

AVEC LES ENSEIGNANTS

Abordons les exoplanètes avec les enseignants et les élèves

Roseline Primout, enseignante en physique-chimie et formatrice

L'article décrit une formation destinée aux enseignants du secondaire afin de les familiariser avec les exoplanètes. Une liste de questions est proposée dont les réponses sont à chercher sur un site dédié qui archive les principales caractéristiques. Un article de presse est l'occasion de vérifier la validité des informations annoncées.

Cet article présente un atelier portant sur l'étude des exoplanètes, réalisé lors de la formation *Du Système solaire aux trous noirs* organisée par les Maisons pour la science en Aquitaine¹. Cette formation était destinée aux enseignants du secondaire, toutes disciplines confondues, dans l'objectif de leur apporter des connaissances, des savoir-faire et des outils pour concevoir leurs séquences et la réalisation de travaux dirigés auprès de leurs élèves, lycéens ou collégiens. Cet atelier a été reproduit lors de l'école d'été d'astronomie du CLEA 2019.

L'outil utilisé est le catalogue *exoplanet.eu* qui permet d'obtenir des données sur les exoplanètes afin d'aborder des connaissances sur ces astres. Pour des élèves, extraire et analyser des données à partir d'un outil professionnel peut être motivant : le travail demandé a un sens car rattaché au milieu de la recherche. L'inconvénient est que certaines données changent régulièrement, si bien qu'entre le moment de préparation de la séance et celle de sa réalisation il faut savoir rebondir. Ce désavantage peut être présenté comme un atout auprès des jeunes car il illustre la science en construction au quotidien. Ce catalogue offre aussi la possibilité d'obtenir des graphes utiles pour la préparation des cours comme celui de la masse de l'étoile en fonction du demi-grand axe de l'orbite de la planète qui permet d'illustrer les différents groupes d'exoplanètes trouvés à ce jour comme les jupiters chauds ou froids et les super-terres.

Cet atelier a été conçu à partir d'une proposition faite par l'association Eu-Hou² lors d'une précédente formation. Il a été remanié pour plusieurs raisons.

Comme dit ci-dessus, du fait de l'évolution

quotidienne du catalogue, le choix des exoplanètes fait par Eu-Hou ne nous semblait plus pertinent car les exoplanètes non confirmées le sont devenues et celles supposées en zone habitable ne le sont plus toujours.

En outre, comme le catalogue est facile d'utilisation, nous avons préféré le présenter de manière moins « presse-bouton », pour favoriser la réflexion. Nous avons deux présentations possibles destinées aux enseignants et à adapter éventuellement pour des élèves. L'une plus guidée qui présente les multiples possibilités d'exploitation du catalogue à travers une liste de questions. L'autre très ouverte, portant sur l'analyse critique d'articles de presse mais plus limitée sur les nombreuses possibilités d'extraction des données comme l'étude de l'article *Ils découvrent 114 exoplanètes, dont plusieurs potentiellement habitables* (voir l'encadré à la fin de cet article).

De plus, la proposition faite par Eu-Hou concernant la 3^e loi de Kepler ne nous semblait pas pertinente puisqu'ils demandent de vérifier cette loi en utilisant le demi-grand-axe issu du catalogue, or celui-ci a été lui-même calculé via la 3^e loi de Kepler. Pour finir, nous avons valorisé cet atelier par l'utilisation du logiciel en ligne NASA's eyes³ du *Jet Propulsion Laboratory* qui permet de visualiser les systèmes stellaires, de comparer leurs tailles avec celle du Système solaire afin de mieux faire comprendre que la majorité des exoplanètes découvertes actuellement sont très proches de leur étoile, de cerner les exoplanètes présentes dans la zone d'habitabilité et d'appréhender l'échelle des distances en déterminant la durée possible d'un voyage pour s'y rendre selon divers modes de transport.

Le catalogue *exoplanet.eu* présente de multiples données qu'il faut sélectionner selon ce que l'on veut aborder avec les élèves, et si ces informations

1 <https://www.maisons-pour-la-science.org/formations/>

2 Europe Hands-On Universe <http://www.fr.euhou.net/>

Ce document à télécharger sur le site du CLEA.

3 <https://eyes.nasa.gov/>

servent uniquement pour illustrer une séquence ou entrent dans le cadre d'un projet interdisciplinaire. Dans l'article *Exoplanètes et science-fiction*, un exemple est traité dans le cadre d'un projet EAC (Éducation artistique et culturelle) sur le thème de la science-fiction.

Le catalogue

Le catalogue est disponible en ligne à l'adresse exoplanet.eu. Un seul bémol, les axes sont par défaut logarithmiques et, selon le niveau des élèves, c'est difficile de leur expliquer.

Attention, le site est dynamique, par exemple, des planètes peuvent passer de l'état « non confirmé » à celui de « confirmé » entre le moment où l'on prépare son cours et celui où on le donne. Il faut y penser ! C'est aussi un atout, une façon de montrer que la science n'est pas figée.

Présentation d'un atelier

Informations et apports sur le catalogue

Le nom de la planète

Le nom d'une planète comme HD 286123 b commence par le nom de son étoile⁴, ici HD 286123, suivi d'une lettre minuscule. La lettre b ou c ou d... donne soit l'ordre de découverte, soit l'ordre des planètes de la plus proche à la plus lointaine de l'étoile si elles sont découvertes en même temps. La lettre a correspondrait à l'étoile, mais elle n'est jamais utilisée,

La masse (en masse de Jupiter) et le rayon (en rayon de Jupiter) de la planète

Si une planète a une masse de 0,398 cela signifie que sa masse vaut 0,398 fois celle de Jupiter, Selon les méthodes de détection, certaines caractéristiques peuvent ne pas être connues : ainsi, la méthode de transit ne donne pas accès à la masse.

Les caractéristiques de l'orbite de la planète

Le catalogue donne la période orbitale (en jours), le demi-grand axe (en unité astronomique⁵), l'excentricité (sans unité) et l'angle entre le plan de l'orbite et le plan perpendiculaire à l'axe Terre étoile.

Découverte du catalogue

Ouvrir le catalogue.

4 Il y a de nombreuses manières de nommer une étoile. On peut utiliser le nom d'un catalogue (comme HD pour Henry Draper) suivi d'un numéro, un numéro suivi du nom de la constellation (comme 51 Peg), le nom d'un satellite suivi d'un numéro (comme CoRoT 7)...

5 Approximativement la distance moyenne Terre-Soleil, fixée maintenant à 149 597 870,7 km.

Cliquer sur l'onglet «Tous les catalogues» situé dans la barre des tâches en haut.

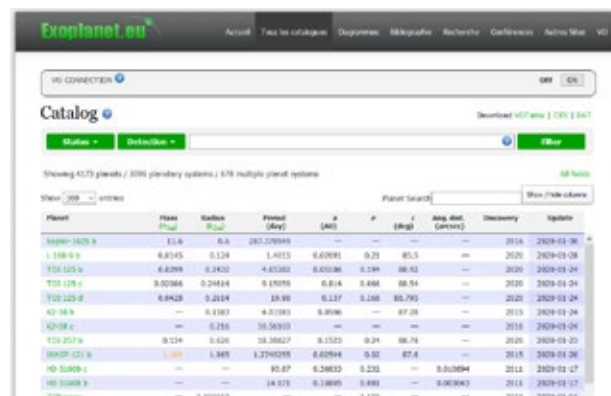


Fig.1. Le site exoplanet.eu. On arrive sur cette page après avoir cliqué sur "Tous les catalogues". Pour chaque exoplanète, on indique son nom ainsi qu'un certain nombre de paramètres s'ils sont connus (masse, rayon, période, demi-grand axe, excentricité...).

1. Combien d'exoplanètes sont répertoriées à ce jour ?

Pour quelle raison ce nombre est plus élevé que celui de systèmes extra-solaires ?

(Les réponses aux questions sont données page 16.)

2. Recherche d'exoplanète

Pour rechercher une exoplanète, utilisez l'onglet «Planet Search», situé sur la droite en haut du tableau. Il faut respecter la casse, les espaces... Vous pouvez afficher toutes les données en cliquant sur «All fields», situé sur la droite en haut du tableau.

L'étoile Kepler-19 possède combien d'exoplanètes ? Ont-elles été découvertes la même année ?

3. Création de diagramme

Cliquer sur l'onglet «diagrammes» situé dans la barre des tâches en haut. La page s'ouvre sur le diagramme de la période orbitale en fonction de la masse de l'exoplanète.

Vous pouvez modifier la grandeur de chaque axe selon ce que vous recherchez. Vous pouvez cliquer sur une exoplanète pour obtenir des informations à son sujet.

D'après le diagramme de la distance étoile -exoplanète (demi-grand axe ou semi-major axe) en fonction de la masse de l'exoplanète, quel type d'exoplanètes sont essentiellement détectées à ce jour ? Cette information corrobore-t-elle le fait que les données sur les exoplanètes soient indiquées en fonction de la masse de Jupiter dans le catalogue ?

Utiliser le diagramme de la masse de l'exoplanète en fonction du demi-grand axe pour identifier les groupes des jupiters chauds, des jupiters froids et des super-terres.

4. Création d'histogramme

Vous êtes toujours sur la page des diagrammes, Cliquer sur «*histogram plot*» en haut à droite, vous obtenez un diagramme sous forme d'histogramme. Modifiez les axes pour obtenir la « fréquence » (le nombre de découvertes) en fonction de l'année de la découverte.

En quelle année a-t-on découvert le plus d'exoplanètes ?

Pour enregistrer un diagramme ou un histogramme, cliquer sur la droite sur «*save figure*» et choisissez la qualité de l'image que vous souhaitez.

Cliquer sur «*scatter plot*» en haut à droite, pour revenir sur un diagramme en nuage de points.

Utilisation simple du catalogue

5. À l'aide du catalogue, recherchez en quelles années les sept exoplanètes de l'étoile Trappist-1 ont été découvertes.

Sont-elles des jupiters chauds ? des jupiters froids ?

6. Certaines exoplanètes ont été découvertes par plusieurs méthodes et d'autres par une seule.

Comparez les systèmes WASP-12 et HR 858.

Quelle information n'est plus donnée pour HR 858 ? Pourquoi ?

Calcul du demi-grand axe de l'orbite des exoplanètes

7. Le demi-grand axe de l'orbite des exoplanètes est une valeur calculée.

Quelle loi est utilisée pour le déterminer et à partir de quelles données ?

Vérifier pour les exoplanètes K2-18 b et Kepler-62 f. (l'utilisation d'un tableur est possible)

Données :

$$1 \text{ ua} = 149\,597\,870\,700 \text{ m}$$

$$m_{\text{Soleil}} = 1,9891 \times 10^{30} \text{ kg}$$

$$1 \text{ j} = 86\,400 \text{ s}$$

$$m_{\text{Jupiter}} = 1,8986 \times 10^{27} \text{ kg}$$

$$R_{\text{Soleil}} = 696\,342 \text{ km}$$

Recherche d'exoplanètes habitables

8. Parmi les critères pour être habitable, l'exoplanète doit posséder un sol solide, rocheux ou gelé, et une température de l'ordre de 300 K afin que l'eau à sa surface soit sous forme liquide et elle doit être confirmée.

La densité de l'exoplanète est obtenue grâce à sa masse et à son rayon.

La température absolue de l'exoplanète est calculée selon la formule mathématique :

$$T = (1 - A)^{0,25} \sqrt{\frac{R_*}{2a}} \cdot T_*$$

- a est la distance étoile/exoplanète en mètres,
- T_* est la température de l'étoile en kelvins ;
- R_* est le rayon de l'étoile en mètres (*inconnu pour la majorité des systèmes Gliese - GJ*) ;
- A est l'albédo de l'exoplanète. L'albédo est la fraction de lumière reçue de l'étoile que l'exoplanète réfléchit dans l'espace. Ainsi, une exoplanète parfaitement réfléchissante a un albédo de 1 et une exoplanète complètement noire a un albédo de 0.

Calculer les températures de surface des exoplanètes K2-18b et Kepler-62f (l'utilisation d'un tableur est possible).

Données

Pour trouver l'albédo de ces exoplanètes sur le catalogue, il faudrait rechercher le système, cliquer sur l'exoplanète puis sur «Observability Predictor» situé en bas de page. En fait, cette valeur ne peut être mesurée actuellement et la valeur donnée est 0,367, calquée sur l'albédo de la Terre.

Utilisation du logiciel NASA's eyes du Jet Propulsion Laboratory

Télécharger puis ouvrir le logiciel NASA's eyes.

Cliquer sur «START» de l'onglet « EYES on EXOPLANETS».

À l'aide de l'onglet «Search» situé en haut, sélectionner «By name».

Vérifier si les exoplanètes K2-18b et Kepler-62f sont bien dans la zone habitable de leur système extrasolaire.

La lumière qui nous parvient de ces exoplanètes a voyagé pendant combien d'années pour chacune ?

Évolution des données au cours du temps

Lire l'article *Ils découvrent 114 exoplanètes, dont plusieurs sont potentiellement habitables* écrit par Xavier Demeersman en février 2017 (page suivante).

À l'aide du catalogue *exoplanet.eu* et du logiciel *NASA's eyes* vérifier les informations apportées en 2017 au sujet de GJ 411b. Cette exoplanète est-elle considérée comme étant dans la zone habitable de son système en 2019 ?

Ils découvrent 114 exoplanètes, dont plusieurs potentiellement habitables

Article de Xavier Demeersman publié le 17 février 2017

Plus de 20 années de données collectées sur plus de 1 600 étoiles épiées avec le spectromètre Hires viennent d'être publiées. Une somme considérable que les chercheurs ont souhaité partager dans la perspective de nouvelles découvertes. Parmi les 357 exoplanètes détectées, plus d'une centaine sont nouvelles. L'une d'elle gravite autour de la quatrième étoile la plus proche de la Terre. [...]



Illustration de la superterre GJ 411b. Son étoile hôte, distante de seulement 8,1 années-lumière, est plus de deux fois moins massive que notre Soleil. © Ricardo Ramirez.

L'un des cas les plus intéressants mis en avant par les chercheurs est la planète GJ 411 b. Située à seulement 8,1 années-lumière (presque deux fois la distance qui nous sépare de Proxima du Centaure), son étoile hôte également désignée Lalande 21185, environ 40 % de la masse du Soleil, est la quatrième étoile la plus proche de notre Système solaire.

Avec une masse équivalent à 3,8 fois celle de la Terre, l'objet, qui lui gravite autour en un peu moins de 10 jours, ressemble plus à une superterre qu'à une Terre bis.

Est-elle habitable ? Il est encore trop tôt pour le dire. Les auteurs soulignent néanmoins que la tendance à trouver les petites planètes (donc rocheuses) généralement autour des étoiles plus petites, se confirme.

<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/astronomie-20-exoplanetes-potentiellement-habitable-decouvertes-62762/>

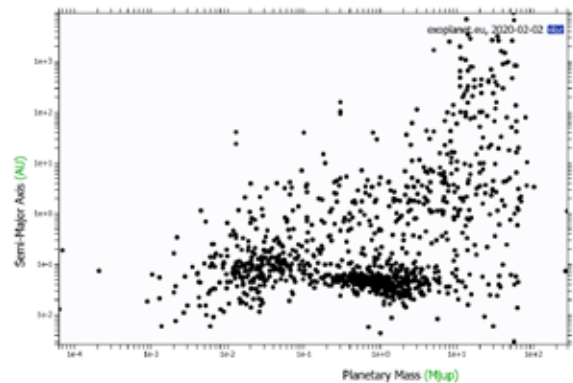
Solutions

1. Au 28/01/2020, 4173 exoplanètes sont répertoriées (ce nombre augmente au fil des jours).

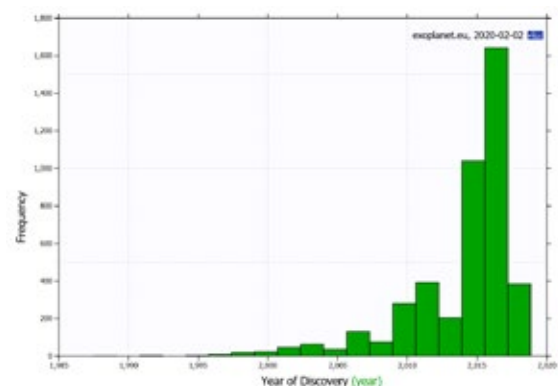
De nombreux systèmes extra-solaires contiennent plusieurs planètes.

2. Trois exoplanètes : b et c découvertes en 2011 et d en 2017.

3. Les exoplanètes de type Jupiter sont les plus faciles à trouver de par leur taille.



4. À partir de 2015 le nombre d'exoplanètes a nettement augmenté suite au traitement des données du satellite Kepler.



5. 2016 et 2017 ; de petites tailles et très proches de leur étoile donc ne sont ni des jupiter chauds ni des froids.

6. WASP-12 a été découverte par la méthode des vitesses radiales donnant la masse des exoplanètes contrairement à HR 858 découverte par la méthode du transit. On n'a donc pas accès à sa masse.

7. Utiliser la loi de Kepler

8. Températures : 250 K pour K2-18 b et 413 K pour Kepler-62 f.

Logiciel NASA's eyes :

K2-18b est à la limite de la zone habitable et située à 124 al ; Kepler-62f est dans zone habitable et située à 1 200 al.

Article : informations correctes mais GJ 411b n'est pas dans la zone habitable. ■