016

#### **4.2.5. Âge (chaîne de désintégration)**

Certains atomes se désintègrent à cause de leur instabilité qui vient de leur nombre de protons et de neutrons. Au dessus de 82 neutrons, les éléments ne sont plus considérés comme stables car certains de leurs protons se « transforment » en neutrons et vice-versa. C'est cet effet qui fait des éléments radioactifs.

Ces éléments ne sont pas renouvelés et se désintègrent au fil du temps. Cela causera donc un manque de certains atomes au bout d'un moment. Une planète doit donc posséder un nombre suffisant d'atomes radioactifs ainsi que des isotopes pour éviter leur disparition car la vie a besoin de cette radioactivité pour se développer. En effet, la radioactivité provoque certaines mutations de l'ADN qui permettent l'évolution et la sélection des êtres vivants.

## **5 Les techniques pour les découvrir et les observer**

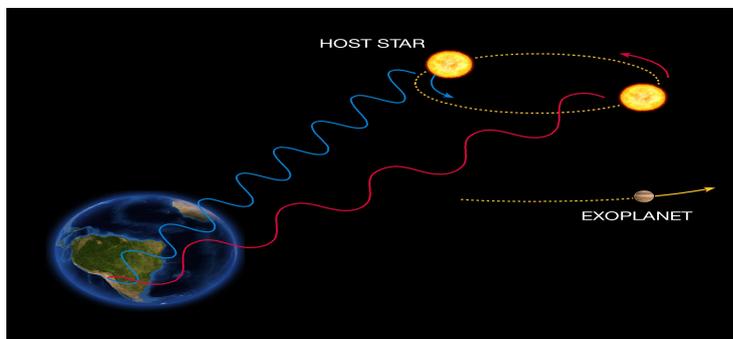
Il y a différents moyens pour découvrir et observer les exoplanètes. La première exoplanète mise en évidence par une des différentes méthodes est 51 Pegasi b découverte le 6 octobre 1995.

### **5.1 La méthode de vitesse radiale : l'effet Doppler**

Cette méthode est basée sur le fait qu'une planète perturbe le mouvement de son étoile. Cela est causé par la force gravitationnelle de l'étoile exercée sur la planète. La planète aussi exerce une force sur son étoile. Ce phénomène engendre des variations de position de l'étoile. Cependant, elles ne sont pas faciles à détecter pour l'instant. C'est pourquoi les éléments de mesure se basent sur des variations de vitesse de l'étoile qu'on détecte grâce à l'effet Doppler.

La planète en orbite autour de son étoile provoque un mouvement circulaire de son étoile. Comme le montre la figure 3, la lumière émise par l'étoile subit un décalage spectral qui varie périodiquement du rouge quand la planète s'éloigne au bleu quand elle se rapproche.

On peut mesurer ce décalage grâce à un spectrographe, pour autant qu'il possède un pouvoir de résolution suffisant. Le spectrographe HARPS est utilisé par l'ESO (fig. 4 en annexe). L'effet Doppler permet aussi, en fonction de la variation du spectre, de calculer la masse de la planète orbitant autour.



ESO Press Photo 22e/07 (25 April 2007)

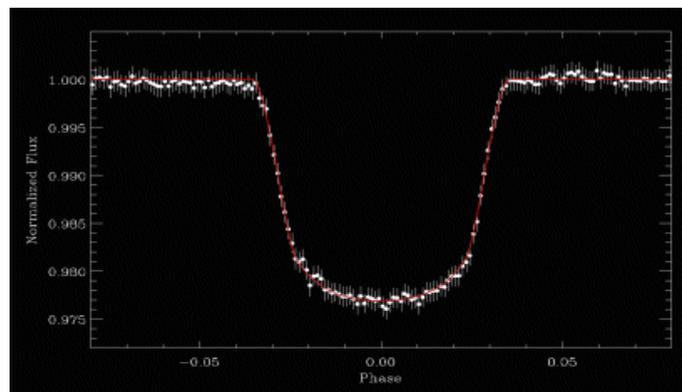
This image is copyright © ESO. It is intended for non-commercial use only. It may be used by the press on the condition that the source is clearly indicated in the caption.

**Figure 3: Décalage spectral de la lumière d'une étoile en fonction de la position de l'exoplanète**

Néanmoins l'effet Doppler reste assez limité car la planète doit être assez massive pour provoquer des perturbations assez grandes et doit être assez proche de l'étoile pour, en quelque sorte, augmenter l'effet.

## 5.2 Méthode des transits

Cette méthode est basée sur l'étude de la luminosité de l'étoile. Quand une planète passe devant son étoile elle provoque une baisse de luminosité comme le montre la figure 5. On peut facilement déterminer si une planète passe devant l'étoile car la luminosité de cette dernière varierait périodiquement. Cette baisse de luminosité est détectée et mesurée par le télescope Kepler (fig. 6 en annexe).



**Figure 5: Variation de la luminosité perçue depuis la Terre d'une étoile quand une planète passe devant**

Mais encore une fois, cette méthode a ses limites car il faut que la planète passe exactement entre son étoile et la Terre. De plus, il faut que la planète soit assez "grosse". En effet, les planètes de faible masse ne produiraient pas une baisse de luminosité détectable par les technologies actuelles.

### 5.3 Effet de lentilles gravitationnelles

Cet effet repose sur la relativité générale d'Einstein. Cette méthode tire parti du passage d'un système extrasolaire ou d'une galaxie devant une étoile lointaine. La lumière de l'étoile lointaine est donc déviée par le champ de gravitation de cette galaxie. La lumière déviée est ainsi amplifiée telle qu'une lentille le ferait. On peut aussi remarquer certains effets d'optique comme le montre la figure 7.

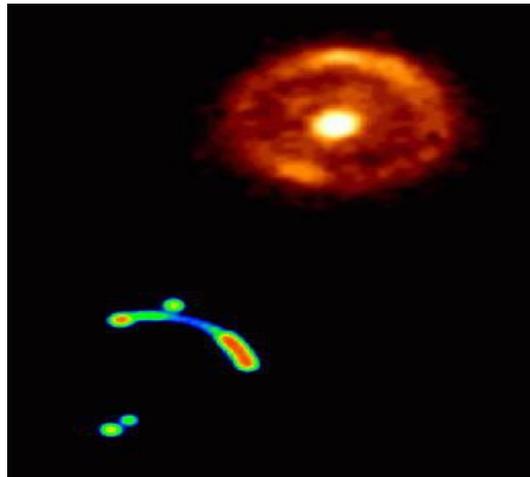


Figure 7: Arcs lumineux correspondant à la lumière émise par une étoile lointaine sous l'effet de lentilles gravitationnelles

Il y a une méthode dérivée de celle ci-dessus : la méthode des microlentilles gravitationnelles. Elle utilise le même principe que ci-dessus. En reprenant le même exemple, on peut de nouveau détecter l'exoplanète qui se trouve entre l'étoile lointaine et la Terre.

D'un point de vue pratique, ça se passe comme cela : quand l'étoile du couple étoile – exoplanète passe entre l'étoile lointaine et la Terre, la luminosité de cette dernière va croître. Si l'exoplanète fait de même, il y aura également une augmentation de luminosité mais moins marquée car le champ gravitationnelle de l'étoile est plus important que celui de la planète, ce qui est dû à sa masse. Par contre, entre le passage de l'étoile et de l'exoplanète, la luminosité redescend. Ce phénomène est observé par le télescope Hubble (fig. 8 en annexe).

Cette méthode de lentilles gravitationnelles permet de détecter des exoplanètes petites, froides et lointaines, ce qui n'est pas possible avec les autres méthodes. Par contre, c'est une méthode aléatoire car on ne sait pas quand un tel phénomène se produira et on ne peut vérifier à nouveau les observations.

## 5.4 L'imagerie directe

Les techniques précédentes sont surtout utilisées pour découvrir les exoplanètes. L'imagerie directe permet, en quelque sorte de prendre des photos des exoplanètes. Cette méthode est réalisée grâce à une technique appelée coronagraphie. Cela consiste à cacher la lumière de l'étoile autour de l'étoile. Le but étant de voir uniquement la forme de l'étoile et la planète se trouvant devant. En d'autres termes, les défauts optiques des télescopes et les fluctuations de l'atmosphère amplifient le halo<sup>7</sup> autour de l'étoile mais on peut le cacher en utilisant un coronographe<sup>8</sup>. Les astrophysiciens utilisent également un télescope pour cette méthode. Le plus connu est le télescopes VLT, *Very Large Telescope*. (= Très grand télescope) (fig. 9 en annexe).

## 6 Problème à résoudre pour l'exploration de ces planètes lointaines

Malgré toutes ces découvertes l'Homme n'est pas prêt à se rendre sur de telles exoplanètes, pour divers problèmes de physique et de technologique actuelle.

### 6.1 La distance

La distance entre la Terre et une exoplanète est le plus grand des problèmes pour l'exploration et pour prétendre s'y rendre.

#### 6.1.1. Point de vue technologique

Actuellement, la seule sonde à avoir quitté le système solaire est la sonde Voyager 1 (fig. 10 en annexe) du projet Voyager lancé en 1977. Bientôt suivie par sa sœur Voyager 2, Voyager 1 est rentrée dans l'histoire en 2012, l'année où elle a quitté l'héliosphère<sup>9</sup> et est entrée dans le milieu interstellaire (espace entre les étoiles).

7 Halo : Zone circulaire blanche, parfois colorée autour d'une source de lumière, définition du Larousse en ligne, URL = [http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/\\_halo/38927](http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/_halo/38927), site consulté le 15/02/2017.

8 Coronographe : Lunette astronomique spéciale qui permet la photographie et l'étude de la couronne solaire en dehors des éclipses, définition du Larousse en ligne, URL = <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/coronographe/19386?q=coronographe#19276>, site consulté le 15/02/2017.

9 Héliosphère : Région de l'espace dans laquelle la densité d'énergie du vent solaire est supérieure à celle du milieu interstellaire. (De dimensions variables selon l'activité solaire, elle s'étendrait, au minimum, jusqu'à 100 ua du Soleil.), définition du Larousse en ligne, URL = <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/h%C3%A9liosph%C3%A8re/39379>, site consulté le 15/02/2017.

La première piste envisagée est l'envoi de la sonde New Horizon de la NASA sur Proxima b. Mais ce voyage durerait 78.000 ans si elle se déplace à une vitesse de 17 kilomètres par seconde grâce à un moteur fonctionnant avec le nucléaire.

Une seconde piste a été envisagée. En effet, Stanislaw Ulam, lors d'un projet en 1947, a proposé de récupérer le souffle de l'explosion de charges nucléaires pour atteindre 15.000 km/s. Mais encore une fois ce voyage durerait bien trop longtemps car il faudrait compter un siècle pour arriver à destination. Sans compter que la sonde risque de ne jamais y arriver.

Deux autres pistes seraient envisageables. La première étant d'utiliser un moteur à fusion nucléaire. Ce qui permettrait que le voyage ne dure que 36 ans. Cependant, il faudrait récupérer de l'Hélium 3 présent dans l'atmosphère de Jupiter. La deuxième, encore plus rapide, permettrait d'atteindre la vitesse de 30.000km/s et d'atteindre Proxima b en seulement 25 ans grâce à un laser et en utilisant des minuscules sondes pesant moins d'un gramme chacune<sup>10</sup>. Ce projet appelé *Starshot* sera développé plus en détail au point 7.2.2.

### **6.1.2. Ce qu'on voit de la Terre**

Il y a également un autre problème lié à cette longue distance, c'est la lumière qui nous arrive de l'exoplanète. Si on prend l'exemple du système de trois étoiles Alpha Centauri, on sait qu'il se trouve à 4 années-lumières. La lumière qui arrive vers la Terre a donc 4 ans. C'est le même cas pour les exoplanètes. Les astronomes ne peuvent donc savoir si elles sont détruites, si elles ont changé suite à un événement ou si elles sont toujours telles quelles. Évidemment, plus la distance est longue, plus on risque de voir la lumière d'une exoplanète qui a en fait disparu.

## **6.2 La durée**

La durée pour se rendre sur de telles planètes, aussi bien proches que lointaines, et les explorer pose problème.

---

<sup>10</sup> DEMEURE Y., *Combien de temps faudrait-il pour se rendre sur Proxima b, l'exoplanète la plus proche de la Terre*, Science Post, URL = <http://sciencepost.fr/2016/08/combien-de-temps-faudrait-se-rendre-proxima-b/>, site consulté le 14/02/2017

### 6.2.1. La durée de vie humaine est très courte à l'échelle de l'univers

La temps de vie humaine en moyenne en Belgique est de 73,9 années<sup>11</sup>. En sachant qu'il faut 3 jours pour se rendre sur la Lune depuis la Terre alors qu'il n'y a que 405 000 km, qui nous séparent<sup>12</sup>. L'exoplanète Proxima b, potentiellement habitable, se trouve à 4 années-lumières, une année-lumière valant 9 460 630 000 000 kilomètres<sup>13</sup>, il faudrait, après calcul, approximativement 280 millions de jours soit 767 mille ans, en se déplaçant à 5625 km/h. Ce qui est juste impensable d'un point de vue de vie humaine.

### 6.2.2. Le temps est relatif

Voilà, sans doute, la partie la plus complexe de ce TFE, la relativité. Ici le problème viendra du fait que le temps est relatif. En effet, pour un astronaute qui se déplace dans l'espace le temps s'écoule plus lentement que pour un stationnaire qui se trouve sur Terre. Voici un autre exemple qui illustre ceci : une horloge atomique<sup>14</sup> se trouvant dans un avion en mouvement a quelques nanosecondes de différence par rapport à l'horloge stationnaire. Cela vient du fait que le temps se dilate du fait de la vitesse de l'avion et engendre donc un ralentissement du temps.

C'est en fait les mouvements qui font que le temps ralentit. Tous les processus sont touchés par ce phénomène même les fonctions du corps ralentissent. Cependant les astronautes ne remarquent pas ce ralentissement.

Pour le cas de l'exploration des exoplanètes, le problème serait qu'au bout d'un voyage d'un an à la vitesse significative par rapport à la vitesse de la lumière (ce qui est impossible mais c'est pour l'exemple) les astronautes auraient vieilli d'un an mais les terriens, eux, auraient vieilli de 20 ans. Malheureusement ou heureusement les voyages à ces vitesses ne sont pas possibles à l'heure

---

11 DEBUISSON M., *Espérance de vie et mortalité*, sur le site de l'Institut wallon de l'évaluation de la prospective et de la statistique, URL = <https://www.iweps.be/indicateur-statistique/esperance-de-vie-et-mortalite/>, site consulté le 27/02/2017.

12 *Combien de temps faut-il pour aller sur la Lune ?*, Combien.io, URL = <https://combien.io/duree-trajet-lune-627>, Site consulté le 27/02/2017.

13 LAFLEUR C., *Qu'est ce qu'une année-lumière ?*, URL = <http://claudelafleur.qc.ca/Annee-lumiere.html>, site consulté le 27/02/2017.

14 Horloge atomique : Les horloges atomiques reposent sur les lois de la mécanique quantique appliquées aux transitions entre des niveaux d'énergie d'atomes convenablement choisis, définition de Futura Sciences, URL = <http://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-horloge-atomique-12827/>, site consulté le 27/02/2017.

actuelle et pour que cet effet soit marqué, il faut au moins se déplacer à la vitesse de 10% de celle de la lumière, ce qui représente 100 millions de km/h. L'homme en est encore assez loin car le record de vitesse jamais atteint est détenu par l'équipage d'Apollo 10 avec une vitesse de 39 897 km/h<sup>15</sup>.

## 7 Les exoplanètes identifiées

Suite aux découvertes de nombreuses exoplanètes potentiellement habitables, certains projets se mettent en place pour en savoir plus sur celles-ci.

### 7.1 Quelques exemples

Les deux plus grandes découvertes de ces dernières années sont Proxima b, exoplanète découverte vers la fin du mois d'août 2016 orbitant autour de Proxima du Centaure, et les 7 planètes gravitant autour de l'étoile (naine rouge) Trappist-1 comme l'illustre la figure 11, découvertes fin février 2017 par 2 liégeois, dont 3 sont potentiellement habitables. Mais à l'heure actuelle, il n'y a pas encore d'informations supplémentaires hormis celle que ce système de planètes a été découvert par méthode de transits (voir 5.2).

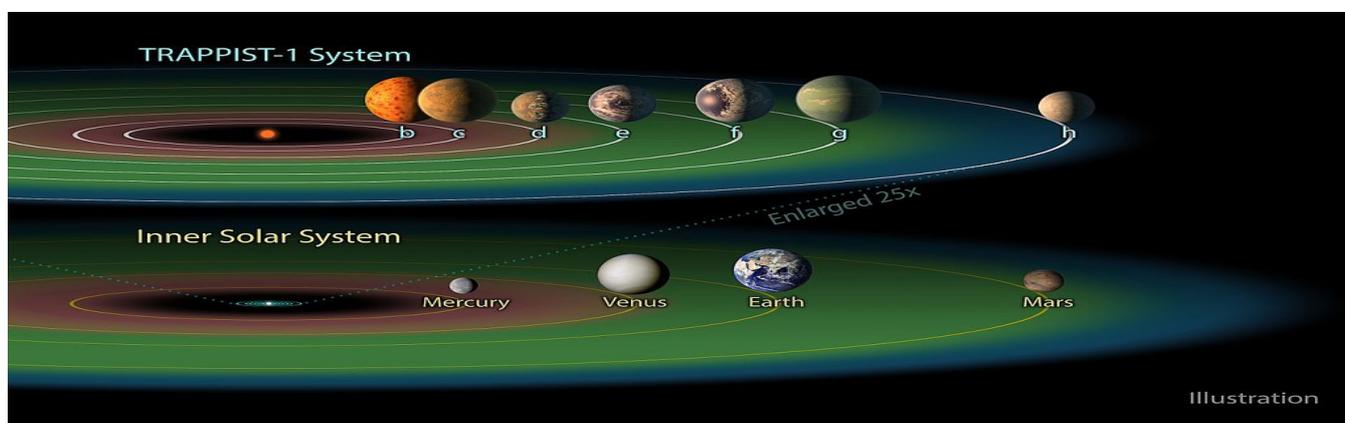


Figure 11: Système TRAPPIST-1 découvert en février 2017

### 7.2 Proxima b : la découverte d'août 2016

Proxima b est l'une des exoplanètes les plus prometteuses pour le futur car elle possède un grand nombre de caractéristiques qui font penser qu'il y a une présence de vie.

<sup>15</sup> *Record du monde, la plus grande vitesse jamais atteinte par un homme*, URL = <http://www.records-du-monde.com/2014/03/la-plus-grande-vitesse-jamais-atteinte.html>, site consulté le 04/03/2017.

### 7.2.1. Caractéristiques (masse, orbite, habitabilité)

Premièrement, sa masse est égale à 1,3 fois celle de la Terre ce qui fait qu'elle est tellurique et donc potentiellement habitable. Grâce à de nombreuses simulations réalisées, les chercheurs ont pu envisager deux scénari possibles. Le premier considère que Proxima b ferait 5990 km de rayon et ressemblerait très fort à Mercure tandis que le deuxième considère que son rayon mesure 8920 km et dans ce cas là, l'exoplanète serait composée de 50% de roches et de 50% d'océans. Le premier cas est le plus envisageable car elle se trouve proche de son étoile et l'eau ne pourrait rester à l'état liquide. Cependant, si elle ressemble à Mercure, il peut toujours y avoir de l'eau.

Dans les deux cas imaginés, Proxima b aurait bel et bien une fine couche atmosphérique mais cela reste toujours à confirmer<sup>16</sup>.

### 7.2.2. Implication de cette découverte (le futur)

L'un des projets mis en place suite à la découverte de l'exoplanète orbitant autour de Proxima du Centaure est nommé *Breakthrough Starshot*. Ce projet vise à envoyer une sonde robotique sur Proxima b grâce à des lasers capables d'émettre des impulsions de 100 gigawatts pour atteindre une vitesse de 60 000 km/s (voir 6.1.1).

Comment cela sera-t-il possible ? Les sondes pèseront seulement quelques grammes et déploieraient des voiles solaires constituées d'une fine couche d'atomes et qui feraient quelques mètres de large. Ensuite, les impulsions de photons frapperont ces voiles et propulseront donc les nanosondes à très haute vitesse comme la figure 12 le montre.



Figure 12: Représentation d'une nanosonde propulsée grâce aux lasers

16 LECOMTE E., *L'exoplanète Proxima b pourrait être une planète océan*, Sciences et Avenir, URL = [https://www.sciencesetavenir.fr/espace/planetes/l-exoplanete-proxima-b-pourrait-etre-une-planete-ocean\\_107256](https://www.sciencesetavenir.fr/espace/planetes/l-exoplanete-proxima-b-pourrait-etre-une-planete-ocean_107256), site consulté 28/02/2017

## 8 Conclusion

En conclusion, l'homme pourrait être un jour confronté à devoir se rendre sur une autre planète à cause de la surpopulation et de divers problèmes qui en découlent. Pour se rendre sur une autre planète, il faudrait d'abord savoir si l'exoplanète contient des traces de molécules de la vie, c'est à dire du carbone et de l'eau. Il faudrait aussi savoir si la planète présente des signes d'habitabilité qu'on peut déterminer grâce à son étoile et à l'exoplanète elle-même. Pour cela, plusieurs méthodes de détection sont possibles en fonction de la masse et l'orbite de l'exoplanète.

Mais avant de prétendre vouloir se rendre sur de telles planètes, l'homme devrait résoudre des problèmes liés à l'observation et à l'exploration de ces dernières autant qu'au niveau technologique que physique. Pour finir, c'est un avenir assez prometteur compte tenu des découvertes et des projets mis en place. Cependant, aller vivre sur Proxima b ou sur l'une des planètes du système Trappist-1 reste envisageable mais ne sera possible que lorsque l'homme aura inventé une technologie capable de voyager à une vitesse de l'ordre de 30 000 km/s.

Lors de la rédaction de ce TFE, j'ai appris pas mal de choses. Notamment que de nouvelles découvertes d'exoplanètes sont faites chaque jour et que pour certaines, considérées comme habitables, de nombreux projets et de nouvelles technologies se mettent en place dans le but d'un jour peut-être prétendre s'y rendre. Ces différents points m'ont fort intéressé.

Je trouve aussi que c'est une thématique qui fait un peu rêver du fait qu'un jour, les voyages dans l'espace pour de grandes distances seront possibles et également que l'homme pourrait habiter sur une autre planète que la Terre.

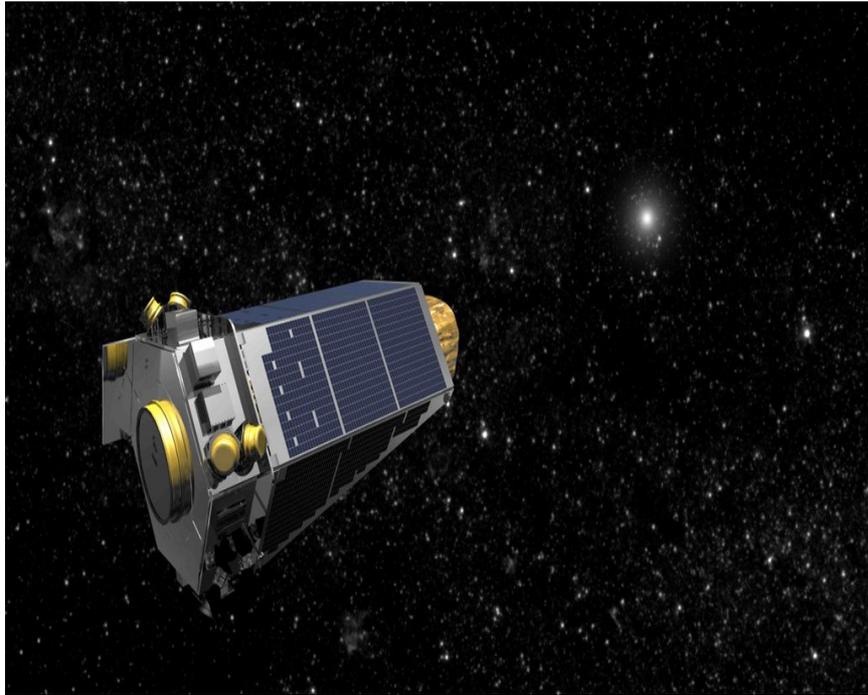
Peut-être qu'une forme de vie extraterrestre intelligente sait déjà parcourir de longues distances dans l'espace. Et si les extraterrestres venaient sur la Terre plutôt que les terriens à la conquête d'une autre planète ?

Cependant, il ne serait pas normal qu'un jour l'homme doive absolument quitter la planète Terre pour survivre ou continuer à se développer. Et vous, pensez-vous normal que l'homme soit un jour obligé de se rendre sur une exoplanète tout simplement parce qu'il a détruit la Terre à cause de ses actes ? Et de peut-être recommencer la même chose dans quelques centaines d'années autre part, qui sait ?

## Annexes



Figure 4: Spectrographe HARPS



**Figure 6: Télescope Kepler**



**Figure 8 : Télescope Hubble**



**Figure 9 : Télescope VLT**



**Figure 10: Sonde Voyager 1**

## Bibliographie

### Livres :

FCASOLI T., *Planètes Extrasolaires*, BELIN, Pour La Science, 2005

### Articles :

FONTEZ M., Il existe des terres plus vivables que la nôtre dans Sciences & vie : Paradis extra solaires, Numéro 1174, juillet 2015, page 57-70

GROUSSON M., Voir les exoplanètes et découvrir d'autre terre dans Sciences & vie : Cosmos, les ultimes défis, n° 259, juin 2012

MORIN H, Le Monde sur [http://www.lemonde.fr/cosmos/article/2016/08/24/une-terre-temperee-autour-de-notre-plus-proche-etoile\\_4987469\\_1650695.html](http://www.lemonde.fr/cosmos/article/2016/08/24/une-terre-temperee-autour-de-notre-plus-proche-etoile_4987469_1650695.html), page consultée le 1 octobre 2016, 25.08.2016

### Sites :

ANGLADA-ESCUDE G., *Planet found in habitable zone around nearest star*, European Southern observatory sur <http://www.eso.org/public/news/eso1629/>, consulté le 25 septembre 2016, 24 August 2016

BILLINGS L., *Breakthrough Starshot : en route vers Proxima du Centaure ?*  
Sur Pour la science .fr [http://www.pourlascience.fr/ewb\\_pages/a/actu-breakthrough-starshot-sonde-etoile-la-plus-proche-proxima-du-centaure-37426.php](http://www.pourlascience.fr/ewb_pages/a/actu-breakthrough-starshot-sonde-etoile-la-plus-proche-proxima-du-centaure-37426.php), page consultée le 1 octobre 2016, 6/09/2016

BRENNAN P., *ESO Discovers Earth-Size Planet in Habitable Zone of Nearest Star*, <http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=6600>, page consultée le 24/10/2016

David, *L'expérience de Miller sur l'apparition de la vie*, Science étonnante sur <https://sciencetonnante.wordpress.com/2011/10/17/l'experience-de-miller-sur-l'apparition-de-la-vie/>, consulté le 25 septembre 2016, 17 octobre 2011

ESSLINGER O., *Les méthodes de détection d'exoplanètes* sur <http://www.astronomes.com/les-planetes-et-la-vie/exoplanete-methode-de-detection/>, page consultée le 25 septembre, 17/09/2016

ESSLINGER O, *l'effet Doppler* sur <http://www.astronomes.com/l'histoire-de-lastronomie/leffet-doppler/>, page consultée le 25 septembre 2016, 17/09/16

ESSLINGER O, *La masse des étoiles* sur <https://www.astronomes.com/le-soleil-et-les-etoiles/etoile-masse/>, page consultée le 10/10/2016

HUYNH M., *Implications of the Discovery of Proxima b*, NASA sur [https://nai.nasa.gov/nai\\_articles/2016/8/26/implications-of-the-discovery-of-proxima-b/](https://nai.nasa.gov/nai_articles/2016/8/26/implications-of-the-discovery-of-proxima-b/), page consultée le 1 octobre 2016, 26 août 2016

LECOMTE E., *Une exoplanète "habitable" découverte non loin de la Terre* sur [http://www.sciencesetavenir.fr/espace/planetes/une-exoplanete-habitable-decouverte-non-loin-de-la-terre\\_34781](http://www.sciencesetavenir.fr/espace/planetes/une-exoplanete-habitable-decouverte-non-loin-de-la-terre_34781), page consultée le 16/10/2016

LECOMTE E., *L'exoplanète Proxima b pourrait être une planète océan* sur [https://www.sciencesetavenir.fr/espace/planetes/l-exoplanete-proxima-b-pourrait-etre-une-planete-ocean\\_107256](https://www.sciencesetavenir.fr/espace/planetes/l-exoplanete-proxima-b-pourrait-etre-une-planete-ocean_107256), site consulté 28/02/2017

Mathieu, *Dossier – les conditions chimiques nécessaires à la vie*, sur <http://www.podcastscience.fm/dossiers/2011/11/09/les-conditions-chimiques-necessaires-a-la-vie/>, site consulté le 16/02/2017, 9/11/2011

SACCO L., *Proxima b : une interview exclusive de Christophe Lovis*, Futura Sciences sur <http://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/zone-habitabilite-proxima-b-interview-exclusive-christophe-lovis-64172/>, page consultée le 1 octobre 2016, 13/09/2016

SACCO L., *La détection des exoplanètes pour les nuls*, Futura Sciences sur <http://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/astronomie-detection-exoplanetes-nuls-27274/>, page consultée le 26/11/2016, 16/11/2012

*Les exoplanètes : Sommes nous seuls dans l'univers?* Sur <http://tpe-exoplanete.e-monsite.com/pages/iii-et-ailleurs-dans-l-univers/la-zone-d-habitabilite.html>, page consultée le 20 septembre 2016

*Habitabilité d'une planète*, sur <http://exoplanetes-lombards.eklablog.com/iii-habitabilite-d-une-planete-a38046976>, page consultée le 25 septembre 2016