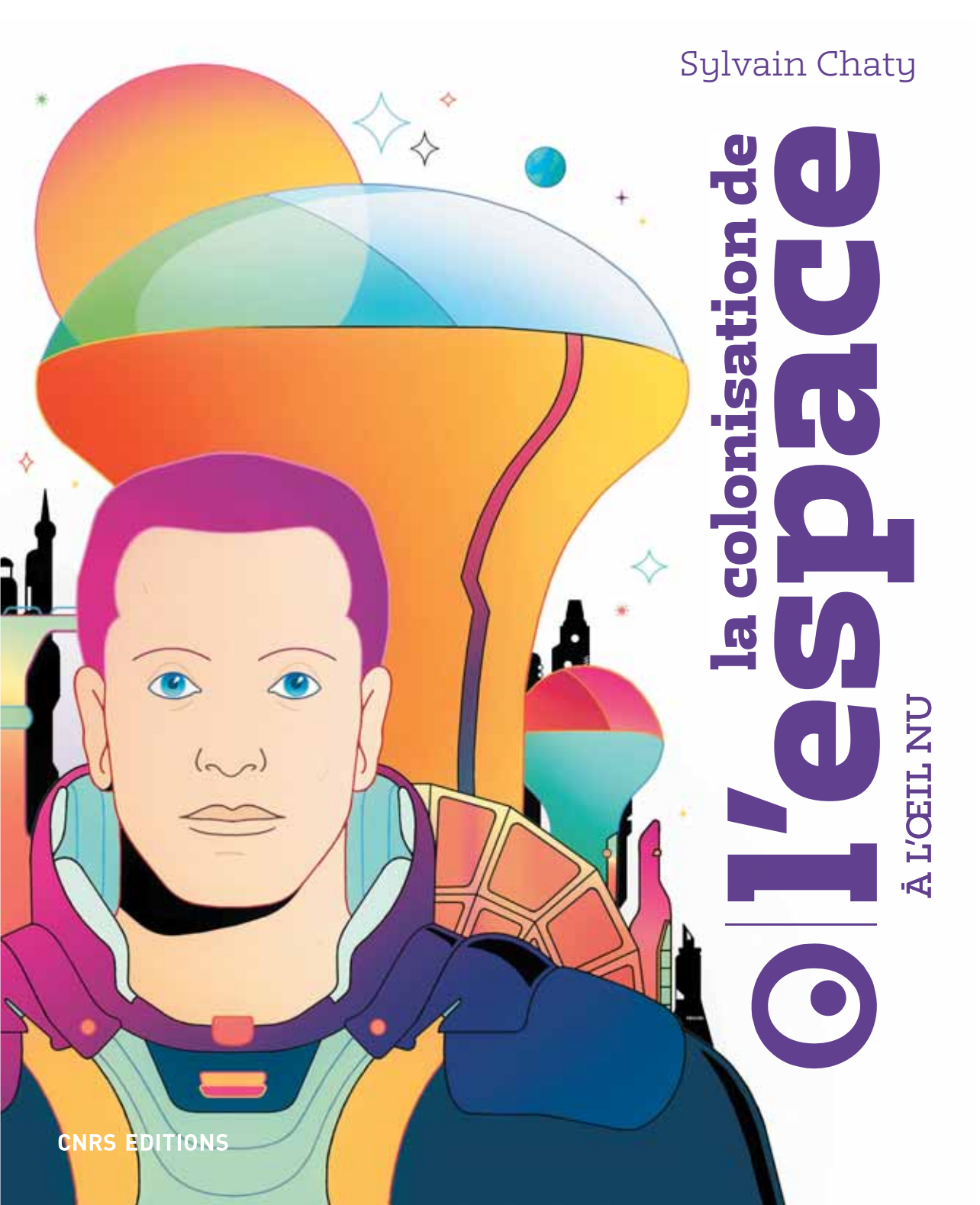


Sylvain Chaty

la colonisation de l'espace

À L'OEIL NU

CNRS EDITIONS



la colonisation de l'espace

À L'ŒIL NU

Qui n'a pas un jour rêvé d'aller sur la Lune ? sur Mars ? de coloniser l'ailleurs ? de comprendre comment et en combien de temps ? L'espace fascine et depuis longtemps.

Si nous avons exploré l'ensemble des planètes de notre système solaire, et un peu au-delà, nous n'avons pourtant jamais tenté de nous installer autre part que sur Terre. La conquête spatiale a plutôt eu pour objectif de comprendre les origines de l'univers et de la vie. Mais si l'exploitation des ressources de notre planète finissait par la rendre invivable, n'irait-on pas coloniser l'espace ? N'irait-on pas chercher des ressources ailleurs ? Et dans ce cas, où irait-on ?

De Vénus aux comètes en passant par la course à la Lune, Sylvain Chaty revient sur les grandes étapes de l'exploration spatiale, les différentes hypothèses de vies extraterrestres, et les possibilités d'une installation humaine sur d'autres astres. C'est à cette aventure que ce livre nous convie, tout en s'affranchissant des dangers des voyages intersidéraux !

LES AUTEURS

Sylvain Chaty

Astrophysicien au CEA, professeur à l'université de Paris et professeur associé de l'université de la Plata (Argentine), il est membre honoraire de l'Institut universitaire de France et de la collaboration Virgo et Fermi (NASA). Sa recherche porte sur l'étude des astres compacts - étoiles à neutron et trous noirs - attirant la matière d'étoiles situées à proximité. Sylvain Chaty est également passionné par la diffusion des connaissances. Il donne de nombreuses conférences grand public, écrit des articles de vulgarisation et des livres jeunesse pour Gallimard, notamment.

Lili des Bellons

Illustrateur et graphiste français, il est basé entre Paris et Clermont-Ferrand. Depuis sa formation de réalisateur numérique, il partage son temps entre la création de films, d'identités graphiques et d'illustrations, aussi bien pour des plateformes audiovisuelles comme AdultSwim, que pour la presse (*New Yorker*, *Le Monde*, *Télérama*, *Esquire*, etc.), des agences de communication ou pour des livres... comme celui-ci. Il puise son inspiration tout autant dans la culture pop, l'art médiéval, l'animation japonaise ou encore l'iconographie des affichistes européens.



CNRS EDITIONS À L'ŒIL NU

Sylvain Chaty

la colonisation de
l'espace

À L'ŒIL NU

Sylvain Chaty

l'espace

la colonisation de

À L'OEIL NU

Dessins
Lili des Bellons

© CNRS EDITIONS,
COLLECTION « À L'OEIL NU », 2020
ISBN 978-2-271-13257-4

CNRS EDITIONS



À L'OEIL NU

Depuis toujours : une attraction spatiale

Qui n'est pas (encore) allé sur la Lune ? Tout le monde s'y est rendu, grâce à divers moyens, certains extraordinaires, d'autres plus communs. En parcourant une nouvelle, un roman de science-fiction ou une bande dessinée, en regardant un film à la télévision ou au cinéma, ou tout simplement en marchant, en imaginant, ou même lors d'un songe, un rêve de Lune... Il faut dire que la Lune est brillante dans le ciel nocturne, bien visible même en plein jour, qu'elle change régulièrement et périodiquement de forme, qu'il s'agit d'un satellite de grande taille, et situé très près de la Terre, ce qui explique les détails aperçus très clairement à sa surface. On peut aisément inventer des êtres y vivant, ou même s'imaginer en train de se promener dans un paysage lunaire, modelé non seulement de cratères, mais aussi de maisons abritant les habitants de la Lune, ces fameux Sélénites !



Les Grecs anciens Nombreux sont les Grecs anciens qui croyaient la Lune habitée. Au VI^e siècle avant notre ère, le philosophe pré-socratique Xénophane de Colophon pensait qu'il s'agissait d'un monde tout entier recouvert de villes et de montagnes. À la même époque, les pythagoriciens soutenaient qu'elle était le séjour des âmes purifiées au terme de leur passage sur la Terre. Six siècles plus tard, dans son dialogue *De Facie, De la face qui paraît sur la Lune*, Plutarque, philosophe et moraliste de langue grecque, parle de la Lune comme d'une « terre céleste », d'un « lieu de délices à la révolution douce et tranquille ». Il introduit des idées scientifiques, presque astronomiques, portant sur l'observation de la surface lunaire, et de son apparence lors des différentes phases de son orbite autour de la Terre. Enfin,

Nombreux sont les Grecs anciens qui croyaient la Lune habitée. On parle alors d'un « lieu de délices à la révolution douce et tranquille »

il affirme : « Rien ne prouve que la Lune ne puisse pas être habitée ». Mais le premier auteur à envoyer un homme sur la Lune est l'écrivain satiriste grec du II^e siècle de notre ère, Lucien de Samosate. Dans son *Histoire véritable* (titre paradoxal puisqu'il relate un conte facétieux, que certains qualifient même de premier récit connu de

science-fiction), probablement inspiré par des récits de marins pris dans une tempête, Lucien raconte que le personnage principal et ses compagnons, embarqués sur un navire, sont rapidement emportés dans les airs par une forte tempête, jusqu'à finalement débarquer sur la Lune. Ce récit s'avère aussi être une satire des conflits sur Terre, les voyageurs découvrant, en arrivant sur la Lune, une bataille céleste entre les armées du roi de la Lune et celles du roi du Soleil, toutes deux composées de gigantesques créatures fantaisistes...

La Renaissance Mais c'est lors de la Renaissance, et plus encore au début du XVII^e siècle, que la littérature lunaire fleurit, stimulée par les observations de la Lune, à travers la toute nouvelle lunette astronomique, dont la construction fut améliorée par Galilée. C'est en effet le premier astre qu'il pointe avec sa lunette à l'hiver 1609, et sa grande surprise à la vue de la Lune grossie est décrite de manière très émouvante,



dans son recueil d'observations intitulé *Le messager des étoiles*. Il y découvre des cratères, des collines, des monts éclairés par le Soleil couchant, bref un monde bien moins plat que ne le laissait entendre la philosophie aristotélicienne ! Dans *Somnium* (« rêve » en latin), une nouvelle de l'astronome allemand Johannes Kepler publiée en 1634, ce dernier prédit que la perfection du vol pourrait permettre de conduire à la colonisation de la Lune. Ce livre, probablement inspiré par les écrits de Plutarque et Lucien, décrit un rêve qu'aurait eu Kepler au sujet d'un garçon islandais de 14 ans, nommé Duracotus : transporté en 4 heures à 50 000 miles à travers l'éther grâce à l'aide d'un démon, le garçon parvient à l'île de Levania (la Lune), un monde très froid et dénué d'air, peuplé d'êtres de taille monstrueuse. Duracotus explore les deux hémisphères lunaires (la face visible et la face cachée) de manière très sérieuse et scientifique, sans oublier de relater les observations de la Terre, qui devient à son tour la Lune, depuis ce nouveau renversement de perspective !

À la même période, l'historien anglais Francis Godwin, relate dans *L'Homme dans la Lune*, publié à titre posthume en 1638, un « voyage de découverte utopienne ». Il s'agit du récit d'un fugitif espagnol, Domingo Gonsales, emporté de plus en plus haut par une espèce imaginaire de cygne sauvage capable de voler en emportant de lourdes charges. Pendant ce voyage, Gonsales décrit des vues aériennes de la Terre, dignes des images satellitaires actuelles. Il atteint finalement la Lune au bout de douze jours, où il rencontre les Lunaires, un peuple de chrétiens de grande taille, habitant ce qui ressemble à un paradis utopique, communiquant par l'intermédiaire de « sons étranges ». Gonsales vit six mois en leur compagnie, ce qui lui laisse le temps de délivrer des spéculations scientifiques sur la lumière, le mouvement planétaire (il est très influencé par la théorie copernicienne), et le « pouvoir d'attraction » lunaire.

« Car dès que la flamme eut dévoré un rang de fusées, qu'on avait disposées six à six, par le moyen d'une amorce qui bordait chaque demi-douzaine, un autre étage s'embrasait, puis un autre... » : cette description, qui pourrait faire penser au décollage du lanceur géant de la NASA, *Saturn V*, en direction de la Lune, est en fait celle de l'envol de Dyrcona, personnage principal de *L'Autre Monde : histoire comique des états et empires de la Lune et du Soleil* de Cyrano de Bergerac, propulsé par sa « machine » prenant feu vers la Lune. Pendant son séjour, Dyrcona nous explique comment les Sélénites

communiquent entre eux (probablement inspiré par Godwin), comment ils écrivent et écoutent des livres, comment ils indiquent l'heure en utilisant leur nez comme cadran solaire, et enfin comment ils fabriquent des machines volantes magnétiques, les prémices de la supraconductivité ! Encore plus étrange, il nous relate la manière dont se nourrissent les Sélénites, qui se rassasient uniquement en humant les effluves des mets. Dans la deuxième partie de l'ouvrage, Dyrcona part à la rencontre des peuples du Soleil, pas toujours très accueillants, en partie parce qu'eux-mêmes ont souvent été maltraités par les habitants de la Terre...

« L'ingénieur Murchison lance l'étincelle électrique. Une détonation formidable retentit, suivie d'une gerbe de feu. La terre se soulève. Le projectile fend victorieusement l'air au milieu des vapeurs... » De nouveau, le décollage de *Saturn V* ? Non, il s'agit cette fois-ci des trains de projectiles envoyés par un énorme canon vers la Lune, imaginés par l'écrivain Jules Verne, dans *De la Terre à la Lune*, publié en 1865. Verne décrit de la manière la plus réaliste possible l'envoi d'un obus sur la Lune, accompagnant la description de cette opération d'un bilan à la fois scientifique, technologique et financier. Il y inclut en particulier l'angle et la vitesse nécessaires au succès du lancement du vaisseau spatial, nommé Columbiad, propulsé depuis la Floride. L'écrivain britannique H. G. Wells, dans son roman *Les premiers hommes dans la Lune* (1901), s'affranchit de tout canon : il préfère plutôt imaginer une substance anti-gravité, la cavorite, capable tout simplement d'envoyer sur la Lune un vaisseau sphérique en acier ! De là à franchir l'espace à pied, il n'y a qu'un pas, ce que fait d'ailleurs l'astronome français Camille Flammarion, en anticipant, grâce aux formidables avancées de la science qu'il prévoit dans le futur, des voyages entre planètes, rendus possibles grâce à des ponts construits entre les différents mondes. Ainsi, les habitants de toutes les planètes pourront se promener à loisir dans l'ensemble du système solaire... Flammarion n'oublie pas de mentionner, dans son *Astronomie Populaire* (1880), la possibilité que notre satellite soit habité...

Dyrcona part à la rencontre des peuples du Soleil, pas toujours très accueillants, en partie parce qu'eux-mêmes ont souvent été maltraités par les habitants de la Terre...

Qu'en disent les Modernes Arrêtons-nous un instant : nous ne sommes pas toujours les voyageurs vers la Lune, parfois ce sont les Sélénites eux-mêmes qui désirent venir jusqu'à nous, afin de nous rencontrer, et pas toujours amicalement ! L'écrivain américain Washington Irving, dans son livre *La conquête par la Lune* (1809), décrit une invasion d'un peuple lunaire expert dans l'art de l'extermination, contre lesquels les Terriens n'ont aucune défense, et qui se veut une allégorie du traitement du peuple natif d'Amérique par les colons européens... Enfin, rappelons-nous que les Martiens ont également débarqué sur Terre, aux États-Unis, le 30 octobre 1938, par la voix du réalisateur américain Orson Welles, lors de sa célèbre émission de radio, une adaptation de *La guerre des mondes* (1898) d'H.G. Wells.

Evidemment, l'univers du cinéma est également très riche sur la colonisation de la Lune, d'autres planètes, ou même d'autres systèmes stellaires. Souvenons-nous ici de deux films emblématiques : *Le voyage dans la Lune* (1902), du réalisateur français Georges Méliès, avec cette superbe image de la Lune (en tarte à la crème) recevant dans l'œil droit le projectile envoyé par les savants humains. Ceux-ci découvrent d'ailleurs avec effroi que les Sélénites ne sont pas aussi sympathiques qu'ils pouvaient l'espérer, ils leur faut donc fuir, non sans livrer bataille lors de leur retraite, en ramenant à leur insu l'un des Sélénites sur Terre, qu'ils montrent ensuite à l'humanité tel un animal de foire ! Mentionnons aussi le film du réalisateur autrichien Fritz Lang, *La femme sur la Lune* (1929), décrivant une ruée vers l'or lunaire, financée par des hommes d'affaires dénués de scrupules (toute ressemblance avec des personnes existantes ou ayant existé est purement fortuite !). Ce film aurait même inspiré l'ingénieur aéronautique germano-américain Wernher von Braun, le père du lanceur *Saturn V* qui emmènera 24 Américains vers la Lune lors des missions Apollo.

Enfin, bien sûr, la bande dessinée n'est pas en reste dans cet univers, et en premier lieu notre célèbre reporter Tintin, avec *Objectif Lune* (1952) et *On a marché sur la Lune* (1954) et une description très réaliste des conditions de construction de la fusée, de la préparation au lancement, des effets du décollage et de l'apesanteur, des conditions d'exploration lunaire, de l'absence d'oxygène, puis du retour sur Terre. Remarquons tout de même que la sélection des astronautes diffère quelque peu de la réalité...

Aujourd'hui, nous avons exploré *in situ* l'ensemble des planètes de notre système solaire, ainsi que plusieurs de leurs satellites. Mais nous savons que notre galaxie, la Voie lactée, outre le Soleil, contient entre 200 et 300 milliards d'étoiles, et notre univers plusieurs centaines de milliards de galaxies, ce qui fait tout de même un total de quelques dizaines de milliers de milliards de milliards d'étoiles... Nous connaissons plus de 4 000 exoplanètes, des planètes orbitant autour d'étoiles autres que le Soleil, situées dans notre galaxie mais en dehors de notre système solaire. Et nous sommes maintenant en mesure d'observer notre univers au moment de sa naissance, lors du Big Bang, et de prédire son évolution bien après la mort du Soleil... Qu'il est loin le temps où Giordano Bruno, prêtre dominicain italien, après avoir affirmé « qu'il existe une infinité de terres, une infinité de soleils et un éther infini », et après un long procès de 8 ans, se retrouve condamné par l'Inquisition comme « hérétique impénitent, endurci et obstiné », avant d'être torturé puis brûlé vif le 17 février 1600, attaché sur un bûcher, sur la place Campo dei Fiori, au centre de Rome. En quatre siècles, nos connaissances scientifiques et technologiques ont réalisé un bond extraordinaire, et ce progrès n'est vraisemblablement pas près de s'arrêter. En parallèle à cette somme de connaissances sans cesse augmentant, notre imaginaire collectif sur la colonisation spatiale ne semble pas avoir de limite. C'est à cette aventure et à ce voyage que ce livre nous convie, tout en s'affranchissant des risques et dangers des voyages intersidéraux !



La bande dessinée n'est pas en reste dans cet univers, et en premier lieu notre célèbre reporter Tintin, avec *Objectif Lune* et *On a marché sur la Lune*.

1

Page 21

La colonisation
de la vie
sur Terre



Pourquoi
quitter
la Terre ?

Page 35

2

3

Page 51

Où partir ? :
de Mercure
à Mars

Où partir ? :
des astéroïdes
aux comètes

Page 65

4

5

Page 79

De la course
à la Lune ...

... au village
lunaire !

Page 93

6

7

Page 105

Les Terriens,
futurs Martiens ?

Terraformation :
quoi, pourquoi,
comment ?

Page 119

8

9

Page 135

Colonisation
d'exoplanètes,
vraiment ?

Mais où
sont-ils ?

Page 151

10



1



1

La colonisation de la vie sur Terre

4,57 milliards d'années se sont écoulées depuis la naissance du Soleil, né dans un grand nuage de poussière. Peu après sa naissance, la Terre se forme, puis son satellite la Lune. Sur Terre, la vie apparaît rapidement, avant de coloniser l'ensemble des continents et des océans. Des extinctions massives se sont produites, mais la biodiversité est encore présente aujourd'hui : il s'agit de la seule colonisation couronnée de succès, et connue à ce jour dans le système solaire !

Il y a 4,57 milliards d'années : naissance de la Terre et de la Lune

À l'instar des sept autres planètes du système solaire, la Terre primitive naît il y a 4,5682 milliards d'années (une datation précise à 200 000 ans près!) d'un nuage de poussières entourant une toute jeune étoile qui vient de naître, le Soleil. Au sein de ce nuage, des poussières s'accumulent pendant plusieurs millions d'années, s'assemblent sous l'effet de la gravitation, forment de petits morceaux de roche, puis des planétoïdes de plus en plus gros, jusqu'à des embryons planétaires de la taille de la Lune, pour finalement donner naissance à la proto-planète qui deviendra la Terre. C'est alors une boule en fusion, à l'intérieur très chaud, dépassant les 5 000 °C, rivalisant avec la température à la surface du Soleil.

Peu de temps après, entre 40 et 200 millions d'années après sa formation (soit il y a 4,53 à 4,37 milliards d'années), une autre jeune planète, nommée Théia, de la taille de Mars, entre en collision avec la Terre à la vitesse de 15 km/s (soit 54 000 km/h !). Cet impact de Titans crée une puissante onde de choc, vaporise littéralement les deux planètes, éjecte des milliards de tonnes de matière dans l'espace, et provoque la formation d'un disque de fragments de roche en fusion, en orbite autour de la Terre pendant plusieurs centaines d'années. Ces débris se solidifient pour former la Lune, un corps sphérique de 3 500 km de diamètre, en orbite à 22 000 km de la Terre : elle est alors 17 fois plus proche qu'aujourd'hui ! Après cette collision, la Terre se refroidit, et la croûte terrestre se solidifie. Une nouvelle atmosphère se forme, à partir du dégazage du magma provenant des profondeurs terrestres et des volcans, dominée par de l'azote (N₂), du dioxyde de carbone (CO₂), de la vapeur d'eau (H₂O), et probablement aussi du méthane (CH₄) : un environnement dénué d'oxygène (O₂), totalement irrespirable pour nous !

Il y a 4,1 milliards d'années : les météorites apportent l'eau... et la vie !

Après l'impact avec Théia, la Terre primitive a perdu toute son eau... Mais heureusement (!), entre 4,1 et 3,8 milliards d'années, la Terre subit un bombardement incessant d'une pluie de météorites, des débris de petits corps glacés – astéroïdes et comètes –, issus de la formation du système solaire. Ces météorites permettent à notre planète de reconstituer l'eau présente



aujourd'hui dans ses océans ! Bien sûr, chacune de ces météorites ne contient en son cœur qu'une infime quantité d'eau, mais comme ce bombardement dure au minimum 20 millions d'années, la Terre se recouvre peu à peu d'un océan d'eau liquide, d'une profondeur de quelques centaines de mètres. Ainsi, l'eau présente aujourd'hui à la surface de la Terre, dans les océans, les mers, les lacs, les fleuves, les rivières, provient de ce bombardement d'origine extraterrestre, qui se produit peu après la formation de la Terre... Et, bien que la masse d'eau ne représente actuellement que 0,1% de la masse totale de la planète, elle compte pour beaucoup : l'eau est un ingrédient essentiel à l'apparition et au développement de la vie sur Terre !

L'atmosphère de la Terre, chauffée entre 40 et 80°C par un effet de serre dû à une présence abondante de CO₂, permet de solidifier la croûte terrestre primitive. De la roche en fusion surgit de l'océan à environ 1 200°C, puis se refroidit en formant des îlots de roche volcanique, dont les dimensions augmentent peu à peu, avant de se rejoindre, donnant naissance aux « cratons », des roches en surface à l'origine des premiers continents, d'une épaisseur supérieure à 35 km. Notre planète, recouverte d'un océan d'eau liquide de faible profondeur mais de température élevée (entre 50 et 80 °C, à comparer aux 5 à 10 °C actuels), et parsemée d'une multitude de proto-continent (ressemblant à l'Islande, en plus grand), est déjà reconnaissable depuis l'espace par sa couleur bleue, unique parmi les planètes du système solaire. Cependant, l'atmosphère y est toxique, et la température à la surface

encore élevée. De plus, non seulement la vitesse élevée de rotation du globe alimente des tempêtes avec des vents très forts, mais aussi la proximité de la Lune (à seulement quelques dizaines de milliers de km de la Terre, à comparer à la distance actuelle de 384 000 km), augmentant son attrac-

Avec le temps, la Lune s'éloigne, freinant peu à peu la Terre, jusqu'à tourner aujourd'hui en 24 heures sur elle-même.

tion gravitationnelle, engendre de grandes marées déferlant sur les côtes terrestres. La Terre tournait en effet en 4 à 6 heures sur elle-même juste après la formation de la Lune... Avec le temps, la Lune s'éloigne, freinant peu à peu la Terre, jusqu'à tourner aujourd'hui en 24 heures sur elle-même.

« Des étoiles à la vie ! »

Les étoiles naissent dans des nébuleuses (de grands nuages interstellaires composés de gaz et de poussière) là où se forment aussi les planètes, dans l'environnement proche de leur étoile-mère. Les étoiles vivent ensuite de quelques millions à quelques milliards d'années, jusqu'à ce qu'elles meurent, souvent dans de grandes explosions. Au cours de sa vie, une étoile comme le Soleil transforme en son cœur, à des températures d'une dizaine de millions de degrés, l'atome d'hydrogène en atome d'hélium. Puis, vers la fin de sa vie, le Soleil transformera, à la température d'une centaine de millions de degrés cette fois-ci, l'atome d'hélium en atome de carbone. Peu à peu et jusqu'à sa mort, le Soleil expulsera dans l'espace une partie des atomes d'hélium et de carbone qu'il a fabriqués. Si la durée de vie du Soleil est estimée à une dizaine de milliards d'années (le système solaire ayant 4,57 milliards d'années, le Soleil en serait aujourd'hui à la moitié de sa vie), les étoiles de plus grande masse vivent moins longtemps, parfois même seulement quelques dizaines de millions d'années. Ces étoiles massives fabriquent, en plus de l'hydrogène et du carbone, des atomes plus lourds, tels que l'azote, l'oxygène, jusqu'au fer.

À la fin de leur vie, lors d'explosions gigantesques, elles réussiront même à fabriquer des atomes parmi les plus lourds, tel que l'uranium ! C'est lors de ces explosions que les étoiles libèrent autour d'elles de grandes quantités d'atomes lourds, alimentant nos fameuses nébuleuses, d'où naîtront d'autres étoiles, et autour d'elles d'autres planètes. Peut-être même que sur ces planètes apparaîtront des formes de vie, à partir d'assemblages d'atomes construits au cœur des étoiles massives, et expulsées lors de leur mort violente : carbone, hydrogène, azote, oxygène, phosphore, soufre, etc. Nous, à l'instar de toutes les formes de vie sur Terre, sommes composés d'une multitude de molécules constituées de ces atomes de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, etc. forgés au cœur des étoiles... Finalement, nous devons nous rendre à l'évidence : nous sommes le résultat d'agrégats d'atomes stellaires, des poussières, des « résidus » d'étoiles ! Et le plus étonnant, est que nous sommes constitués d'atomes qui ont été forgés par des étoiles massives, mortes bien avant que le Soleil ne naisse... Ce qui veut dire que notre âge atomique est bien supérieur à 4,5 milliards d'années... Non, l'astronomie ne rajeunit pas !

Ce bombardement météoritique incessant n'apporte pas que de l'eau : les météorites, en se décomposant au fond des océans, libèrent du carbone (C). Or la vie terrestre est basée sur la chimie du carbone, associée à cinq atomes principaux – hydrogène (H), azote (N), oxygène (O), phosphore (P) et soufre (S) –, pour former des molécules dites organiques. Les molécules de carbone les plus simples, telles que le CO₂ et le CH₄, présentes dans l'atmosphère sous forme gazeuse, s'assemblent en générant les premières molécules organiques, qui permettront de constituer des molécules pré-biotiques, à l'origine de l'apparition et du développement de la vie : il s'agit des briques constituant les premiers organismes vivants. Ainsi, les météorites apportent non seulement l'eau, mais aussi la vie !

Il y a 3,85 milliards d'années : l'apparition de la vie, « filière océanique »

Dans l'eau froide des fonds sous-marins, il existe des « cheminées hydrothermales » dont s'échappent des liquides bouillants, chauffés par le magma volcanique s'infiltrant par des fissures créées par fracturation hydraulique au sein des roches poreuses de la croûte terrestre. À leur contact, l'eau se réchauffe, transformant l'océan en une véritable soupe chimique, dont les différents composants s'assemblent en structures organiques complexes, jusqu'à donner naissance à une vie primitive microscopique, constituée d'organismes mono-cellulaires. Aujourd'hui, il est difficile de rechercher ces traces de vie primitive sur Terre, à cause du recyclage continu de la surface terrestre, du ruissellement des eaux, des rayons ultra-violet du Soleil, sans oublier la transformation de la surface de la Terre par la vie elle-même (les plantes, les forêts, les sédiments, etc). Ainsi, il ne subsiste quasiment plus de roche datant des périodes les plus précoces de l'histoire de la Terre. Les géologues en ont tout de même retrouvé dans trois endroits sur Terre : en Australie, en Afrique du Sud, et au Groenland. D'ailleurs, les plus anciennes traces de vie, datant de quelque centaines de millions d'années seulement après la formation de la Terre, auraient été identifiées sur une île au sud-ouest du Groenland, sous forme de micro-organismes fossiles (des « stromatolites ») de quelques centimètres, coincés entre des dépôts sédimentaires, formés dans des conditions de pression et de température élevées. Ces micro-fossiles

se seraient formés au fond de la mer, peut-être à proximité de cheminées hydrothermales.

L'arbre de vie Les *bactéries* sont les premiers organismes à apparaître sur Terre, il y a probablement 3,85 milliards d'années : ces organismes unicellulaires, dont les descendants sont aujourd'hui omniprésents, sont les plus vieux habitants de la planète Terre ! Un deuxième type d'organismes, nommé *archées*, apparaît plus tard : ce sont les premiers, il y a 500 millions d'années, à coloniser les roches nues de la Terre primitive, survivant avec un minimum de ressources. Peu à peu, la vie se développe partout sur Terre, grâce aux bactéries et archées de l'extrême : les extrémophiles ! Parmi eux, citons les hyperthermophiles, survivant dans des milieux aux températures élevées (geysers de sources chaudes, fumeurs noirs...), les halophiles (milieux salés), les acidophiles (milieux acides), alcalophiles (milieux basiques), et autres méthanophiles (saturés en méthane), etc. Enfin, un troisième type d'organismes, les *eucaryotes*, dont l'apparition remonte à 2 à 3 milliards d'années, sont les premières formes de vie complexes, la plupart multicellulaires. Nous les êtres humains, ainsi que l'ensemble des animaux, végétaux et champignons, faisons partie de cette grande famille des eucaryotes. Arrêtons-nous un instant pour saluer au passage cette cellule, qui par sa biodiversification, connaît un grand succès d'adaptation aux différentes conditions ayant existé par le passé et existant actuellement sur la planète Terre !

En remontant aux origines de la vie sur Terre, nous atteignons le plus lointain ancêtre commun à l'ensemble des organismes actuels, baptisé « LUCA » (*Last Universal Common Ancestor*), bien que nous ne le connaissions pas... LUCA est imaginé comme l'une des formes primordiales, précurseur de la vie cellulaire moderne, dont descendent tous les organismes vivants sur Terre : bactéries, archées et eucaryotes. Il s'agit très probablement d'un micro-organisme cellulaire dont l'existence remonterait à environ 4 milliards d'années, vivant dans une source hydrothermale riche en H₂, CO₂, N₂ et Fe. Pourtant, les conditions ayant permis de faire émerger LUCA restent l'un des grands mystères actuels de l'apparition de la vie sur Terre...



Des nuages interstellaires à la Terre, « filière spatiale »

Il est difficile (voire même impossible ?) pour les chercheurs de recréer la vie directement à partir des éléments disponibles à l'époque de la Terre primitive. Si les éléments constituant les molécules pré-biotiques à l'origine de la vie, tels que les acides aminés, ne peuvent pas être conçus sur Terre, alors il reste la possibilité d'un autre scénario : que ces éléments soient synthétisés dans l'espace, au sein des nébuleuses interstellaires, véritables réservoirs de gaz et de poussière. Aujourd'hui, plus de 150 molécules ont été détectées au sein de ces nébuleuses, dont 112 molécules organiques contenant jusqu'à 13 atomes. Comme les étoiles naissent au sein de ces nébuleuses, les matériaux de ces briques élémentaires se retrouvent piégés dans le nuage de poussière à l'origine des planètes du système solaire, dont la Terre. De plus, il est possible que ces éléments migrent d'une planète à l'autre, s'ils sont toutefois capables de résister à une série d'épreuves plus rudes les unes que les autres : le transport du nuage interstellaire à la planète mère, puis son expulsion, avant le voyage interplanétaire jusqu'à la planète hôte, la rentrée atmosphérique, et enfin l'impact à la surface. Ainsi, certains biologistes pensent que la vie a pu émerger d'abord sur Mars, avant d'arriver sur Terre, après un voyage inter-planétaire d'embryons de vie bactériologique : si cela était avéré, nous serions alors des descendants de Martiens, au sens propre du terme !

Apparition, disparition, renouveau de la vie

Mais attention, la vie telle que nous la connaissons sur Terre est fragile : cinq grandes extinctions de masse (regroupées sous le terme « *big five* ») se sont déjà produites au cours des 500 derniers millions d'années, d'intensité différente, pendant lesquelles plus de 75 % des espèces vivantes, animales et végétales, ont à chaque fois disparu. La première se produit il y a 444 millions d'années, marquant la transition entre l'Ordovicien et le Silurien. 85 % des espèces – essentiellement marines à cette époque – sont détruites, n'ayant pas su s'adapter à des changements climatiques et écologiques rapides causés par une glaciation entraînant la baisse du niveau des océans. La deuxième grande extinction se produit peu de temps après, vers -365 millions d'années, marquant la fin du Dévonien :

75 % des espèces sont détruites, probablement encore une fois à cause d'une importante glaciation. La troisième, et la plus grande des extinctions, se produit à la transition entre le Permien et le Trias (-252 millions d'années) : 75 % de la faune et de la flore terrestre, et 96 % des espèces marines, sont décimées en seulement 100 000 ans, à cause d'éruptions volcaniques. La quatrième, marquant la transition entre le Triasique et le Jurassique (-200 millions d'années), provoque la disparition de 20 % des espèces marines, et de la plupart des reptiles, oiseaux et amphibiens, soit au total la moitié de la biodiversité terrestre ! Cette extinction, concomitante au morcellement de la *Pangée*, supercontinent ayant regroupé l'ensemble des terres émergées, serait due à des éruptions volcaniques massives, pendant au moins 600 000 ans. Enfin, la cinquième et dernière extinction massive, à la transition entre le Crétacé et le Paléogène (-65 millions d'années) correspond à la chute d'une météorite ainsi qu'à des éruptions volcaniques, entraînant entre autres la disparition des dinosaures non-aviens (c'est-à-dire qui ne sont pas des oiseaux). On pourrait continuer cette énumération... De manière générale, ces crises du vivant sont toujours associées à de profonds bouleversements

Enfin, la cinquième et dernière extinction massive, il y a 65 millions d'années, correspond à la chute d'une météorite ainsi qu'à des éruptions volcaniques, entraînant entre autres la disparition des dinosaures non-aviens.

à une extinction s'adaptent aux nouvelles conditions, engendrant des formes inédites et différentes de leurs ancêtres. Par exemple, notre ancêtre mammifère, présent en même temps que les dinosaures à la fin du Crétacé,

de l'environnement, que ce soit la variation du niveau des mers de quelques centaines de mètres, celle de la teneur en dioxyde de carbone et dioxyde de soufre de l'atmosphère, ou encore le refroidissement ou réchauffement climatique.

Chacun de ces épisodes d'extinctions massives participe au renouvellement de l'évolution des espèces terrestres, et à la diversification de la vie post-extinction : les organismes dominants avant une extinction de masse, ne dominent plus après, si tant est qu'ils survivent. Inversement, les organismes survivant

ressemblait bien plus à une musaraigne qu'à ses descendants tels que l'ours ou la baleine. Idem pour les reptiles : ceux qui ont survécu à l'extinction du Permien-Trias ressemblent peu à leurs descendants. C'est l'effet du hasard, ou « contingence », invoqué par le paléontologue Stephen J. Gould pour justifier les transitions majeures lors des grandes extinctions, et qui nous empêche de prédire avec certitude le futur de l'évolution animale...

Mais finalement, pourquoi la vie est-elle apparue sur la Terre ?

On l'oublie parfois, mais l'apparition de la vie sur Terre, suivie de son expansion dans l'ensemble des mers et continents terrestres, aux conditions très différentes, depuis le fond des océans jusqu'aux pôles, en passant par les déserts arides et chauds, est une véritable colonisation de la planète Terre, peut-être même la seule colonisation d'une planète du système solaire qui ait réussi, et qui se soit maintenue sans discontinuité sur une échelle de temps aussi longue, de plusieurs milliards d'années ! C'est pour cela que les conditions qui ont favorisé hier l'apparition de la vie sur Terre, nous guident aujourd'hui dans notre recherche, non seulement de vie extraterrestre pouvant potentiellement exister ailleurs, mais aussi d'autres planètes que nous pourrions coloniser. Pour la Terre, les conditions favorables sont : sa distance au Soleil, le fait qu'elle possède une surface rocheuse entourée d'une atmosphère et d'eau liquide, l'activité de tectonique des plaques, la présence de la Lune, l'impact de micrométéorites, et l'existence d'un champ magnétique, agissant tel un bouclier contre les particules énergétiques émises par le Soleil. D'autres facteurs ont pu jouer un rôle non négligeable, comme par exemple la présence d'un océan, maintenu par une atmosphère freinant les micrométéorites, ce qui empêche qu'elles brûlent, permettant ainsi un apport conséquent, et quasi incessant, de molécules organiques. La taille de la planète importe aussi : une planète rocheuse trop petite (comme la Lune ou Mercure) est incapable de retenir une atmosphère, inversement une planète trop grande (comme Saturne ou Jupiter) est presque entièrement gazeuse.



2



2

Pourquoi quitter la Terre ?

4,57 milliards d'années après la formation de la Terre, la vie a réussi à coloniser l'ensemble de notre planète, se diversifiant très largement... Pourtant, cette biodiversité court actuellement un grave danger, en particulier à cause des activités humaines, qui entraînent dérèglement climatique, pollution, acidification des océans, etc., justifiant l'hypothèse d'une sixième extinction massive, ou de l'entrée dans une nouvelle époque : l'anthropocène. Se pose alors la question : si la situation se dégrade encore, comme le laissent supposer les projections actuelles, l'Homme sera-t-il un jour obligé d'envisager de quitter la Terre ?



La sixième extinction L'Homme, le plus grand des prédateurs, un prédateur si redoutable qu'il domine la Terre, modifie son climat et détruit la biodiversité, serait-il en train de creuser sa propre tombe ? Cette idée, aussi folle qu'elle puisse paraître, n'est peut-être pas si déraisonnable... L'action de l'Homme sur le cycle du carbone, via l'utilisation des réserves fossiles, provoque un réchauffement climatique, avec des conséquences non seulement sur l'atmosphère, mais aussi sur les océans, les glaciers, la flore, la faune, jusqu'au manteau terrestre... Enumérons quelques exemples : un tiers de la surface terrestre émergée est convertie en production agricole, les ressources d'eau douce s'épuisent plus vite qu'elles ne se renouvellent, les cycles naturels d'azote et de phosphore sont modifiés par l'utilisation des engrais, les réserves de poisson se vident, les océans voient leur température, acidification et salinité augmenter, à cause de la hausse des émissions de CO₂ et autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère. La spécificité du réchauffement climatique actuel réside dans sa rapidité : parmi les 16 années les plus chaudes sur la planète depuis le début des relevés (1850), 15 ont eu lieu depuis l'an 2000. Aucun facteur naturel n'ayant autant évolué depuis, seule l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, du fait des activités humaines, permet d'expliquer cette modification du climat, correspondant à une hausse de température moyenne de la Terre d'environ 0.6 °C depuis le début du xx^e siècle.

Ce changement climatique « anthropogénique » risque de présenter un impact à long terme sur la biosphère. La biodiversité terrestre disparaît à une vitesse inquiétante, certaines espèces risquant de s'éteindre avant même qu'on ne les découvre ! Les vertébrés, par exemple, auront vu leur population chuter d'environ 67 % entre 1970 et 2020, soit en seulement 50 ans... Parmi les grands mammifères, 60 % des plus grands carnivores, et au moins autant des plus grands herbivores, sont menacés d'extinction. Aujourd'hui, les écosystèmes sont partout menacés, les espèces disparaissent à cause de la dégradation de leur habitat, de l'agriculture, de l'exploitation forestière, de l'urbanisation, de l'extraction minière, de leur surexploitation par la chasse et la pêche, de la pollution, etc. Les océans eux-mêmes, abritant 70 % de la biodiversité, représentent une véritable bombe à retardement : ils ont absorbé jusqu'ici 93 % du réchauffement climatique. Mais ce rôle de tampon présente

DIRECTRICE DE COLLECTION

Anne Rose de Fontainieu

CONCEPTION GRAPHIQUE
ET MISE EN PAGE

Volume Visuel / Cyril Cohen

ILLUSTRATIONS

Lili des Bellons

PHOTOMONTAGES

Cyril Cohen

IMPRESSION

Imprimé en France par SEPEC
sur papier offset blanc 120 g/m²

Dépôt légal : mars 2020

Numéro d'impression :



10-31-1470 / CERTIFIÉ PEFC / CE PRODUIT EST ISSU DE FORÊTS GÉRÉES
DURABLEMENT ET DE SOURCES CONTRÔLÉES. / PEFC-FRANCE.ORG

