

III / Caractérisation des exoplanètes

de différentes tailles, même périodes

1

1 - Étude de population

On a découvert +5000 exoplanètes ~~mais~~ ^{et} lorsqu'on regarde la distribution de leur paramètres plusieurs questions apparaissent :

1.1) existence d'un désert de Neptuneuses chauds

très peu de planètes de la taille de Neptune en orbite proche (peu importe le type d'étoile)

Désert des Neptuneuses chauds : absence de planètes avec $R_p \in [3, 10]$ en orbite proche
explications possibles :

- 1 - ces planètes ont perdu toute leur atmosphère en raison de la rayonnement stellaire (les atmosphères d' H_2 et He étant particulièrement sensible)
- 2 - elles ont migré vers l'extérieur à cause d'instabilités gravitationnelles
- l'existence d'une "criste" indique une transition net entre "désert" et "savanna"

Des observations récentes des quelques Neptuneuses chauds connus dévoile des orbites souvent excentriques (elliptique fortement) et polaire.

1.2 l'écart de Fulton

Lorsqu'on trace l'histogramme des planètes découvertes on s'aperçoit qu'il y a un manque de planètes avec des rayons $\in [1.5, 2.]$ rayons terrestres :

d'un côté on trouve beaucoup de planètes Super-Terre ($R_p < 1.5 R_{\oplus}$) de l'autre beaucoup de planètes Sous-Neptune ($R_p > 2 R_{\oplus}$). Cet écart est plus net pour les planètes de période < 100 jours.

2 explications privilégiées :

- 1. photo évaporation (critical radius) $at [1.5, 2] R_{\oplus}$
 - 2. perte de masse par effet de la chaleur du cœur
- existence d'un rayon "critique" en dessous duquel la planète ne peut retenir d'atmosphère en orbite proche (gravité trop faible) peut être les deux

lorsque la planète se refroidit après sa formation elle dissipe de la chaleur qui mène à l'échappement

Remarque des études récentes montrent que pour les étoiles naines rouges (beaucoup plus petites que le soleil) on observe un écart de densité plutôt qu'un écart de rayon. (2)
 La cause semble venir de l'histoire de la formation des systèmes (si la planète se forme devant ou derrière la ligne des glaces) (150-170 K) for water

2 - Caractérisation des planètes

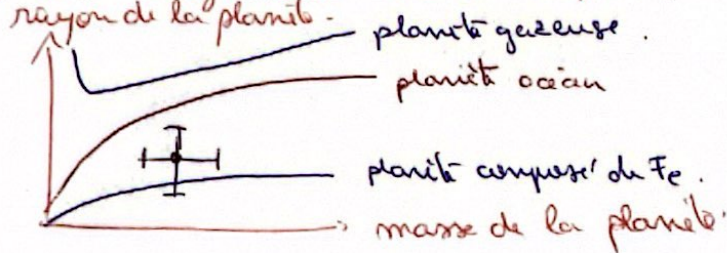
2.1 / Les diagrammes masse - rayon

On peut commencer à questionner l'intérieur d'une exoplanète si on a sa densité (et donc sa masse et son rayon).

$$\rho_p = \frac{M_p}{\frac{4}{3} \pi R_p^3}$$

kg/m³ M_p → masse planète [kg]
 Volume of the planet assuming a sphere [m]³

On trace ensuite des diagrammes masse - rayon



en fonction de la composition on peut tracer des lignes de composition.

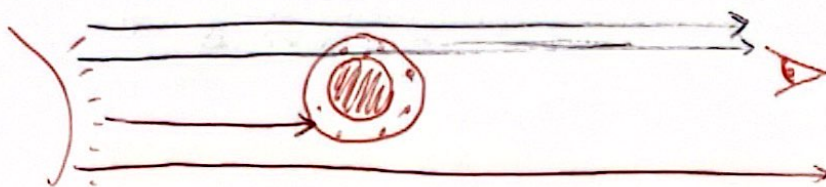
Si les barres d'erreurs sur M_p et R_p sont trop importantes plusieurs lignes de compositions peuvent expliquer les observations, on dit que le problème est dégénéré.

On peut avoir plus d'info en regardant l'atmosphère.

2.2 / Sonder les atmosphères d'exoplanètes

Très majoritairement on étudie l'atmosphère des exoplanètes qui transitent leur étoile hôte (du point de vue de l'obs)

À l'aide de spectromètre on décompose la lumière lors d'un transit pour détecter une atmosphère.



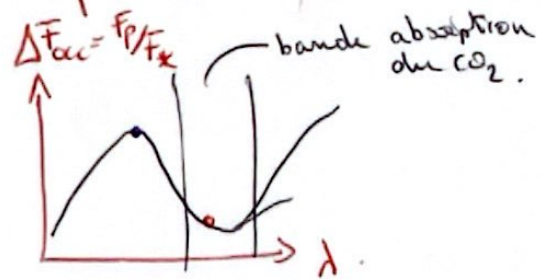
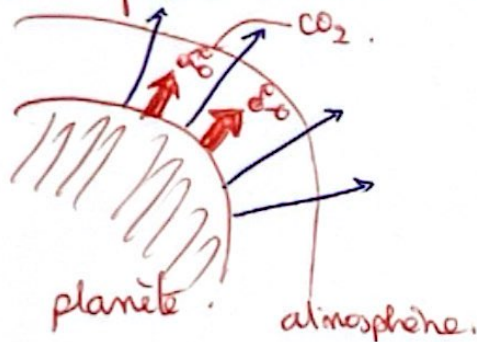
dans ce cas le transit apparaît plus profond dans la longueur d'onde "rouge" que "bleu"

lorsqu'une molécule absorbe à une longueur d'onde donnée le transit à une profondeur plus élevée dans cette même longueur d'onde. (3)

Pour ailleurs chaque molécule possède une signature spectral unique on peut donc identifier les molécules présentes (si on compare assez de λ évidemment).

exemple avec la Terre: Voir slides.

En fin de compte en obtenant des spectres en transmission de même lors de l'occultation on peut utiliser un spectromètre pour obtenir des spectres en émission.



2.3 La méthode des temps de variations de transit

méthode de détection mais aussi très utile pour avoir les masses de planète en transit qui sont trop difficiles à regarder en RV.

Condition: il faut un système multiplanétaire.

les planètes s'attirent et se repoussent, en notant précisément les avances et les retard de temps de transit par rapport à une orbite képlérienne on peut estimer les masses des planètes.

IV / Présentations de quelques système connus.

1 / TRAPPIST-1

Un système de 7 planètes rocheuses, toutes transit.

l'étoile TRAPPIST-1 la + froide à avoir des planètes.

P_{axe} , rayon, irradiation \propto [Mercury, Mars].

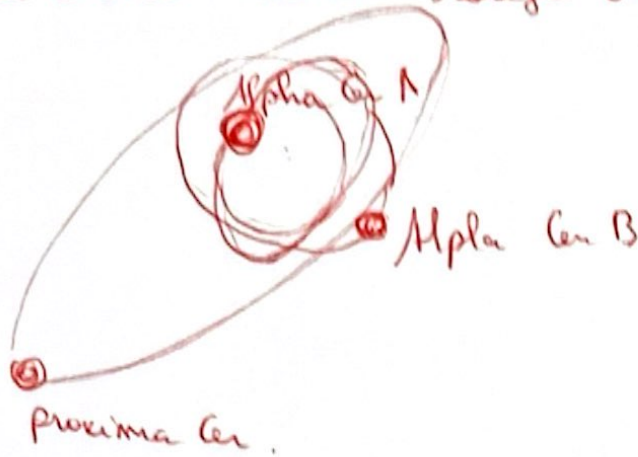
3 en zone habitable !

Rayons des biens connus car transit profond. (4)
masses _____ es car TTV. amplifié par phéno-
-même de résonance

Remarque. L'importance de viser les planètes rocheuses,
autour des étoiles froides
→ unique planète rocheuses accessible avec JWST.

2/ Proxima Centauri

une étoile naine rouge dans le système triple



système exoplanétaire
le plus proche
de nous.

3/ K2 - 18 b.

Sous-Neptune située dans la zone habitable d'une
étoile froide.

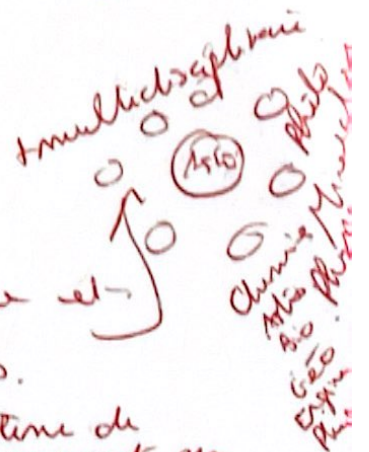
Observation de son spectre en transmission avec HST.
annonce de détection d'eau (vapeur d' H_2O).

Mais des modélisateurs n'étaient pas sûrs.

JWST révèle du CH_4

VI / Intro à l'astrobiologie

astrobiologie : étude de la vie sur Terre et
ailleurs dans l'univers.



1/ Mais qu'est-ce que la vie.

↳ "Un système chimique, auto-entretenu, capable d'évolution darwinienne"

système de
composant en
interactions
(protéines non
vivant)

soit puiser dans son

ADN qui porte les gènes
conçus avec précision

2/ Les traits communs du vivant.

(5)

* tout le vivant utilise uniquement les
éléments CHNOPS.

* des chaînes

* un solvant

* une source d'énergie

3/ apparition vie sur terre.

- abysses hydrothermal chimées
- warm little pond.
- panspermie.