

La détection des exoplanètes : enjeux et bilan.

Introduction.

I. Un enjeu de taille : la modélisation des systèmes planétaires.

a. Principe de la modélisation.

b. Nécessité de valider le modèle par l'observation.

⇒ Détection des exoplanètes.

c. Résultats et enjeux.

II. Les différentes méthodes.

Tableau

III. Méthode de l'effet Doppler.

a. Principe.

b. Méthode détaillée.

c. Conclusion et limites.

Conclusion

I. Un enjeu de taille : la modélisation des systèmes planétaires.

Principe de la modélisation.

- ✓ Système d'équations différentielles couplées issu des lois de la physique (mécanique, thermodynamique, électromagnétisme...)
- ✓ Méthode des éléments finis : découpage de l'espace en éléments de volume $\delta\tau$ ayant chacun des conditions initiales spécifiques.
- ✓ Le but étant de retrouver les étapes classiques d'évolution des systèmes (effondrement gravitationnel, formation d'un disque protoplanétaire, formation des planètes...)

✓ Un enjeu de taille : la modélisation des systèmes planétaires.

Nécessité de valider le modèle par l'observation.

- ✓ Forte sensibilité du système aux conditions initiales : système chaotique.
- ✓ Amélioration des modèles par l'observation de l'évolution de systèmes existants.
- ✓ Problème des échelles de temps :
 - ⇒ Impossibilité de suivre un système pour étudier son évolution.
- ✓ Etude d'un grand nombre de systèmes étant à des stades d'évolution différents :
 - ⇒ Nécessité d'étudier d'autres systèmes planétaires.
 - ⇒ La détection des exoplanètes est donc déterminante pour pouvoir valider les modèles.

I. Un enjeu de taille : la modélisation des systèmes planétaires.

Les réponses et les enjeux

- ✓ 1^{er} résultat : Il existe d'autres systèmes planétaires qui n'évoluent pas forcément comme le notre.
- ✓ Enjeu : Elaborer un modèle qui puisse valider l'évolution de tous les systèmes planétaires.
- ✓ Prévoir l'évolution de notre système solaire ?

II. Les différentes méthodes.

Méthode	Principe	Principal intérêt	Limites
Effet Doppler	Mesure de la vitesse radiale de l'étoile (par rapport à l'observateur).	Obtention des résultats précis sur le système {étoile, planète} : Masse planète, distance planète/étoile...	Planète massives. Petite période orbitale. Durée d'observation au minimum d'une période. Influence de l'angle d'observation dans l'expression de la masse de la planète.
Astrométrie	Mesure du déplacement apparent de l'étoile.	Résultats indépendants de la position de l'observateur vis-à-vis du plan de l'orbite de la planète.	Planètes massives. Grande période orbitale.
Transit	Variation de l'intensité lumineuse de l'étoile lorsque la planète passe devant.	Mesures automatisée (Télescope CoRot et Hubble). ⇒ Un grand nombre d'exoplanètes détectés.	Planètes de grands rayons et proches de leur étoile. Observation continue de l'étoile pendant le transit. Observateur proche du plan de l'orbite.
Lentille gravitationnelle	Augmentation de la luminosité apparente d'une étoile lorsqu'une autre étoile passe entre l'observateur et la première étoile. ⇒ L'étude de l'intensité reçue permet de mettre en évidence la présence d'une planète.	Méthode d'observation directe. Observation de planètes relativement éloignées de leur étoile et de petite taille. Mesures quantitatives possibles : masse de la planète, distance planète-étoile.	Possible seulement si les deux étoiles sont parfaitement alignées et donc non reproductible.
Coronographie stellaire	Masquer la lumière provenant de l'étoile à l'aide d'un cache placé dans le plan de Fourier de l'instrument d'observation	Méthode d'observation directe	Diffraction par la monture de l'instrument. Aberrations.

III. Méthode de l'effet Doppler.

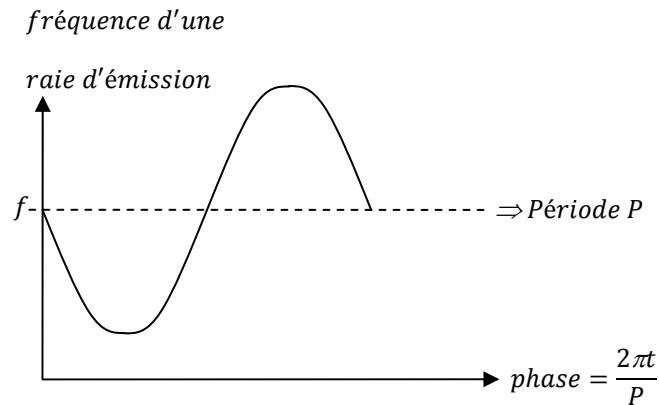
Principe.

- ✓ Mesure des fréquences des raies d'émission de l'étoile.
 - ⇒ Ces fréquences varient sinusoidalement en raison du mouvement de l'étoile autour du centre d'inertie du système {étoile, planète}.
 - ⇒ Mesure de $\frac{\Delta f}{f}$
- ✓ D'après les résultats sur l'effet Doppler, on en déduit la vitesse radiale de l'étoile.
 - ⇒ Mesure de v_e
- ✓ En utilisant les lois de la mécanique ainsi que la connaissance de la masse de l'étoile (simple dans le cas d'une étoile double, utilisation du diagramme HR et de la relation masse/luminosité sinon), on peut en déduire les caractéristiques de la planète : sa masse m_p , sa distance au centre d'inertie r_p

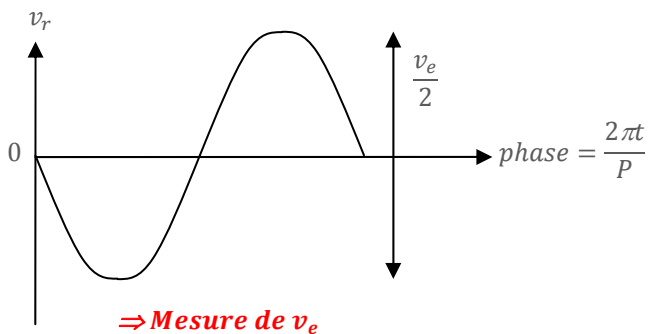
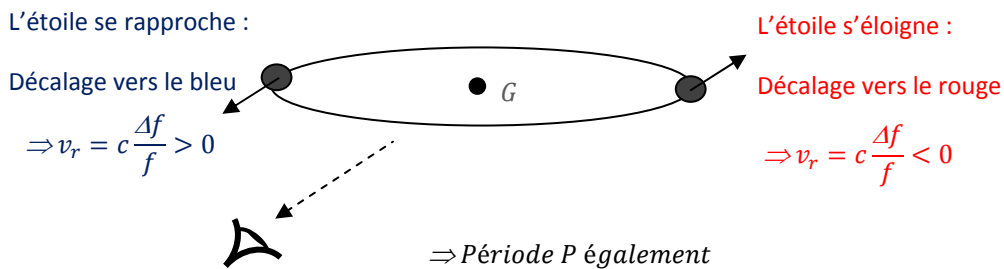
III. Méthode de l'effet Doppler.

Méthode détaillée.

✓ Mesure de la fréquence :



✓ Détermination de la vitesse radiale :



Sachant que dans le cas d'une trajectoire

circulaire, on a : $v_e = \frac{2\pi r_e}{P}$

\Rightarrow On en déduit r_e

III. Méthode de l'effet Doppler.

Méthode détaillée (suite).

✓ Système à deux corps :

- Barycentre : $m_e \overrightarrow{GE} + m_p \overrightarrow{GP} = \vec{0} \Rightarrow m_e r_e = m_p r_p$

- 3^{ème} loi de Kepler : $\frac{P^2}{r_p^3} = \frac{4\pi^2 \mu}{|k|} \approx \frac{4\pi^2}{Gm_e}$

✓ **Connaissance de m_e :**

On en déduit r_p , m_p et r_e

- $v_e = \frac{2\pi r_e}{P} \Rightarrow r_e = \frac{P v_e}{2\pi}$

- $m_e r_e = m_p r_p \Rightarrow r_p = \frac{m_e r_e}{m_p}$

- $\frac{P^2}{r_p^3} = \frac{P^2 m_p^3}{m_e^3 r_e^3} = \frac{4\pi^2}{Gm_e} \Rightarrow m_p = \sqrt[3]{\frac{m_e^2 P v_e^3}{2\pi G}}$

- $r_p = \frac{m_e r_e}{m_p} \Rightarrow r_p = \sqrt[3]{\frac{2\pi G m_e}{P v_e^3}} r_e$

III. Méthode de l'effet Doppler.

Conclusion et limites.

✓ Intérêt de la méthode :

- Permet d'obtenir des résultats quantitatifs sur la planète.
- Méthode valable si la trajectoire est elliptique.

✓ Limites de la méthode :

- Cas où plusieurs planètes gravitent autour de l'étoile :
Résolution possible si le nombre de planètes est inférieur à 5.
- Durée de la mesure : une période orbitale.
⇒ Méthode non applicable pour les planètes très éloignées de l'étoile.
- Effet Doppler détectable pour les « grosses » planètes.
⇒ Méthode non applicable pour les « petites » planètes.
- Méthode non applicable si le plan de l'orbite est perpendiculaire à la direction d'observation.
- Si la direction d'observation n'est pas le plan de l'orbite (angle i), la masse apparente de la planète est $\frac{m_p}{\cos i}$.
⇒ On a accès uniquement à la limite inférieure de m_p

La détection des exoplanètes : enjeux et bilan.

Conclusion :

- ✓ Etat des lieux : près de 1000 exo-planètes détectées aujourd'hui.
- ✓ Amélioration du modèle proposé toujours en cours.
- ✓ Classement des planètes :

- Géantes gazeuses.
- Planètes telluriques.

⇒ La recherche de planètes telluriques, semblables à la terre, est un enjeu important pour étudier la possibilité de vie en dehors de notre système solaire.