

## À LA RECHERCHE... D'UNE EXOPLANÈTE

### Synthèse argumentée

- **Niveau : terminale S, enseignement spécifique**
- **Durée indicative : 1 h**
- **Extrait du programme TS :**

#### OBSERVER / Ondes et matière / Propriétés des ondes

<b>Propriétés des ondes</b> Effet Doppler.	<i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mesurer une vitesse en utilisant l'effet Doppler.</i> Exploiter l'expression du décalage Doppler de la fréquence dans le cas des faibles vitesses. Utiliser des données spectrales et un logiciel de traitement d'images pour illustrer l'utilisation de l'effet Doppler comme moyen d'investigation en astrophysique.
---	---

- **Exemple de synthèse argumentée :**

La recherche d'une vie extraterrestre commence par la détection d'**exoplanètes** sur lesquelles le développement de la vie serait possible. Cependant, il est difficile de détecter une telle planète mais l'**effet Doppler** permet d'y parvenir : nous allons comprendre comment.

Depuis la Terre, il est impossible d'observer directement une **exoplanète**, qui gravite autour de son étoile, du fait de sa **petite taille** mais aussi de la **faible luminosité** qu'elle émet par rapport à l'étoile du système extrasolaire à laquelle elle appartient (**document 1**).

Toutefois, en analysant le **spectre d'absorption de la lumière de l'étoile** autour de laquelle gravite l'**exoplanète** et grâce à l'**effet Doppler**, on peut parvenir à détecter une **exoplanète** à condition qu'elle soit suffisamment massive et proche de son étoile (**document 1**).

Lorsqu'une **exoplanète** tourne autour de son étoile, le mouvement de cette dernière est perturbé et le système constitué de l'étoile et de son exoplanète se met à tourner autour du **centre de masse du système** (**documents 2 et 3**). Par conséquent, l'étoile **se rapproche puis s'éloigne** de l'observateur de façon **périodique** (**document 2**). Ce mouvement relatif de l'étoile par rapport à l'observateur se traduit par des **décalages en longueur d'onde** des raies d'absorption sur le spectre de l'étoile (**document 4**). Ce décalage s'explique par un **effet Doppler** qui se manifeste par la différence entre la fréquence d'une onde émise par une source (*ici l'étoile*) et la fréquence de l'onde reçue par un récepteur (*ici l'observateur*) lorsque l'émetteur et le récepteur sont en mouvement relatif l'un par rapport à l'autre.

La **mesure du décalage** des raies d'absorption sur le spectre de l'étoile permet de **calculer la vitesse radiale de cette étoile**, vitesse qui est mesurée dans la direction de la ligne de visée de l'observateur (**document 3**). La **périodicité de cette vitesse radiale** en fonction du temps (**document 5**) prouve l'existence d'un astre gravitant autour de l'étoile donc la présence d'une **exoplanète** autour de l'étoile.

▪ Exemple de grille d'évaluation :

COMPETENCES	Critères de réussite correspondant au niveau A	A	B	C	D
<b>S'approprier</b>	Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation : <i>petite taille et faible luminosité (doc 1)</i>				
<b>Analyser</b>	Exploiter et organiser des informations et des connaissances : - <i>Effet Doppler</i> - <i>Exoplanète suffisamment massive</i> - <i>Mouvement de l'étoile perturbé par l'exoplanète</i> - <i>Etoile en mouvement d'où décalage en longueur d'onde</i> - <i>Mesure du décalage en longueur d'onde permet le calcul de la vitesse radiale de l'étoile</i>				
<b>Valider</b>	Valider l'hypothèse en cohérence avec l'analyse précédente : « <i>la périodicité de la vitesse radiale permet de conclure quant à la présence d'une exoplanète autour de l'étoile.</i> »				
<b>Communiquer</b>	Rédiger une synthèse qui répond à la problématique. Utiliser un vocabulaire scientifique adapté et rigoureux				
<b>Note (en point entier)</b>		<b>/ 5</b>			

**L'ÉVALUATION DE L'EXERCICE PAR LES COMPETENCES MISES EN JEUX**

La grille permet d'apprécier, selon quatre niveaux, les compétences développées dans le sujet par le candidat.

Pour cela, elle s'appuie sur des indicateurs adaptés à l'exercice et traduisant les critères fixés.

**Niveau A** : les indicateurs choisis apparaissent dans leur (quasi) totalité

**Niveau B** : les indicateurs choisis apparaissent partiellement

**Niveau C** : les indicateurs choisis apparaissent de manière insuffisante

**Niveau D** : les indicateurs choisis ne sont pas présents

**L'ATTRIBUTION DE LA NOTE**

Le regard porté sur la grille de compétences de manière globale aboutit, en fonction de la position des croix, à la note évaluant la production de l'élève.

Il est inutile de chercher à faire un tableau recensant tous les cas de correspondances possibles entre la grille et les notes de 0 à 5. L'approche globale selon le profil donné par les croix sur la grille, s'avère plus pertinente.

Quelques repères, cependant, peuvent être donnés pour l'harmonisation :

- Majorité de A (≥ 50%) et de B → 5
- Majorité (A+B) et 1 ou 2 C → 4 ou 3
- Majorité de C → 2
- Que des C et D → 1
- Que des D → 0

- Exemples de productions d'élèves réalisées dans le cadre d'un accompagnement :  
COPIE 1 (Niveau 😊)

Une exoplanète est une planète en orbite autour d'une étoile en dehors du système solaire. La première fut découverte en 1990, et depuis plus de 200 ont été découvertes. Ces découvertes ont été tardives car elles sont difficiles à détecter du fait de leur petite taille et de leur faible luminosité comparée à celle de l'étoile autour de laquelle elles orbitent. Mais leur détection a été rendu possible grâce à l'effet Doppler.

L'effet Doppler est l'effet par lequel une onde émise à une certaine fréquence est reçu par un récepteur avec une fréquence différente lorsque le récepteur et l'émetteur sont en mouvement relatif. Ainsi, il permet de déterminer la vitesse radiale d'une l'étoile. En effet, à partir d'un spectre d'absorption, il est possible de déterminer la vitesse radiale : les raies d'absorptions n'ont pas les mêmes longueurs d'onde au cours du temps lorsque l'étoile se déplace par rapport à l'observateur. Nous pouvons donc observer un décalage des raies d'absorption vers les petites longueurs d'onde lorsque l'étoile se rapproche de l'observateur (blueshift) et un décalage vers les grandes longueurs d'onde lorsque l'étoile s'éloigne (redshift). En mesurant ces décalages on peut aboutir à la vitesse radiale de l'étoile.

Dans le cas de l'existence d'une exoplanète autour de l'étoile, on remarque une variation de la vitesse radiale qui est positive puis négative au cours du temps. Cette variation signifie que l'étoile ne cesse de s'approcher et de s'éloigner de l'observateur. L'étoile est donc animé d'un mouvement périodique circulaire. En effet, l'étoile exerce sur l'exoplanète une force d'attraction gravitationnelle, mais cette planète exerce une force égale sur l'étoile\*. Dans ce cas l'étoile et l'exoplanète tournent autour d'un point : le centre de masse du système. Ainsi, l'étoile est animée d'un mouvement qu'elle n'aurait pas en l'absence d'exoplanète. C'est cette variation de vitesse au cours du temps qui témoigne de leur présence et permet donc leur détection.



COPIE 2 (Niveau ☺)

L'avancée technologique permet aux scientifiques de l'astronomie d'observer des systèmes de plus en plus lointains. La première planète hors système solaire à donc été révélée dans les années 1990, cependant la mise en évidence d'une exoplanète est plus difficile que ce que l'on croit mais tout de même en s'appuyant sur l'effet Doppler il est possible d'y parvenir.

Les exoplanètes peuvent nous sembler de petite taille et de faible luminosité par rapport à l'étoile du système extrasolaire auquel elles appartiennent, il n'est donc pas possible d'étudier directement la planète.

Les scientifiques ont donc ~~une~~ cherché d'étudier alors le mouvement de l'étoile du système extrasolaire en s'appuyant sur les loi de forces d'attraction gravitationnelles qui existent entre l'étoile et l'exoplanète.

On observe alors grâce au document 2 que l'étoile n'est pas parfaitement centrée sur son point mais qu'elle se rapproche puis s'éloigne de l'observateur (terrestre) de façon périodique. Pour observer ce type de perturbation et pour qu'elle soit détectable il faut que la planète soit assez massive et proche de son étoile d'après le document 1.

Pour montrer que la planète est bien en relation avec l'étoile on a recours à l'effet Doppler en effet l'application de l'effet Doppler permet aux scientifiques de déterminer la vitesse radiale de l'étoile et cette fois-ci est périodique dans le temps. Grâce aux spectres du document 4, on voit que l'étoile se rapproche du jour 4 au jour 6 car on observe un blueshift puis l'étoile s'éloigne du jour 6 à 10 car on observe un redshift, elle reprend sa position initiale le jour 11. Enfin le document 5 nous montre la courbe d'évaluation de la vitesse radiale de l'étoile au cours du temps, on voit que cette courbe oscille périodiquement par rapport au temps et c'est à partir de ce résultat que les scientifiques sont capables de détecter une exoplanète.



## COPIE 3 (Niveau ☹)

L'évolution et le développement de nouvelles outils permet aux astronomes d'observer des systèmes de plus en plus éloignés. C'est dans les années 90 que fut révélée la première planète hors du système solaire. C'est grâce à l'effet Doppler qu'il a été possible à différentes reprises de montrer l'existence d'exoplanètes.

Les observations de ces exoplanètes peuvent inclure en erreur, elles peuvent paraître de petite taille, ou de plus faible intensité lumineuse que l'étoile d'un système extra solaire au quel elles appartiennent. Il est donc impossible d'étudier directement ces exoplanètes.

Pour pouvoir étudier ces étoiles, les scientifiques étudient le mouvement de l'étoile en utilisant les lois de forces d'attraction gravitationnelles qui existent entre les étoiles du système solaire.

Le document 2 nous montre que la planète étudiée n'est pas centrée en un point, mais qu'elle a un mouvement périodique. Pour pouvoir faire l'observation il faut que la planète soit assez grosse et proche de son étoile comme le montre le document 1.

L'application de l'effet Doppler permet de déterminer la vitesse radiale et voir si son déplacement est périodique dans le temps. Le spectre du document 4, permet de voir que l'étoile se rapproche du jour 1 au jour 6 car on observe un blueshift, et reprend sa position initial le jour 11.

Le document 5 est l'évolution de la vitesse radiale de l'étoile par rapport au temps.

Ces résultats permettent aux scientifiques de prouver l'existence de nouvelles exoplanètes.