Louv'Science

CLUB ASTRO

LA FABRIQUE
MJC DE LOUVECIENNES

Exoplanètes en 1

Qui sommes-nous ?

- Un groupe de personnes issues de l’association Louv’Science, qui est une association de promotion de la science dans les écoles, organisatrice de conférences et de la semaine de la Science.
- Réunies dans un club, accueilli dans les locaux de la MJC, exceptionnellement ouverte ce soir
- Ce que nous faisons :
  - Des soirées à thème
  - Des observations lors d’événements astronomiques (Ex : Eclipse du 24 octobre 2022, du 29 mars 2025…)
  - Des expositions
  - Des conférences
  - Un groupe WhatsApp

1 L’histoire de cette quête

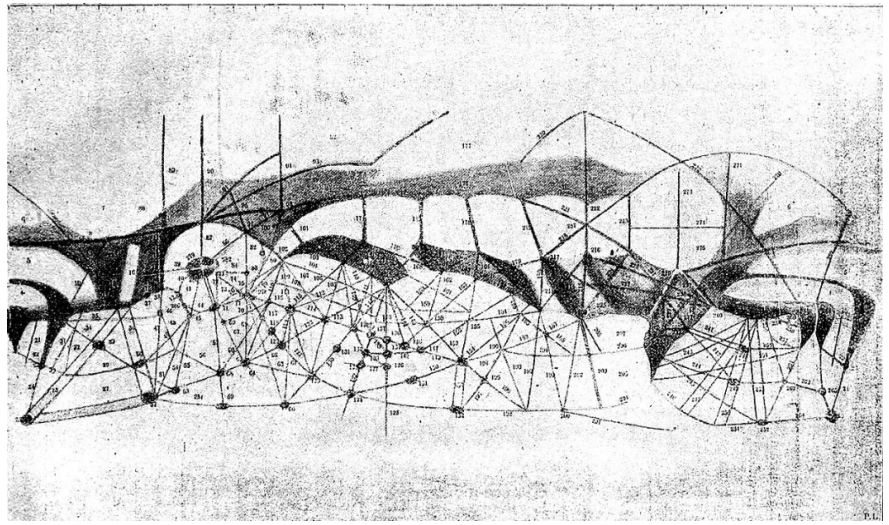
- Lucrèce (Philosophe, poète du 1er siècle avant JC)
  - « On ne saurait tenir pour vraisemblable que seuls notre terre et notre ciel aient été créés […] Aussi, je te le répète encore, il faut avouer qu’il y a ailleurs d’autres groupements de matière analogues à ce qu’est notre monde »

- Giordano Bruno (Astronome, Mathématicien, 16eme siècle)
  - Notre univers est peuplé d'une « quantité innombrable d'astres et de mondes identiques au nôtre »

- Fontenelle (Scientifique, 17eme siècle)
  - 6 leçons des entretiens sur la pluralité des mondes. « Que les Étoiles Fixes sont autant de Soleils dont chacun éclaire un Monde »

- Camille Flammarion (Astronome, vulgarisateur, 19 et 20eme siècle)
  - Ecrit « La pluralité des mondes habités » Etude où il expose les conditions d'habitabilité des terres célestes discutées au point de vue de l'astronomie, de la physiologie et de la philosophie naturelle

2 Evolutions récentes

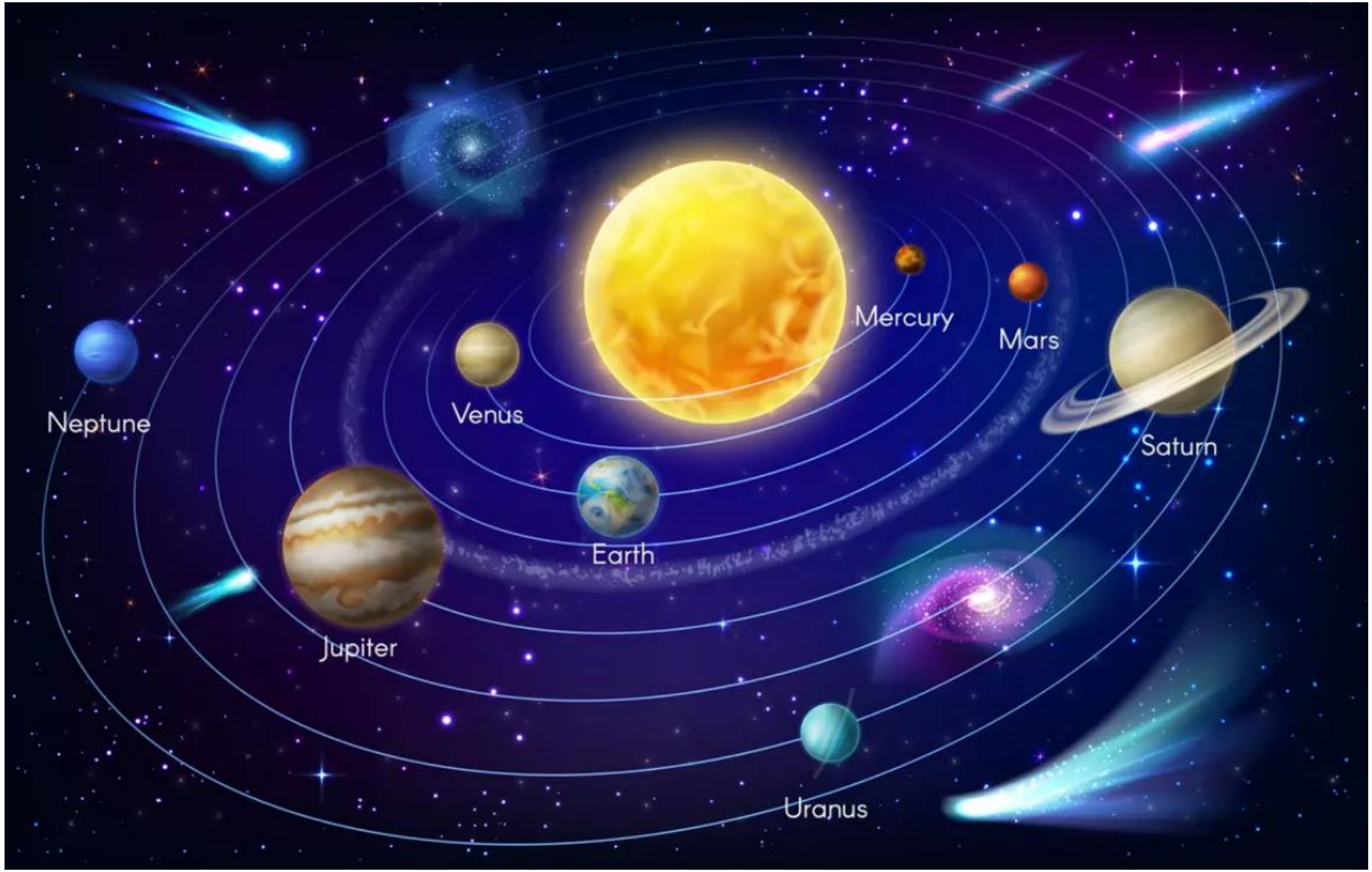


- Schiaparelli puis Percival Lowel (fin du 19eme siècle)
  - Sont persuadés d'une vie sur Mars après avoir « vu » des mers, lacs, canaux à leur surface, réalisés par des « Marsiens » combattant la sécheresse.

- Entre le début du 20eme et les années 50, le monde scientifique ne croit plus en l'existence de planètes extra-solaires

- En 1952, tout change :
  - Astronome réputé, Otto Struve pose les bases de la détection d'exoplanètes. Il décrit comment une planète géante pourrait provoquer des oscillations de son étoile, tels deux objets célestes gravitant autour d'un barycentre commun.
  - Mais aucun instrument à l'époque ne permet cette détection, il faudra attendre pratiquement un demi-siècle…

3 Sortir du système solaire



4 Les distances en jeu

Objet	Distance en km	Distance en années lumières	Temps de trajet avec la fusée la plus rapide (Sonde Parker, 600.000 km/h)
Lune	300.000 (Trois cent mille)	1 seconde	30 minutes
Soleil	150.000.000 (Cent cinquante millions)	8 minutes	11 jours
Saturne	1,5 milliards de kilomètres	1heure 20minutes	105 jours
Neptune	4,6 milliards de km	4heures 30 minutes	11 mois
Nuage de Oort	1500 milliards de km	60 jours	53 ans
Proxima Centaure	45000 milliards de km	4,5 ans	8500 ans
Véga Lyre	250.000 milliards de km	25 ans	47.000 ans
Deneb Cygne	16 millions de milliards de km	1600 ans	3 millions d’années

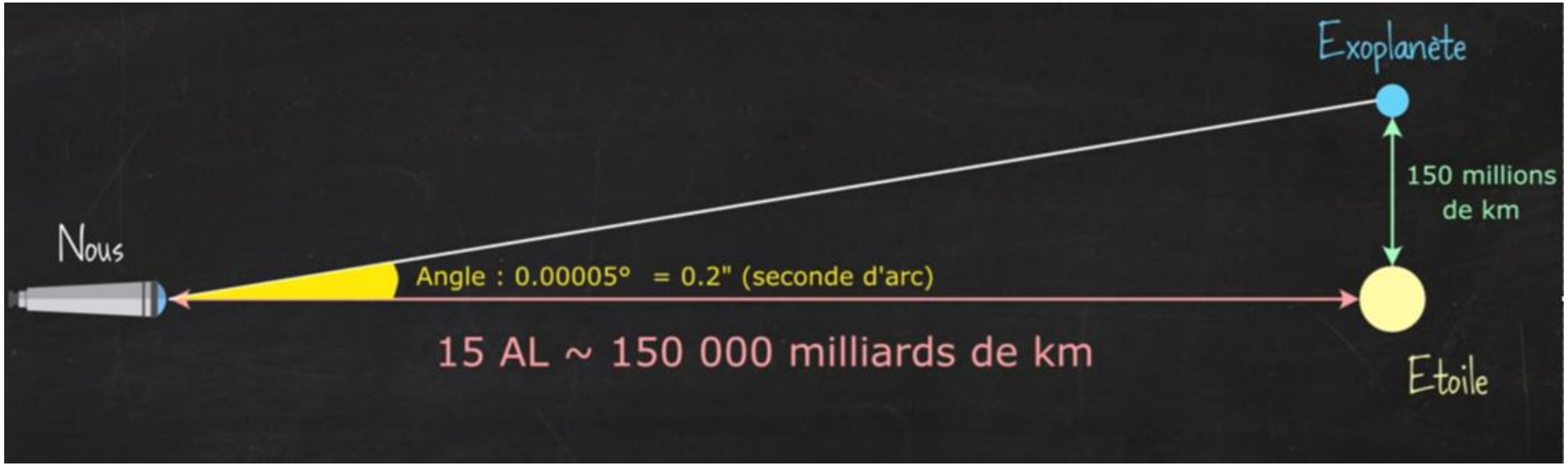
1ère méthode : Tenter d’observer en direct

- Démo !
  - Un projecteur
  - Une petite boule d’aluminium
  - Prendre une photo avec un smartphone
  - Conclusion…

1ère méthode

- L’étoile est entre 10.000 et 10.000 milliards de fois plus brillante qu’une planète gravitant autour…
- Démo !
  - Distribution de carte contenant un minuscule trou
  - Allumer la lumière du portable
  - L’éloigner (50cm à 1 mètre ou plus) de la carte
  - Coller son œil sur le petit trou et observer

1ère méthode



- Ci-dessus, l'angle est de 0.2 seconde d'arc, c'est à peu près une balle de ping-pong vue à 50 km

Observateur

←50 km→

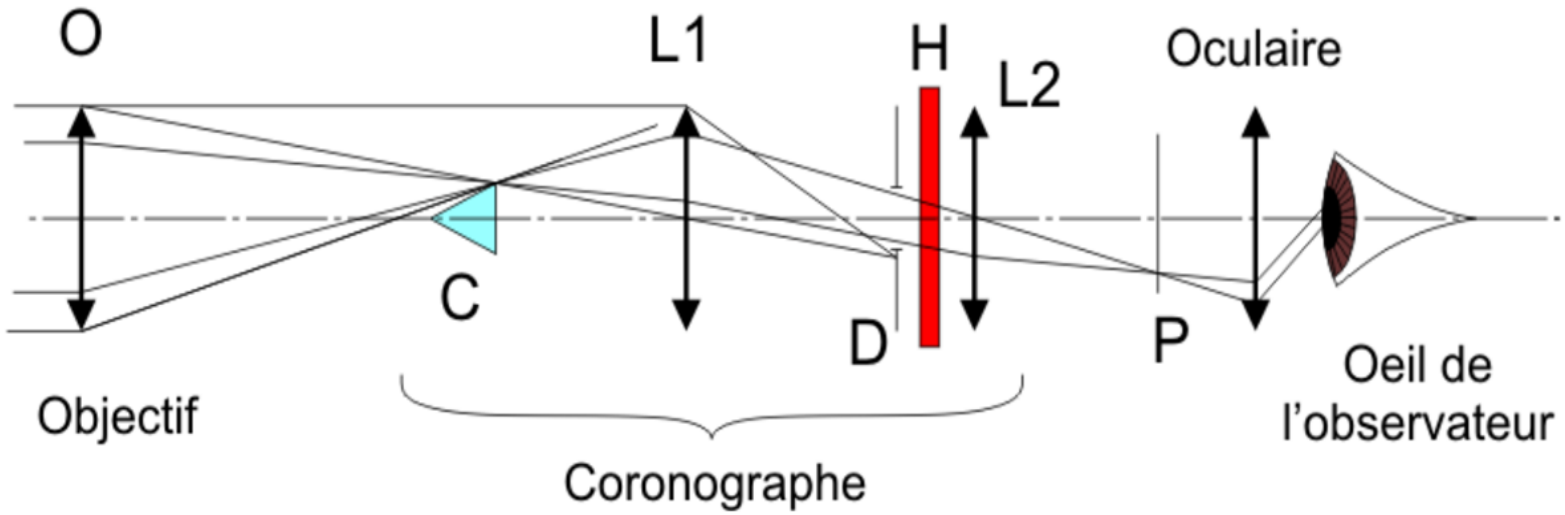
Balle de ping pong

Les meilleurs télescopes actuels arriveraient tout juste à distinguer ces deux objets

- Quelle pourrait être la solution ?

1ère méthode

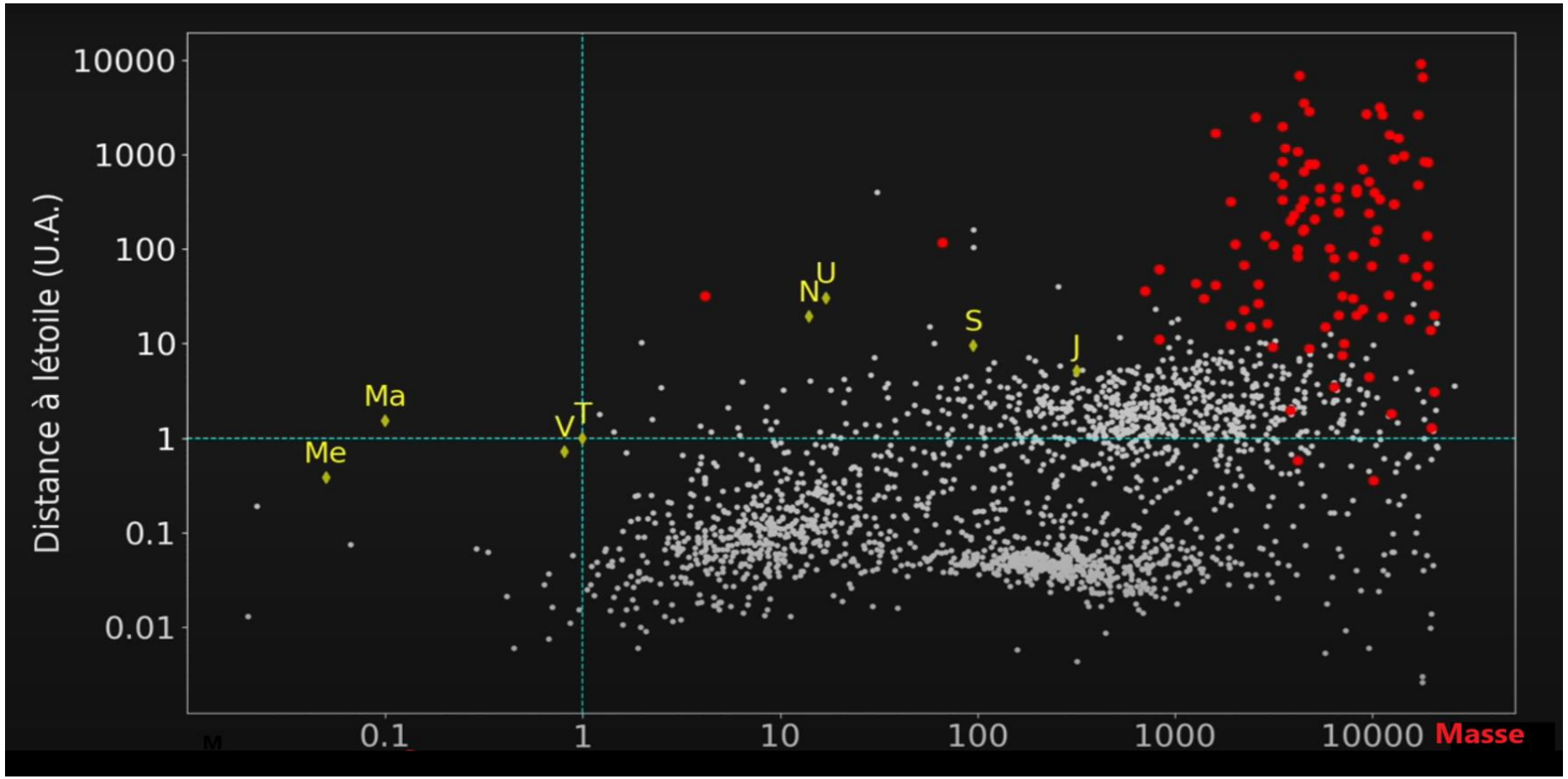
- Pensons aux éclipses totales
- Simuler une éclipse totale de l'étoile avec l'instrument
  - Utiliser un « coronographe » (Inventé par B.Lyot en 1939) beaucoup plus sophistiqué afin de masquer l'étoile et espérer observer en direct une ou plusieurs éventuels compagnons.
  - Projet « Starshade » de la NASA, non mise en oeuvre



1ère méthode

- Peu d'exoplanètes ont été découvertes par cette méthode.
- l'outil SPHERE au VLT (ESO, Nord Chili) permet la détection d'exoplanètes par cette méthode.
  - Par exemple Beta Pictoris B
  - Vidéo construite à partir de multiples observations :
    - https://www.youtube.com/watch?v=JuAx--KlITA
  - Située à 63 AL du soleil, c'est une exoplanète géante, très chaude (1200°), en début de vie

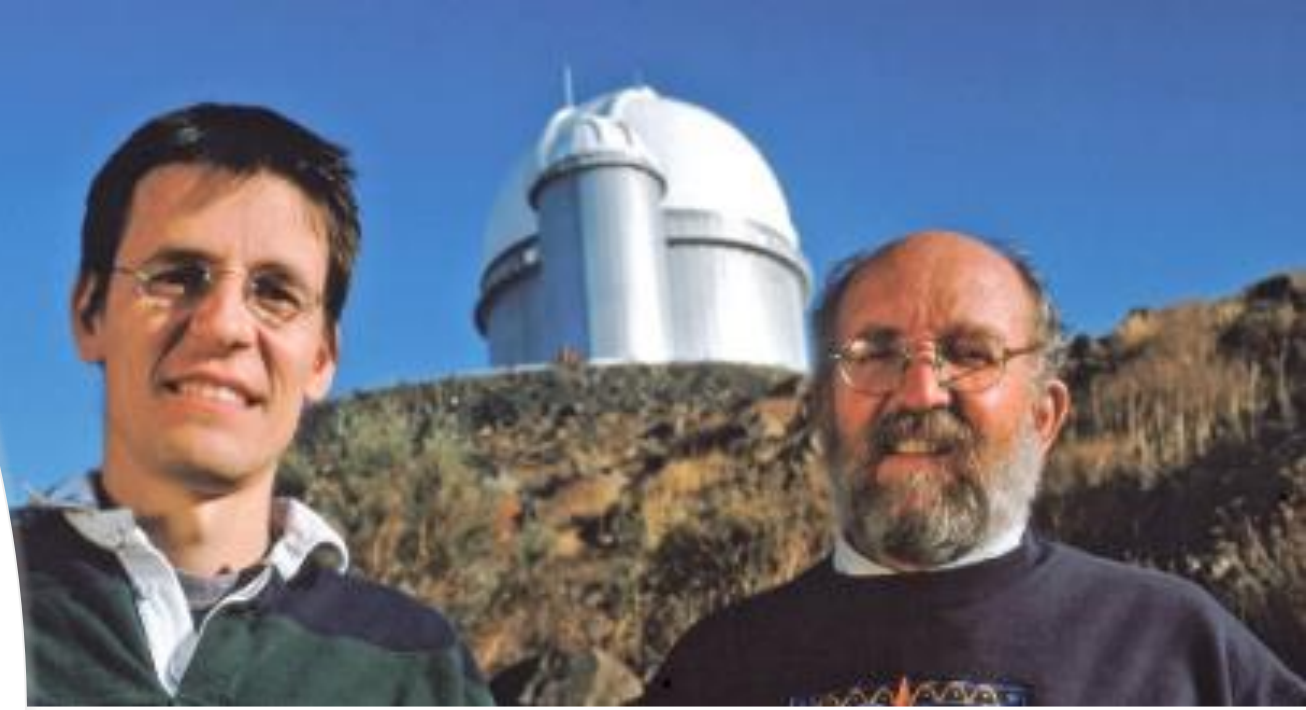
Répartition des exoplanètes découvertes



- En rouge, les exoplanètes découvertes par observation directe. Elles sont souvent très loin (UA) et très massives. C’est la raison pour laquelle on arrive à les détecter par ce moyen. La masse des exoplanètes permet de déterminer si on a vraiment affaire à une exoplanète, et non à une étoile ratée.

La première découverte !!! (Et 2ème méthode)

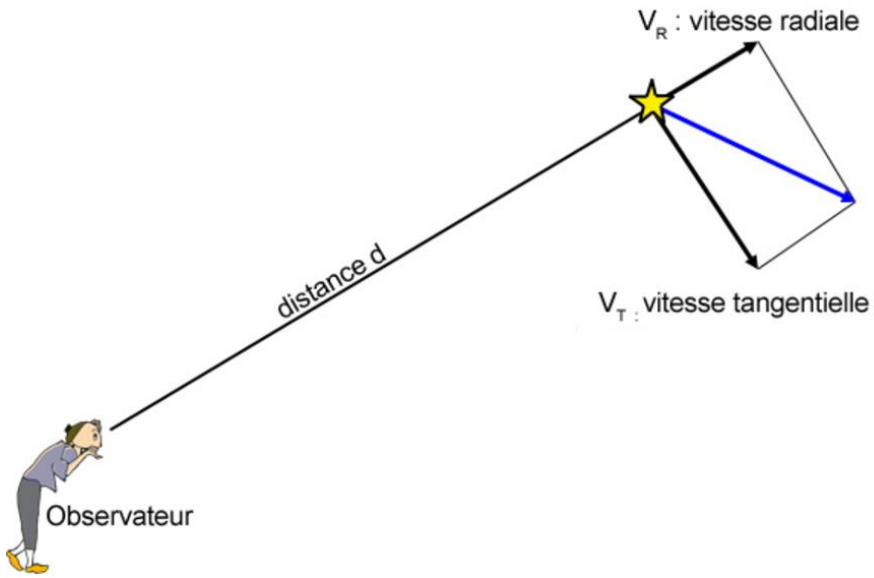
- La 1ere exoplanète a été découverte par les astrophysiciens suisses Didier Queloz et Michel Mayor en 1995, à partir des observations à l'OHP.
  - Ils reçoivent le prix Nobel de physique pour cette découverte en 2019
- Mais la découverte n'est pas faite en observation directe, mais en exploitant la *vitesse radiale* de l'étoile autour de laquelle tourne la planète.
  - Ils découvrent une exoplanète autour de l'étoile 51 Peg, notée 51 peg B



Vitesse radiale ??

- La vitesse radiale est la vitesse d'un objet mesurée dans la direction de la ligne de visée. Elle peut être positive ou négative selon que l'objet s'approche ou s'éloigne
- Une planète a une influence, même minime, sur son étoile. L'étoile va effectuer de petits cercles autour du « barycentre » selon la position de la planète
- Observons un lanceur de marteau en athlétisme :
  - Le lanceur est l'étoile
  - Le marteau, la planète

  https://www.youtube.com/watch?v=ZpmgWuxAig0
- L'étoile va ainsi s'éloigner et se rapprocher faiblement de l'observateur selon la position de l'exoplanète sur son orbite.
- Il est possible de mesurer cette vitesse d'éloignement et re rapprochement à l'aide de **l'effet Doppler.**



L’effet Doppler

- L'effet Doppler, ou Doppler-Fizeau en astronomie, est le décalage de fréquence d’une onde (mécanique, acoustique ou électromagnétique) observée lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie.
- Démonstration avec des ondes sonores et l’application « fizziq »

  - Appli fizziq
  - Outils
  - Synthétiseur →Fréquence à 1000
  - S’approcher et s’éloigner du public

  - Demander l’impression sonore

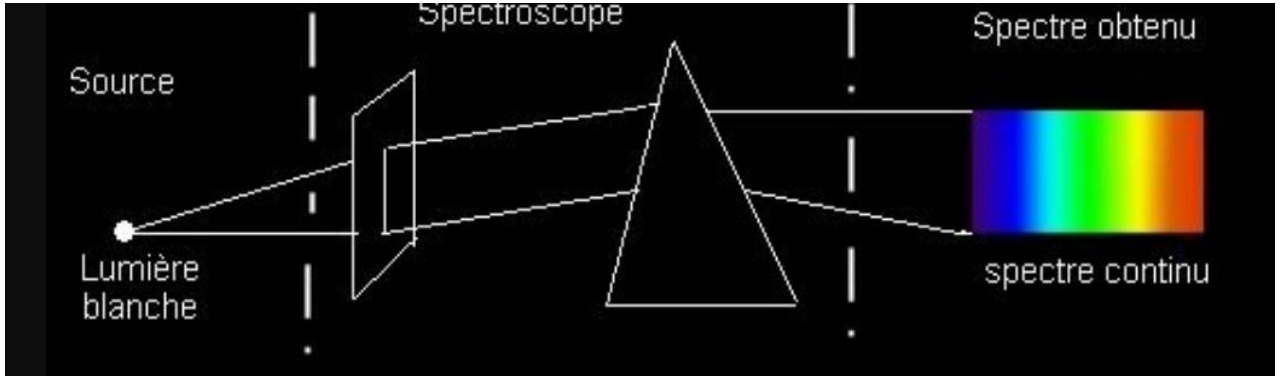
L’effet Doppler – Démo Scratch

- L’effet Doppler appliqué à la lumière émanant de l’étoile entraîne un décalage des raies d’absorption vers le rouge lorsque l’étoile s’éloigne, et vers le bleu lorsque l’étoile s’approche.
- Cela donne cela :
  - Ici un développement en Scratch réalisé pour cette soirée :
    - Projet dopplerfizeaudial.sb3

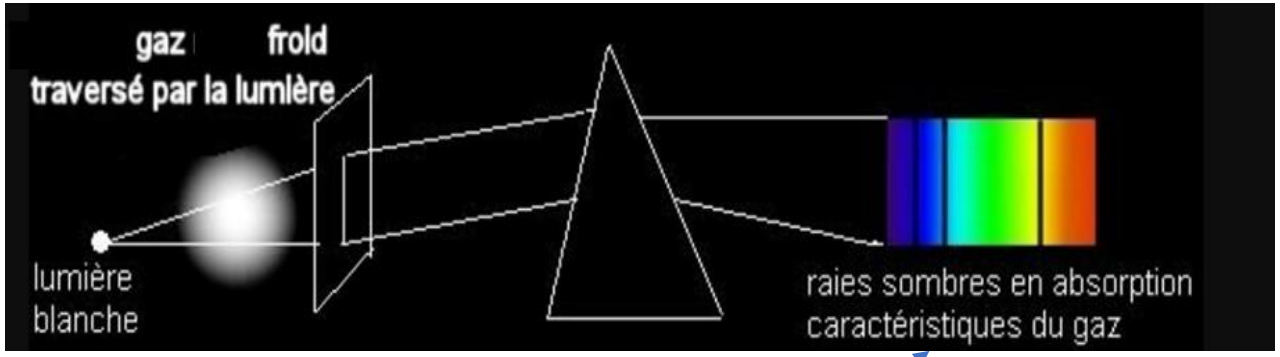
- Slide suivant, le spectre, les raies, explication

Le spectre et les raies – Effet Doppler appliqué au spectre

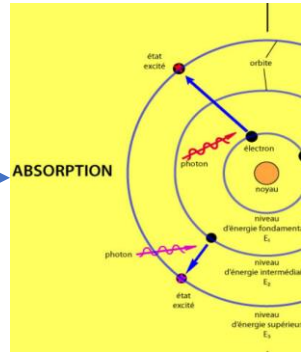
- Dans un spectre dit « continu », toutes les longueurs d'onde sont représentées, il ne manque aucune couleur à ce spectre. On peut le créer à l'aide d'une lumière blanche et d'un prisme



- Dans un spectre dit «d'absorption», des raies noires apparaissent. Ces raies correspondent aux longueurs d'onde absentes de la lumière qui a traversé le prisme. Comparant avec l'expérience précédente, la seule différence est la présence d'un gaz froid entre lumière et prisme. Le gaz a visiblement absorbé la lumière.

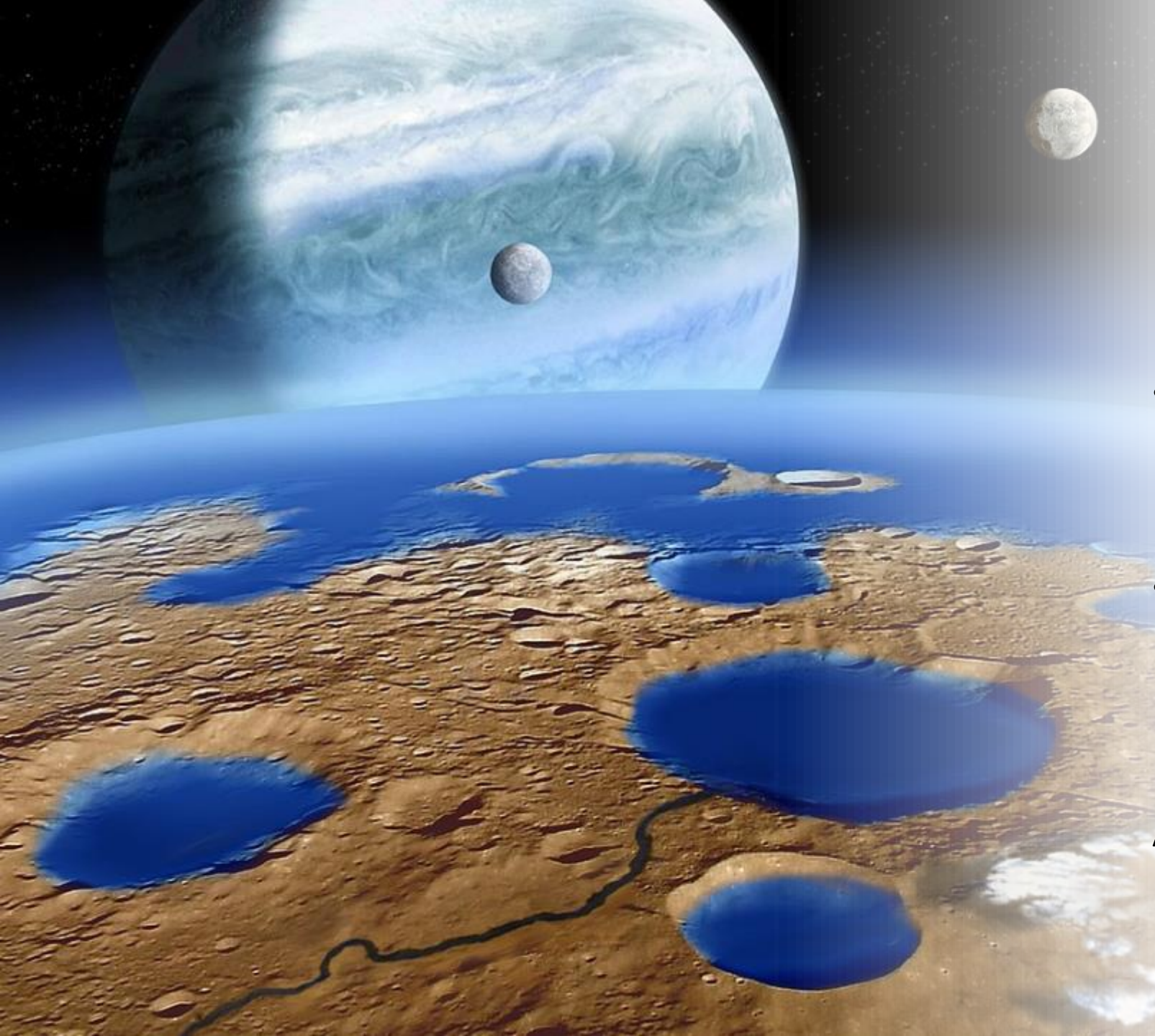


Niveaux d'énergie d'un électron autour de son noyau. Pour qu'un électron passe d'un niveau orbital bas à celui plus haut, il lui faut une énergie externe au système. Cette énergie est apportée par un photon qui a le niveau d'énergie requis. Le photon disparait après avoir permis le changement d'état. D'où la présence des raies noires



Chaque élément atomique ayant son propre spectre (raies), il est possible d'identifier les éléments présents dans le gaz .

https://www.nagwa.com/fr/videos/709180464317/



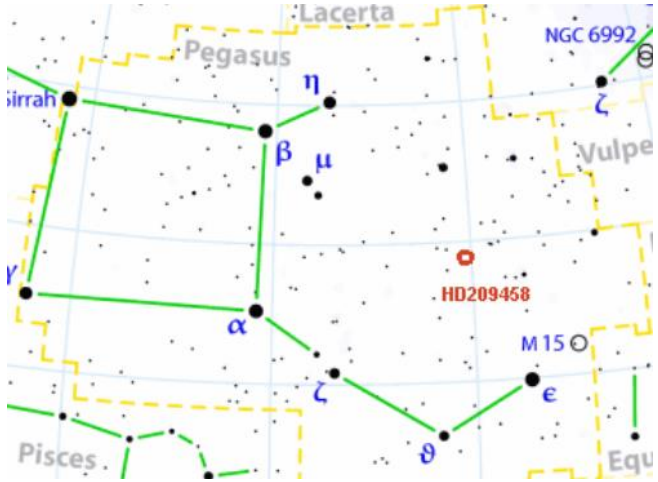
Quelques exoplanètes détectées avec cette méthode

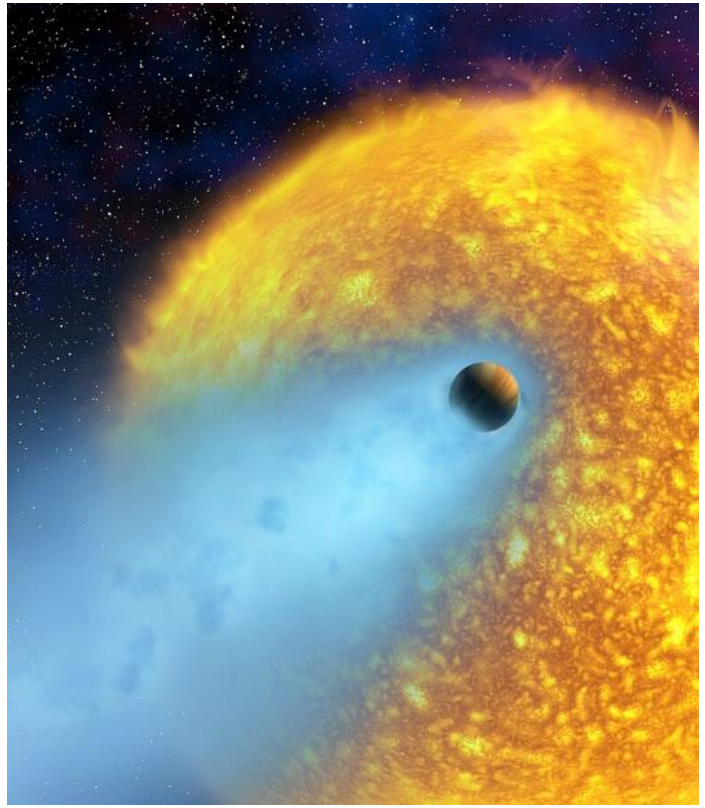
- 47 Grande Ourse (45 AL, mv=5)
  - 3 exoplanètes de type Jupiter massif et révolution de 3 ans !
- Upsilon Andromede
  - 2 étoiles, 4 exoplanètes (44 AL, mv=4)

←Vue d’artiste de Upsilon Andromède

Vitesse radiale, caractéristiques

- La méthode des vitesses radiales permet de connaître :
  - La masse des exoplanètes
  - La période
  - l'excentricité
- **Si** le plan d'orbite de l'exoplanète rencontre l'observateur, l'exoplanète passant devant l'étoile, il serait possible de connaître les propriétés chimiques de l'éventuelle atmosphère de la planète, grâce à l'analyse des raies d'absorption.
  - Cela nécessite des moyens très importants.
  - On a déjà détecté du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène dans l'atmosphère de certaines exoplanètes.
    - C'est le cas de HD 209458 dans Pégase (Planète nommée Osiris), à 154 AL de la terre, mv=7,8
      - Carbone détecté grâce à Hubble lors d'un transit de l'exoplanète
      - Vue d'artiste de HD209458 B →

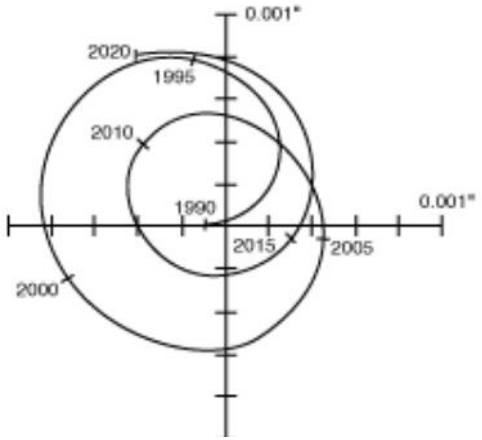




3ème méthode de détection, l'astrométrie

- Nous avons vu que les mouvements de la planète autour de son étoile pouvaient générer des mouvements de l'étoile.
- **Si** le plan de l'étoile était perpendiculaire par rapport à l'observateur, et avec de puissants instruments, il devrait être possible de détecter un petit mouvement circulaire de l'étoile.
- **Démonstration avec un projet Scratch écrit pour cette soirée :**
  - **astrometrie.sb3**

Déplacement astrométrique du Soleil dû à Jupiter



Déplacement du Soleil sous l'effet des mouvements planétaires (Jupiter et Saturne principalement), vu à une distance de 10 pc. L'amplitude de ce déplacement est de 500 microsecondes d'arc

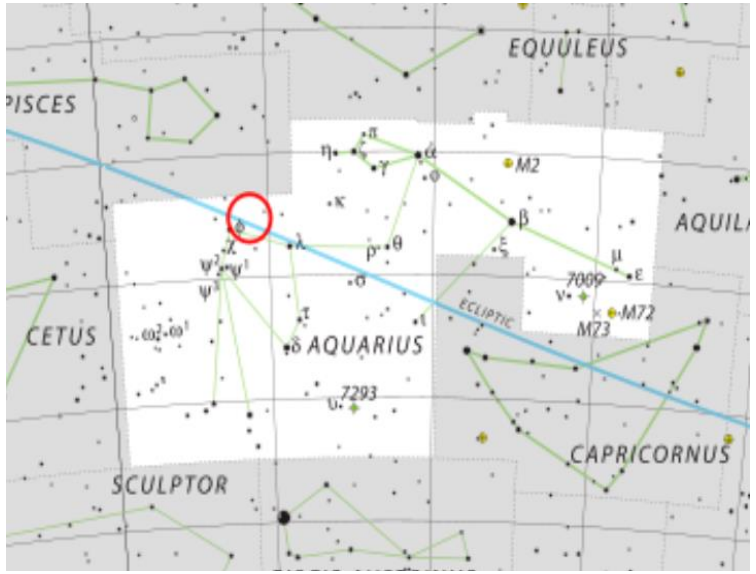
3ème méthode, astrométrie

- Située à 20 AL du soleil et avec une magnitude de 17, situé dans la constellation de l’Aigle, La planète VB 10b est la première exoplanète détectée par astrométrie. C'est un Jupiter-froid en orbite autour d'une étoile naine

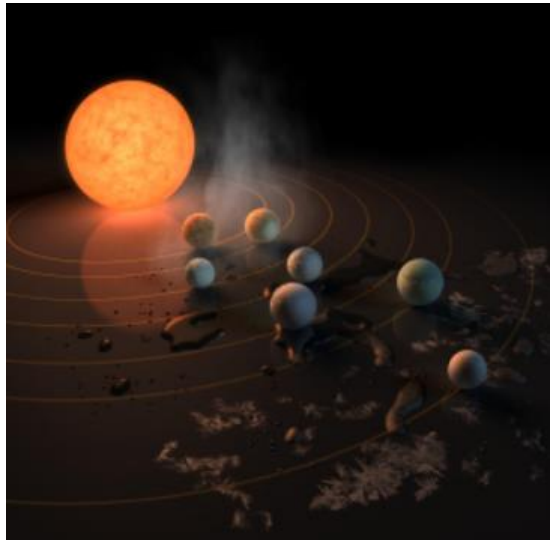
4ème méthode : les transits

- On exploite ici une méthode connue depuis longtemps : les transits
  - Le passage d'une planète devant l'étoile, qui devrait faire très légèrement baisser la lumière de l'étoile observée.
  - Exemple, les derniers transits de Vénus ont eu lieu en 1874 et 1882, 2004 et 2012, les prochains en 2117 et 2125…. Alors que les plans d'orbite de Vénus et de la Terre sont assez peu différents. La baisse de luminosité est d'environ **0,001 %** sur terre**.**
  - Observer un transit d'une exoplanète est Il donc TRES rare, car il faut que le plan d'orbite de l'exoplanète rencontre l'observateur.
  - Il faut donc observer le maximum d'étoiles et attendre une éventuelle baisse de luminosité dont la fréquence de retour serait égale.
  - Les satellites KEPLER, TESS et bientôt PLATO (NASA) ont réalisé et réaliseront ce travail.
    - **Démo !**
    - Projet Scratch réalisé pour cette soirée expliquant la méthode des transits :
    - transits.sb3

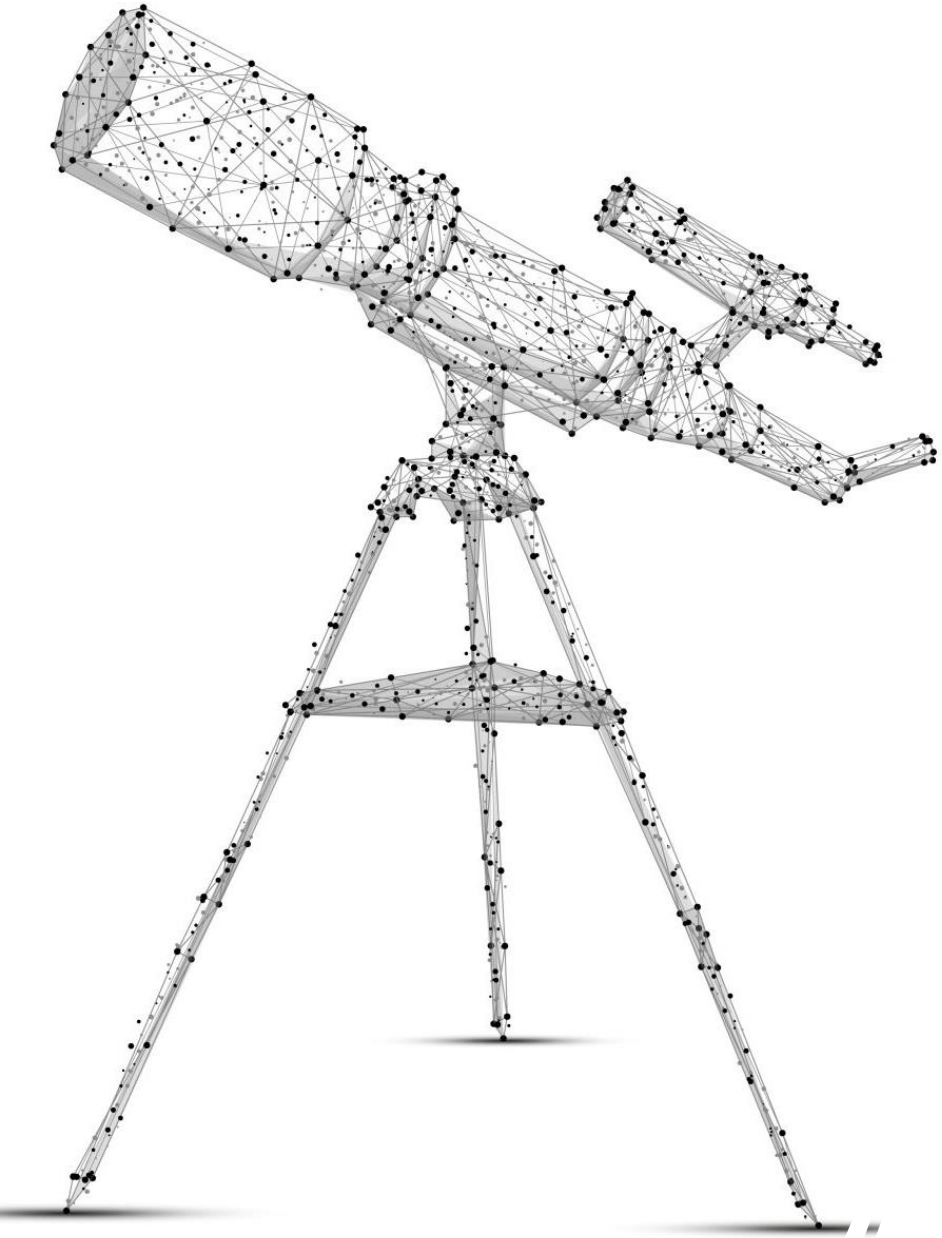
Les transits : l’étoile Trappist 1



- Dans la constellation du Verseau, à 40AL du soleil, de magnitude 19, naine rouge froide, elle ne contient pas moins de 7 planètes, dont la plupart effectuent un transit devant l’étoile.
- Les exoplanètes détectées autour de Trappist-1 sont très proches de leur étoile (beaucoup plus que Mercure ne l’est du soleil), et ont une taille et une masse semblable à la Terre. On pense que des océans existent sur certaines planètes du système, l’eau a été détectée grâce à Hubble par spectrométrie.
- La méthode des transits permet de calculer la taille des exoplanètes, l’inclinaison de leur orbite, leur période, éventuellement la constitution de l’atmosphère.



Vue d’artiste de Trappist 1 et son cortège de planètes



Transit : contribution des astronomes amateurs

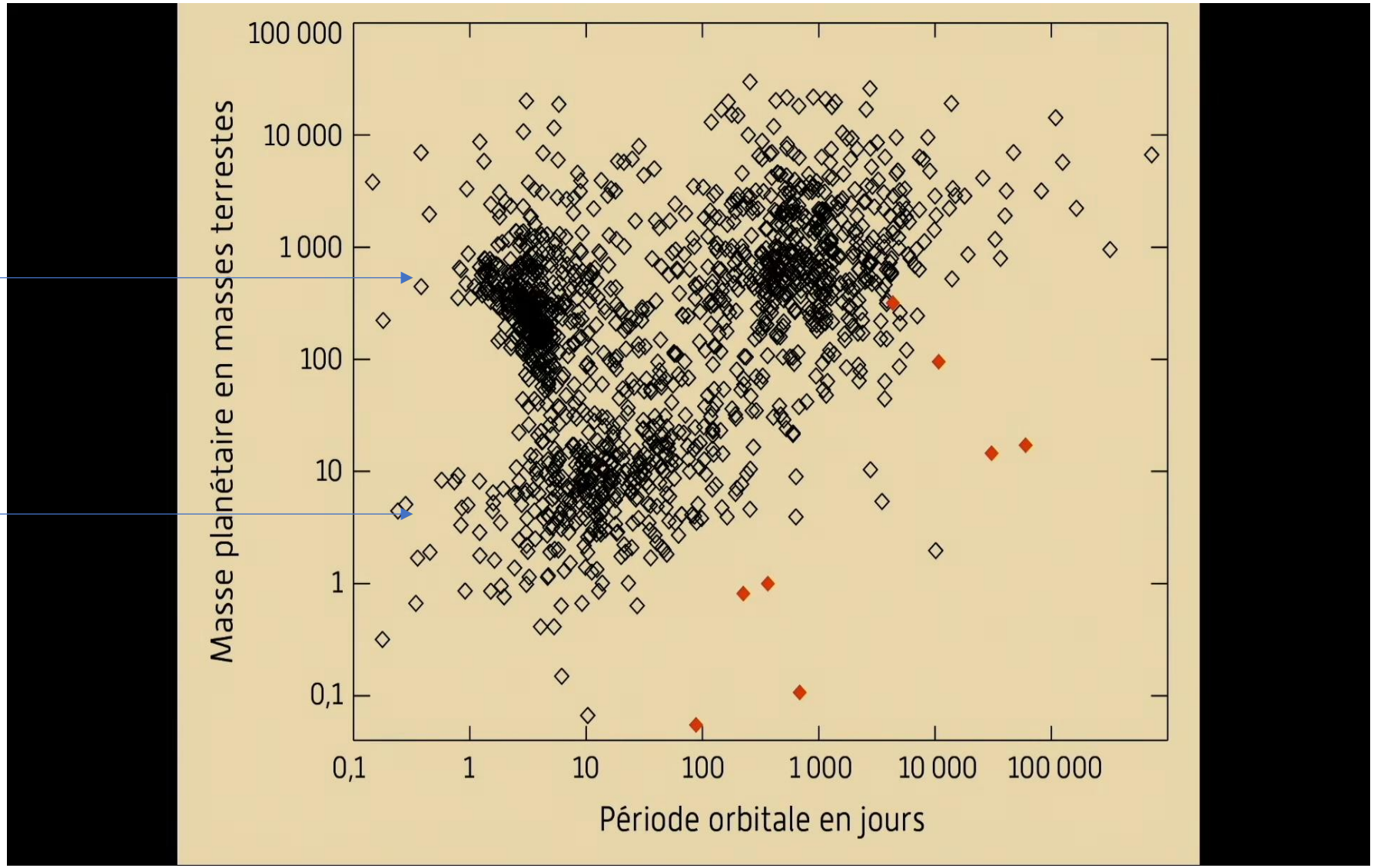
- Les astronomes amateurs équipés de matériel moyen (Télescope de 200mm) peuvent observer et enregistrer les fluctuations des étoiles à transit.
- Par exemple, l'étoile WASP 148 C dan Hercule, de magnitude 12 fait l'objet d'observations par des amateurs et envoyées aux observatoires.
- L'AFA se fait le relai des astronomes amateurs intéressés par ces observations :

  https://www.afastronomie.fr/transit-wasp-148b

Familles d'exoplanètes découvertes

Les « Jupiter » chauds

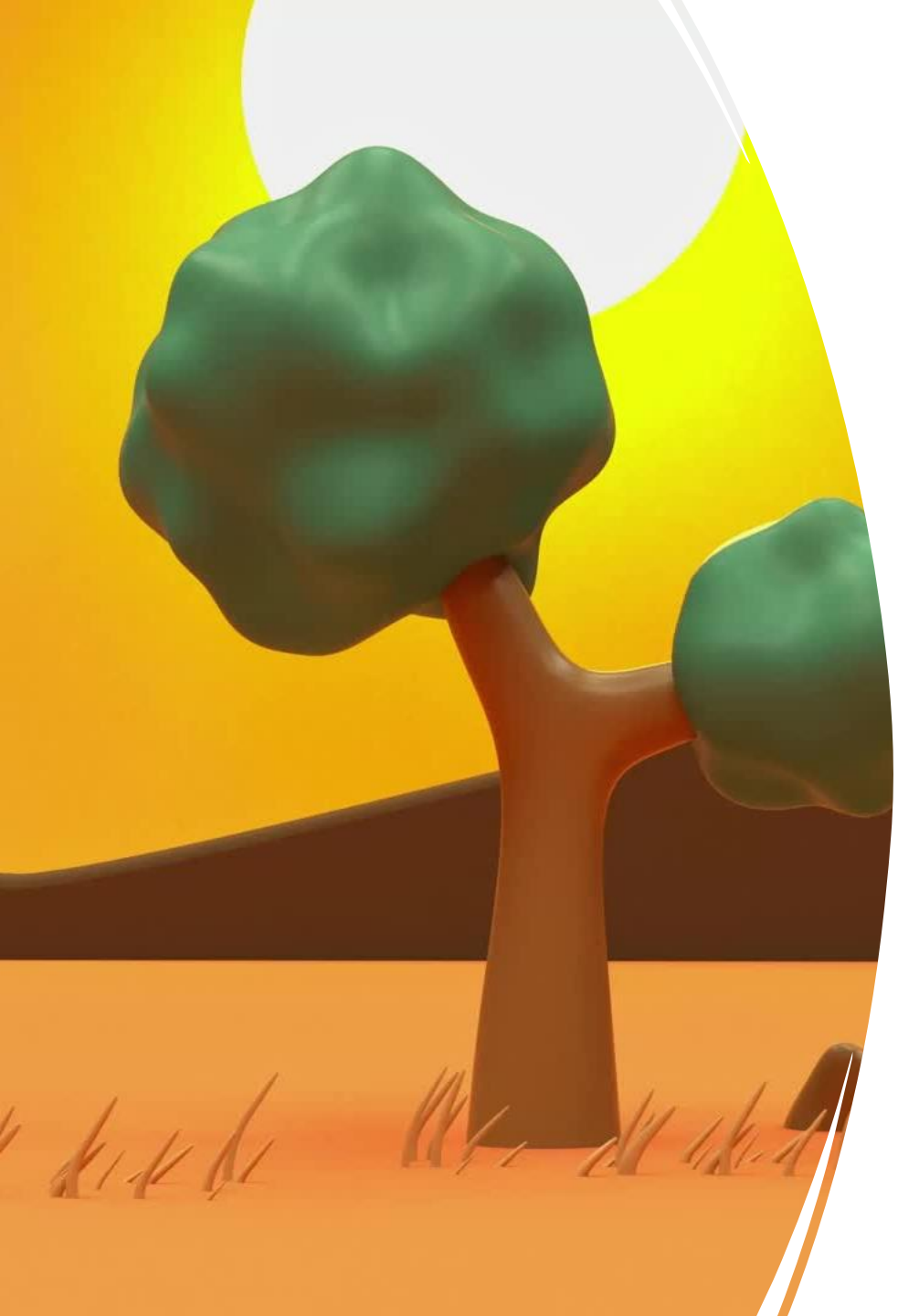
Les « super» Terres



En rouge, les planètes du système solaire

Résumé :

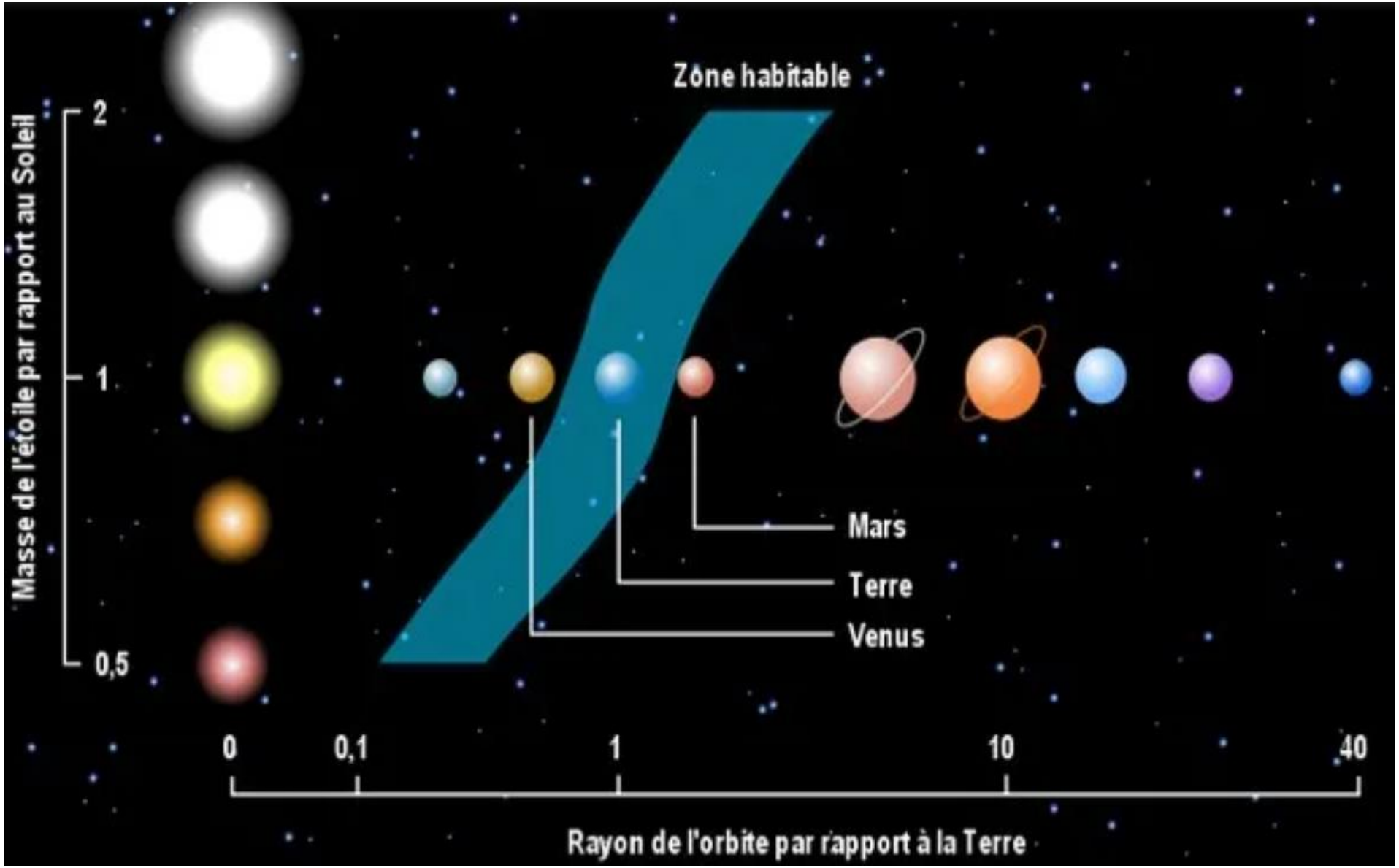
Les systèmes découverts sont très différents du nôtre



Détecter la vie sur les exoplanètes ?

- Le seul endroit où on sait que la vie existe, c’est la Terre.
  - Rappelons que, jusqu’ici, personne n’a jamais réussi à « créer » la vie, même la plus simple à partir des acides aminés de l’ADN, en les triturant de multiples façons en laboratoire.
  - Les composants connus sur terre pour faire émerger la vie sont :
    - De l’énergie (soleil)
    - Le carbone
    - L’eau
  - Comme on n’a aucune idée de la façon dont pourrait naître la vie dans d’autres circonstances, on ne peut que partir de ce que l’on connait.
  - On a déterminé les zones d’habitabilité d’un système en fonction de la taille de l’étoile, et certaines exoplanètes sont ont cette zone (Trappist-1). Mais sur mars, qui est dans la zone habitable, aucune eau liquide détectée.
  - Voir page suivante le graphique

Zone d’habitabilité d’un système

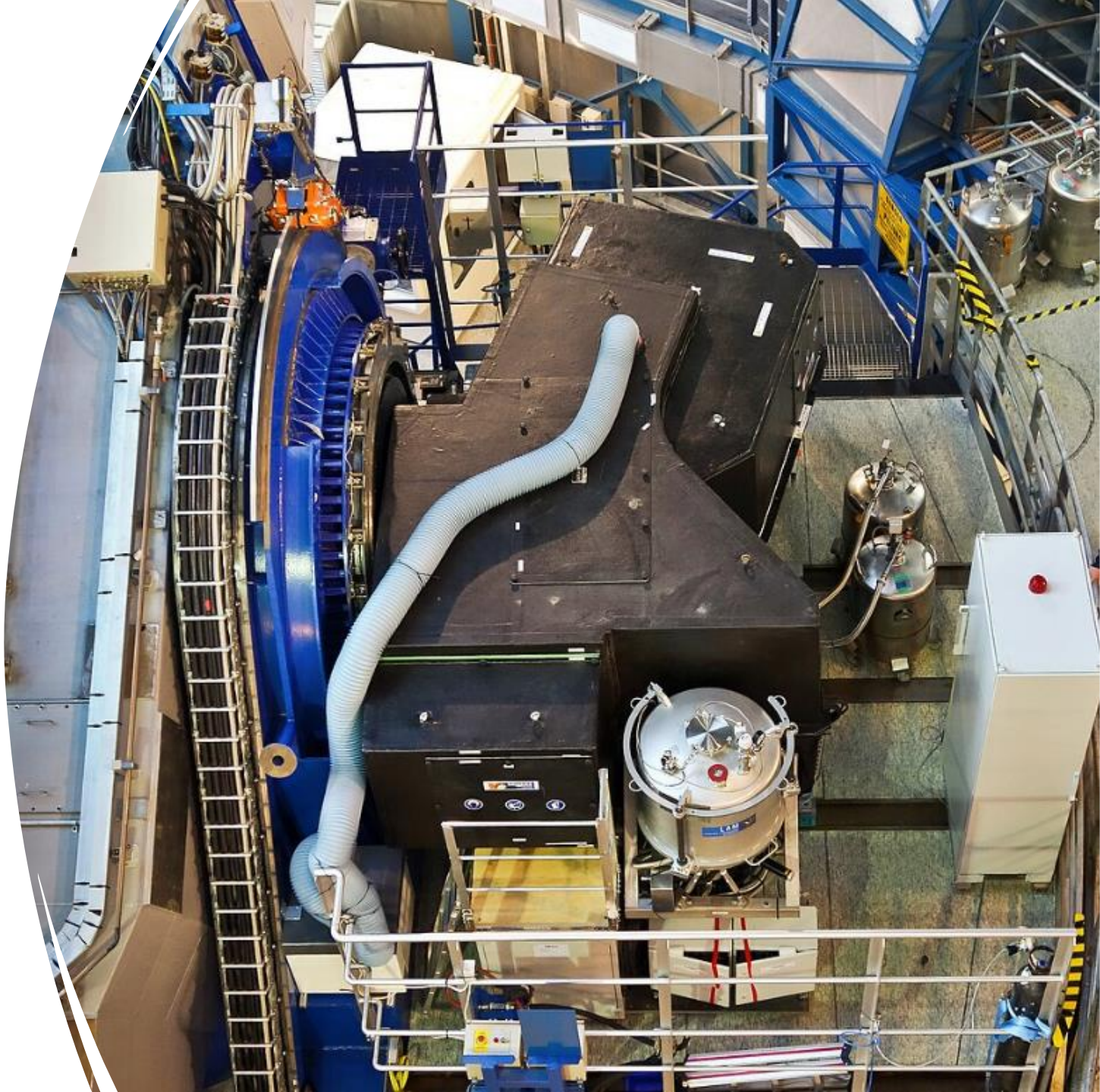


Zone habitable en fonction de la taille de l’étoile, avec une vie telle qu’on la connait.

Des éléments importants comme le champ magnétique, qui protège du vent solaire, l’obliquité de l’axe terrestre, et d’autres sont aussi à prendre en compte !

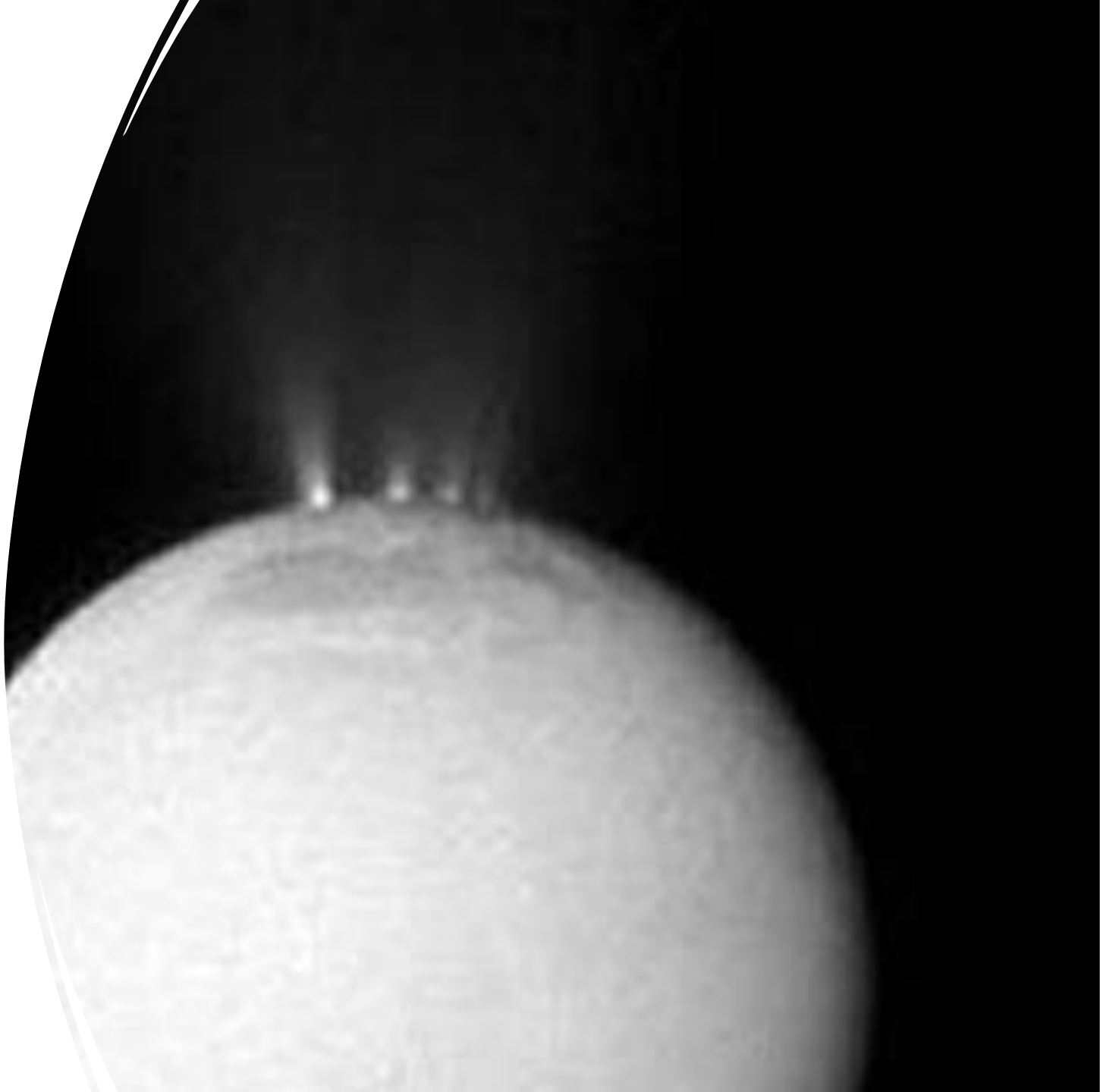
SPHERE

- L’ensemble européen SPHERE (Spectro-Polarimètre à Haut contraste destiné à la REcherche d'Exoplanètes) situé au Chili, permet déjà d’identifier les éléments nécessaires à la vie sur certaines exoplanètes. Bientôt ses capacités seront augmentées.



La vie dans notre système solaire ?

- Certains satellites de Jupiter et Saturne posséderaient des océans sous leur surface
- On a observé des geysers sur Encelade (Saturne) et Europe (Jupiter)



Conclusion

- 70% des étoiles possèderaient des planètes
- Mais aucun marqueur clair de la vie n’a été détecté (Hormis le Carbone…)
- Le temps nécessaire pour les atteindre avec les moyens actuels se situe autour de plusieurs milliers d’années.
- Nous n’avons pas de planète b
- Alors faisons tout ce qui est possible pour sauvegarder les conditions de la vie sur Terre !

- Merci