Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Les Cahiers Clairaut

Septembre 2026

Éditorial

Depuis des temps immémoriaux les hommes, se posent des questions sur l'existence d'êtres vivants sur d'autres astres. Dans le thème de ce numéro, un article décrit l'évolution historique du débat sur la recherche d'intelligences extraterrestres. Les arguments varient selon les époques mais « la pluralité des mondes » reste le fondement des croyances. Cependant dès l'Antiquité des conflits apparaissent entre écoles ; en particulier Aristote considère qu'il n'y a qu'un seule Terre au centre de l'Univers. Cette pensée va dominer le monde occidental jusqu'à Copernic et Giordano Bruno.

A l'ère spatiale, de nombreuses sondes sont parties visiter les astres les plus proches et l'on recherche activement des traces de vie hors de la Terre. Les sondes Pioneer 10 et 11[1], envoyées dans l'espace vers d'éventuels « êtres extraterrestres », présentaient un schéma d'un homme et d'une femme ainsi que la position de la Terre dans le Système solaire. Sur Terre les projets SETI tentent depuis très longtemps de capter des ondes électromagnétiques que pourrait nous envoyer une intelligence extraterreste. Sans aucun succès à ce jour.

Une nouvelle science, l'exobiologie, dédiée à cette recherche se développe un peu partout dans le monde. Actuellement la Terre reste la seule planète connue abritant la vie. On recherche ailleurs les conditions qui seraient favorable à son apparition. Mais pourquoi la vie, si elle existe ailleurs, ressemblerait-elle à celle que l'on connaît sur Terre ? Un certain nombre de scientifiques, avec J.P. Bibring, se demandent si elle ne résulterait pas d'innombrables facteurs contingents. En d'autres termes la vie sur Terre proviendrait d'une construction unique, issue d'une suite complexe d'événements aléatoires. D'autres, comme Nathalie Cabrol, pensent que la vie est probablement abondante dans l'Univers.

Nous souhaitons une bonne rentrée scolaire à celles et ceux qui sont concernés.

Christian Larcher pour l'équipe

Maquettes et modélisations en astronomie

Le nouveau hors-série, vient de sortir !

En vente sur notre site :

https://ventes.clea-astro.eu

Avec 256 pages d'activités !



1 https://fr.wikipedia.org/wiki/Plaque_de_Pioneer

Sommaire

Actualités

Brèves d'observatoires et autres nouvelles
Frédéric Pitout 2

Histoire

L'observatoire souterrain de Tycho Brahé
Frédéric Amauger 5

Bonnet d'âne 8

Dossier : **La vie extraterrestre** 9

Article de fond

Planètes terrestres : à la recherche de la vie
Thérèse Encrenaz 10

Article de fond

L'exobiologie des mondes océans
Hervé Cottin 15

Information

Le grand livre de l'exobiologie
Hervé Cottin 18

Article de fond

À la recherche d'intelligences extraterrestres
Nicolas Prantzos 19

La vie extraterrestre dans les anciens CC 24

Article de fond

Le Geipan
Frédéric Courtade 25

Article de fond

La vie dans l'Univers dans la SF
Marc Bussière 30

Mots croisés
Pierre Causeret 33

Observation

Le ciel d'automne 2026
Pierre Causeret 34

Réflexion

Expansion de l'Univers et dispute
Pierre Le Fur 35

Avec nos élèves

Construire un système solaire
Sébastien PALIX et Ghislain DESPAX 40

Avec nos élèves

Constellation d'Orion
Jean-Christophe Rat 43

Lecture pour la marquise

Cinq milliards d'années et Reliefs - Soleils
Frédéric Pitout 44

Vie associative

Compte rendu EEA 2026 45

Photos éclipse 2026 47

Solutions mots croisés 48

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

LES PLANÈTES TERRESTRES : À LA RECHERCHE DE LA VIE

Thérèse Encrenaz, LIRA (Laboratoire d'instrumentation et de recherche en astrophysique) Observatoire de Paris-PSL

Une question vieille comme le monde

Dès l'Antiquité, les hommes se sont interrogés sur leur place dans l'Univers, et sur l'éventualité d'une vie extraterrestre. Longtemps après les premiers débats entre les philosophes grecs, de Platon à Épicure, suivis de plusieurs siècles d'oubli, la question resurgit à partir du XVI^e^ siècle avec la révolution copernicienne : Giordano Bruno, Kepler, Galilée et plus tard Fontenelle et Flammarion évoquent ouvertement dans leurs écrits la possibilité d'autres modes habitables. La question de l'existence possible d'une vie extraterrestre n'a cessé de passionner le public, comme l'illustre l'épisode des « canaux martiens » qui a défrayé la chronique à la fin du XIX^e^ siècle : en 1877, l'astronome italien Schiaparelli annonce la découverte de structures rectilignes à la surface de Mars.

D'autres personnalités connues, dont l'Américain Percival Lowell, s'emparent de la découverte pour suggérer l'existence de Martiens intelligents occupés à créer des canaux d'irrigation dans le désert !

D'autres astronomes, dont Eugène Antoniadi à l'Observatoire de Meudon, prouvent quelques décennies plus tard que les fameux canaux ne sont qu'une illusion d'optique (figure 1) ; cependant, le mythe des canaux martiens perdurera jusqu'à ce que les premières sondes spatiales nous envoient des images du sol martien… dépourvu de canaux.

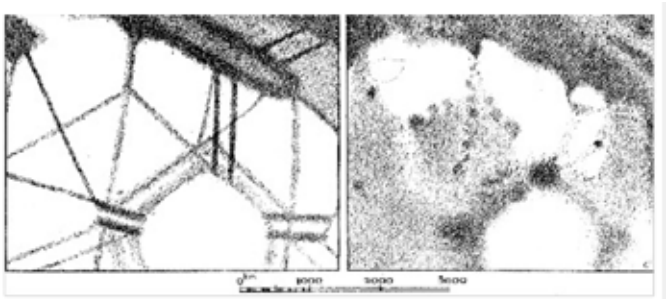


Fig.1. **Dessins des « canaux martiens » observés par Schiaparelli (à gauche) en 1877 et réobservés par Antoniadi dans les années 1920 avec un instrument plus performant. Crédit Observatoire de Paris.**

L'exploration des planètes terrestres

Dans le présent article, nous évoquerons les possibilités de vie à la surface des planètes terrestres, aussi appelées telluriques ou rocheuses : Mercure, Vénus, la Terre et Mars (figure 2). D'emblée nous écartons Mercure car le champ de gravité de cette petite planète très proche du Soleil n'est pas suffisant pour y maintenir une atmosphère stable. Notre analyse porte donc sur l'habitabilité de Vénus et de Mars.



Fig.2. **Vénus, la Terre et Mars représentées avec leurs dimensions respectives. Crédit NASA.**

Les premières observations des planètes remontent au début du XVII^e^ siècle, quand Galilée pointe pour la première fois sa nouvelle lunette vers le ciel. Dès lors, les observations se succèdent, dévoilant notamment les calottes polaires de Mars. Dans le courant du XX^e^ siècle, le développement de la spectroscopie permet d'étudier la composition atmosphérique des planètes. En 1958, les premières mesures réalisées dans le domaine radio créent la surprise en révélant une température très élevée (plus de 400 °C) à la surface de Vénus, elle-même cachée en permanence sous une épaisse couche nuageuse.

Les années 1960 marquent le démarrage de l'exploration spatiale, dans un contexte hautement concurrentiel entre les États-Unis et l'Union soviétique. En parallèle avec la course au premier homme sur la Lune, les deux agences spatiales s'engagent dans une exploration de Vénus et de Mars au moyen de sondes robotisées. L'aventure, de part et d'autre, est jalonnée de nombreux échecs. Les premiers succès sont américains, avec les survols réussis de Vénus par *Mariner 2* en 1962 puis Mars par *Mariner 4* en 1964. Très vite, la NASA se concentre sur Mars, avec en

particulier les missions *Mariner 9* et *Viking*, tandis que l'Union soviétique lance vers Vénus la série des sondes *Venera*, équipées d'atterrisseurs – un véritable exploit technologique, compte tenu des conditions de température et de pression infernales (93 bars !) qui règnent à la surface.

La mission *Viking*, en opération à partir de 1976 pour une durée de plusieurs années, a marqué une étape majeure dans l'exploration de la planète Mars. Deux modules de descente se sont posés à la surface de Mars avec pour premier objectif la recherche de traces de vie. Trois expériences de biologie étaient conçues pour rechercher respectivement des traces de métabolisme, la présence de micro-organismes et des signes de photosynthèse. Hélas, après quelques faux espoirs, tous les résultats se sont avérés négatifs. Pire, les spectromètres de masse n'ont pas détecté la moindre molécule organique… Toujours est-il que la déception suite aux résultats de *Viking* a été immense, au point que le programme spatial américain d'exploration de Mars a été interrompu pendant 20 ans !

À la fin du xx^{e} siècle, l'exploration spatiale de Mars reprend avec l'envoi par la NASA de missions moins coûteuses et plus ciblées. Les images des sondes *Mariner 9* et *Viking* ont montré la présence de vallées ramifiées qui semblent suggérer que l'eau liquide a coulé dans le passé de l'histoire de Mars (figure 3). Le nouvel objectif de la NASA est d'identifier et d'explorer ces sites potentiels où la vie, peut-être, aurait pu apparaître. Ces missions en orbite martienne, lancées tous les deux ans (selon les opportunités des fenêtres de tir) vont apporter de nouveaux indices suggérant la présence passée d'eau liquide sur Mars. En parallèle, un champ magnétique crustal fossile est découvert dans ces mêmes terrains anciens, attestant de la présence d'une dynamo – et donc d'un champ magnétique et d'une magnétosphère – au cours du premier milliard d'années. Tous ces résultats corroborent l'idée que l'atmosphère de Mars a été plus dense et plus humide au début de l'histoire de la planète. En 2012, le robot *Curiosity* (toujours en opération aujourd'hui) commence à explorer le sol martien afin de découvrir des sites « habitables » c'est-à-dire dont les conditions auraient pu être favorables à l'apparition de la vie. En 2021, le rover *Perseverance* reprend la même quête avec en plus la collecte et le stockage d'échantillons martiens, dans la perspective d'un transfert ultérieur vers la Terre, tandis que d'autres agences spatiales – Chine et Émirats arabes unis – se lancent dans l'exploration spatiale de Mars, en orbite ou au sol.

Quant à la planète Vénus, elle a été étudiée in situ par les sondes *Venera* qui nous ont, en particulier, envoyé les premières images du sol. Elles nous ont aussi révélé la

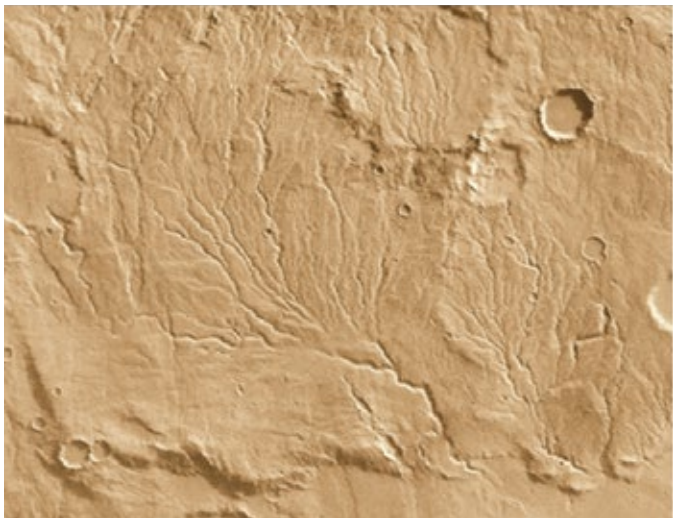


Fig.3. **Exemple de réseau de vallées ramifiées (ici Wareggo Valles) à la surface de Mars, observé par la caméra de la sonde Mars Express. Crédit ESA.**

composition atmosphérique dominée par le dioxyde de carbone. En 1979, la NASA, déçue par Mars, envoie la mission *Pioneer Venus*, composée d'un orbiteur et de quatre sondes de descente pour étudier les nuages, surtout formés d'acide sulfurique. Au début des années 1990, la mission américaine *Magellan*, en orbite autour de Vénus, cartographie au moyen d'un radar la surface de Vénus (figure 4). Celle-ci apparaît uniformément recouverte de volcans dont l'âge ne dépasse pas quelques centaines de millions d'années. Pendant les dix ans qui suivent, Vénus sera absente des programmes d'exploration spatiale.

C'est en 2005 que l'exploration de Vénus reprend, grâce à la mission *Venus Express* lancée par l'Agence spatiale européenne (ESA). Il s'agit d'un orbiteur qui se concentre sur les phénomènes atmosphériques et la recherche de traces de volcanisme présent ; elle restera en opération jusqu'en 2014.
La mission japonaise *Akatsuki* prend alors le relais. Son histoire est mouvementée : lancée en 2010, la sonde a raté son insertion en orbite vénusienne suite à la défaillance de son moteur principal ; elle poursuit alors une trajec-

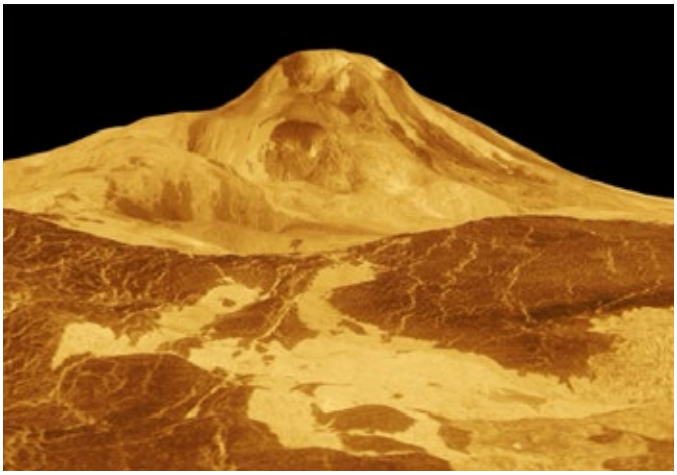


Fig.4. **Image de synthèse de Maxwell Montes, le plus haut volcan de Vénus, obtenue par le radar de la sonde Magellan en orbite autour de la planète. Crédit NASA.**

toire héliocentrique jusqu'à son insertion autour de Vénus cinq ans plus tard grâce à ses moteurs auxiliaires… et au savoir-faire des ingénieurs de la JAXA ! *Akatsuki,* en opération jusqu'en 2025, a apporté des informations nouvelles et une contribution importante sur la circulation atmosphérique de Vénus.

Vénus, la Terre et Mars : une évolution divergente

Les paramètres physiques, orbitaux et atmosphériques de Vénus, la Terre et Mars sont résumés dans le tableau ci-dessous. Vénus et la Terre sont très semblables en termes de masse et de volume, et donc de densité ; Mars est deux fois plus petite que la Terre en diamètre et dix fois moins massive. Bien que leurs conditions de surface, en pression et en température, soient radicalement différentes, les planètes Mars et Vénus ont des compositions atmosphériques très voisines, dominées par le dioxyde de carbone avec quelques pourcents d'azote moléculaire, et la vapeur d'eau est quasiment absente. La Terre, avec son atmosphère d'azote et d'oxygène et ses océans d'eau liquide, est très différente de ses voisines. Pourtant, les trois planètes se sont formées dans le même environnement…. Comment expliquer leur évolution divergente ?

Paramètre	Vénus	Terre	Mars
Distance au Soleil (ua)	0,72	1,00	1,52
Masse /Masse(Terre)	0,815	1,00	0,107
Rayon/Rayon (Terre)	0,95	1,00	0,53
Pression moyenne de surface (bar)	93,3	1,0	0,006
Température moyenne de surface (°C)	462	15	-63
Composition atmosphérique (%)	Vénus	Terre	Mars
CO_2	96,5	0,04	95,7
N_2	3,5	78,08	2,03
O2	-	20,95	0 ,17
Ar	0,0070	0,93	2,07
CO	0,0017	-	0,75
H_2O	0,0030	0,4	0,03
Masse moléculaire (g/mol)	43,5	29,0	43,3

Tableau.1. **Caractéristiques physiques, orbitales et atmosphériques de Vénus, la Terre et Mars.**

La température très élevée de la surface de Vénus a une explication simple : c'est l'effet de serre. Ce mécanisme intervient quand une atmosphère est transparente à la lumière visible mais opaque au rayonnement infrarouge (c'est l'équivalent des parois d'une serre de jardin). La surface, chauffée par le Soleil, émet un rayonnement infrarouge qui, en présence de certains gaz (CO_2, H_2O, CH_4) est bloqué par l'atmosphère ; il revient vers la surface et le mécanisme s'amplifie. Dans le cas de Vénus, dotée d'une atmosphère très dense et riche en CO_2, l'effet de serre s'est emballé, élevant la température du sol jusqu'à 460 °C. Notons que la Terre a échappé à ce destin funeste parce que ses deux composés atmosphériques principaux, N_2 et O_2, ne sont pas des gaz à effet de serre… heureusement pour nous.

Le fait que Vénus et Mars aient une composition atmosphérique similaire suggère que la Terre, au moment de sa formation, était également riche en CO_2 avec quelques pourcents de N_2. On peut comprendre, dans ses grandes lignes, l'évolution de son atmosphère de la manière suivante : placée entre Vénus et Mars, la Terre est juste à la bonne distance du Soleil pour que l'eau y soit sous forme liquide : elle serait sous forme de vapeur au niveau de l'orbite de Vénus, et sous forme de glace au niveau de celle de Mars. Le dioxyde de carbone a dû être présent en abondance au début de l'histoire de la Terre, mais il a été piégé au fond des océans sous forme de carbonate de calcium, c'est-à-dire de calcaire. La vie est apparue dans les océans terrestres il y a au moins 3,5 milliards d'années, et l'oxygène est apparu dans l'atmosphère il y a environ 2 milliards d'années. La question qui se pose est donc la suivante : si l'eau était présente en abondance au début de l'histoire de la Terre, elle a dû l'être également sur Vénus et sur Mars. Pourquoi et comment a-t-elle disparu ?

Nous avons un indice attestant de la présence d'eau en abondance au début de l'histoire de Vénus : il nous est fourni par l'eau deutérée HDO. Rappelons que l'atome de deutérium (D) est constitué d'un atome d'hydrogène (H, un proton et un électron) auquel s'ajoute un neutron ; il a les mêmes propriétés chimiques que l'hydrogène mais est deux fois plus lourd. Le rapport D/H mesuré à partir de HDO/H_2O dans les océans terrestres est très faible ($1{,}56\ 10^{-4}$). Or sur Vénus (également mesuré à partir du rapport HDO/H_2O), il est plus de 100 fois plus abondant. Cette différence peut s'expliquer dans l'hypothèse d'un échappement massif de l'eau au cours de l'histoire de la planète : suite à la dissociation de l'eau sous l'effet du rayonnement UV solaire, le deutérium, plus lourd, se serait échappé moins facilement que l'hydrogène, conduisant à un enrichissement en deutérium dans l'atmosphère de Vénus. Le même phénomène a été observé, dans une moindre mesure, sur la planète Mars : le rapport HDO/H_2O y est 6 fois plus élevé que sur la Terre. Dans le cas de Mars, il existe de multiples indices attestant de la présence d'eau, et même d'eau liquide, dans le passé de la planète : réseaux de vallées ramifiées dans les terrains anciens (figure 3), présence d'eau sous forme de pergélisol sous la surface, en particulier sous les pôles ; présence d'argiles dans les terrains anciens…. Tous ces éléments

tendent à suggérer que l'atmosphère primitive de Mars était plus dense et plus riche en eau qu'aujourd'hui.

Cependant, ce constat se heurte à une difficulté. Nous savons, par l'observation des différents types d'étoiles, que le Soleil, il y a 4 milliards d'années, était moins lumineux qu'aujourd'hui (70 % de son éclat actuel). Dès lors, la température d'équilibre à la surface de Mars à cette époque était bien inférieure à 0 °C. Comment l'eau a-t-elle pu être liquide dans ces conditions ? Le même problème se pose d'ailleurs aussi (dans une moindre mesure) pour la Terre : si, au cours d'une période de refroidissement, sa surface se recouvre progressivement de glace, la lumière solaire est réfléchie en plus grande quantité et la température de la surface diminue, entraînant une accélération de la glaciation. Comment la Terre a-t-elle échappé à une glaciation totale et définitive ? Dans le cas de la Terre comme de Mars, deux mécanismes peuvent être invoqués : le bombardement météoritique et le volcanisme, tous deux beaucoup plus importants qu'aujourd'hui au début de l'histoire des planètes. Le dégazage (sans doute de CO_2 et H_2O) qui en a résulté a pu alimenter un effet de serre suffisant pour permettre un réchauffement de l'atmosphère.

On peut donc résumer très schématiquement l'évolution des planètes terrestres de la manière suivante :

- Vénus, au départ, a pu avoir une température de surface compatible avec la présence d'eau liquide. Cependant, l'augmentation progressive de la lumière solaire a dû entraîner la dissociation puis l'échappement de l'eau et son effet de serre s'est ensuite emballé pour conduire aux conditions de surface actuelles.
- Sur la Terre, du fait de la présence des océans d'eau liquide, le CO_2 atmosphérique a été piégé au fond des océans sous forme de calcaire, ce qui fait que l'effet de serre est resté limité. L'apparition et le développement de la vie, dans les océans puis à la surface a entraîné la modification de la composition atmosphérique, aujourd'hui dominée par N_2 et O_2.
- Mars, nettement moins massive que la Terre et Vénus, a disposé dès le départ d'un champ de gravité et d'une quantité d'énergie interne limités, d'où une atmosphère moins dense que ses voisines. Sa dynamo interne s'est arrêtée au bout d'un milliard d'années, entraînant l'échappement d'une grande partie de l'atmosphère et son volcanisme s'est progressivement éteint.

L'apparition de la vie sur Terre et les conditions d'une vie extraterrestre

Venons-en au cœur du débat : pourquoi la vie s'est-elle développée sur la Terre et non sur ses voisines ? Et d'ailleurs, qu'est-ce que la vie, et quelles sont les conditions nécessaires à son apparition ?

Les biologistes s'accordent sur la définition des trois fonctions essentielles qui caractérisent la vie : (1) la différenciation vis-à-vis du milieu ambiant (par la membrane, constituée de lipides, qui cloisonne la cellule), (2) la capacité à utiliser l'énergie du milieu ambiant (c'est le métabolisme, assuré par une molécule capable de transférer l'énergie, l'adénosine triphosphate ATP) et (3) la reproduction et l'évolution, assurées par l'acide désoxyribonucléique ADN, qui, par la division de ses deux branches hélicoïdales, est capable de se reproduire à l'identique. Les biologistes sont aussi d'accord sur les conditions qui paraissent indispensables à l'éclosion de la vie telle que nous la connaissons : présence d'eau liquide, d'éléments nutritifs (ce sont les principaux atomes que l'on retrouve dans les molécules du vivant ; on les désigne sous le sigle de CHNOPS), et enfin présence d'une source d'énergie (celle-ci peut être solaire mais aussi chimique, hydrothermale ou associée à des décharges électriques). À ces conditions s'ajoute celle d'une certaine stabilité dans le temps de l'environnement considéré.

Nous ne savons toujours pas de quelle manière la vie est apparue sur la Terre. Deux hypothèses sont possibles : l'origine de la vie pourrait être extérieure, via la chute des météorites et des micrométéorites qui auraient ensemen-

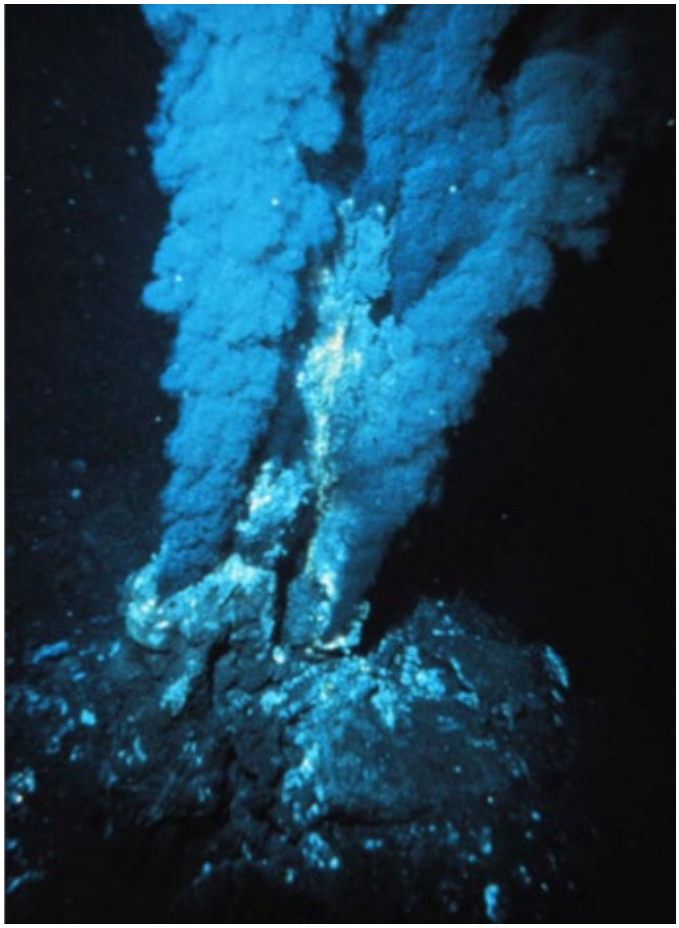


Fig.5. **Une source hydrothermale (fumeur noir) dans la fosse des Mariannes. Crédit : NOAA.**

cé la Terre en molécules prébiotiques (ce sont les molécules organiques complexes qui sont à la base du vivant, telles que les acides aminés que l'on trouve dans certaines météorites) ; la vie pourrait aussi être née au fond des océans, au sein de sources hydrothermales où l'on observe une prolifération d'organismes vivants (figure 5, page précédente). C'est cette deuxième hypothèse qui justifie l'intérêt que portent aujourd'hui les astronomes aux océans d'eau liquide présents sous la surface de certaines lunes glacées des planètes géantes. Dans le cas de Vénus et de Mars, sur lesquelles la vie est recherchée en surface ou en subsurface, les critères retenus pour l'apparition de la vie sont ceux que la NASA a choisis pour définir les « sites habitables » : présence passée d'eau liquide, de nutriments (CHNOPS), mais aussi milieu de pH neutre (ni trop acide, ni trop basique) et de faible salinité. De plus, la présence de fer ou de soufre dans différents états d'oxydation est un élément favorable car elle peut permettre des échanges d'énergie au travers de réactions chimiques.

La vie sur Vénus et Mars : pas d'indice à ce jour, mais une recherche active

Où en sommes-nous aujourd'hui de la recherche de la vie sur Vénus ou sur Mars ? Si aucun indice convaincant n'a été trouvé, les recherches se poursuivent activement, donnant parfois lieu à des déclarations excessives qui retombent rapidement dans l'oubli, faute de preuves.

Contrairement à ce que l'on pourrait penser au vu des conditions de Vénus aujourd'hui, la question d'une éventuelle vie passée (ou même présente) sur cette planète est le sujet d'un actif débat. Nous avons évoqué plus haut le fait que le Soleil au début de son histoire était nettement moins brillant qu'aujourd'hui. La température à la surface de Vénus aurait pu alors être compatible avec la présence d'océans, même si la question de leur stabilité fait l'objet de controverses. La vie pourrait-elle être apparue au sein de ces océans ? Rien ne permet de l'affirmer, mais on ne peut pas non plus l'exclure. Certains scientifiques vont même plus loin : à mesure que le Soleil brillait davantage et que la température du sol s'élevait, entraînant la disparition des océans, la vie pourrait-elle avoir migré progressivement au niveau des nuages, là où la température est aujourd'hui compatible avec la présence d'eau liquide ? Il n'y a actuellement aucune justification scientifique à cette assertion, mais la question continue d'agiter la communauté. En 2020, l'annonce de la découverte de la phosphine (PH_3) dans les nuages de Vénus, à partir d'observations en ondes millimétriques, a suscité l'émoi, car les modèles photochimiques actuels ne permettent pas d'expliquer sa présence en milieu abiotique. Bien que le résultat ait été largement contesté dans le milieu scientifique, l'intérêt porté à cette nouvelle témoigne de l'engouement du public pour le sujet. En 2022, les agences spatiales NASA et ESA ont décidé l'envoi de trois sondes spatiales qui iront visiter Vénus au début des années 2030.

Dans le cas de Mars, la recherche se poursuit avec les robots *Curiosity* et *Perseverance*. Un résultat récent remarquable a été obtenu à partir d'une réanalyse d'échantillons collectés par *Curiosity*, dans lesquels des chaînes carbonées (C_nH_{2n+2}) ont été découvertes ; leur origine pourrait être abiotique ou biogénique (voir l'article de C. Freissinet). Pour pousser plus avant la recherche, le retour d'échantillons martiens sur la Terre est nécessaire, en vue d'une analyse plus fine avec les moyens de laboratoire les plus performants. C'est la raison pour laquelle le robot *Perseverance* (fig. 6) a collecté un certain nombre d'échantillons en vue d'un retour ultérieur sur Terre. Malheureusement, la mission de retour *Mars Sample Return* a été annulée par la NASA en 2026. Cependant, la Chine prépare de son côté une mission analogue (*Tianwen 3*) qui pourrait rapporter sur Terre les premiers échantillons martiens à l'horizon 2031.

■

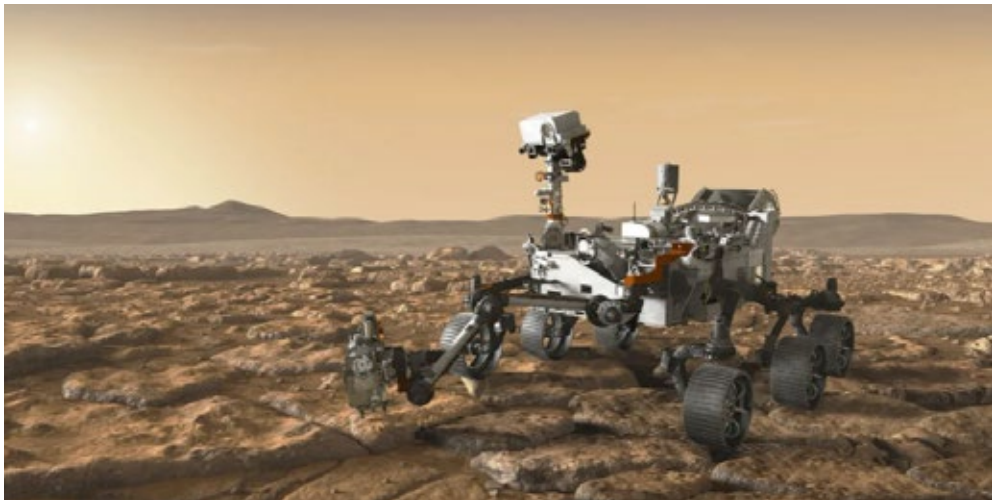


Fig.6. **Image d'artiste représentant le robot Perseverance à la surface de Mars. Crédit : NASA/JPL-CalTech.**

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf
ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

https://ventes.clea-astro.eu/

CONSTRUIRE UN SYSTÈME SOLAIRE À L'ÉCHELLE SUR UN TERRITOIRE

Sébastien PALIX, enseignant de technologie, collège « Les deux vallées », Le Cheylard (07), co-responsable de l'option « Astronomie »
avec **Ghislain DESPAX**, enseignant de sciences physique - chimie

Comment faire prendre conscience aux élèves des dimensions vertigineuses du Système solaire ? Malgré les schémas des manuels et les maquettes, les distances restent souvent abstraites. Pour dépasser cette difficulté, deux collèges ardéchois ont imaginé un projet original : représenter le Système solaire à l'échelle le long de la Dolce Via, une ancienne voie ferrée aménagée en voie verte. Mené avec 25 élèves, de la 6e à la 3e, ce projet interdisciplinaire a mobilisé observations, recherches documentaires, outils numériques et partenariats scientifiques. Il a abouti à la création d'un sentier accessible au public et a reçu le premier prix du concours « Découvrir l'Univers 2026 », organisé par la Société française d'astronomie et d'astrophysique (SF2A) en partenariat avec le CLEA.

La genèse du projet

Depuis deux ans, le collège du Cheylard propose aux élèves une option « Astronomie » (à raison d'une heure hebdomadaire), tandis qu'un club Astronomie a vu le jour cette année au collège de Saint-Agrève. Les deux établissements, distants d'une vingtaine de kilomètres, partageaient une même volonté : développer des projets scientifiques ambitieux et fédérateurs, en s'appuyant sur les ressources de leur territoire.

À l'origine du projet, les enseignants du Cheylard souhaitaient aller au-delà des activités classiques d'observation et proposer une réalisation concrète, visible et durable. L'idée d'un système solaire à l'échelle a rapidement émergé. La présence de la *Dolce Via*, ancienne voie ferrée reliant les deux communes, offrait un support idéal pour matérialiser les immenses distances du Système solaire.

Le projet a alors été proposé au collège de Saint-Agrève, qui s'est immédiatement associé à l'aventure. Cette collaboration s'est construite dans le cadre de la participation au concours *« Découvrir l'Univers 2026 »*, organisé par la Société française d'astronomie et d'astrophysique (SF2A). Elle a permis d'organiser des rencontres entre élèves (conférence, observations, sortie à vélo) et de bâtir un véritable projet de territoire, en partenariat avec *Planète Mars* (CCSTI de l'Ardèche) et l'Institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble (IPAG).

Pourquoi une mise à l'échelle ?

Les élèves savent généralement citer les planètes dans l'ordre, mais ils éprouvent souvent des difficultés à appréhender les distances qui les séparent. Les illustrations des manuels privilégient la lisibilité au détriment du respect des proportions : les planètes y sont surdimensionnées et les distances considérablement réduites, faute de pouvoir représenter simultanément les deux échelles.

Construire un système solaire à l'échelle permet de rendre ces ordres de grandeur concrets. En parcourant physiquement les distances, les élèves découvrent que le Système solaire est essentiellement constitué... de vide. Ils prennent conscience que les planètes, pourtant immenses, occupent une place infime au regard des espaces qui les séparent.

Une progression au service de la mise à l'échelle

La mise à l'échelle n'a constitué que l'aboutissement du projet. Tout au long de l'année, les élèves ont progressivement construit les connaissances nécessaires.

Le projet a débuté par l'étude de l'évolution des représentations du Système solaire, des modèles géocentrique et héliocentrique jusqu'aux observations de Galilée.

Ensuite, la conférence de Nicolas Scepi (IPAG) a apporté un éclairage scientifique sur les ordres de grandeur du Système solaire, la formation des planètes et sur le métier d'astrophysicien.

Chaque groupe a conduit des recherches documentaires sur une planète ou le Soleil à partir d'ouvrages, de ressources institutionnelles et de l'application en ligne *Solar System Scope*. Les élèves ont appris à croiser les sources avant de synthétiser leurs recherches sous forme d'affiches.

Plusieurs observations ont été réalisées. Deux soirées à l'Observatoire de Mars leur ont été l'occasion d'apprendre à utiliser un planiciel, de reconnaître les principales constellations et d'observer Jupiter et ses satellites au télescope.

L'observation du Soleil a constitué un autre temps fort. Les élèves ont observé les taches solaires à l'aide d'un

Solarscope et d'une lunette astronomique. Cette dernière était équipée d'un filtre solaire, maintenu par un porte-filtre conçu et imprimé en 3D par leurs soins. Ils ont enfin comparé leurs observations aux images de la sonde SOHO afin de mettre en évidence la rotation du Soleil sur lui-même.

De l'idée au sentier : les choix techniques

Le choix du support s'est rapidement porté sur la Dolce Via. Cette voie verte reliant Le Cheylard à Saint-Agrève offre une longueur suffisante pour appréhender les distances dans le Système solaire.

Le Soleil a été placé à l'ancienne gare du Cheylard et Neptune (8e et dernière planète) à celle de Saint-Agrève, située à environ 25 km. À partir de ces deux points, les élèves ont calculé le facteur d'échelle à l'aide d'un tableur :1 km sur le sentier représente environ 183 millions de km dans la réalité. Puis, ils ont déterminé à l'aide des formules adéquates les distances de toutes les planètes au Soleil. La même démarche a été utilisée pour calculer leurs diamètres à l'échelle.

D5 fx =D4/B4

Mise à l'échelle du système solaire (Le Cheylard – St Agrève)

	Distance Le Cheylard – St Agrève (Km)		Distance Soleil – Neptune (Km)
	24,500	→	4 498 000 000
	1	→	183 591 837

Echelle :	1	:	183 591 837

Objets célestes	Distance au Soleil (en Km)	Lieu bornes Sur le sentier	Distance à l'échelle (en Km)	Diamètre réel (en Km)	Diamètre à l'échelle (en Km)	Diamètre à l'échelle (en m)
Soleil	0	*Le Cheylard (Gare)*	0	1 390 000	0,0075711	7,57
Mercure	58 000 000		0,316	4 879	0,0000266	0,03
Vénus	108 000 000		0,588	12 104	0,0000659	0,07
Terre	150 000 000		0,817	12 754	0,0000695	0,07
Mars	228 000 000		1,242	6 792	0,0000370	0,04
Jupiter	778 000 000		4,238	142 984	0,0007788	0,78
Saturne	1 430 000 000		7,789	120 536	0,0006565	0,66
Uranus	2 870 000 000		15,633	51 118	0,0002784	0,28
Neptune	4 498 000 000	*St Agrève (Gare)*	24,500	49 528	0,0002698	0,27

Tableau.1.

Les élèves ont ensuite réalisé une représentation numérique des planètes avec une texture réaliste de leur surface afin de proposer une visualisation en réalité augmentée à la même échelle.



Fig.2. **Le modèle numérique du Soleil à l'échelle, visualisé en réalité augmentée, mesure 7,57 m et celui de Jupiter 78 cm.**

Du calcul à la réalité : l'installation du sentier

Une fois les distances calculées, les élèves ont reporté la position de chaque planète sur une carte numérique à partir d'une trace GPS de la Dolce Via. Ils ont ainsi pu préparer avec précision l'implantation des affiches sur le parcours.



Fig.3. **Fig.3. Carte du sentier du Système solaire.**

Lors d'une randonnée à vélo reliant Saint-Agrève au Cheylard, les élèves ont ensuite repéré les différents emplacements et installé les affiches réalisées au cours de l'année.



Fig.4. **Sur le sentier.**

En parcourant les quelque 25 km séparant Neptune du Soleil, ils ont matérialisé les positions des planètes à l'échelle et inauguré le sentier. Cette sortie a constitué l'aboutissement concret du projet.

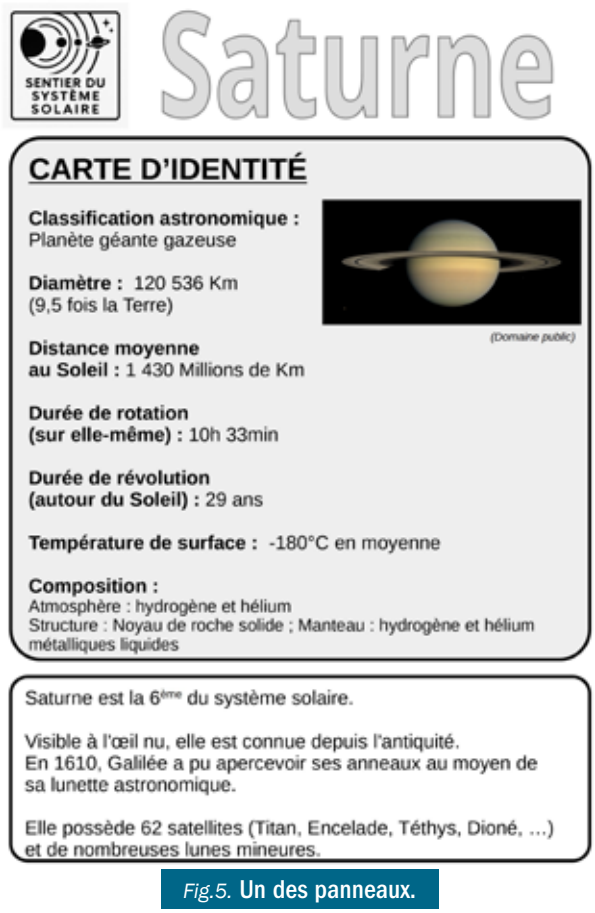


Fig.5. **Un des panneaux.**

Ce que les élèves ont appris

Le principal apport du projet réside dans la perception concrète des ordres de grandeur. Les distances entre les planètes, souvent difficiles à imaginer, deviennent tangibles lorsqu'il faut les parcourir à pied ou à vélo. La sortie reliant Neptune au Soleil a été particulièrement révélatrice. Arrivés à la Terre, située seulement quelques centaines de mètres après Mars, plusieurs élèves se sont exclamés : *« On y est déjà ! »*. Cette remarque spontanée montre combien le fait de parcourir physiquement les distances a modifié leur perception du Système solaire.
Par ailleurs, le projet a mobilisé de nombreuses compétences : recherche documentaire, validation et croisement des sources, traitement de données, utilisation d'un tableur, modélisation 3D, observation, communication orale et travail collaboratif.
Enfin, une dimension culturelle est venue enrichir cette approche scientifique. Une séance animée par le professeur documentaliste a conduit les élèves à découvrir la place du Soleil dans différentes civilisations ainsi que l'origine mythologique du nom des planètes. Cette ouverture a montré que l'observation du ciel ne relève pas uniquement des sciences : elle s'inscrit également dans l'histoire des sociétés, des croyances et des représentations du monde.

Une ouverture sur le territoire

Le Sentier du Système solaire est désormais accessible sur la Dolce Via. Les promeneurs peuvent découvrir les affiches réalisées par les élèves et parcourir, à leur rythme, une représentation du Système solaire à l'échelle.

En s'ouvrant au public, le projet dépasse le cadre scolaire et donne une dimension concrète au travail des élèves. Leurs productions ne constituent plus seulement un support d'apprentissage : elles deviennent un véritable outil de médiation scientifique.

Faire prendre conscience des dimensions vertigineuses du Système solaire : tel était l'objectif de départ. Nous espérons désormais que ce sentier pourra évoluer vers une installation pérenne, afin que cette découverte continue à être partagée pendant de nombreuses années. ■

QR code de la carte interactive du sentier (https://edurl.fr/sssC)

QR code de la vidéo de présentation du projet (https://edurl.fr/sssV)