



Unité 7: Comparer des planètes

Ce contenu a été développé grâce à une bourse du Conseil de Recherche en Science Naturelles et en Génie du Canada. Il fait partie d'un projet plus large visant à présenter des cours de niveau approprié correspondant au curriculum de 2020 pour aider des élèves à mieux comprendre les planètes, en se concentrant sur les exoplanètes. Ce cours cible les élèves de Colombie-Britannique en 6e année. Une version en anglais est également disponible.

Instructions pour les professeurs

- Pour des questions ou des commentaires, veuillez contacter: Calvin Schmidt schools@centreoftheuniverse.org.
- Toutes nos unités sont liées à la grande idée qui cherche à montrer que notre système solaire fait partie de la Voie lactée, une galaxie parmi tant d'autres dans l'Univers. Elles fournissent un contexte nécessaire pour comprendre le sujet des exoplanètes.
- Regardez les sections **Pour aller plus loin**, **Ressources et références**, et **Questions de révision et discussion** à la fin de chaque thème dans cette unité. Celles-ci devraient donner plus de renseignements sur chaque sujet et pourraient vous donner des idées d'activités en classe. **Nous serions heureux de vous aider à enrichir chaque sujet et à développer des idées pour vos élèves.** Contactez-nous au schools@centreoftheuniverse.org

Instructions pour les élèves

- Si vous trouvez que certaines parties de cette unité sont compliquées, veuillez nous contacter au schools@centreoftheuniverse.org pour recevoir de l'aide.
- Nous vous recommandons de ne faire que quelques sections à la fois.
- Nous recommandons de lire les sections dans l'ordre, mais ce n'est pas obligatoire. Allez d'abord voir les sections qui vous intéressent, et faites-en plus une autre fois.
- Il est utile d'essayer les activités par vous-même plutôt que de simplement les lire.
- Explorez les sections **Pour aller plus loin** et les **Ressources et références** à la fin de chaque thème de cette unité, ces sections ne sont pas réservées aux professeurs !

Objectifs pédagogiques

- Le curriculum de la C.-B. exige que les élèves découvrent:
 - Les "composants du système solaire"
 - Des "environnements extrêmes". Cette unité aborde le sujet en discutant et en comparant les propriétés de la Terre et d'autres planètes.
 - Les "perspectives des peuples autochtones sur les aurores boréales et d'autres phénomènes célestes"

- “Comment l'exploration des environnements extrêmes sur la Terre et dans l'espace a-t-elle changé au cours de la dernière décennie?” et “les contributions canadiennes aux technologies de l'exploration” (dans le contexte des planètes)
- Comment utiliser des rapport et des pourcentages pour comparer des quantités. Effectuer des mesures en utilisant des unités usuelles. Utiliser des tableaux pour interpréter des données.

Résultats d'apprentissage

Les élèves découvriront :

- Les différentes propriétés des planètes, la grande variété qui existe, et les différences entre celles-ci.
- Qu'il y a des planètes qui tournent autour d'autres étoiles avec des environnements encore plus différents. Ils comprendront que notre système solaire n'est qu'un système parmi une multitudes d'autres.

Matériel nécessaire aux activités

- [Activité 1](#)
- [Activité 2](#)
- [Activité 3](#)
- [Activité 4](#)

Temps requis

- Durée de la leçon - 90 minutes
- Durée des activités
 - Activités 1 et 2 : 10 à 15 chacune
 - Activités 3 et 4 : 10 chacune

Contenu

Les activités sont marquées en **jaune**.

- [Beaucoup d'environnements différents dans beaucoup de planètes](#)
- [Les télescopes nous ont permis de comprendre ce que sont les planètes](#)
 - [Activité 1 : Le pouvoir de résolution de votre œil](#)
- [Qu'est ce qu'une planète ?](#)
- [Les différences de base entre les planètes](#)
 - [Activité 2 : Comparer la taille des planètes](#)
 - [Activité 3 : Combien pèseriez-vous sur d'autres planètes ?](#)
- [Les différents types d'exoplanètes](#)
- [Les lunes](#)
- [Des planètes avec des anneaux](#)
- [Des volcans](#)
- [Des planètes, des aimants, et des aurores](#)

- [Activité 4 : Découvrez le champ magnétique de la Terre](#)
- [Différentes atmosphères](#)
- [Des océans et des lacs](#)
- [Des environnements qui changent](#)
- [L'importance des véhicules spatiaux dans l'étude des planètes](#)

Beaucoup d'environnements différents dans beaucoup de planètes

Si vous voyagez sur Terre, en personne ou virtuellement, vous remarquerez vite que la vue n'est pas du tout la même à chaque endroit que vous visitez. Certaines régions comme l'Antarctique sont complètement gelées. D'autres lieux, comme le désert du Sahara, ne voient de la pluie que très rarement. Il y a des environnements sous-marins où les pressions sont énormes et qui sont toujours sombres. Il y a des montagnes si hautes que la pression au sommet est trop basse pour que l'on puisse respirer normalement.

Même si les possibilités en terme d'environnements sur Terre sont très variées, les humains préfèrent vivre dans des environnements qui ne sont pas extrêmes en terme de température et de pression.

Avant les trente dernières années, nous ne pouvions étudier que les planètes de notre système solaire. Mais nous en connaissons à présent **4301 planètes dans 3176 systèmes solaires** (le 15 Août 2020), et on en découvre de nouvelles très souvent grâce à des télescopes conçus à cet effet. En comparaison, dans la série Star Trek, seulement 400 planètes sont mentionnées. On a détecté des planètes non-seulement dans la Voie lactée, mais aussi dans des galaxies lointaines. Le mot "exoplanète" fait référence à toute planète située en dehors de notre système solaire.

La découverte de la plupart des exoplanètes a été faite grâce à la méthode de Transit - aller voir notre [activité sur les transits d'exoplanètes](#) sur la page ExoExplorations pour en savoir plus à ce sujet.

Les télescopes nous ont permis de comprendre ce que sont les planètes

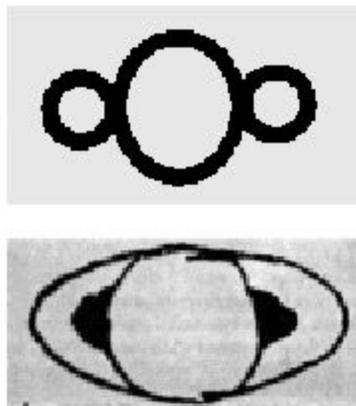
Les anciennes civilisations ne savaient que très peu à propos des planètes. Elles avaient l'air de points lumineux comme les étoiles, mais elles se déplacent au fil des semaines et des mois. C'est pourquoi on les appelle "planètes", le mot vient du grec ancien "πλανήτης ἀστήρ" qui signifie "astre en mouvement". Quelques peuples pensaient qu'elles étaient spéciales à cause de cela, et pensaient qu'elles pouvaient être des divinités avec de pouvoirs spéciaux leur permettant de se déplacer à travers le ciel.

Quelques-unes d'entre elles, comme Vénus et Jupiter, paraissent souvent plus lumineuses que le reste des étoiles. Certaines d'entre elles ont des couleurs distinctes: Mars est toujours rouge, Jupiter est jaunâtre, et Vénus est d'un blanc pur. Mais à part les propriétés de bases qui sont visibles à l'œil nu, les gens ne savaient que très peu aux sujet des planètes, jusqu'à l'invention du télescope.

Galilée avait entendu parler du télescope en 1609 et s'en est fabriqué un pour lui-même afin de l'utiliser pour observer le ciel. En regardant les planètes, il a remarqué qu'elles n'étaient pas que des points lumineux, contrairement aux étoiles : Jupiter était un disque circulaire, et Vénus avait des phases comme notre Lune, indiquant qu'elle devait avoir une forme ronde (éclairez un ballon avec une torche la nuit et vous verrez des phases similaires à celles de la Lune). Il a également vu des petits points lumineux qui tournaient autour de Jupiter et a pensé qu'il pouvait s'agir de lunes similaires à celles de la Terre. Avec d'autres astronomes, Galilée a réussi à montrer que les autres planètes étaient des mondes, un peu comme la Terre.

Lorsque Galilée a observé Saturne en 1610, il pensait que Saturne avait deux grandes lunes de chaque côté. À l'époque, son télescope était à peine aussi puissant qu'une paire de jumelles modernes. Il a regardé Saturne à nouveau quelques années plus tard, et les a décrit comme étant des manches, des oreilles ou des bras. Ce n'est que 50 ans plus tard que les télescopes étaient assez puissants pour montrer qu'il s'agissait en réalité d'anneaux autour de la planète. Les progrès au sujet des planètes étaient donc lents.

Image 1 : Les dessins de Saturne que Galilée a fait en 1610 et en 1614



Les planètes que l'on connaît depuis l'Antiquité (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne) sont toutes très brillantes. Par conséquent, pour en savoir plus à leur sujet, les astronomes n'avaient besoin de télescopes que pour les voir avec plus de détails. Dans l'unité 3 - Voir des étoiles, on a vu que les télescopes nous permettent de récolter plus de lumière, mais ils nous permettent également de voir plus de détails sur une image. Plus le télescope est large, plus l'image est détaillée. Avec un télescope deux fois plus large, l'image devrait être deux fois plus détaillée.

Activité 1 - Le pouvoir de résolution de votre œil

L'activité suivante vous permettra de découvrir comment les détails que vous pouvez voir dépendent de votre œil. Un œil possède une lentille similaire aux télescopes de Galilée, qui est elle-aussi utilisée pour collecter et concentrer de la lumière.

Matériel nécessaire :

- Le lien suivant : [Pouvoir de résolution de l'œil](#)
- Un mètre ruban
- Un stylo ou un crayon, et du papier
- Optionnel: une imprimante et du scotch, des jumelles, des lunettes (si vous en portez), et des amis pour comparer vos résultats

Étape 1 - Le lien "Pouvoir de résolution de l'œil" contient une image. Affichez cette image sur votre écran ou imprimez-la et accrochez-la sur un mur avec du scotch. Vous y verrez deux carrés, l'un rempli de lignes grises et l'autre est d'un gris uni. Si vous regardez cette image de près, la différence entre les deux carrés est évidente.

Étape 2 - Notez la distance entre votre visage et l'image lorsque vous la regardez de près. Si vous portez des lunettes, enlevez-les. Pouvez-vous toujours voir les lignes séparées du carré supérieur ? Si vous essayez cette activité avec quelqu'un d'autre, vous devriez noter vos résultats séparément.

Étape 3 - Éloignez vous de l'image en incréments d'un mètre, en commençant à un mètre de l'image, et notez si vous êtes toujours capables de distinguer les images à chaque fois. Si vous portez des lunettes, essayez cela avec et sans vos lunettes.

Étape 4 - Continuez de vous éloigner jusqu'à ce que le carré avec des lignes ait l'air identique au carré de couleur unie. Cela se produira à des distances différentes selon les personnes, ou si vous essayez l'activité avec et sans vos lunettes. Vous pouvez tenter de vous déplacer de 10 centimètres à chaque fois pour être plus précis. Lorsque vous êtes à la distance où les deux carrés sont identiques, on dit que votre œil n'a pas assez de "pouvoir de résolution" pour voir les détails du carré du haut. C'est un concept différent du "pouvoir grossissant", qui affecte la taille apparente d'un objet.

Étape 5 (optionnelle) - Divisez les distances que vous avez obtenues avec et sans vos lunettes pour obtenir le rapport de pouvoirs de résolution. Par exemple, si vous avez obtenu une distance de 5m sans vos lunettes et 10 avec, alors vous voyez deux fois moins bien sans vos lunettes. Si vous faites cette activité avec un partenaire, comparez vos pouvoirs de résolution en calculant le rapport entre vos distances respectives.

Étape 6 (optionnelle) - Si vous avez des jumelles, à quelle distance devez vous vous tenir pour que les deux carrés aient l'air identiques ? Les jumelles agrandissent la taille des carrés, mais elles ont également un plus grand pouvoir de résolution qu'un œil humain, parce que leurs lentilles sont plus larges. Avec une grosse paire de jumelles, il faudrait probablement que vous traversiez un stade pour que les carrés aient l'air semblables, mais avec une plus petite paire, la taille d'un couloir ou d'un jardin devrait suffire.

Quel est le rapport de pouvoirs de résolution entre vos yeux et les jumelles ? Calculez à présent le rapport entre la taille d'un œil humain (environ 5 mm) et le diamètre de la lentille frontale de vos jumelles. Si la lentille de l'œil est de bonne qualité, ce rapport devrait être égal au rapport calculé précédemment (entre les pouvoirs de résolution). Que pensez-vous donc de la qualité des lentilles de vos yeux ?

Mentions

Cette activité a été inspirée par une activité similaire provenant de l'Université Brigham Young (voir le lien dans les **Ressources**).

Pour aller plus loin :

- Comparez la puissance de résolution de votre œil avec celle du télescope spatial Hubble. Calculez le rapport entre les deux. Utilisez les données suivantes pour votre calcul : votre œil fait 5mm de large et le télescope spatial Hubble fait 2400 mm.
 - Indice: divisez la largeur du télescope par celle de votre œil.

Ressources et références :

- [Galilée et la lunette astronomique](#)
- [Les télescopes ont-ils changé notre vision de l'Univers ?](#) (NASA, JPL - en anglais)
- [Le pouvoir de résolution de l'œil](#) (Brigham Young University - en anglais)

Question de révision et de discussion :

- Que peut-on faire pour améliorer le pouvoir de résolution de son œil sans porter de lunettes ?

Qu'est ce qu'une planète ?

Allons revoir quelques définitions de base pour comprendre ce qui distingue les planètes des autres objets. Nous avons déjà parlé des étoiles dans les unités précédentes, et du fait qu'elles sont suffisamment chaudes pour produire leur propre lumière. Tous les autres astres en sont incapables, et sont séparés en plusieurs catégories distinctes.

Pour les astronomes modernes, les planètes sont bien plus que des astres errants; ils ont établi une définition spécifique pour celles-ci en 2006. Pour être une planète de notre système solaire, un astre doit être:

1. **En orbite autour du Soleil.** (Les lunes ne comptent donc pas, puisqu'elles tournent autour de planètes).
2. **Suffisamment massif pour avoir été arrondi par la force de sa propre gravité.** (Un objet en forme de patate ne peut donc pas être une planète).
3. **Dominant, c'est à dire qu'il a dégagé tous les autres objets sur son orbite, sauf les lunes qui pourraient orbiter autour.** (Il ne peut donc pas y avoir de collection d'astéroïdes sur le chemin d'une planète).

Image 2 : Les planètes ont une forme ronde ou arrondie, contrairement aux astéroïdes - La Terre et Ida

La Terre vue par Apollo 17 source : NASA)	Ida et sa lune Dactyl vue par la sonde spatiale Galileo (source : NASA)
	

Le troisième point empêche les planètes naines d'obtenir le titre de planètes. On pourrait penser que celles-ci ont les qualifications nécessaires puisqu'elles sont en orbite autour du Soleil et qu'elles sont généralement rondes. Mais dans notre système solaire, Cérès a la même orbite que plusieurs astéroïdes de la ceinture d'astéroïdes. Et les autres planètes, comme Pluton et Eris, sont en orbite près de beaucoup d'astéroïdes et de comètes.

Mais certains astronomes ne sont pas entièrement d'accord avec le troisième point, et ce n'est pas un facteur que l'on peut déterminer pour les exoplanètes. Pour les exoplanètes, la définition est plus large: il suffit d'être un objet non-stellaire, qui n'est pas non-plus une naine brune, en

orbite autour d'une étoile. Certains astronomes pensent qu'il devrait y avoir une définition unique qui inclurait les planètes de notre système solaire et les exoplanètes.

Même le 1er point ne s'applique pas à toutes les exoplanètes. Certaines planètes ne sont en orbite autour d'aucune étoile, et se baladent seules à travers la galaxie. Il y a des bonnes indications de l'existence de ces "planètes vagabondes" au sein de la Voie lactée ainsi que dans d'autres galaxies.

Comme si tout cela n'était pas assez compliqué, il y a un autre type d'objet qui n'est ni une étoile, ni une planète. On les appelle les "naines brunes". Ces objets passent une partie de leur vie comme des étoiles à fabriquer des atomes, et une partie de leur vie à ne pas le faire et se comporter un peu comme des planètes. Si un astre a une masse 13 à 75 fois plus grande que celle de Jupiter, alors on considère que c'est une naine brune. Celle-ci peuvent être seules, former des systèmes (une paire de naines brunes est similaire à un système binaire d'étoiles) ou être en orbite autour d'une étoile. Tout comme elles orbitent autour d'étoiles, les planètes peuvent également être en orbite autour de naines brunes. On pense qu'il y a 25 à 100 millions de naines brunes dans la Voie lactée.

Pour aller plus loin :

- Découvrez ce que l'on sait sur les planètes naines de notre système solaire.

Ressources et références :

- [La définition d'une planète par l'UAI](#) (en anglais)
- [Qu'est ce qu'un astéroïde ?](#) (Wikipédia)
- [Les planètes extragalactiques](#) (Wikipédia)
- [Les naines brunes](#) (Wikipédia)
- [Une définition "organique" des planètes](#) (Astronomy magazine - en anglais)
- [Les planètes vagabondes](#) (Wikipédia)

Questions de révision et discussion :

- Une naine brune est-elle une planète naine ?
- Si vous trouviez un objet cubique en orbite autour du Soleil, auriez-vous découvert une planète ou quelque chose d'autre ?
- Imaginez que vous êtes dans un système avec une naine brune, qui se comporte comme une petite étoile mais seulement occasionnellement. Comment cela affecterait-il la vie sur Terre ?

Les différences de base entre les planètes

Presque toutes les planètes connues sont situées en dehors du système solaire. Elles ne sont certainement pas toutes identiques, mais on peut les regrouper en différentes catégories. Nous

allons étudier quelques unes de ces catégories et regardez comment les planètes du système solaire y sont classées. Tout comme Galilée avait du mal à observer les planètes du système solaire, il nous est difficile d'observer les exoplanètes, mais on est quand-même capables d'extraire certaines informations telles que la taille et la masse de ces planètes. On pense également pouvoir déterminer si une exoplanète est rocheuse ou principalement gazeuse. Jetons un œil à quelques-unes de ces propriétés et leur extrêmes.

Masse

Toutes les planètes ont une masse bien plus petite que celle d'une étoile.

L'intervalle de masses des planètes de notre système solaire est très grand; la planète la plus massive de notre système, Jupiter, est 5782 fois plus massive que la planète la moins massive, Mercure. Mais les exoplanètes ont des tailles encore plus extrêmes. L'exoplanète la plus massive est environ 6.5 millions de fois plus massive que la moins massive!

Tableau 1 : Range of planet masses (exoplanets included)

Planète (en ordre croissant de masse)	Proportion de la masse de la Terre (les fractions équivalentes indiquées sont des approximations)
Exoplanète la plus légère	0,00067 = 1/1500
Mercure	0,055 = 1/18
Mars	0,107 = 1/9
Vénus	0,815 = 4/5
La Terre	1
Uranus	14
Neptune	17
Saturne	95
Jupiter	318
Exoplanètes les plus massives	4 300 = plus de 13 fois la masse de Jupiter

L'exoplanète la moins massive détectée fait environ 1/1500 fois la masse de la Terre, ou environ un tiers de la masse de Pluton. Il n'y a pas exactement "d'exoplanète la plus massive détectée" puisqu'elle atteignent la limite des naines brunes (13 fois la masse de Jupiter).

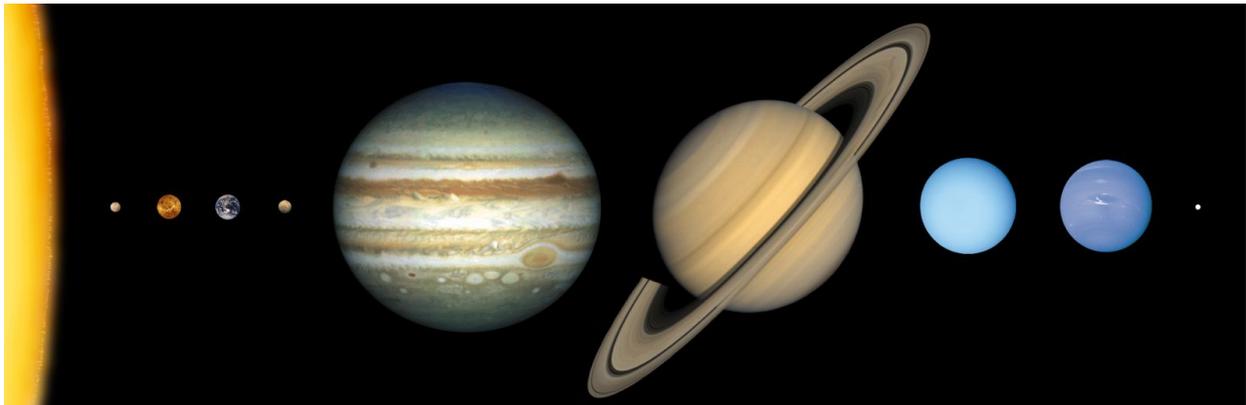
Taille (Diamètre)

Il y a également une grande variété dans les tailles des exoplanètes (nous utiliserons le diamètre pour mesurer la taille d'une planète). Dans notre système solaire, la planète la plus large, Jupiter, fait près de 30 fois la taille de la planète la plus petite, Mercure. Chez les exoplanètes, la plus grande est près de 100 fois plus grande que la plus petite connue. La plus grande exoplanète détectée fait environ 3 fois la taille de Jupiter.

Si vous regardez l'image ci-dessous, vous remarquerez qu'il semble y avoir 3 tailles de planètes dans notre système solaire. Il y a de petites planètes; Mercure, Mars, Vénus et la Terre. Uranus et Neptune sont de taille moyenne. Enfin il y en a deux géantes, Saturne et Jupiter.

Ce n'est cependant pas le cas dans tous les systèmes solaires. Les planètes peuvent avoir n'importe quelle taille, tant qu'elles correspondent à la définition que nous avons mentionnée précédemment.

Image 3 : Comparaison des tailles de planètes de notre système solaire - les distances entre les planètes ne sont PAS à l'échelle (source : NASA/Lunar Planetary Institute)



Les tailles sont bien plus variées chez les exoplanètes. Quelques unes de exoplanètes les plus larges connues, comme WASP-17b, ont un rayon près de 2 fois plus grand que celui de Jupiter. Tandis que l'exoplanète la plus petite de taille confirmée, appelée Kepler-37b, est à peine plus grande que la Lune.

Tableau 2 : Les différentes tailles des planètes (exoplanètes incluses)

Planète (en ordre croissant de taille)	Proportion du diamètre de la Terre (les fractions équivalentes indiquées sont des approximations)

Exoplanete la plus petite (non-controversée)	0,3 x. Il s'agit de Kepler-37b legerement plus large que la Lune)
Mercure	0,38 = 2/5 x
Mars	0,53 = 1/2 x
Vénus	0,95 = 19/20 x
La Terre	1
Neptune	3,88 x
Uranus	4,01 x
Saturne	9,45 x (sans compter les anneaux)
Jupiter	11,21 x
Exoplanète la plus grande (dont la taille est certaine)	33,6 = 3 fois plus grande que Jupiter

Rocheuse ou gazeuse

Une importante distinction entre les planètes est l'état de la matière qu'elle contient. Rappel: les trois états de la matière sont solide, liquide, et gazeux. Dans notre système solaire, il n'y a aucune planète qui est majoritairement liquide. Vous vous demandez peut-être "et la Terre alors ?". Il est vrai que sa surface est à 70% recouverte d'eau, mais ces océans ne sont pas très profonds comparés au reste de la planète, nous en reparlerons un peu plus tard dans la section concernant les océans. La majorité de la Terre est composée de roches solides.

Dans notre système solaire, il y a une forte distinction entre les planètes principalement rocheuse (dites telluriques) et celles qui sont gazeuses :

- Les planètes rocheuses sont: Mercure, Vénus, la Terre et Mars.
- Les planètes gazeuses sont : Uranus, Neptune, Saturne, et Jupiter.

Dans la prochaines section, nous nous pencherons vers les exoplanètes et leur composition. On ne sait pas encore s'il y en a qui sont principalement liquides, même si c'est à première vue un état commun de la matière.

Activité 2 - Comparer la taille des planètes

Matériel nécessaire :

- 2 billes (ou des pièces de 10 cents), une balle de golf, deux grosses oranges et deux balles de tennis, une tête d'épingle ronde, un ballon de soccer, un ballon gonflable (comme un ballon d'anniversaire), des perles de bracelet et/ou de la pâte à modeler.
- Un règle
- Une calculatrice (optionnelle)

Rassemblez tout le matériel nécessaire sur une table en face de vous. Vous allez construire un modèle du système solaire à l'échelle.

Comme vous pouvez le deviner en regardant la liste, le ballon de soccer va représenter Jupiter puisque c'est l'objet le plus grand qui soit disponible. En divisant la taille de Saturne par celle de Jupiter (en utilisant le tableau 2), on trouve que Saturn fait environ $9,45/11,21=85\%$ de la taille de Jupiter. Par conséquent, il vous faudra gonfler le ballon d'anniversaire jusqu'à ce que sa taille soit égale à 85% de celle du ballon de soccer.

Indice : Un ballon de soccer de taille 5 fait environ 220 mm de diamètre. Calculez ce qu'est 85% de 220 mm pour obtenir la taille nécessaire pour votre ballon. Essayez de le gonfler de façon à être aussi proche que possible de cette taille, mais rappelez vous qu'il n'est pas nécessaire d'être trop précis.

Uranus et Neptune font environ la même taille, nous utiliserons donc le même objet pour les représenter. En utilisant le tableau 2 et en faisant un calcul similaire au précédent, déterminez quel objet a la taille correcte pour modéliser ces deux planètes. Est-ce la balle de tennis ou l'orange ?

La Terre est 11 fois plus petite que Jupiter, on doit donc la représenter par un objet de 20 mm de diamètre (on obtient ce résultat en divisant la taille du ballon de soccer par 11). Une bille devrait faire 18 mm de diamètre, c'est donc l'objet le plus proche que vous pourrez utiliser (une pièce de 10 cents fait également cette taille si vous n'avez pas accès à des billes). Si vous voulez vraiment être précis et que vous avez de la pâte à modeler, vous pouvez en ajouter autour de votre bille pour augmenter sa taille.

Vénus est à peine plus petite que la Terre, vous pouvez donc utiliser une autre bille pour cette planète. Si vous avez couvert la bille de la Terre de pâte à modeler, vous pouvez laisser celle de Vénus découverte pour montrer la légère différence de taille.

Mercure et Mars doivent être représentées par des petites balles de 8 mm et 11mm de diamètre respectivement. Beaucoup de perles de bracelet ont des tailles dans ces environs. Si vous n'en avez pas, vous pouvez utiliser de la pâte à modeler pour faire des boules de cette taille.

Bonus: En utilisant cette échelle, la planète naine Pluton devrait faire 4mm de diamètre. C'est la taille d'une tête d'épingle ronde. Vous pouvez l'inclure dans votre modèle du système solaire si vous le voulez.

Bonus 2: Vous avez peut-être remarqué que nous n'avons pas utilisé la balle de golf dans cette activité. C'est parce que sa taille correspond à celle d'une Super-terre, un type de planète que l'on ne retrouve pas dans notre système solaire. Si nous voulions modéliser toutes les tailles possible d'exoplanètes avec des objets du quotidien, il nous faudrait des objets ronds plus petits que la tête d'épingle que nous avons utilisée, et des ballons jusqu'à 3 fois plus grands que notre ballon de soccer-Jupiter, comme un ballon d'exercice.

Activité 3 - Combien pèseriez-vous sur d'autres planètes ?

Matériel nécessaire:

- Une balance (de cuisine préférablement).
- Le lien suivant: <https://www.exploratorium.edu/ronh/weight/> (le lien est en anglais, mais il est facile de comprendre les noms des planètes)

Dans notre vie quotidienne, on utilise souvent les mots "masse" et "poids" de façon équivalente. Mais pour un physicien, ce sont deux concepts différents bien qu'ils soient liés. Comme vous le savez déjà, la masse mesure la difficulté qu'on a à déplacer un objet. Le poids par contre, mesure l'intensité avec laquelle la planète sur laquelle vous vous tenez vous attire; c'est une force.

Si vous avez une balance à la maison, déposez votre main dessus et lisez le poids affiché. À présent appuyez sur la balance avec votre main, vous verrez qu'un poids plus élevé est affiché. Mais la masse de votre main est la même ! Qu'est-ce qui a changé ? Dans le deuxième cas, vous avez appliqué une force additionnelle avec votre main.

La balance ne mesure pas vraiment la masse de l'objet placé par dessus : elle mesure la force qui s'applique sur elle, puis elle fait quelques calculs et affiche la valeur de la masse qui serait attirée par la Terre avec une force égale. Par conséquent, lorsque vous étiez en train d'appuyer sur la balance, elle affichait la valeur de la masse dont le poids est égal à la force que vous avez appliquée.

Que ce passerait-il si vous preniez cette balance avec vous dans un voyage vers d'autres planètes pour vous pesez ?

Grâce à la loi de l'attraction universelle de Newton, on sait que le poids d'une personne située sur la surface d'une planète dépend de trois choses, la masse de cette personne, la masse de la planète, et la distance entre la personne et le centre de la planète (qui dépend de la taille de la planète). En supposant que vous ne mangez pas trop de crème glacée lors de votre voyage vers d'autres planètes, vous pouvez considérer que votre masse est constante, votre poids dépendra donc uniquement de la planète sur laquelle vous vous tenez. Plus la

masse de la planète est importante et plus la planète est petite, plus l'attraction gravitationnelle sera forte, et donc plus votre poids sera grand.

Voici [une calculatrice en ligne](#) qui vous permettra de savoir combien vous pesez sur d'autres planètes. Sur quelle planète votre poids est-il le plus grand ? La force de gravité est-elle donc plus forte ou plus faible là-bas ?

Si vous vous souvenez de la dernière activité de l'unité 2, vous remarquerez peut-être que l'intensité de la gravité sur la surface d'une planète dépend des deux mêmes facteurs que sa densité : la masse et la taille ! Par conséquent, si vous avez deux planètes qui font environ la même taille (comme Uranus et Neptune), vous pesez plus sur la planète la plus dense, parce qu'elle a est plus massive (c'est Neptune dans ce cas).

Cependant, une planète avec une plus grande densité n'est **pas** nécessairement celle qui aura la gravité de surface la plus importante. Par exemple, la Terre est beaucoup plus dense que Saturne, mais cette dernière est tellement plus massive que notre planète que vous pèserez quand-même plus sur Saturne que sur Terre.

Pour aller plus loin :

- Regardez la vidéo comparant la taille de plusieurs planètes dans les **Ressources** ci-dessous.
- Dans l'activité 2, si vous vouliez ajouter le Soleil à votre modèle, quelle taille devrait-il faire ? Quel objet utiliseriez-vous ?

Ressources et références :

- [Liste de planètes extrêmes](#) (Wikipédia)
- [Comparaison de la taille de plusieurs planètes](#) (La dernière planète pourrait en réalité être une naine brune)

Questions de révision et discussion :

- Additionnez les masses de toutes les planètes du système solaire sauf Jupiter. Le résultat est-il plus grand que la masse de Jupiter ? Calculez le rapport entre eux-ci (divisez le total par la masse de Jupiter).
- La distance entre la Terre et la Lune est égale à 30 fois le diamètre de la Terre. En utilisant le tableau 2, additionnez les diamètres de toutes les planètes du système solaire. Y'a-t-il assez de place entre la Terre et la Lune pour toutes les planètes ?

Les différents types d'exoplanètes

Lorsque l'on classifie des objets, il est parfois utilisé de les séparer en catégories liées à d'autres objets qui nous sont familiers. C'est ce que les astronomes font avec les exoplanètes, voici les principaux types qu'ils distinguent. Ces catégories peuvent changer avec le temps, et il pourrait y en avoir de nouvelles dans quelques années puisqu'on en apprend plus sur les exoplanètes. Mais pour le moment, celles-ci sont classifiées selon leur taille, masse et composition.

Telluriques

Les planètes telluriques sont principalement rocheuses, et ont une masse similaire à celle de la Terre. Ces planètes sont les plus denses, et contiennent beaucoup de métaux. Le mot tellurique vient du latin "tellus" qui signifie le sol ou la terre.

Les Super-Terre et les mini-Neptunes

On pense que ces planètes sont rocheuses mais beaucoup plus massives que la Terre - d'où la partie "Super" du nom - et moins massives que Neptune. Certaines de ces planètes peuvent avoir une combinaison des caractéristiques de Neptune ou Uranus et des planètes telluriques. La taille de ces planètes est généralement comprise entre 1,4 et 4 fois la taille de la Terre. Les plus massives des ces exoplanètes sont souvent surnommées "mini-Neptunes" parce qu'elles ont des atmosphères similaires à celle de la planète la plus éloignée de notre système solaire.

Les géantes de glace

Similaires à Uranus et Neptune, les géantes de glace forment une autre catégorie de planète. Cela pourrait paraître étrange mais ces planètes sont principalement composée de gaz, pas de glace. On pense que la gravité est si forte près du centre de ces planètes qu'une partie des ces gaz se sont liquéfiés. En plus de l'hydrogène et de l'hélium, les géantes de glace contiennent de l'eau, du méthane et de l'ammoniac. Ces éléments ont de basses températures de fusion (à laquelle il passent de solide à liquide), c'est pourquoi les astronomes les appellent de "glaces".

Les géantes gazeuses

Les géantes gazeuses sont ressemblent à Saturn et Jupiter, mais elles sont souvent plus grandes et plus massives. Ces planètes sont généralement composées d'hydrogène et d'hélium sous forme de gaz. Ce type de planète est le plus large, et comme les géantes de glace, on pense qu'elles contiennent des éléments liquides près de leur centre.

Le type de planète le plus commun est...

Super-Terres and mini-Neptunes! C'est le type d'exoplanète le plus couramment détecté, pourtant c'est le seul que l'on ne retrouve pas dans notre système solaire. Beaucoup de scientifiques se demandent pourquoi c'est le cas. Il n'y a pour le moment pas d'explication définitive, mais il y a quelques idées plausibles. Par exemple, les conditions de formation de notre système auraient pu simplement ne pas être adéquates, ou alors il est possible que Jupiter les ait éjecté en dehors de notre système solaire. Les astronomes espèrent en apprendre plus à ce sujet dans les années à venir.

Pour aller plus loin :

- Allez voir le lien "Exoplanètes : Ce que l'on découvre" pour voir les nombre de planète de chaque type découvert. Plus la barre est haute, plus il y a de planètes de ce type.
- Découvrez le peu de détails que l'on connaît à propos de l'intérieur des géantes gazeuses.

Ressources et références :

- [Exoplanètes : Ce que l'on découvre](#) (Lumen Learning - en anglais - Ignorez le premier graphique. Le deuxième montre les proportions de chaque type de planète)
- [Les Super-Terres](#) et [les Mini-Neptunes](#) (Wikipédia)
- [Les géantes de glace](#) (Wikipédia)
- [Les géantes gazeuses](#) (Wikipédia)
- [Les types de planète](#) (Wikipédia)

Questions de révision et discussion :

- Quel est le type de planète le plus commun ?

Les lunes

Il est probable que vous en savez déjà beaucoup sur le satellite naturel de la Terre, la Lune. Elle brille en réfléchissant la lumière du Soleil, sa gravité contribue aux marées sur Terre, et ses phases dépendent de la position relative de la Terre et du Soleil. Si vous avez lu notre unité précédente, vous savez également qu'on pense qu'elle a été formée suite à une collision entre la Terre et une planète de la taille de Mars. Mais saviez-vous que les autres planètes du système solaire ont elles-aussi des lunes ?

D'ailleurs, Vénus et Mercure sont les deux seules planètes de notre système qui n'ont pas de lunes. Mercure est beaucoup trop proche du Soleil pour avoir une Lune sans se la faire voler par la gravité de notre étoile. Mais la raison pour laquelle Vénus n'a pas de companion est un peu plus subtile. Les astronomes pensent que Vénus a vécu un épisode de collision similaire à la Terre quand notre Lune s'est formée, mais qu'elle a eu une deuxième collision quelques millions d'années plus tard, et celle-ci aurait inversé sa rotation et lui a fait perdre toute éventuelle lune qui se serait formée.

Mis à part ces deux planètes, toutes les planètes du système solaire ont des lune, et il y a une grande diversité parmi celles-ci. Mars a deux lunes, phobos et Deimos qui ne ressemblent pas du tout à notre Lune. Elles font partie des plus petites lunes que vous trouverez dans le système solaire, et ressemblent plus à des astéroïdes bossus qu'à des lunes rondes. Elles font la taille de villes canadiennes moyennes; Phobos fait environ 22 km de "diamètre" et Deimos en fait 13 km.

On a identifié 79 lunes autour de Jupiter, dont 53 ont été nommées à ce jour. Ces lunes les plus connues sont probablement ses quatre lunes les plus grandes, Ganymède, Europe, Io et Callisto. On les appelle les lune galiléennes parce qu'elles ont été découvertes par Galilée en Janvier 1610. Ces lunes étaient les premier objets célestes qui ne tournaient clairement pas autour de la Terre, leur découverte fit alors douter de l'idée selon laquelle la Terre est le centre du système solaire, un idée qui était encore acceptée à l'époque.

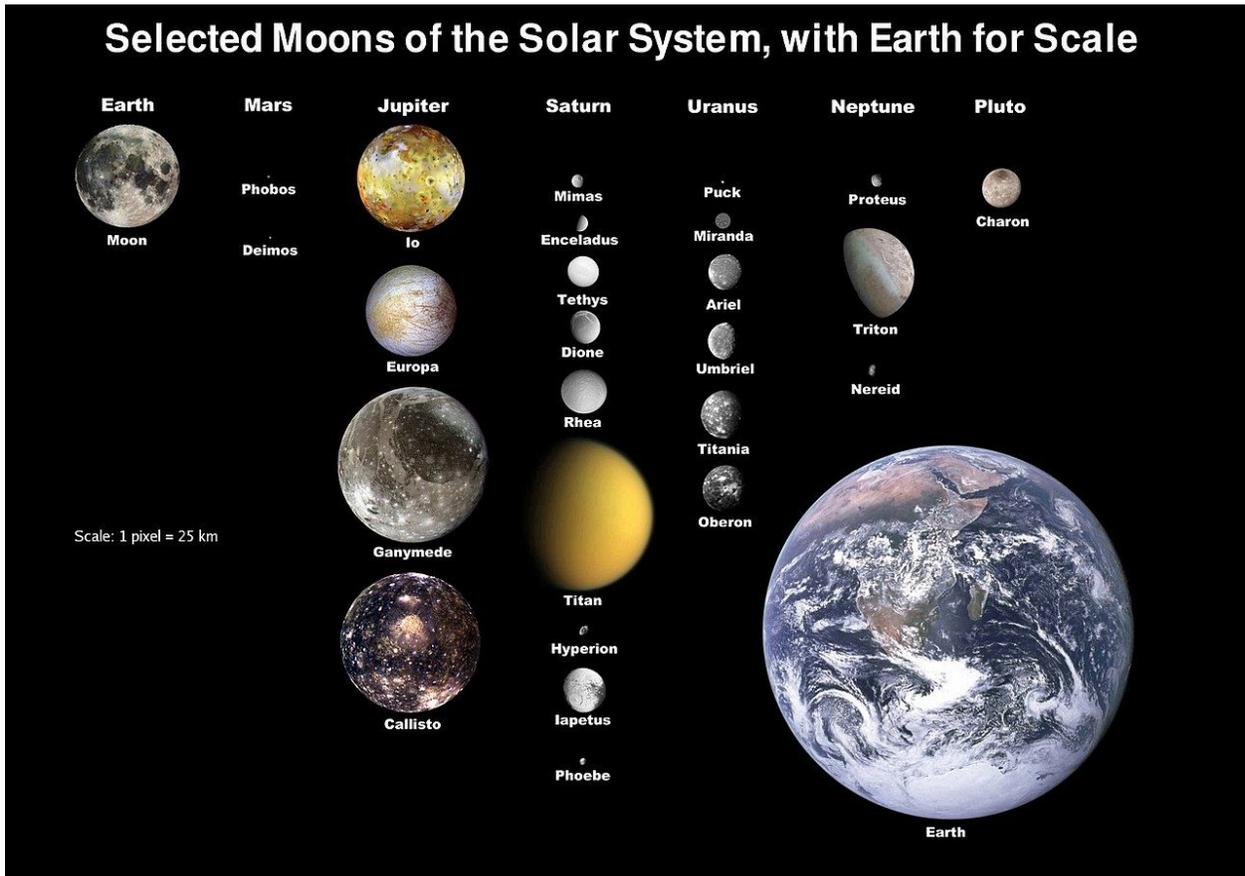
Ganymède est la plus grande des lunes du système solaire. Elle est plus grande que Mercure et fait près de $\frac{3}{4}$ de la taille de Mars ! Europe, la plus petite des lunes galiléens, est légèrement plus petite que notre Lune.

En plus de ses magnifiques anneaux, dont nous reparlerons plus tard, Saturne possède 82 lunes, ce qui fait d'elle la planète avec le plus grand nombre de satellites naturels dans notre système solaire. Parmi celles-ci, les scientifiques portent un intérêt particulier pour Titan, nous verrons pourquoi lorsque nous parlerons d'atmosphères et d'océans.

Les 27 lunes d'Uranus ne sont pas aussi connues que les autres lunes dont nous avons parlé, mais curieusement, elles sont toutes nommées après des personnages issu des ouvrages de Shakespeare, tandis que les autres lunes sont généralement nommé après des personnels mythologies. Vous pourrez en apprendre plus à ce sujet dans les **Ressources**.

Triton, la plus grande des 14 lunes de Neptune, a été découverte par William Lassell le 10 octobre 1846, 17 jours après que Neptune ait été découverte. Lassell était un astronome amateur, qui utilise la fortune qu'il s'est faite en tant qu'homme d'affaire pour s'acheter des télescopes de haute qualité. Triton est une lune gelée, avec une température de surface de -240 degrés Celsius et possède des volcans de glace qui éjectent du méthane et de l'azote liquides qui ont été observés par la sonde spatiale Voyager 2.

Image 4 : Comparaison des tailles de quelques unes des lunes de notre système solaire
(source : [Wikipedia](#))



Une lune extrasolaire, ou exolune, est le nom donné au satellite naturel d'une exoplanète. À ce jour, il n'a été confirmé la détection d'aucune exolune, puisque observer ou prouver la détection d'un tel objet est beaucoup plus délicat que la détection d'une exoplanète. Cependant, en considérant que les lunes sont très communes dans notre système solaire, en particulier autour des géantes gazeuses, les astronomes pensent qu'il existe beaucoup d'exolunes qui n'attendent qu'à être découvertes. Il y a même une petite liste de candidats qui pourraient être des exolunes, mais n'ont pas encore été confirmés. Utilisez le lien "Exolunes candidates" dans les **Ressources** pour voir cette liste.

Pour aller plus loin :

- Vous pouvez en apprendre encore plus au sujet des lunes du système solaire en cliquant sur le lien de la NASA que vous trouverez dans les **Ressources**.
- [Comment dessiner la Lune](#) (Youtube)
- [Regardez "Loony Moons"](#), une présentation sur les lunes de notre système solaire (RASC - en anglais)

Ressources et références :

- [Les lunes de notre système solaire](#) (NASA - Solar System Exploration - en anglais)
- [Exolunes candidates](#) (Wikipédia)
- [La surface totale de tous les objets telluriques du système solaire](#) (XKCD)

Questions de révision et discussion :

- Combien de lunes y'a-t-il au total dans notre système solaire ? En quoi sont-elles différentes de la notre ? (Listez les propriétés qui diffèrent selon les lunes)

Des planètes avec des anneaux

Lorsque l'on parle de planète dotées d'anneaux, la plupart des gens pensent directement à Saturne (Image 5). Ces anneaux mystérieux sont composés d'un nombre énorme de morceaux de glace ou de roche. Leurs tailles sont très variables, la taille des plus petits ne dépasse pas quelques micromètres (un millionième de mètre, la taille d'un grain de poussière) et les plus gros peuvent faire plusieurs dizaines de mètres (certains font la taille d'une maison, ou même d'une petite colline).

On pense que les anneaux de Saturne ont été formés par des comètes, astéroïdes, ou même des lunes qui ont été détruites par la gravité de la planète, et leurs restes sont en orbite autour de la géante gazeuse.

Mais Saturne n'est pas la seule planète du système solaire qui a des anneaux. Toutes les planètes non-telluriques en ont, bien que leurs anneaux sont beaucoup plus petits que ceux de Saturne et plus difficile à voir. Ils sont plus facilement détectés à l'aide de télescopes infrarouges. Vous pouvez voir une image des anneaux d'Uranus sur l'image 6 ci-dessous.

Image 5 : Une image de Saturne et ses anneaux prise par Cassini (source : NASA/JPL-Caltech)

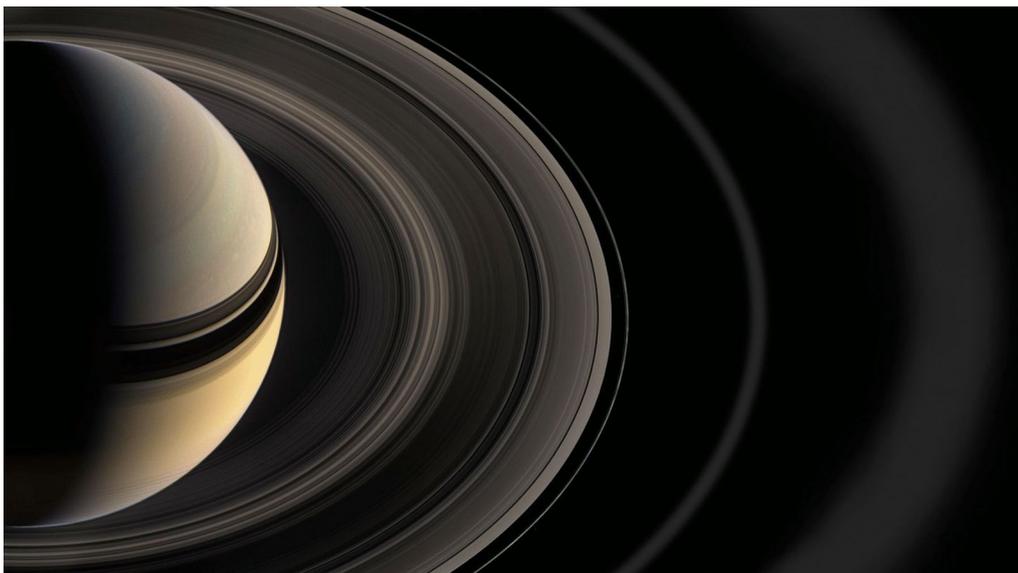
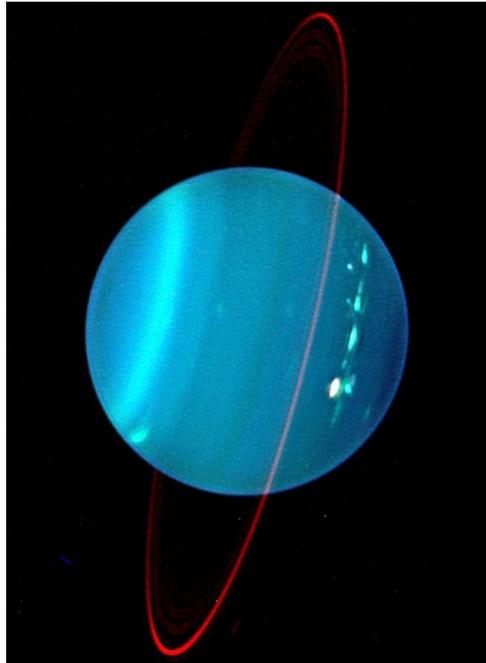


Image 6 : Une vue infrarouge des anneaux d'Uranus (source observatoire W.M. Keck)



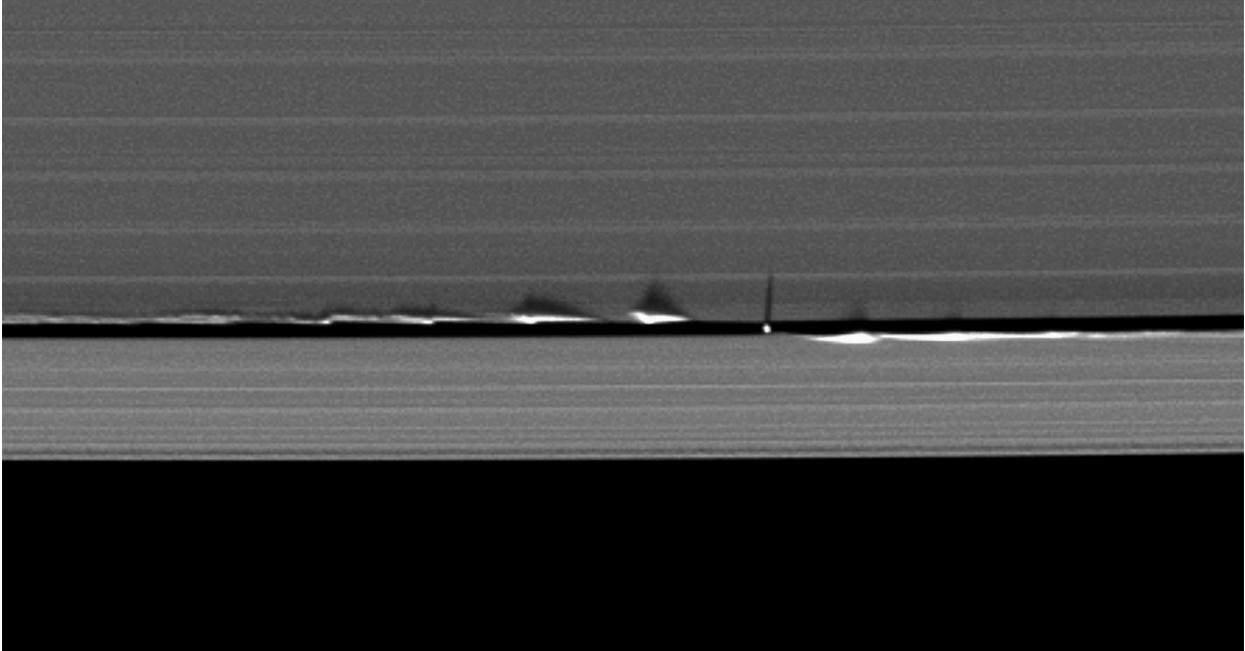
Certains objets plus petits peuvent aussi avoir des anneaux. Des astronomes ont par exemple détecté des anneaux autour de Haumea, une des planètes naines de notre système solaire. En théorie, même des lunes peuvent avoir des anneaux.

En utilisant la méthode de transits pour détecter des exoplanètes, que nous expliquons dans notre [activité sur les transits d'exoplanètes](#), les astronomes peuvent déterminer si une exoplanète possède des anneaux. C'est cependant un peu plus compliqué que de simplement déterminer la présence d'une planète parce que la façon avec laquelle la planète obscurcit l'étoile avec ses anneaux est plus difficile à interpréter. Les scientifiques cherchent toujours un moyen efficace pour déterminer si une exoplanète possède des anneaux.

L'exoplanète J1407b est la première où nous avons découvert un système d'anneaux, on pense que ceux-ci sont 20 fois plus grands que ceux de Saturne ! Pour cette raison, on surnomme cette planète Super-Saturne. Des lacunes entre ses anneaux indiquent qu'elle pourrait même avoir des exolunes formées par accrétion des glaces, roches et de poussières qui forment les anneaux (de façon similaire à la formation des planètes dans un système solaire - voir l'unité 6 pour plus de détails), mais cela n'est pas encore confirmé.

Saturne a de petites lunes parmi ces anneaux qui se sont formées de cette façon. Vous pouvez voir une petite lune appelée daphnis sur l'image 7 qui a créé une division entre les anneaux de Saturne. Sa gravité perturbe les matériaux aux alentours et crée des vagues parmi ceux-ci. Vous pouvez voir l'ombre de cette lune et de ces vagues sur les anneaux.

Figure 7 : La petite lune Daphnis dans la division de Keeler des anneaux de Saturne
(source : Cassini/NASA)



Pour aller plus loin :

- Découvrez la mission Cassini qui observe Saturne. Trouvez des photos de la Terre et de la lune prises par la sonde spatiale Cassini.
- Regardez les images des anneaux de Saturne prises par Cassini derrière Saturne. Quelles différences remarquez-vous ?

Ressources et références :

- [Cassini](#) (Wikipédia)
- [Anneau planétaire](#) (Wikipédia)
- [Super-Saturne](#) (Space.com - en anglais)
- [Saturne: En détails](#) (NASA - en anglais)
- [Galleries d'images de l'observatoire Keck](#)
- [Anneaux de Saturne](#) (Wikipédia)

Questions de révision et discussion :

- Les anneaux de Saturne sont-ils des plaques solides ou un ensemble de petits morceaux ?

Des volcans

L'intérieur de notre planète est en partie composé de roches ductiles, c'est-à-dire qu'elles sont si chaudes qu'elles se comportent un peu comme des liquides. Il y a trois raisons pour lesquelles l'intérieur de la Terre est si chaud.

- Tout d'abord, il reste de la chaleur issue de la formation de notre planète. Les collisions entre les morceaux qui ont formé la Terre ont libéré de la chaleur, et une partie de cette chaleur a été enfermée à l'intérieur de la planète. Même 4,55 milliards d'années plus tard, il y a encore de la chaleur résiduelle.
- Lorsque la Terre s'est formée, certains matériaux denses comme le fer coulaient vers le centre, et la friction causée par cet écoulement émet de la chaleur.
- Une partie des matériaux formant les couches internes de notre planète sont radioactifs, et libèrent donc constamment de l'énergie sous forme de chaleur.

Le centre de la Terre est environ aussi chaud que la surface du Soleil, qui est à 5500 degrés Celsius. Une partie des roches liquides - du magma - remonte à travers la croûte terrestre, généralement près des bords des 17 plaques tectoniques sur lesquelles les continents et les océans reposent. Un volcan est une formation rocheuse créée par du magma qui sort de la croûte. On considère un volcan "actif" s'il est entré en éruption il y a moins de 10 000 ans. Si un volcan n'est pas entré en éruption depuis autant de temps, et qu'on ne pense pas qu'il va entrer en éruption à nouveau (par exemple parce que le magma à l'intérieur a refroidi et s'est solidifié), on dit que le volcan est "éteint".

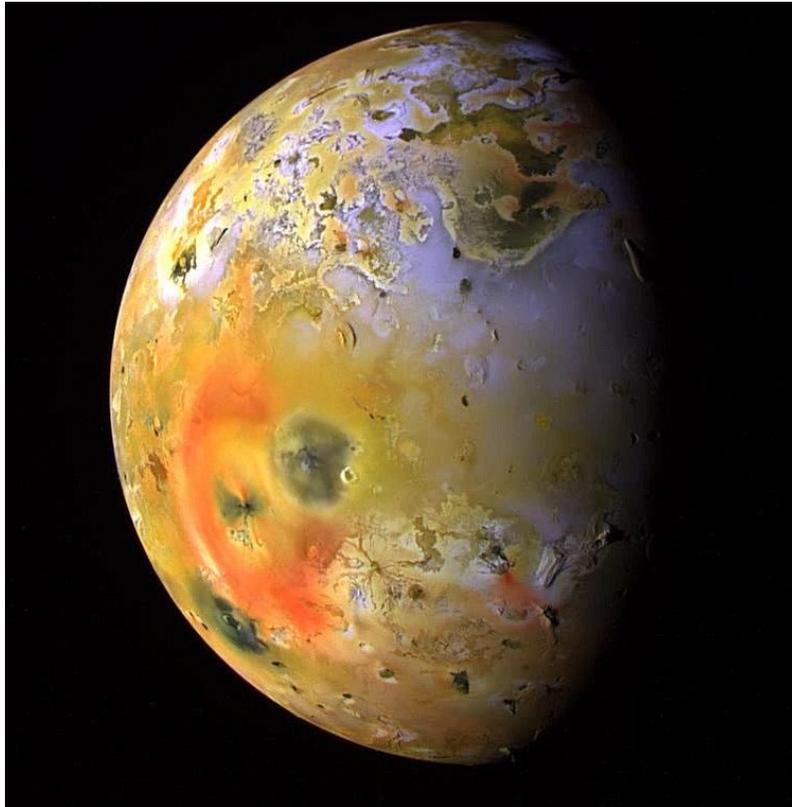
Qu'en est-il des autres planètes ? Mars n'a aucun volcan actif en ce moment, même si certains de ces volcans sont plus grands que ceux sur Terre. Le plus grand d'entre eux, nommé Olympus Mons, est le deuxième plus grand volcan du système solaire, et recouvrirait l'entièreté de la France s'il était sur Terre. Contrairement à la Terre, les volcans sur Mars ne dérivent pas, ses volcans restent donc constamment au dessus d'une source de chaleur et ont pu grandir pendant très longtemps. Certains éléments indiquent qu'il y a eu des coulées de laves sur l'Olympus Mons datant de 2 à 115 millions d'années.

Io, une des lunes de Jupiter, a une source de chaleur peu commune. La plupart de sa chaleur provient de forces de marées : la gravité de Jupiter est plus importante du côté de la lune qui fait face à la planète, et cela étire légèrement Io. De plus, au fur et à mesure qu'Io tourne sur elle-même, certaines parties de cette lune se font étirer et d'autres s'aplatissent, un peu comme appuyer sur une balle anti-stress. Après avoir appuyé sur la balle en plastique pendant un moment, elle commence à chauffer à cause de la friction à l'intérieur.

À cause de cela, même si Io fait environ la taille de la Lune, elle possède plus de 400 volcans, ce qui en fait l'astre le plus actif du système solaire en terme de volcanisme. L'aspect visuel d'Io est encore plus surprenant. Cette lune contient beaucoup de soufre, un élément qui paraît jaune à température ambiante, mais qui change dramatiquement de couleur lorsqu'on le chauffe. De

ce fait, Io a des couleurs similaires à celles d'une pizza, avec des jaunes et rouges clairs causés par le soufre (image 8).

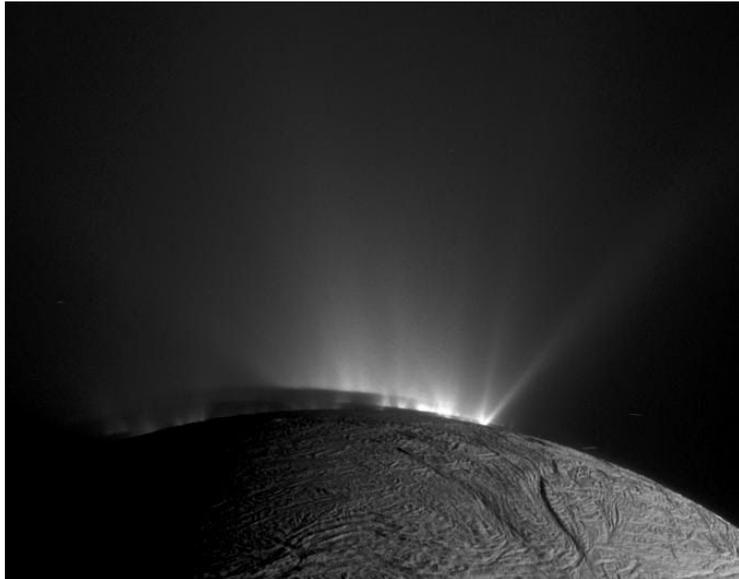
Image 8 : Une vue d'Io avec des couleurs renforcées (source : NASA)



Dans les mondes que nous venons de mentionner, la chaleur a fait fondre les roches. Mais dans des environnements si froids que presque tout gèle, il n'y a pas assez de chaleur pour faire fondre des roches, mais il est possible qu'il fasse assez chaud à certains endroits pour former de l'eau liquide ! Cela se produit sur certaines lunes du système solaire externe, Triton, une lune de Neptune, et Encelade, une lune de Saturne, éjectent des petits morceaux de glace d'eau à travers des fissures dans leur surface. Ce procédé est très similaire au volcanisme avec des roches en fusion, mais il se produit avec de la glace. On appelle cela du cryovolcanisme : de l'eau liquide jaillit en surface et se transforme en glace.

Dans le cas d'Encelade, la glace peut se fait éjecter suffisamment fort pour se retrouver dans l'espace. La sonde spatiale Cassini a pris des photos d'Encelade que vous pouvez voir sur l'image 9.

Image 9 : Des cryovolcans sur Encelade qui crachent de la glace dans l'espace (source : NASA)



Certaines exoplanètes pourraient être très similaires à Io, avec une forte activité volcanique. Il faudrait que ce soit une exoplanète tellurique très chaude. Les particules volcaniques émises épaississent l'atmosphère et pourraient être détectées. Bien que certaines exoplanètes ont de telles caractéristiques, rien n'a été confirmé à ce jour.

Pour aller plus loin :

- Apprenez-en plus sur les volcans du système solaire à travers le lien ci-dessous.

Ressources et références :

- [Le volcanisme dans notre système solaire](#)
- [Pourquoi le Noyau de la Terre est-il si chaud ?](#) (Youtube)
- [Volcan](#) (Wikipédia)
- [Olympus Mons](#) (Wikipédia)

Questions de révision et discussion :

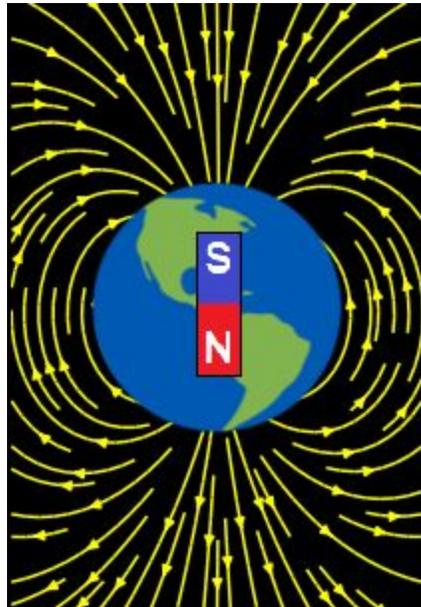
- En quoi les volcans de notre système solaire sont-ils différents les uns des autres ?

Des planètes, des aimants, et des aurores

La Terre possède un champ magnétique, qui est lié aux même noyau chaud que les volcans. Du magma dans le noyau terrestre est riche en métaux. Les mouvements de ces métaux, combinés avec la rotation rapide de la Terre sur elle même, crée un champ magnétique. Vous pouvez imaginer qu'il y a un énorme aimant en barre qui traverse le centre de la planète. Le côté Sud de cet aimant est situé dans l'hémisphère Nord de la Terre. L'aiguille d'une

boussole est elle aussi un aimant en barre, le côté marqué d'un "N" est le pôle nord de cette aiguille. Mais puisqu'en magnétisme les opposés s'attirent, cela signifie que le pôle magnétique situé près du pôle Nord géographique de la Terre est en réalité un pôle magnétique Sud. Le champ magnétique de la Terre s'étend au delà de l'atmosphère, et forme ce que l'on appelle la magnétosphère.

Image 10 : Le champ magnétique de la Terre est similaire à celui d'un aimant à barre
Earth's magnetic field is similar to that of a bar magnet (source : AOFA)



Qu'en est-il des autres planètes ? Mercure a un champ magnétique très faible, son intensité fait près d'un centième du champ de la Terre. On pense que le noyau de Mercure a refroidi et est par conséquent devenu moins actif.

Vénus a environ 1 600 volcans, mais il semblerait qu'ils sont tous éteints, donc on pense que le noyau de Vénus n'est pas aussi actif que celui de la Terre. En plus de cela, la rotation de Vénus est extrêmement lente (un jour sur Vénus correspond à 243 jours sur Terre), c'est pourquoi elle n'a pas de champ magnétique.

Comme nous l'avons vu plus tôt, Mars a des volcans, mais le magma dans la planète ne circule plus. Quelques parties de la planète sont toujours magnétiques (quelques unes plus magnétiques que la Terre) mais d'autres ne le sont pas du tout. Vous pouvez imaginer qu'il y a des bulles magnétiques sur certaines parties de la surface de la planète.

Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune ont toutes des champs magnétiques très puissants. Jupiter possède le champ magnétique le plus intense que toutes les planètes du système solaire. Les champs magnétiques de ces planètes dépendent de matériaux métalliques en mouvement

à l'intérieur, mais ce n'est pas du magma comme sur Terre. Vous pouvez lire plus à ce sujet en cliquant sur le lien intitulé "Les champs magnétiques du système solaire" dans les **Ressources**.

Qu'en est-il des exoplanètes ? Les astronomes ont pu mesurer les champs magnétiques de quelques exoplanètes en utilisant le télescope Canada-France-Hawaï et ont trouvé qu'ils étaient bien plus puissants que celui de Jupiter, entre 40 et 240 fois l'intensité du champ magnétique de la Terre. En particulier, il y a une exoplanète avec un champ magnétique si puissant qu'elle crée des taches solaires sur la surface de son étoile (cela a été également découvert avec le télescope CFH). Notez qu'on a seulement pu détecter les champs magnétiques particulièrement puissants chez les exoplanètes. Il faut des instruments plus sophistiqués pour détecter des champs magnétiques similaires à ceux des planètes de notre système solaire.

Tableau 3 : Comparaison des intensités des champs magnétiques de différentes planètes avec celui de la Terre

Planète	Champ magnétique (comparé à la Terre)
Mercure	1/100 x
La Terre	1 x
Jupiter	8,6 x
Saturne	0,42 x
Uranus	0,46
Neptune	0,28 x
Les champs magnétiques de quatre exoplanètes	40 à 240 x

Dans les films de science fiction, on entend souvent parler de "champs de force". Un champ magnétique peut avoir une fonction similaire : il empêche des particules chargées électriquement émises par le Soleil (qu'on appelle des vents solaires) de pénétrer l'atmosphère d'une planète. Sur Mars, les quelques "bulles" magnétiques sur la surface de la planète protègent le peu d'atmosphère que la planète possède.

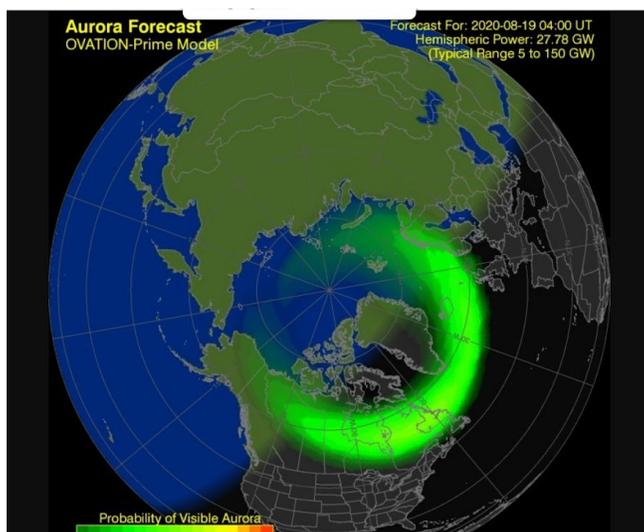
Sur Terre, les vents solaires ne peuvent atteindre l'atmosphère ou la surface qu'au niveau des pôles (là où les lignes du champ magnétique "sortent" ou "rentrent" dans la planète). Quand ces particules entrent en contact avec l'air des pôles, un peu de lumière est émise, selon la composition de l'air autour. C'est ce qui crée les aurores boréales, que l'on ne voit généralement que dans l'extrême Nord.

Image 11 : Des aurores boréales vue depuis l'Alaska (source : NASA)



Si le vent solaire est suffisamment fort, il peut pousser le champ magnétique terrestre vers le Sud, comme lorsque vous poussez une couronne en carton plus bas sur votre tête. Lorsque cela se produit, les aurores boréales sont visibles depuis le Sud du Canada, voire même plus au Sud s'il n'y a pas de pollution lumineuse.

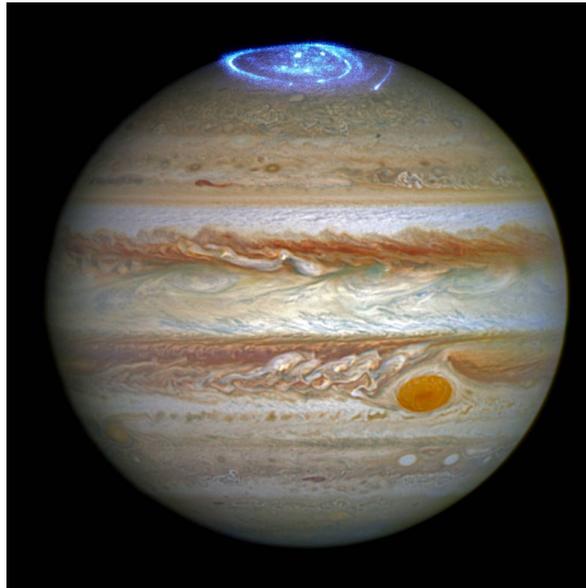
Image 12 : Une carte montrant la position des aurores boréales sur Terre à un moment donné (source : Spaceweather.com)



Puisque les autres planètes ont elle aussi leur propre champ magnétique, elles peuvent elles aussi avoir des aurores dans leur atmosphère ! Cependant ces aurores ne sont pas toujours visibles pour l'œil humain; dans l'image 13, vous verrez des aurores sur le pôle Nord de Jupiter qui ont été détectées par les instruments ultraviolets de Hubble.

Certains astronomes ont trouvé un moyen de détecter des exoplanètes en cherchant des signaux radio émis par leurs aurores. En 2020, des astronomes ont annoncé qu'ils ont détecté une planète autour d'une naine rouge de cette manière.

Image 13 : Une aurore ultraviolette sur Jupiter, l'image en couleur de Jupiter a été ajoutée séparément pour indiquer la position de l'aurore (source : Hubble/NASA)



Voir des aurores boréales est une expérience palpitante. Dans l'hémisphère Sud vous pouvez également voir des aurores australes. Les mouvements et couleurs mystiques des aurores a donné naissance à beaucoup d'interprétations de ce que celles-ci pourraient être, avant que la science n'explique ce phénomène. Aller voir le lien dans les **Ressources** pour lire des histoires des habitants du nord à leur sujet.

On découvre encore de nouvelles choses liées aux aurores. Par exemple, en 2016, un nouveau phénomène en rapport avec les aurores a été observé en Alberta. Il se présente sous la forme d'un ruban violet et vert qui passe à travers le ciel. Ce phénomène fut baptisé STEVE, en référence au film " Nos voisins, les hommes" où les personnages choisissent des noms ordinaires pour rendre les choses inconnues moins effrayantes.

Activité 4 - Découvrez le champ magnétique de la Terre

Matériel nécessaire :

- Une boussoles (n'utilisez pas celle d'un téléphone pour ne pas endommager votre appareil)
- Deux aimants (ils doivent être des aimants en barre, préférablement avec des démarcations Nord/Sud)
- Un morceau de ficelle, ou un bol d'eau avec une surface flottante

Vous êtes vous déjà demandé comment une boussole indique le Nord ? C'est ce que vous découvrirez lors de cette activité.

Tout d'abord, prenez vos deux aimants et rapprochez les l'un de l'autre. Vous remarquerez que si vous approche le pôle Nord d'un aimant près du pôle Sud de l'autre, les deux aimants vont s'attirer. Au contraire, si vous approchez deux pôles identiques (Sud et Sud ou Nord et Nord), ceux-ci vont se repousser. Mais vous le savez probablement déjà si vous avez déjà joué avec des aimant dans votre vie, en quoi cela est-il lié au fonctionnement d'une boussole ?

L'aiguille d'une boussole est en réalité une petite barre aimantée, qui peut tourner librement. Elle s'aligne avec le champ magnétique le plus fort aux alentours, généralement, il s'agit de celui de la Terre. Vous pouvez voir comment l'aiguille de votre boussole est affectée par les champs magnétiques en approchant un aimant de celle-ci. Votre boussole pointera vers l'aimant ou dans le sens contraire à celui-ci, selon le pôle que vous avez approche (Nord ou Sud) puisque c'est le champ magnétique environnant le plus puissant.

Utilisons un de vos aimants pour fabriquer une boussole.

Attachez un morceau de ficelle autour du centre de l'aimant et laissez-le se balancer librement. Après avoir tourné pendant un moment, le côté Nord de votre barre aimantée pointera vers le pôle Nord. Vous pouvez vérifier que la direction est correcte en utilisant une boussole. Assurez-vous qu'elle est suffisamment éloignée pour ne pas être affectée par votre aimant.

Vous pouvez également remplir un bol avec de l'eau, et placer votre aimant sur une plateforme flottante comme un morceau de polystyrène ou un couvercle en plastique. Il pointera également vers le Nord, comme vous pouvez le voir sur l'image ci-dessous.

Image 14 : La barre aimantée et les deux boussoles pointent toutes vers la même direction



Pour aller plus loin :

- Découvrez les légendes liées aux aurores boréales dans l'article de CBC ci-dessous.

Ressources et références :

- [Légendes des aurores boréales](#) (CBC - en anglais)
- [Découvrir les champs magnétiques](#)- activités (NASA/Berkeley - en anglais)
- [Découvrir les champs magnétiques](#) PDF (NASA Kids - en anglais)
- [Galerie d'images d'aurores de la NASA](#)
- [Les champs magnétiques de notre système solaire](#) (en anglais)
- [Le champ magnétique terrestre](#) (Wikipédia)
- [Les premières mesures des champs magnétiques de "Jupiters chaudes"](#) (Space.com - en anglais)
- [Une exoplanète détectée grâce à ses aurores](#) (Astronomy.com - en anglais)
- [STEVE](#) (Wikipédia)

Questions de révision et discussion :

- À quel hémisphère géographique correspond le pôle magnétique Nord de la Terre ?

Différentes atmosphères

Dans l'unité 6, nous avons mentionné que lorsqu'une protoplanète devient suffisamment massive, elle commence à attirer les gaz aux alentours avec sa gravité. C'est comme ça que les géantes gazeuses ont obtenu leurs atmosphères énormes. Les planètes telluriques, moins massives, n'ont pas attiré autant de gaz, et la majorité de ce qu'elles ont récolté s'est fait éjecter par des impacts. Cependant, leurs intérieurs chauds de ces planètes ont formé plus de gaz et ceux-ci ont émergé vers la surface.

Les planètes telluriques n'ont pas toutes la même quantité de gaz dans leurs atmosphères respectives. Mercure par exemple, n'était pas assez massive pour garder son atmosphère. L'atmosphère terrestre contient beaucoup moins de dioxyde de carbone et beaucoup plus d'oxygène qu'elle n'en avait à ses débuts. Cela est dû à la photosynthèse effectuée par les premières formes de vie sur Terre. Ce procédé transforme du dioxyde de carbone, de l'eau et de la lumière solaire en sucre et en oxygène. Les sucres ont permis aux plantes de pousser, et l'oxygène est une partie importante de notre atmosphère. La photosynthèse est de nos jours effectuée par les plantes vertes.

Les scientifiques pensent que les lunes qui tournent autour des géantes se sont formées de façon similaire aux planètes telluriques autour du Soleil. Elles pourraient donc avoir une atmosphère mais auront plus de mal à la garder puisqu'elles sont toutes plus petites et moins massives que Mars.

Titan, une des lunes de Saturne, est un cas particulier : elle a une atmosphère plus épaisse que celle de la Terre ! Titan est l'une des plus grandes lunes du système solaire comme vous pouvez le voir sur l'image 4. En plus de cela, elle est très loin de Soleil et plus froide, ce qui pourrait l'aider à garder son atmosphère. D'autres facteurs pourraient contribuer à cet effet (comme la composition chimique de l'atmosphère de Titan, et des effets magnétiques liés à Saturne), mais les scientifiques ont du mal à déterminer lesquels sont importants et lesquels ont des effets négligeables.

Les géantes gazeuses n'ont pas vraiment de surface, mais à une certaine profondeur la pression dans ces planètes devient si grande que les gaz se liquéfient. Sur Jupiter, cela se produit à des pressions deux millions de fois plus importantes que la pression de l'air à la surface de la Terre.

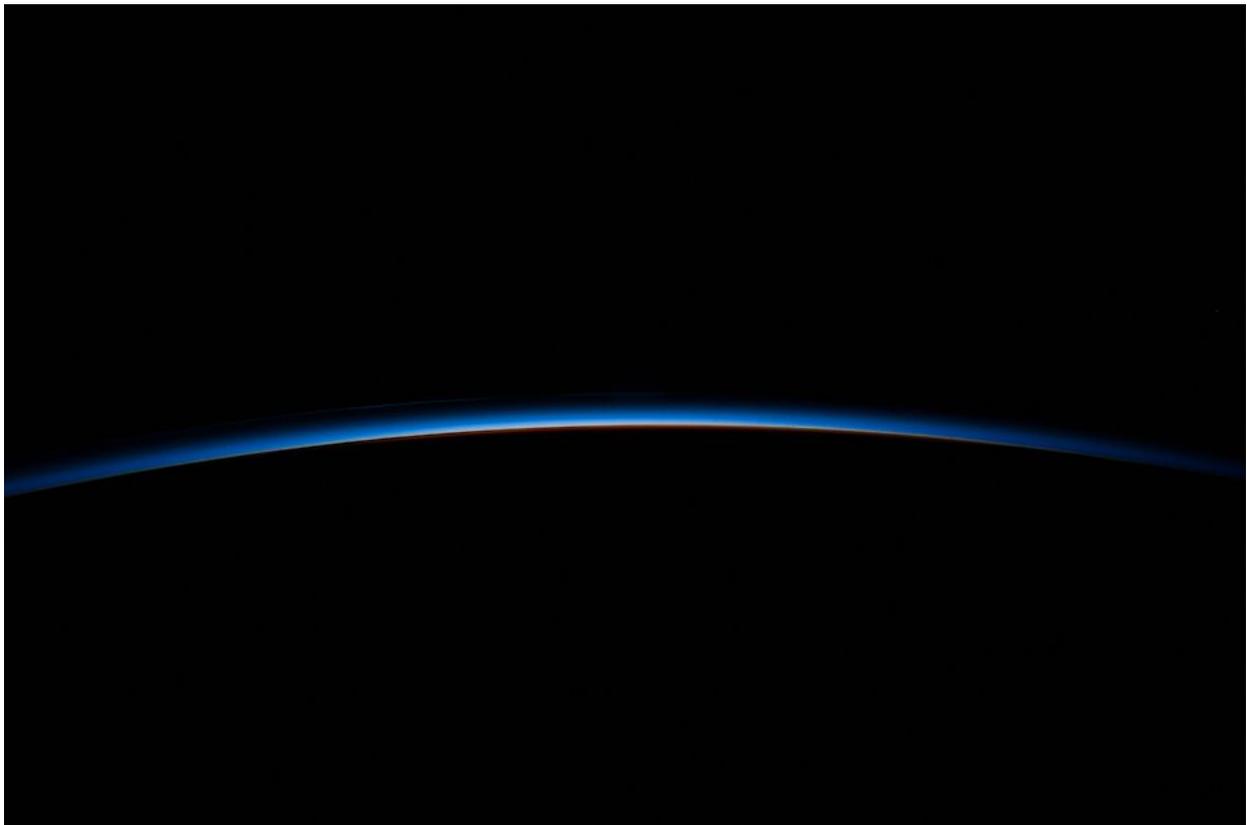
Tableau 4 : Pression à la surface de différents mondes

Planète ou lune	Multiples de la pression de surface de la Terre
-----------------	---

Vénus	93 x (c'est équivalent à être 900 mètres sous l'eau)
La Terre	1
Mars	1/160 x
Titan	1.45 x

Les exoplanètes sont très éloignées, il est donc très difficile d'extraire des informations sur ces dernières. Considérez l'épaisseur d'une atmosphère comparée à sa planète. La terre fait 12 700 kilomètres de diamètre. $\frac{3}{4}$ de son atmosphère est située dans une couche appelée la troposphère, qui fait un peu plus de 10 km d'épaisseur. 99% de l'atmosphère terrestre est située sous la stratosphère, soit à moins de 50 km au dessus de la surface. Dix kilomètres représentent $\frac{1}{1270}$ e du diamètre de la Terre, c'est moins que le rapport entre l'épaisseur de la peinture que vous utiliseriez pour décorer un globe terrestre et la taille de ce globe. Lorsqu'on regarde le ciel, on pourrait penser qu'il s'étend à l'infini, mais il est en réalité très fin, et c'est d'ailleurs pour cette raison que l'activité humaine peut affecter l'atmosphère de la Terre.

Image 15 : L'atmosphère de la Terre vue depuis l'espace (source : NASA)



Donc même si repérer une exoplanète de la taille de la Terre est difficile, détecter son atmosphère l'est encore plus. On ne sait donc que très peu au sujet des atmosphères d'exoplanètes.

Cependant, puisque les grandes exoplanètes (les géantes gazeuses et les géantes de glace), sont principalement faites d'atmosphère, on a quelques informations sur celles-ci. Par exemples, des molécules d'eau, de monoxyde de carbone, de dioxyde de carbone, et de méthane ont été détectées sur des géantes de glace. Nous avons vu précédemment que ces molécules sont communes chez les géantes de glace, leur détection n'est donc pas très surprenante, mais c'est quand-même un pas pas important vers la détection des molécules composant l'atmosphère des exoplanètes telluriques.

L'exoplanète nommée HAT-P-11b, de la taille de Neptune, est la plus petite dont l'atmosphère a été détectée. Les télescopes de prochaine génération devraient nous permettre de détecter la présence des atmosphères autour de plus petites exoplanètes, c'est d'ailleurs un des objectifs clés du Télescope de Trente Mètres, un projet auquel le Canada participe.

Pour aller plus loin :

- Pour imaginer la taille de la troposphère, regardez les lieux situés à 10 km de chez vous sur Google Maps. La stratosphère fait 50 km, et on considère que l'atmosphère se termine à 100 km de la surface. Calculez combien de temps il vous faudrait pour traverser 10, 50 et 100 kilomètres en conduisant à 100 km/h.
- Découvrez les noms des autres couches de l'atmosphère terrestre.
- Imaginez et dessinez une créature qui pourrait vivre sur Mars ou Vénus. À quoi devrait-elle ressembler pour survivre à ces environnements ? Vous pouvez aussi imaginer les équipements nécessaires à votre combinaison spatiale pour vivre sur ces planètes.

Ressources et références :

- [Les couches de l'atmosphère](#) (Agence Spatiale Canadienne)

Questions de révision et discussion :

- Mars est une planète tellurique, donc pourquoi n'a-t-elle pas autant d'atmosphère que la Terre ?
- Serait-il difficile de respirer sur Mars ?
- Pourquoi la Terre a-t-elle plus d'oxygène que les autres planètes telluriques qui ont beaucoup de dioxyde de carbone ?

Des océans et des lacs

Il arrive souvent que des planètes ou des lunes soient en partie liquides, que ce soit en ayant un noyau en fusion ou des "glaces" liquides (l'eau et le méthane par exemple). Comme nous l'avons dit plus tôt, la pression et la température au sein d'une planète est adéquate pour que des liquides se forment d'une manière ou d'une autre. Dans les petits objets célestes, comme

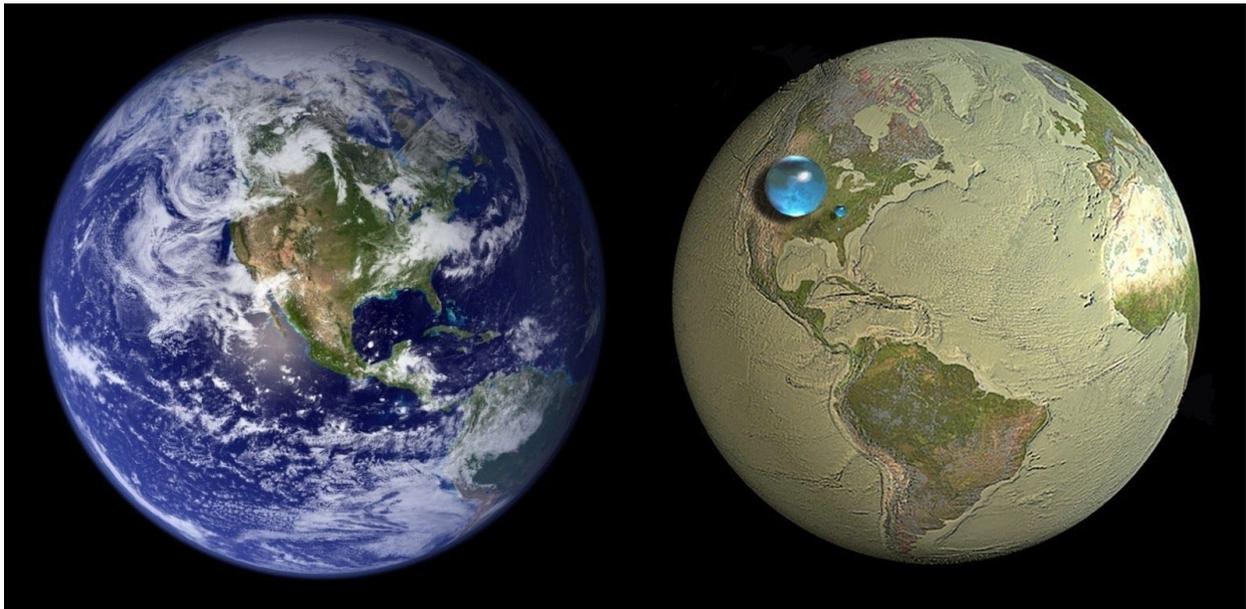
les astéroïdes, les intérieurs ont des pressions et températures insuffisantes pour faire fondre des glaces ou former du magma, donc ceux-ci sont entièrement solides en général.

Il est possible qu'il y ait de l'eau en dessous de la surface de certaines planètes ou planètes naines de notre système solaire. Puisque l'eau est cruciale à la vie sur Terre, cela nous donne un peu d'espoir de trouver de la vie ailleurs. Certains détails nous amènent à penser qu'il pourrait y avoir de l'eau liquide souterraine sur Mars et Pluton.

Il semblerait que plusieurs lunes de notre système solaire ont elles aussi des océans ou des lacs en dessous de leur surface. Europe et Ganymède, semblent avoir de l'eau salée souterraine, et cela pourrait aussi être le cas de Callisto, Encelade, Titan et Triton. Mais aucun objet dans notre système solaire ne possède de l'eau liquide de surface comme sur Terre.

Certains appellent la Terre une "planète océan" parce que 70% de sa surface est recouverte d'eau, et c'est la seule planète qui contient de l'eau de surface de nos jours (Mars en avait il y a longtemps). Mais le volume total d'eau sur Terre est en réalité très petit. L'image 16 montre à quoi ressemblerait la Terre si on regroupait toute son eau en deux gouttes. La grosse goutte correspond au volume d'eau salée (mers et océan), tandis que la petite goutte représente l'ensemble des sources d'eau douce (rivières, lacs, glaciers etc..). L'eau douce est nécessaire à notre hydratation, mais vous pouvez voir que c'est une ressource rare.

Figure 16 : L'eau sur Terre (source : USGS/WHOI, Howard Perlman et Jack Cook)



En plus d'avoir un intérieur liquide, Titan a des lacs d'éthane et de méthane liquide sur sa surface. La température et l'atmosphère de cette lune lui permettent d'avoir un climat, des lacs, des rivières, des nuages et de la pluie, de façon très similaire au cycle de l'eau sur Terre, mais en remplaçant l'eau par du méthane.

À ce jour, on ne connaît aucune exoplanète avec des océans ou des lacs sur sa surface. Comme nous l'avons mentionné précédemment, HAT-P-11b contient de la vapeur d'eau dans son atmosphère, qui pourrait se condenser en liquide et former de la pluie. Il y a plusieurs autres exoplanètes candidates, qui ont la bonne masse et température pour contenir de l'eau liquide. On s'attend à ce que les astronomes fassent plus de découvertes à ce sujet dans les années à venir.

Pour aller plus loin :

- Découvrez le cycle de l'eau sur Terre. En faisant vos recherches, imaginez l'équivalent sur Titan. Vous pouvez aussi lire l'article sur le cycle du méthane de Titan, mais il est compliqué

Ressources et références :

- [Le cycle de l'eau](#) (Alloprof)
- [Le proportion d'eau sur Terre](#) (US Geological Survey - en anglais)
- [Le cycle du méthane sur Titan](#) (Astrobiology Magazine - en anglais)
- [Des mondes océans](#) (NASA - en anglais)
- [Trouver des océans sur des exoplanètes](#) (American Astronomical Society - en anglais)

Questions de révision et discussion :

- En considérant qu'il y a très peu d'eau sur Terre, la nommerez-vous quand même une "planète océan" ? Pourquoi ? (Il n'y a pas de mauvaise réponse). Pensez à la surface que l'eau couvre, la quantité, et son importance pour le développement de la vie.

Des environnements qui changent

Tous ces environnements que nous avons mentionnés ne restent pas les mêmes pour l'éternité, même si, à l'échelle d'une vie humaine, on pourrait penser que c'est le cas. Lors des unités précédentes (en particulier l'unité 6), nous avons souvent discuté du début et de l'évolution et de la fin de différents objets astronomiques. Les planètes et leur propriétés évoluent elles aussi de façon similairement progressive.

Malgré que la plupart des changements qui concernent les planètes sont beaucoup trop lents pour qu'on les observe le long d'une vie humaine, d'autres sont plus rapides.

La température moyenne sur la surface de la Terre est de 15 degrés Celsius (comme vous pouvez le voir sur le tableau 5). Sans la présence de “l’effet de serre”, la température serait de -18 degrés Celsius. Cet effet tient son nom du fonctionnement des serres: les rayons solaires entrent et sont absorbés par les plantes et autres objets dans la serre, ceux-ci sont chauffés et émettent des infrarouges. La plupart de ces rayons infrarouges ne peuvent pas traverser les vitres de la serre et se font absorber une autre fois par le contenu de cette dernière. La température de l’air autour commence alors à augmenter. Vous êtes probablement familier avec cet effet lorsque si vous êtes déjà resté dans une voiture lors d’une journée d’été; sans aération, la température augmente dangereusement

La surface de la Terre fonctionne de façon similaire. Notre atmosphère contient des gaz qui bloquent les rayons infrarouges comme le verre d’une serre ou des fenêtres d’une voiture. La vapeur d’eau, le dioxyde de carbone, et le méthane font partie des gaz qui peuvent empêcher les infrarouges de s’échapper. La concentration du dioxyde de carbone dans l’atmosphère change, en bonne partie à cause de l’activité humaine. Il y a cinquante ans en 1970, sa concentration était de 326 parties par million. Cela signifie que pour chaque million de molécules dans l’atmosphère, 326 d’entre elles sont du dioxyde de carbone. En 2020, on a atteint 417 parties par million, c’est une augmentation de 28%.

Tableau 5 : La température de surface de différentes planètes et lunes

Planète ou lune	Température moyenne à la surface
Vénus	465 degrés Celsius
La Terre	15 degrés Celsius
Mars	-63 degrés Celsius
Titan	-179 degrés Celsius

Allons à présent voir Vénus, souvent surnommée la sœur jumelle de la Terre. Elle fait presque la même taille que notre planète et les roches qui la composent sont similaires à celles de la Terre. La différence principale entre les deux planètes est la température très élevée et la pression atmosphérique énorme sur Vénus. On dit souvent que Vénus est une planète “cocotte-minute” à cause de ces conditions. Le dioxyde de carbone est la molécule la plus commune de l’atmosphère de Vénus, elle a donc un effet de serre extrême. La surface de la planète n’est pas à 465 degrés Celsius seulement à cause de sa proximité au Soleil, mais surtout à cause de l’effet de Serre ! On pense que Vénus avait auparavant des océans comme la Terre mais qu’elle a dramatiquement changé, en partie parce qu’elle reçoit plus de rayons ultraviolets du Soleil (les rayons qui causent les coups de Soleil) que notre planète. Ces rayons peuvent faire évaporer l’eau et permettre plus d’effet de serre. Les nombreux volcans de Vénus ont également pu intensifier cet effet et accélérer le réchauffement de notre planète voisine.

Les environnements sur Terre ont également beaucoup changé au fil du temps. Nous avons déjà mentionné qu'il y avait beaucoup plus de dioxyde de carbone dans notre atmosphère avant l'apparition des premières plantes, la température était donc plus élevée. D'autres changements naturels de l'orbite et de l'inclinaison de notre planète ont causé des périodes glaciaires par exemple, mais ceux-ci durent plusieurs dizaines de milliers d'années. Les variations de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre se répètent tous les 26 000 ans par exemple, et notre orbite change tous les 100 000 ans environ. Ces effets sont beaucoup trop lents (mille fois trop lents) pour expliquer les changements climatiques récents sur Terre.

On a aussi de bonnes raisons de penser que Mars était très différente auparavant. La planète rouge possède des canyons plus larges que le Grand Canyon aux États-Unis qui ont été formés par de l'eau liquide, et on sait qu'il y a de l'eau gelée sous la surface de la planète. Mars a une atmosphère très fine comparée à la Terre, par conséquent même s'il y faisait assez chaud pour former de l'eau liquide, la pression sera si basse que l'eau s'évapore très rapidement.

Les scientifiques cherchent à savoir comment Mars a perdu une aussi grande partie de son atmosphère. De récentes trouvailles montrent que c'était probablement à cause des rayons ultraviolets émis par le Soleil, ainsi que les vents solaires qui auraient érodé l'atmosphère de Mars. Mais pourquoi cela n'est-il pas arrivé à la Terre ? Le champ magnétique de la Terre la protège des vents solaires, et la couche d'ozone (compose principalement d'oxygène, qui vient des plantes) nous protège des ultraviolets. La Terre possède également des volcans actifs, qui émettent plus de gaz dans l'atmosphère, tandis que les volcans de Mars sont éteints.

Pour aller plus loin :

- Découvrez comment le climat actuel est affecté par les humains.

Ressources et références :

- [L'effet de serre](#) (Wikimini)
- [Le changement climatique](#) (Wikipédia)
- [Le changement climatique](#) (NASA)
- [La plus haute température atteinte par la Terre](#) (Climate.gov)
- [De l'eau sur Mars](#) (Radio Canada)
- [Comment Mars a perdu la majorité de son atmosphère](#) (NASA - anglais)
- [Les taux de dioxyde de carbone du 20e et 21e siècles](#) (NASA - en anglais)
- [L'effet de serre sur d'autres planètes](#) (European Space Agency - en anglais)
- [Vénus aurait pu être habitable](#) (NASA - en anglais)

Questions de révision et discussion :

- Les températures des fours sont souvent en Fahrenheit plutôt qu'en Celsius. Une température de cuisson habituelle est 350 degrés Fahrenheit, ce qui correspond à 180 degrés Celsius. Comparez cette température à celle de Vénus. Pourrait-il y avoir de l'eau liquide sur Vénus ?

- Avez-vous plus chaud juste après être entré sous une couverture ou un moment après ? Qu'est ce que cela indique sur la température de la Terre et l'effet de serre ?
- Quelle est la différence de température sur Terre avec et sans l'effet de serre ? Est-il important d'avoir *un peu* d'effet de serre ?

L'importance des véhicules spatiaux dans l'étude des planètes

Dans l'unité 3 (Voir des étoiles), nous avons parlé des télescopes et de comment ils collectent plus de lumière que nos yeux, nous permettant de mieux voir des astres. En plus de la luminosité de l'astre, vous devriez vous rappeler que la distance qui nous sépare de celui-ci affecte grandement notre faculté à le voir. Si on peut s'approcher de celui-ci, on le verra beaucoup mieux; il paraîtra plus brillant et plus détaillé, souvent beaucoup plus que ce que l'on verrait depuis la Terre. C'est pourquoi les meilleures images des planètes de notre système solaire proviennent de véhicules spatiaux qui ont été envoyées près de celles-ci.

L'utilisation d'un véhicule spatial robotisé, une sonde spatiale, est beaucoup moins coûteuse et moins dangereuse que d'envoyer des gens près de ces planètes. La première sonde spatiale à visiter une autre planète (Vénus) date de 1962, il y a 60 ans, seulement un an après que le premier homme ait orbité autour de la Terre. De nos jours, aucun humain n'a visité d'objet céleste à l'exception de la Lune. À présent que l'intelligence artificielle s'améliore, les véhicules spatiaux peuvent avoir plus de fonction et prendre des décisions sans intervention humaine depuis la Terre.

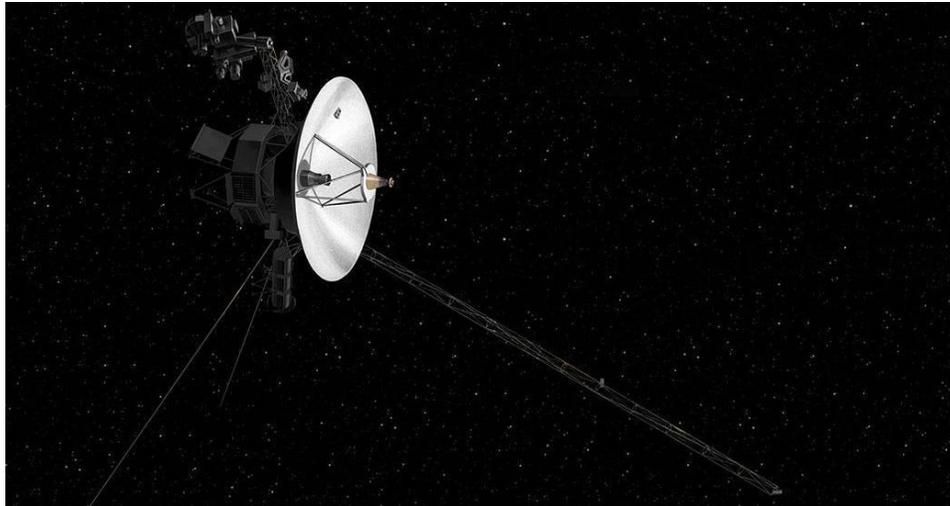
En analysant des échantillons dans un laboratoire, même le laboratoire portable d'une sonde spatiale, on peut apprendre bien plus qu'en utilisant des télescopes uniquement. Les sondes spatiales sont capables de mesurer des champs magnétiques, ainsi que la composition du sol d'une planète, ce qui serait difficile voire impossible à faire directement depuis la Terre. L'analyse des planètes est plutôt limitée à distance.

Certaines sondes spatiales effectuent des "survol" : la sonde spatiale passe près de la planète pendant quelques heures ou quelques jours et collectent rapidement des données. Par exemple, entre 1979 et 1989, la sonde spatiale Voyager 2 a effectué des survols autour de chacune des planètes du système solaire extérieur ainsi que quelques-unes de leurs lunes. Cette sonde a utilisé la gravité de chaque planète pour l'envoyer vers la prochaine planète.

D'autres sondes restent en orbite autour de leur cible pour une longue durée, comme Juno qui collecte des données sur Jupiter depuis 2011. D'autres véhicules atterrissent sur la surface d'une planète ou d'une lune, comme l'astromobile Opportunity qui explorait la surface de Mars et a officiellement fini sa mission en 2019. La première sonde spatiale à atterrir sur une planète avait atterri sur Vénus en 1970 et a mesuré la température de la planète et sa composition.

avant d'être détruit en 22 minutes. Vous pouvez trouver une liste des différentes sondes spatiales du système solaire dans les **Ressources** plus bas.

Image 17 : Une vue d'artiste de la sonde spatiale Voyager 2 (source : NASA)



Compare aux planètes de notre système solaire, serons-nous toujours aussi limités pour l'exploration des exoplanètes ? Probablement oui, à moins que l'on ne trouve un moyen de s'y rendre rapidement. Un projet consistant à envoyer une multitude de petites sondes spatiales vers Proxima et Alpha Centauri a été proposé, et serait nommé le projet "*Breakthrough Starshot*". L'idée est d'envoyer environ 1000 sondes spatiales qui feraient chacune la taille d'une petite pièce dans un voyage qui durerait vingt à trente ans. Chaque sonde survolerait les planètes de ce système et enverrait les informations collectées par signal radio, qui prendrait 4,3 ans à revenir. Chaque sonde spatiale serait attachée à une voile d'un kilomètre carré, et propulsée par un laser depuis la Terre. Cela requiert beaucoup d'efforts et prendrait beaucoup de temps, mais c'est le mieux qu'on puisse faire pour le moment.

Des voyages à des vitesses plus rapides que la lumière que l'on voit dans les films de science-fiction (ex: Star Wars et Star Trek) sont impossibles. Mais allez voir "l'Agence de Voyage d'Exoplanètes" de la NASA, pour au moins voyager avec votre imagination.

Par conséquent, au lieu d'envoyer des véhicules spatiaux vers d'autres systèmes solaires, on utilise toujours des télescopes pour les détecter et les observer. Les images ne sont certainement pas aussi bonnes, mais on peut quand même collecter beaucoup d'informations de cette manière.

Ceci dit, la plupart des télescopes qui recherchent des exoplanètes sont situés dans l'espace : Kepler, TESS, Hubble et Spitzer sont tous des télescopes spatiaux ayant enregistré ou qui enregistrent en ce moment même des données sur les exoplanètes.

On utilise de tels télescopes parce que cela nous permet d'éviter plusieurs difficultés imposées par l'atmosphère terrestre que nous expliquons dans l'unité 3. Parmi ces difficultés, on compte la pollution lumineuse, le scintillement des étoiles, mais aussi d'autres facteurs plus subtils. Par

exemple: l'atmosphère terrestre bloque les ultraviolets, mais ceux-ci pourraient contenir des informations utiles au sujet des exoplanètes ou de leurs étoiles.

Pour aller plus loin :

- Allez voir la liste des sondes spatiales du système solaire. Découvrez les différences entre les différents types de sondes : celles qui font un survol, les orbiteurs les atterrisseurs, les sondes de retour d'échantillons etc.. Discutez des avantages et inconvénients de chaque type, et des situations dans lequel un type de sonde serait plus adéquat qu'un autre.

Ressources et références :

- [Liste des sondes spatiales](#) (Wikipédia)
- [L'Agence de Voyage d'Exoplanètes](#) (NASA - en anglais)
- [Projets et instruments liés aux exoplanètes](#) (NASA - en anglais)
- [Le projet Breakthrough Starshot](#) (Wikipédia)
- [Animation: Huygens atterissant sur Titan](#) (Youtube, NASA JPL)

Questions de révision et discussion :

- Pourquoi ne pouvons-nous pas envoyer des sondes spatiales vers toutes les exoplanètes que l'on connaît pour collecter des informations ?
- Si vous pouviez envoyer une sonde spatiale quelque part dans le système solaire, où l'enverriez-vous, et pourquoi cet endroit ?