

SOMMAIRE

© Delachaux et Niestlé, Paris, 2024

Dépôt légal : mai 2024

ISBN : 978-2-603-03078-3

Achevé d'imprimer en avril 2024 sur les presses de FINIDR, République tchèque.

Édition : Sophie Postollec

Assistant d'édition : Joris Lautard

Fabrication : Virginie Leroux

Photogravure : AnR

Préparation, maquette, schémas et mise en pages : Littopia

Relecture : Manon Cluse

Couverture : Littopia

CHARTRE DELACHAUX ET NIESTLÉ

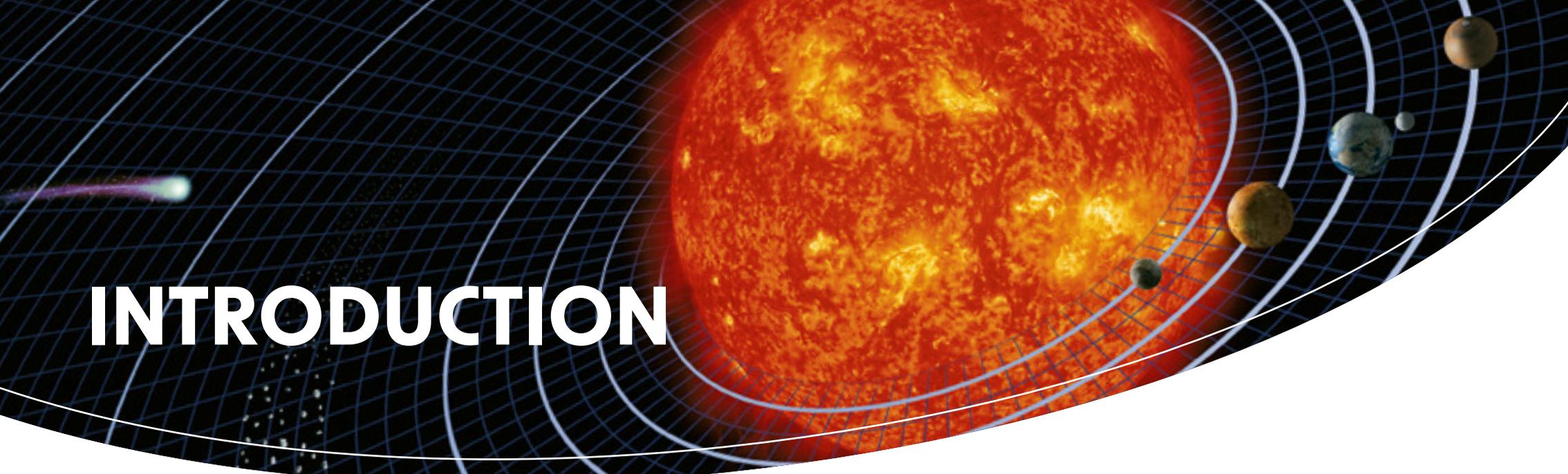


- 1 L'éditeur nature de référence depuis 1882.
- 2 Le fonds éditorial le plus complet en langue française avec plus de 450 ouvrages consacrés à la nature et à l'environnement.
- 3 Des auteurs scientifiques et naturalistes reconnus.
- 4 Les meilleurs illustrateurs naturalistes, pour la précision et le réalisme.
- 5 Des ouvrages spécifiquement adaptés à l'utilisation sur le terrain.
- 6 Des contenus actualisés régulièrement pour relayer les avancées scientifiques les plus récentes.
- 7 Une démarche éco-responsable pour la conception et la fabrication de nos ouvrages.
- 8 Une approche pédagogique qui sensibilise les plus jeunes à l'écologie.
- 9 Une réflexion qui éclaire les grands débats sur l'environnement (biodiversité, changement climatique, écosystèmes).
- 10 Une implication aux côtés de tous ceux qui œuvrent en faveur de la protection de l'environnement et de la conservation de la biodiversité.

RETROUVEZ-NOUS SUR WWW.DELACHAUXETNIESTLE.COM ET SUR FACEBOOK

Cet ouvrage ne peut être reproduit, même partiellement et sous quelque forme que ce soit (photocopie, décalque, microfilm, duplicateur ou tout autre procédé analogique ou numérique), sans une autorisation écrite de l'éditeur. Tous droits d'adaptation, de reproduction et de traduction réservés pour tous pays.

INTRODUCTION.....	4
LE SOLEIL.....	22
LES PLANÈTES ROCHEUSES	30
MERCURE	33
VÉNUS.....	41
MARS	49
LES COMÈTES ET ASTÉROÏDES	58
LES COMÈTES.....	61
LES ASTÉROÏDES	67
LES PLANÈTES GÉANTES	72
JUPITER.....	75
SATURNE	81
URANUS NEPTUNE.....	87
LES SATELLITES ET PLANÈTES NAINES	90
LUNE	93
EUROPE.....	99
ENCELADE.....	105
TITAN	111
PLUTON.....	117
GLOSSAIRE	122



INTRODUCTION

Le Soleil, la Lune et l'ensemble des planètes du Système solaire suscitent notre intérêt depuis la nuit des temps. Certains de ces corps célestes, vus depuis la Terre sans télescope, nous apparaissent seulement comme des astres brillants tels des étoiles lointaines. Pourtant, une partie de ces planètes sont des corps rocheux dont la formation ressemble beaucoup à celle de la Terre.

La **géologie** est la science qui s'intéresse à la formation de notre planète. Elle se définit plus particulièrement par l'étude de tout ce qui est lié au **minéral**, de la formation des reliefs, mais aussi des processus internes plus complexes du globe terrestre. La géologie fait partie des géosciences, qui comprennent d'autres grandes disciplines s'intéressant notamment à l'air (**atmosphère**), à la vie (**biosphère**) et à l'eau (**hydrosphère**).

Étudier la géologie terrestre permet de retracer l'origine de notre planète, ainsi que de comprendre l'origine de l'eau ou des roches les plus anciennes. La Terre est une **planète active**, et les roches, témoins d'époques lointaines, ont été effacées et recyclées au cours des différents processus terrestres. Mais tous les corps célestes du Système solaire ne sont pas aussi actifs et les enseignements de la géologie sur Terre fournissent alors une aide précieuse. C'est par exemple le cas des **astéroïdes**, datant de la formation du Système solaire. Des fragments d'astéroïdes tombent de façon continue sur Terre sous forme de cailloux appelés **météorites**. Ces dernières constituent en quelque sorte des **fossiles** des prémices du Système solaire et des planètes **rocheuses**.

L'**astrochimie** est la seconde science sur laquelle s'appuie ce livre. Elle étudie l'abondance et les réactions chimiques des **molécules** dans l'**Univers**, en commençant par la plus importante, l'eau. Cette science, entre l'**astronomie** et la chimie dont elle reprend les noms, s'applique autant à l'espace lointain (étoiles, nuages moléculaires, galaxies) qu'à notre Système solaire. Ce dernier s'est formé à partir de l'effondrement d'une partie d'un immense **nuage de gaz**. Il est indispensable d'étudier sa genèse et l'évolution chimique qui a eu lieu au sein de cet environnement. L'astrochimie est très dépendante des outils de détection à distance et s'est beaucoup développée à la fin du **xx^e** siècle, bénéficiant des **sondes spatiales en orbite** autour des planètes, géantes ou rocheuses. Elle est aussi une science de laboratoire : l'étude de la composition des météorites en molécules complexes et leur lien avec l'apparition de la vie est un sujet majeur en astrochimie, par exemple.

Ce livre s'appuie donc sur deux aspects : la géologie planétaire (allant des couches internes jusqu'à la surface) des objets du Système solaire, et l'étude de la présence d'eau et de molécules complexes, qui conditionnent la possibilité d'abriter la vie, actuellement ou dans le passé.

L'ÉCHELLE DES TEMPS

Une des notions fondamentales en géologie est le temps. Les scientifiques utilisent une « **échelle des temps géologiques** » pour se représenter l'ensemble des événements ayant eu lieu et les organiser chronologiquement. Bien sûr, cette échelle n'est pas comparable avec la durée d'une vie humaine, bien courte en regard des cycles d'une planète, ou du Système solaire.

LA NAISSANCE DU SYSTÈME SOLAIRE

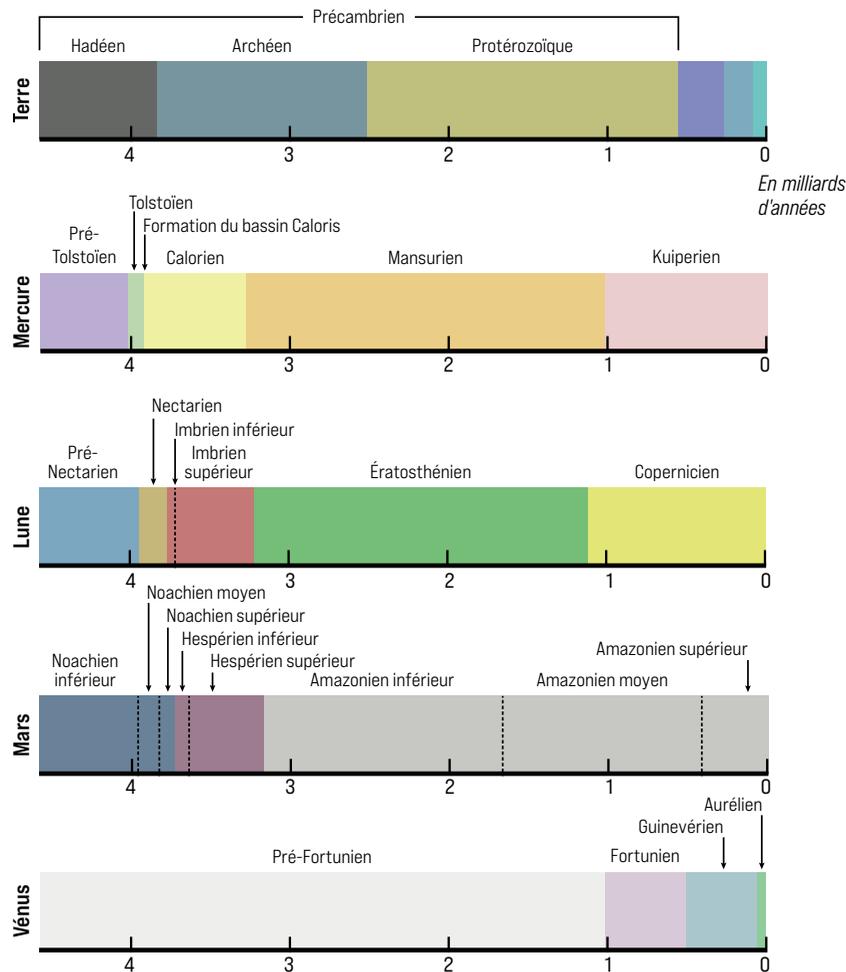
Le **Système solaire** est significativement plus jeune que l'Univers. L'hypothèse la plus acceptée actuellement concernant le commencement de l'Univers est un phénomène connu sous le nom de **Big Bang**. Ce nom évoque la première « explosion », la genèse de tout l'Univers, il y a 13,7 milliards d'années. Selon cette théorie, consécutivement à cet événement **cataclysmique**, l'Univers était dense, incroyablement **chaud**, rempli de particules, mais complètement dépourvu d'étoiles ou de planètes. Près de 400 000 ans après cette « explosion », la **fusion** de ces particules aurait abouti à la formation des éléments chimiques comme l'**hydrogène** et l'**hélium**, dont les étoiles sont composées. Au cours du temps, le regroupement d'atomes de plus en plus complexes a permis l'apparition des premières molécules, jusqu'aux premières poussières. Si les composants des étoiles sont présents dès le début, ce n'est que lors de la mort d'une partie d'entre elles que les éléments chimiques plus lourds comme le **carbone**, le **silicium**, l'**or**, etc., se forment. Le fer, par exemple, est créé peu avant l'explosion de certaines étoiles massives.



Voici sans doute à quoi ressemblait notre Système solaire à son commencement (A) : un disque de poussières et de gaz en rotation autour d'une jeune étoile très active. Ces disques sont par ailleurs observés par les astronomes un peu partout dans l'Univers. L'origine du Système est connue grâce à l'observation astronomique et l'étude des premiers objets du Système solaire. Les météorites, ainsi que des fragments récupérés sur Terre des premières roches (B), sont des témoins et outils de recherche précieux de cette période.

Plus récemment (il y a presque 4,6 milliards d'années), notre Système solaire a vu le jour, à la suite d'un processus complexe. Un immense nuage de gaz très froid appelé **nuage moléculaire** s'est effondré sur lui-même, sous l'effet de sa masse extraordinaire. Composés d'hydrogène et d'hélium, ces nuages sont des environnements propices à certaines réactions chimiques, aboutissant à la synthèse de nombreuses **molécules** (à base de carbone) et de l'eau. L'effondrement d'une petite portion du nuage a concentré une grande quantité d'énergie en un seul point, et donné naissance à une étoile. Celle-ci, une fois formée, s'est éloignée progressivement du nuage. Autour d'elle ont demeuré

Cette échelle, divisée en périodes, est basée sur des changements de conditions de vie sur Terre. Ces modifications sont liées à des **événements climatiques** ou des phénomènes drastiques. Par exemple, la limite Crétacé/Tertiaire est marquée par la chute de la météorite du Chicxulub dans la péninsule du Yucatán (Mexique) il y a 65 millions d'années. Cette chute aurait activement participé à la disparition des dinosaures et causé une altération dans la diversité au sein du règne animal.



Comme pour la Terre, il existe différentes échelles de temps propres à chaque astre. Voici par exemple les échelles des temps de Mars, Mercure, Vénus et de la Lune. Dans ce cas, elles mettent en avant des événements géologiques majeurs étalés sur plusieurs milliards d'années et sont souvent liées au volcanisme ou à des périodes de chutes de météorites.



C'est dans des environnements tels que le nuage moléculaire Circinus (la région sombre sur l'image) que les étoiles naissent. C'est un milieu froid, rempli de gaz d'hydrogène et de poussières, et d'une masse 250 000 fois plus importante que le Soleil. Les étoiles récemment nées sont visibles très près du nuage, et les zones de formation d'étoiles au sein du nuage sont nimbées de lumière, comme ici au centre de l'image.

de grandes quantités de gaz, de glace et de poussières, qui ont formé un disque en rotation, appelé disque protoplanétaire. C'était un environnement turbulent, où le jeune Soleil irradiait et réchauffait de façon parfois extrême certaines régions du disque. C'est dans ce milieu que se sont constituées les planètes, dont la composition reflète celle du disque qui les a vues naître.

Notre Système solaire est donc le fruit d'une histoire lointaine, riche et mouvementée. Cette richesse s'observe dans la multitude d'objets qui peuple ce lieu. Certains, comme les astéroïdes et comètes, ont peu changé depuis leur formation. Ils sont donc les « fossiles » de la formation du Système solaire. Ils pourraient même avoir contribué à l'apport en eau et en carbone sur Terre, deux éléments dont on sait qu'ils sont indispensables à la vie. Les planètes, par leur beauté et complexité, sont les bijoux du Système solaire. Les plus grandes et massives, telles que Jupiter et Saturne, se sont sans doute formées très près du Soleil avant de migrer plus loin, dans les régions plus froides. Ces mondes sont encore mystérieux, notamment Neptune et Uranus, particulièrement mal connues des scientifiques. Autour de ces géantes, il existe une myriade de satellites naturels, autrement appelés lunes. Certaines d'entre elles suscitent d'ailleurs beaucoup d'intérêt, car elles pourraient abriter des océans cachés sous une épaisse couche de glace. Enfin les astres les plus proches de la Terre, les planètes rocheuses, posent encore beaucoup de questions. Ces cousines de la Terre montrent des caractéristiques similaires à notre planète, bien qu'elles soient extrêmement inhospitalières. Leur surface témoigne ici encore d'une histoire tumultueuse, où la vie aurait pu apparaître, du moins temporairement.

À travers les récentes avancées scientifiques observées autour de ces mondes grâce aux missions spatiales, aux connaissances offertes par la géologie, ou l'astrochimie, ce guide propose des clés pour explorer et comprendre le Système solaire.

COMMENT UTILISER CE GUIDE ?

Plusieurs notions sont abordées pour chaque corps céleste, parmi lesquelles cinq principales. Ces concepts sont au cœur de ce guide, et décrivent des connaissances tant en exogéologie qu'en astrochimie. Ce sont donc les portes d'entrée pour comprendre la richesse et la complexité des mondes qui composent notre Système solaire.

La météo

Quel temps fait-il sur Mars ? Où trouve-t-on les pires tempêtes ? Mercure, si proche du Soleil, est-elle la planète la plus chaude ? La météo décrit les conditions régnant aussi bien à la surface des planètes rocheuses que dans l'atmosphère des planètes géantes. Ces conditions sont pour la plupart très différentes de celles sur Terre, et compliquent la tâche des scientifiques qui souhaitent envoyer des sondes spatiales. Les pluies acides sur Vénus ou les vents supersoniques de Saturne limitent la durée de vie des instruments scientifiques conçus pour étudier ces mondes. Dans les encarts météo, l'intensité du vent, la chaleur et le niveau d'humidité (eau ou composés carbonés, liquide ou vapeur) sont représentés avec des points de couleurs : plus la couleur est foncée, plus l'intensité est grande.



Température



Vent



Humidité

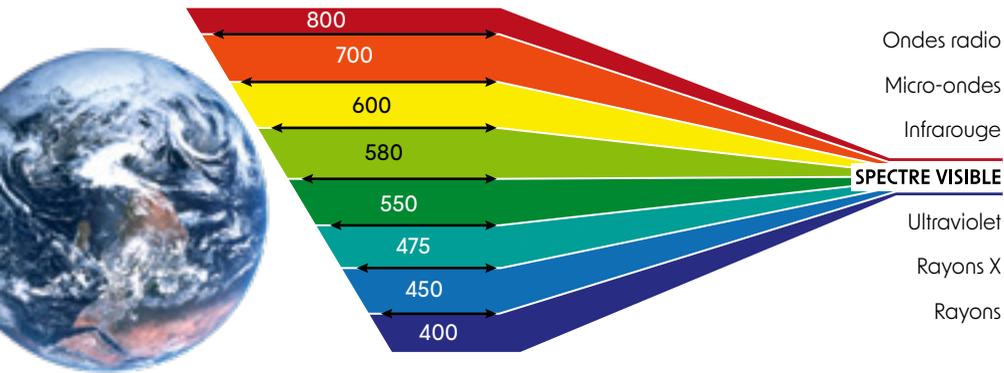
Les couleurs

Pour notre planète et partout dans le Système solaire, les couleurs de chaque corps céleste donnent des informations sur la composition de sa surface ou de son atmosphère. Un objet va soit émettre de la lumière (comme les étoiles) en produisant le plus souvent sa propre énergie soit la réfléchir comme certains satellites ou planètes (par exemple, la Lune réfléchit la lumière émise par le Soleil).

La lumière est un spectre avec une gamme de couleurs définie par leur longueur d'onde, exprimé en nanomètre (nm, soit 1/1000 000 000 m). Les gammes de couleurs visibles par l'œil humain s'étendent entre 400 nm (violet profond) et 800 nm (rouge). Au-delà de 800 nm, on parle d'infrarouge, et en dessous de 400 nm, on trouve les ultraviolets.

L'ensemble de ces spectres superposés forme la lumière blanche, comme émise par le Soleil. Selon la composition de l'atmosphère traversée par cette lumière, certains éléments chimiques vont absorber certaines longueurs d'onde et modifier la couleur blanche. C'est l'**absorption sélective**.

Dans le cas de la Terre, le bleu est le résultat de l'absorption de la lumière du Soleil par l'eau de mer. Quand le rayonnement arrive à la surface de la mer, le spectre de la lumière visible se décompose. Les molécules d'eau vont d'abord absorber les longueurs d'onde les plus grandes puis finalement le vert. Le bleu, lui, met plusieurs centaines de mètres à être totalement absorbé.



Représentation de l'ensemble des ondes en longueur décroissante vers le bas et de la gamme de couleurs avec les longueurs d'onde respectives du spectre visible.

Notre planète, si elle n'est pas présentée dans cet ouvrage, n'en est pas pour autant absente. La Terre est au centre de nombreuses études scientifiques sur sa structure interne, son évolution, ou encore les conditions nécessaires à l'apparition de la vie. Les résultats de ces travaux servent de points de comparaison avec les différentes planètes et satellites présents dans le livre.

Les processus internes

Ils interviennent en profondeur, bien que leur activité soit parfois visible à la surface (volcans). L'activité interne des astres dépend de la présence d'une source de chaleur (noyau) ou de la présence d'un autre objet massif aux alentours, qui peut exercer une force gravitationnelle et déformer légèrement la planète, produisant aussi de la chaleur. Les processus internes sont le domaine de la géologie, et la connaissance de la tectonique des plaques sur Terre permet d'envisager l'activité interne ailleurs dans le Système solaire.

Les processus externes

Ils modifient durablement la surface d'une planète ou d'un satellite. Ils peuvent être liés aux conditions météorologiques (vent, précipitations), mais aussi à des facteurs externes comme des impacts d'astéroïdes. S'il existe des traces de ces processus grâce à l'observation à distance (via l'utilisation de sondes spatiales), ils peuvent aussi effacer des informations cruciales quant aux conditions qui régnaient à la surface de la planète dans un passé plus lointain.

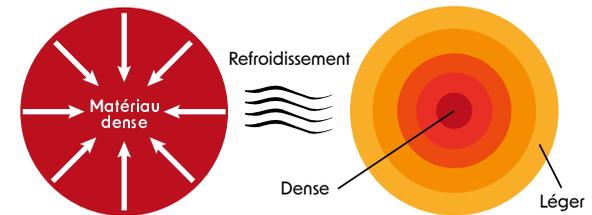
L'habitabilité planétaire

C'est l'ensemble des conditions à la surface (ou plus en profondeur) susceptibles de permettre à la vie de se développer. Si les étapes ayant abouti à l'apparition de la vie sur Terre sont encore mal connues, on connaît les limites (températures, pression, salinité, etc.) au-delà desquelles la vie peine à se maintenir. L'étude des conditions à la surface d'une planète ainsi que des organismes dits **extrémophiles** sur Terre nous permettent d'imaginer à quoi pourrait ressembler la vie ailleurs dans le Système solaire.

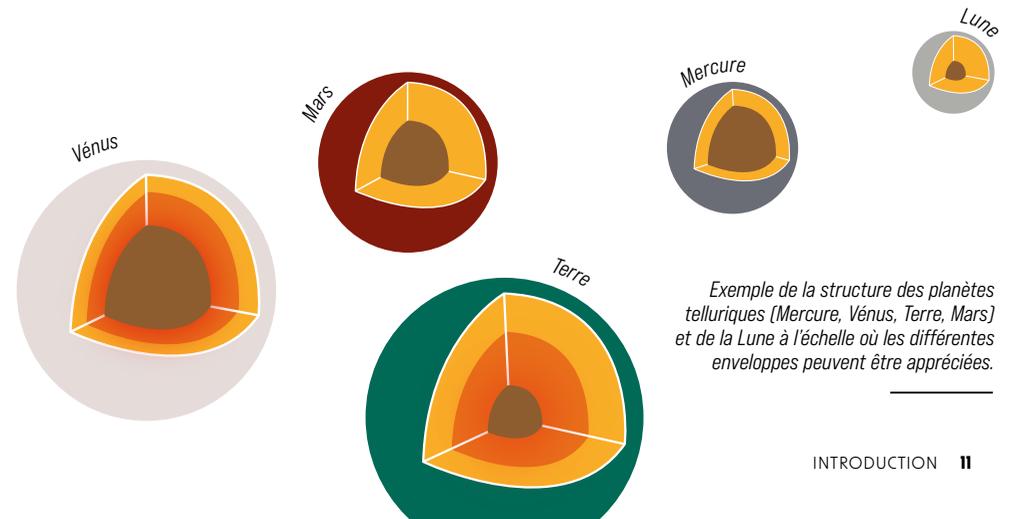
LES PROCESSUS INTERNES

La formation des planètes: la différenciation planétaire

Les poussières du disque protoplanétaire ont majoritairement été absorbées par le jeune Soleil. Celles qui ont échappé à son **attraction gravitationnelle** ont fini par s'agglomérer, passant de poussières à des objets de plus en plus gros (jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres) que l'on connaît sous les noms de **comètes** ou d'**astéroïdes**. En fonction de l'endroit où les poussières s'assemblent, leur composition change. Par exemple, les comètes sont significativement plus riches en eau (sous forme de glace) que les astéroïdes, en général, car elles se forment plus loin du Soleil. Ces corps sont donc les « matériaux de construction » du Système solaire et leur composition a peu évolué depuis leur formation. Concernant les astéroïdes, on peut distinguer trois grands types : riches en carbone ; métalliques, riches en fer et nickel ; rocheux, pauvres en carbone. Ils contiennent aussi des éléments chimiques tels que le magnésium, le silicium et l'oxygène, mais aussi le calcium, l'aluminium et le soufre. Au cours de leur histoire, ces nombreux astéroïdes kilométriques se sont percutés, donnant naissance aux planètes. L'énergie produite lors de ces collisions titanesques était telle que toute la matière a fondu.



En se refroidissant progressivement, les éléments chimiques se sont répartis à l'intérieur de la planète selon leur densité : c'est la **différenciation planétaire**. Celle-ci a mené à la formation de plusieurs enveloppes : le **noyau**, le **manteau** et la **croûte**, ayant chacune des compositions minéralogiques différentes.



Exemple de la structure des planètes telluriques (Mercure, Vénus, Terre, Mars) et de la Lune à l'échelle où les différentes enveloppes peuvent être appréciées.