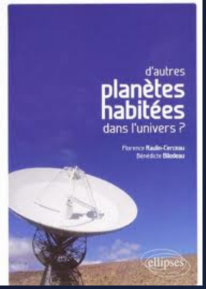


D'autres planètes habitées dans l'univers ?

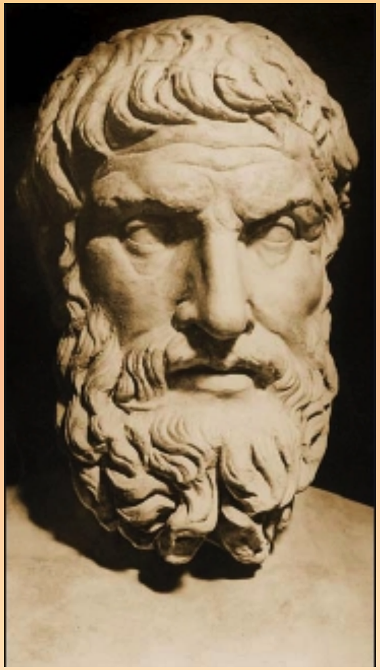
Florence Raulin Cerceau
Centre Alexandre Koyré
(UMR 8560 CNRS/EHESS/MNHN)
Muséum national d'Histoire naturelle
Site de Brunoy

Sommes-nous seuls dans l'univers ?

Dans l'Antiquité

Démocrite, Epicure, Lucrèce

Démocrite



Epicure

Lucrèce

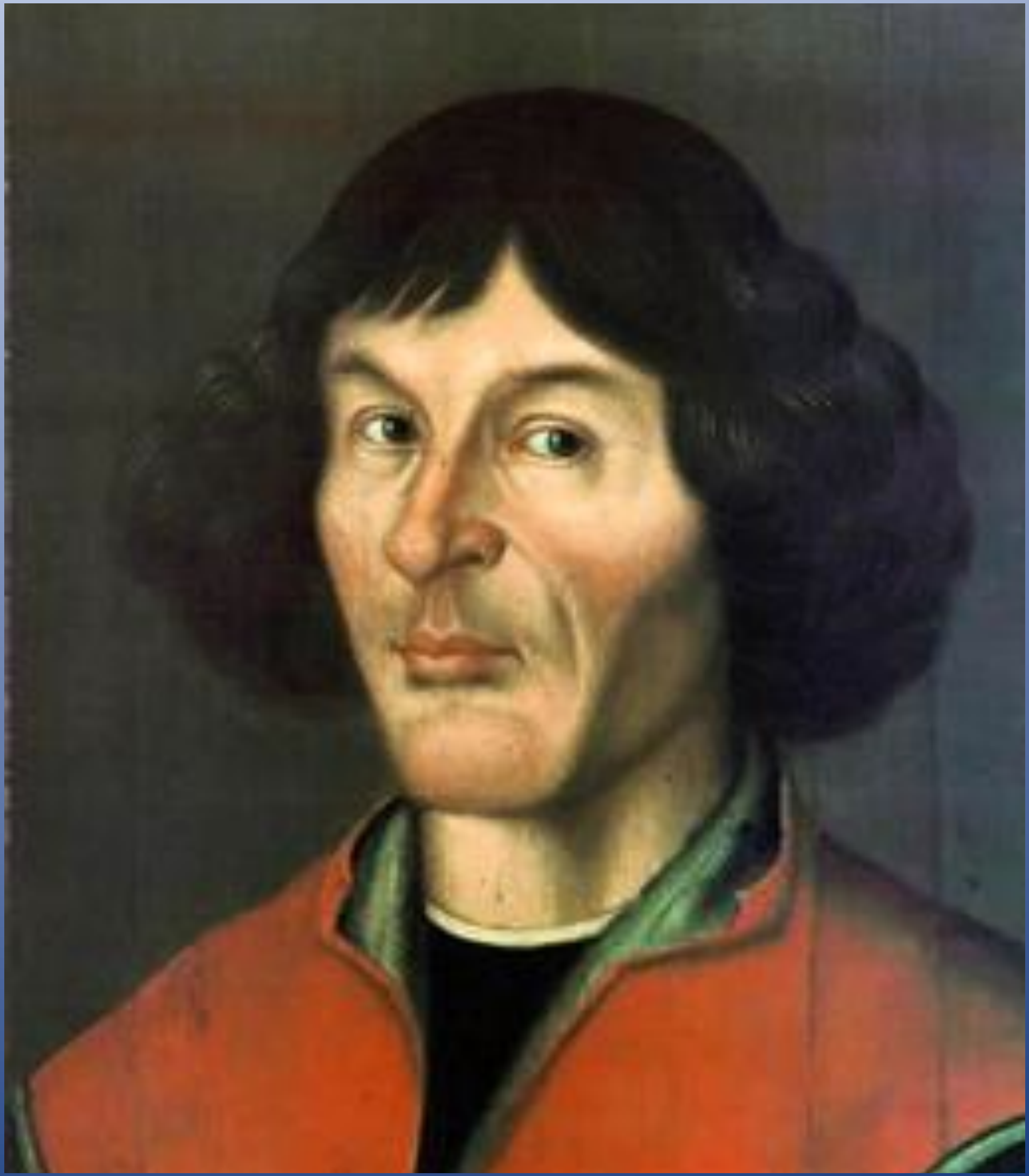
Les mondes innombrables

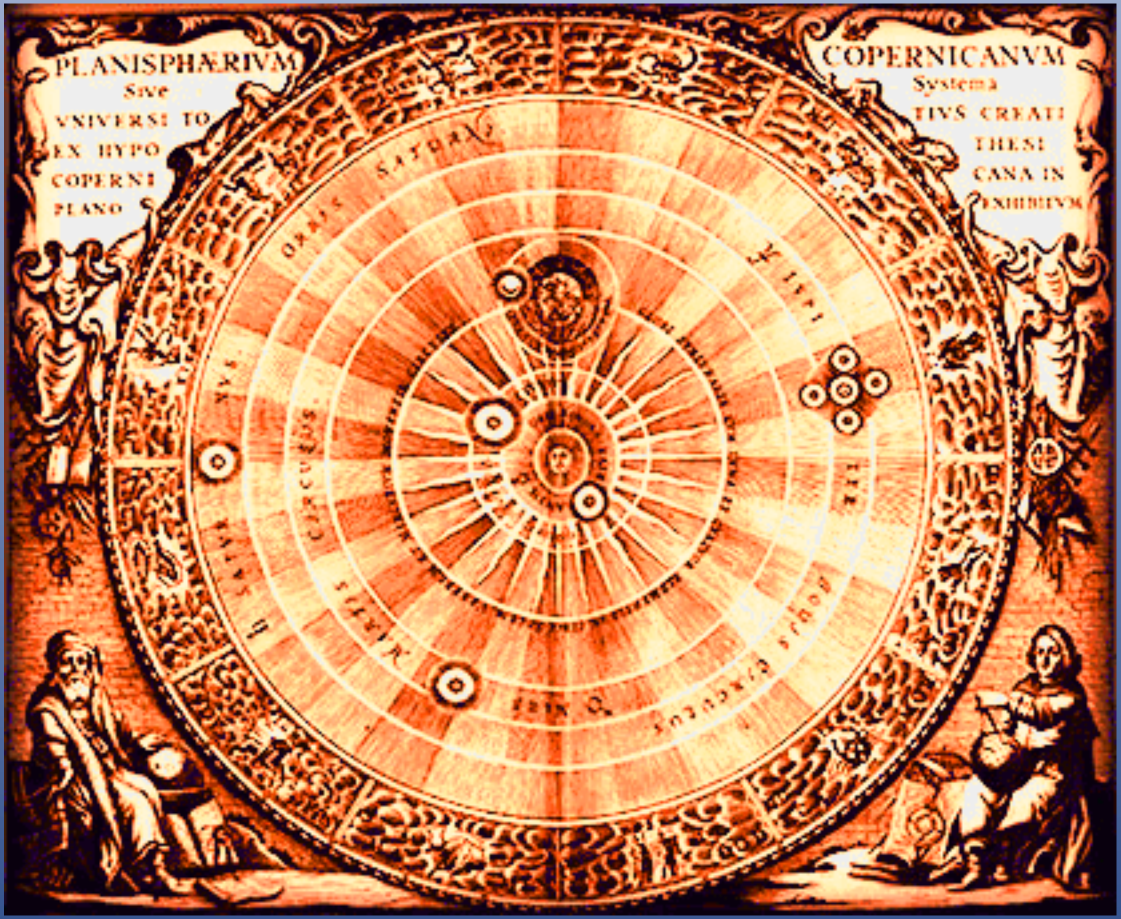
- Anaximandre : Pluralité des mondes et mondes innombrables se succédant, disparaissant puis apparaissant dans un mouvement éternel.
- Théorie de l'atomisme de Démocrite : Les combinaisons des atomes, leur mouvement, dû uniquement au hasard, forment des mondes innombrables.
- Epicure adopte l'« univers infini » de Démocrite qu'il peuple comme lui de mondes innombrables, naissant et périssant.
- Lucrèce dans *De Rerum Natura* parle de la « Pluralité des Mondes habités ».
- D'une manière générale, ceux qui admettent l'idée de mondes innombrables soutiennent également le fait qu'ils naissent et périssent à l'infini.

La théorie de Copernic

La place centrale de la Terre, et en conséquence celle de l'homme dans l'univers, sont remises en cause au XVI^{e} siècle avec l'astronome polonais Nicolas Copernic (1473-1543).

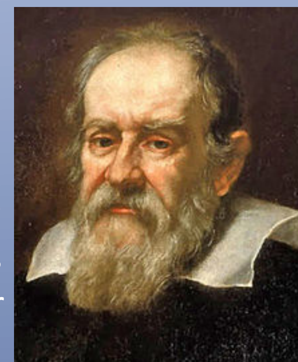
Sa théorie est développée dans *De revolutionibus orbium coelestium* (1543)

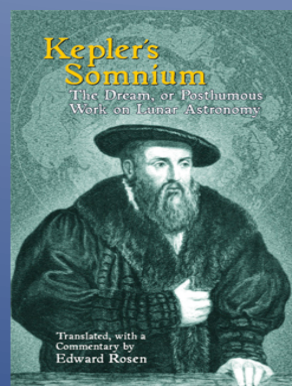



PLANISPHÆRIVM
Sive
VNIVERSI TO
EX HYPO
COPERNI
PLANO
COPERNICANVM
Systema
TIVS CREATI
THESI
CANA IN
EXHIBITVM

LES AUTRES MONDES DANS L'HISTOIRE

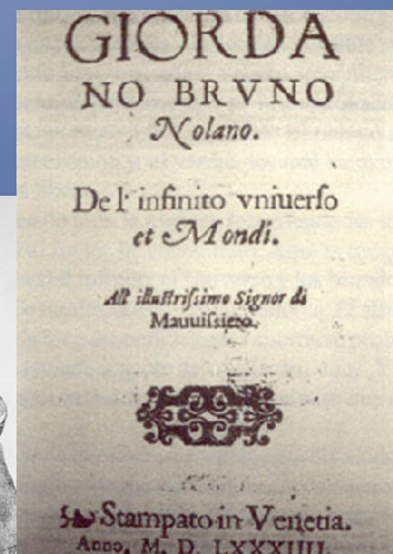
Galilée
(1564-1642)
Découverte des lunes de Jupiter





Johannes Kepler (1571-1630)

Les trajectoires des planètes sont des ellipses et leur vitesse n'est pas constante

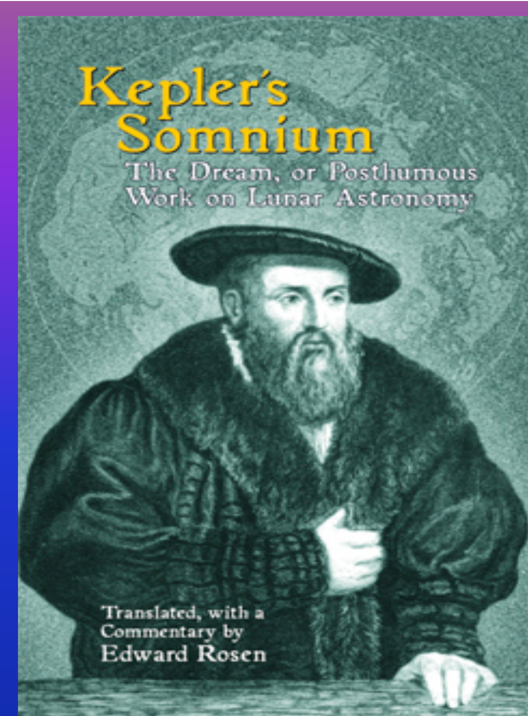

GIORDA
NO BRVNO
Nolano.
De l'infinito vniuerso
et Mondi.
All'illustrissimo Signor di
Mauuissiero.
Stampato in Venetia.
Anno, M. D. LXXXIIII.

Giordano Bruno (1548-1600)

L'infinité de l'univers peuplé d'une multitude de mondes

Le Songe De Képler

Johannes Képler



Giordano Bruno

Giordano Bruno

(dit le Nolain)

(1548-1600)

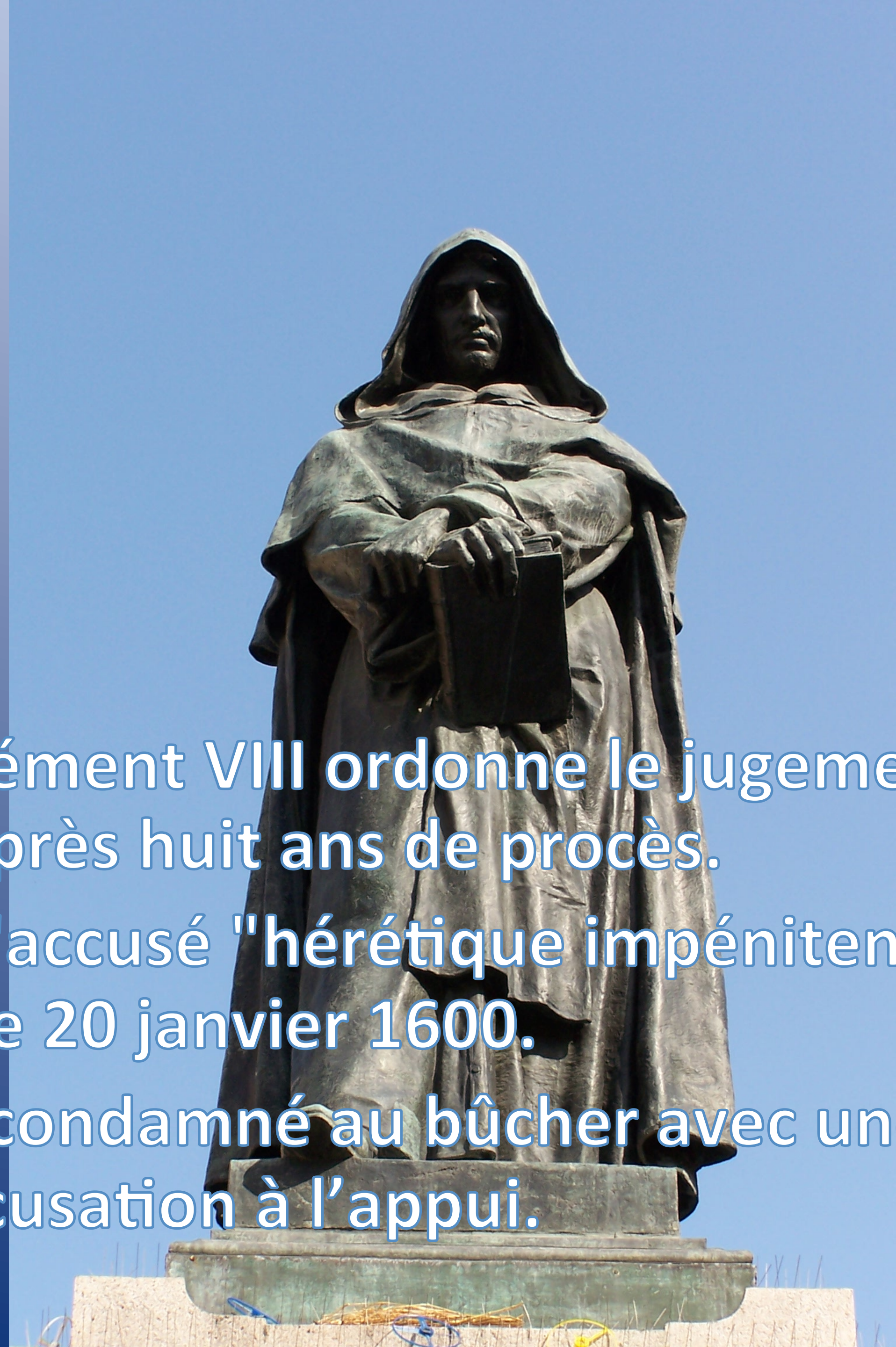
Dominicain dissident soupçonné d’hérésie,

il défend la théorie de Copernic.

L'infini, l'univers et les mondes (1584)
Giordano Bruno (1548-1600)
Dieu et la matière sont éternels et sans limites
L'univers est peuplé d'innombrables mondes

« Il est donc d'innombrables soleils et un nombre infini de terres tournant autour de ces soleils, à l'instar de ces sept terres que nous voyons tourner autour du soleil qui nous est proche ».

(Elpino dans *L'infini, l'univers et les mondes*)

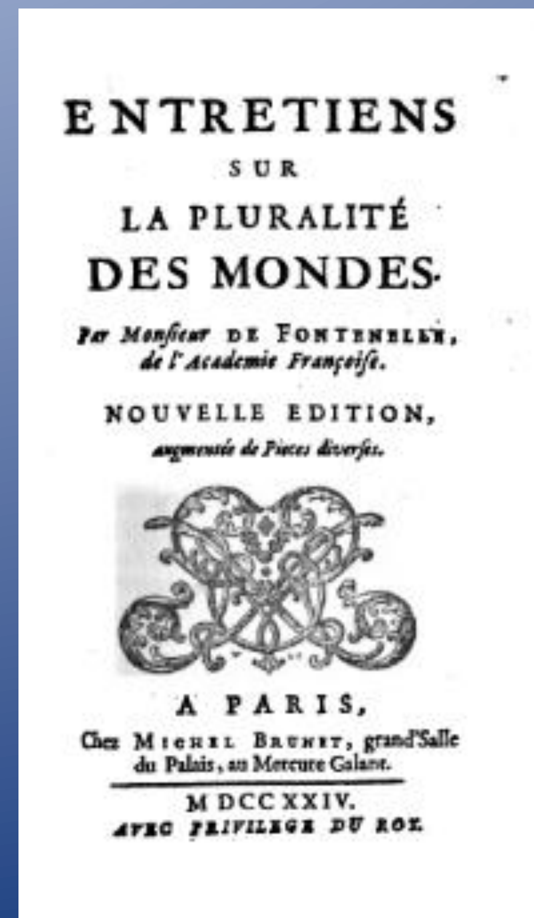


- Le Pape Clément VIII ordonne le jugement de l’accusé, après huit ans de procès.
- Il déclare l'accusé "hérétique impénitent, tenace et obstiné", le 20 janvier 1600.
- Bruno est condamné au bûcher avec une trentaine de chefs d’accusation à l’appui.

Bernard le Bovier de Fontenelle
(1657-1757)

Les Entretiens sur la pluralité des mondes (1686),

premier ouvrage de « vulgarisation » sur la vie dans le système solaire.



ENTRETIENS
SUR
LA PLURALITÉ
DES MONDES.

Par Monsieur DE FONTENELLE,
de l'Academie Françoise.

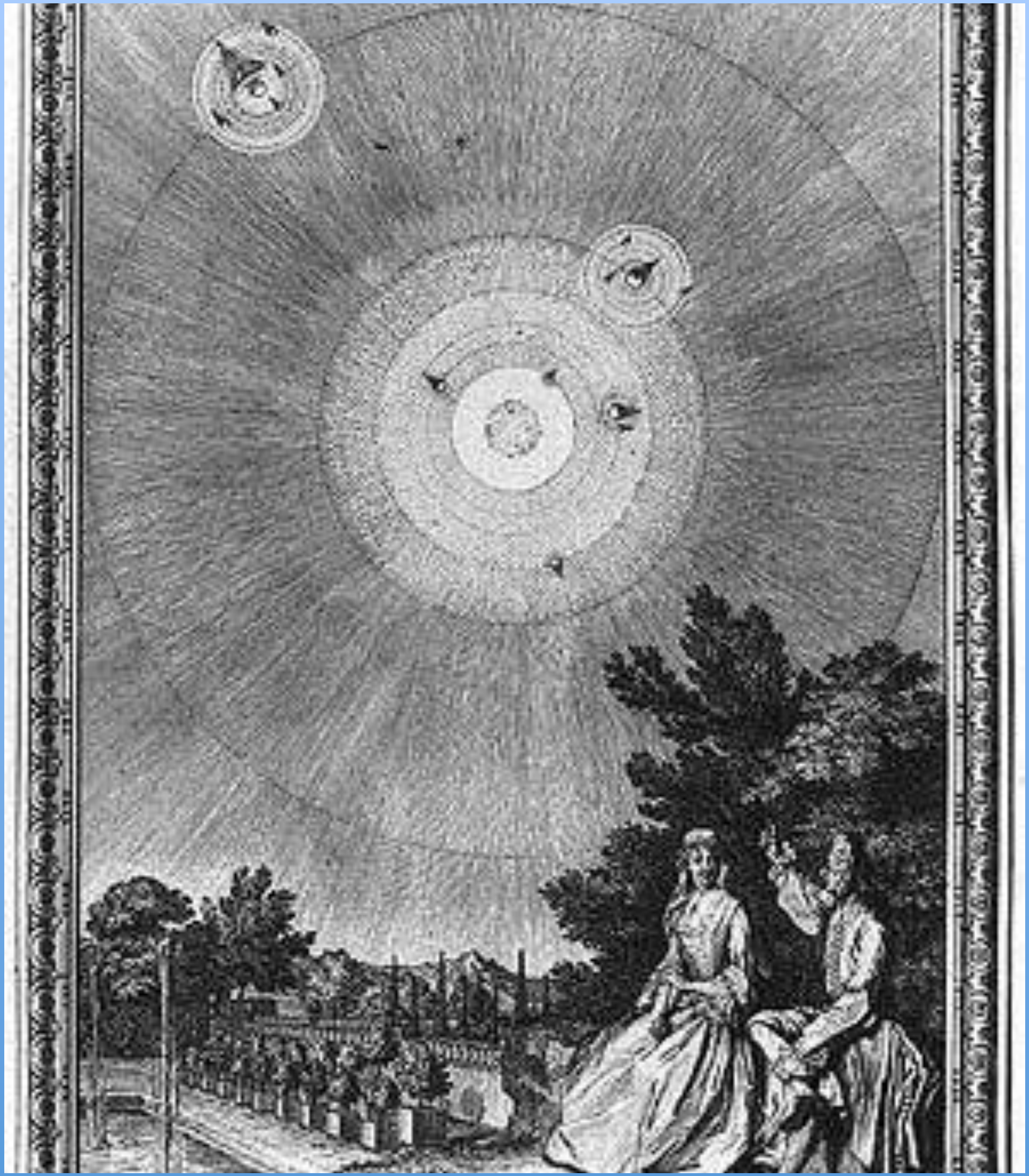
NOUVELLE EDITION,
augmentée de Pieces diverses.

A PARIS,
Chez MICHEL BRUNET, grand'Salle du Palais, au Mercure Galant.

M DCC XXIV.
AVEC PRIVILEGE DU ROY.

Les Entretiens sur la pluralité des mondes (1686)

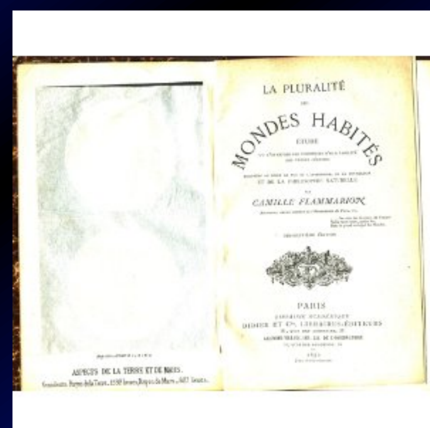
Les *Entretiens* représentent un dialogue fictif entre une Marquise cherchant l'instruction et son interlocuteur initié aux dernières connaissances astronomiques.

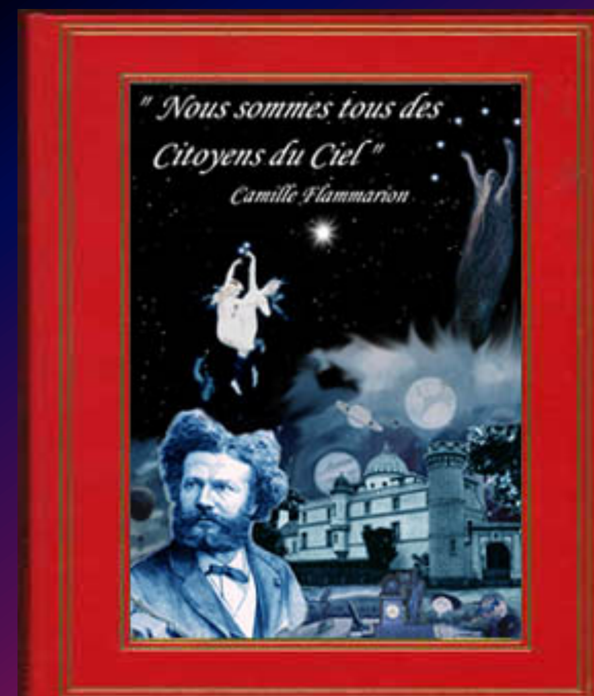


LA PLURALITÉ DES MONDES HABITÉS

(1862)

Camille Flammarion (1842-1925)



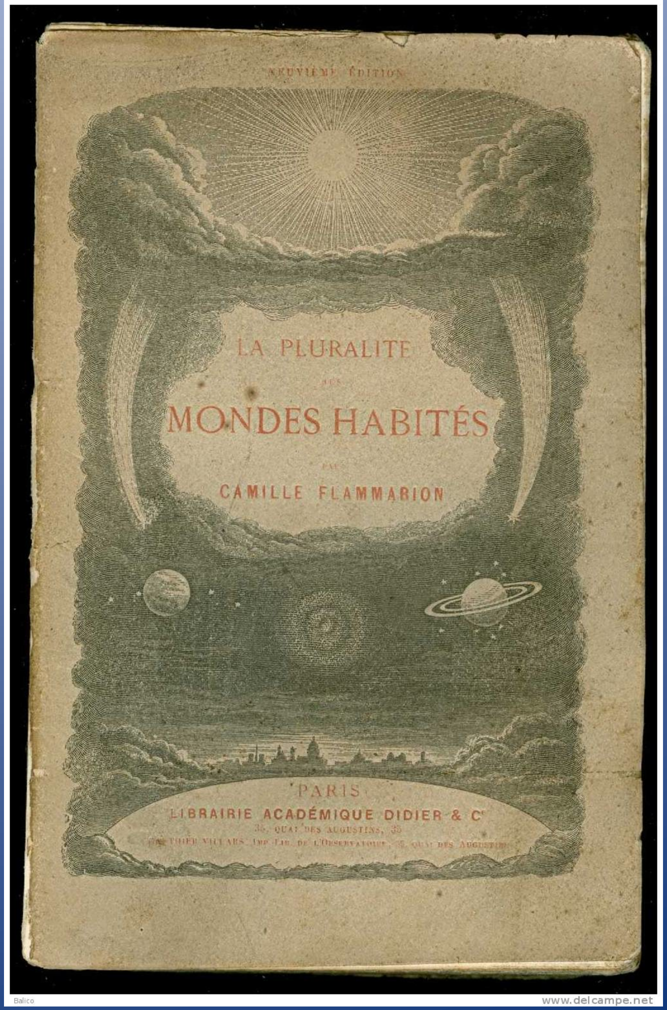


La pluralité des mondes de Flammarion

Une grande variété de mondes, une grande diversité dans leur nature astronomique, géologique, climatologique, et donc:

une grande variété des habitants des autres mondes,

voilà le concept sur lequel s'appuie Flammarion.



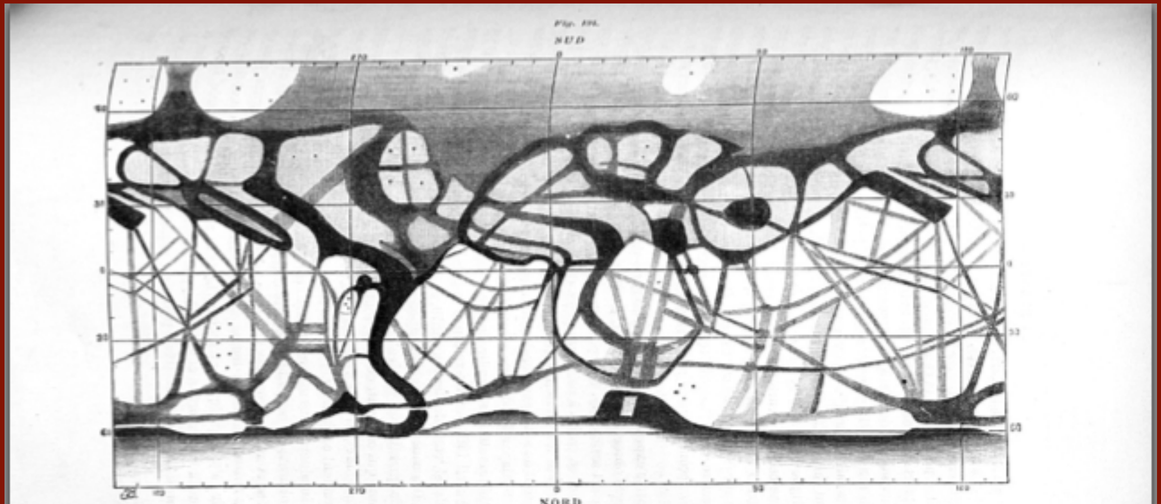
D’autres humanités planétaires ?

Camille Flammarion :

« La Terre n’a aucune prééminence marquée dans le système solaire de manière à être le seul monde habité, et que, astronomiquement parlant, les autres planètes sont disposées aussi bien qu’elle au séjour de la vie ».

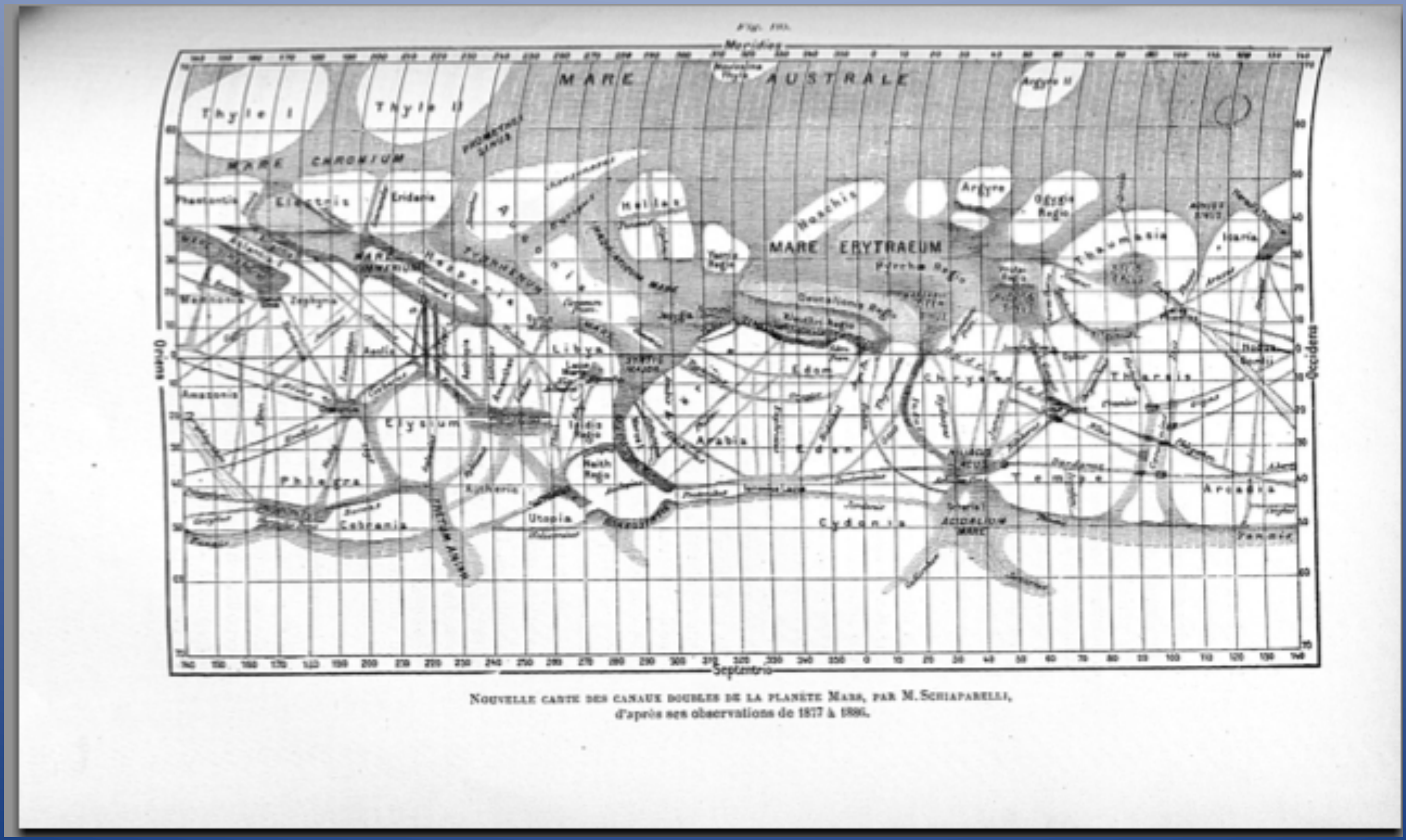
LE MYTHE DES CANAUX MARTIENS

1877 : Les observations de Schiaparelli



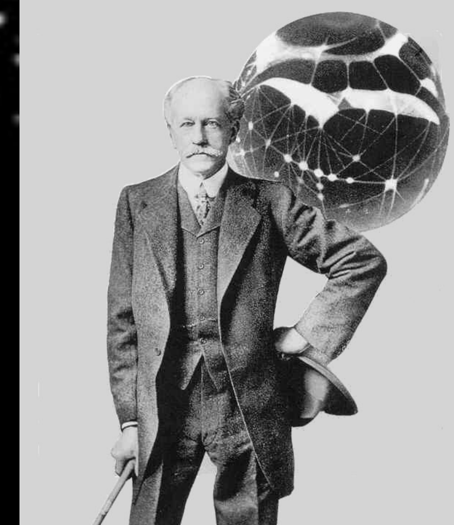
Canaux énigmatiques observés sur la planète Mars (Dessins de M. Schiaparelli).
(Aux points signalés par de petits cercles ooo, on a vu des taches blanches comme de la neige.)

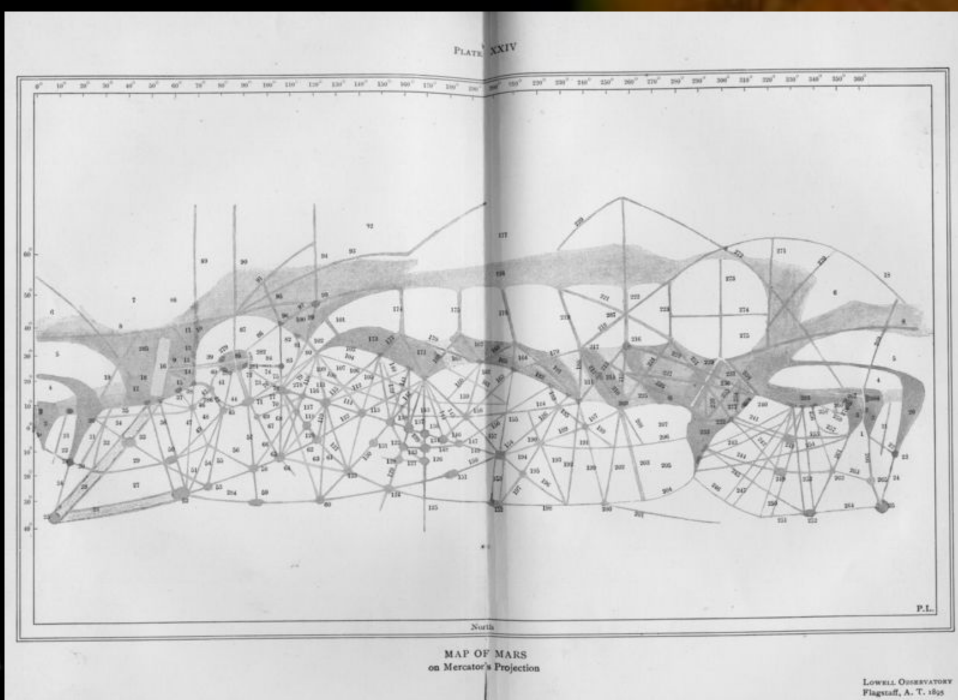
Nouvelle carte de Schiaparelli montrant les « canali » (Flammarion 1892)



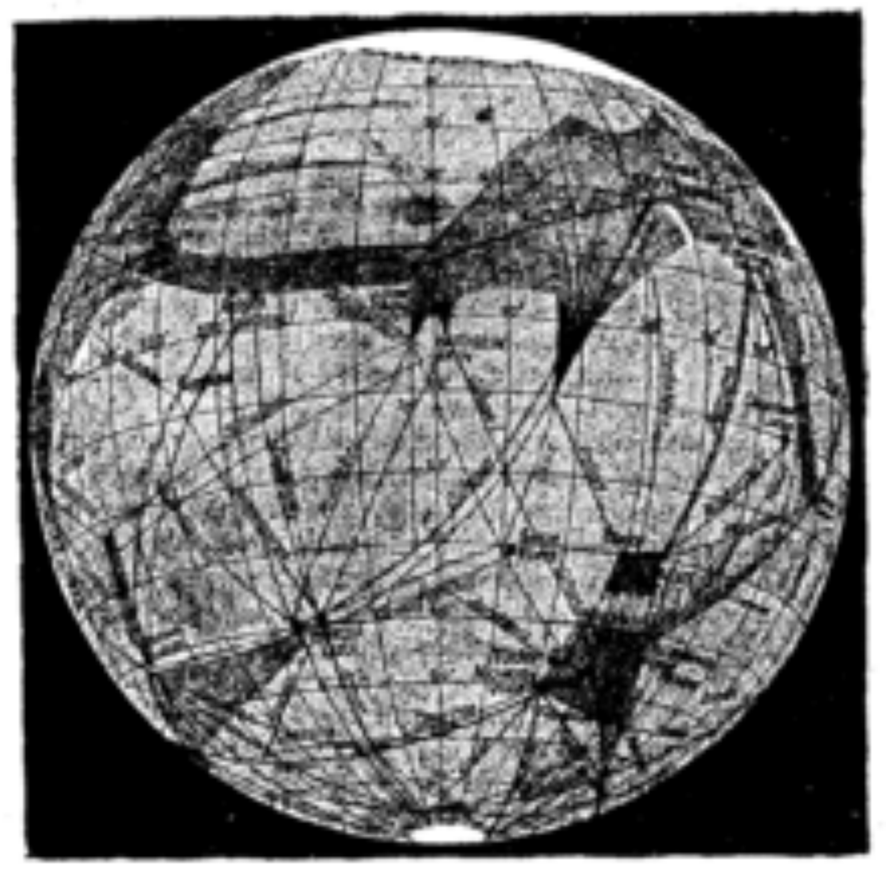
LES CANAUX SELON FLAMMARION

MARS vue par Percival LOWELL, 1895

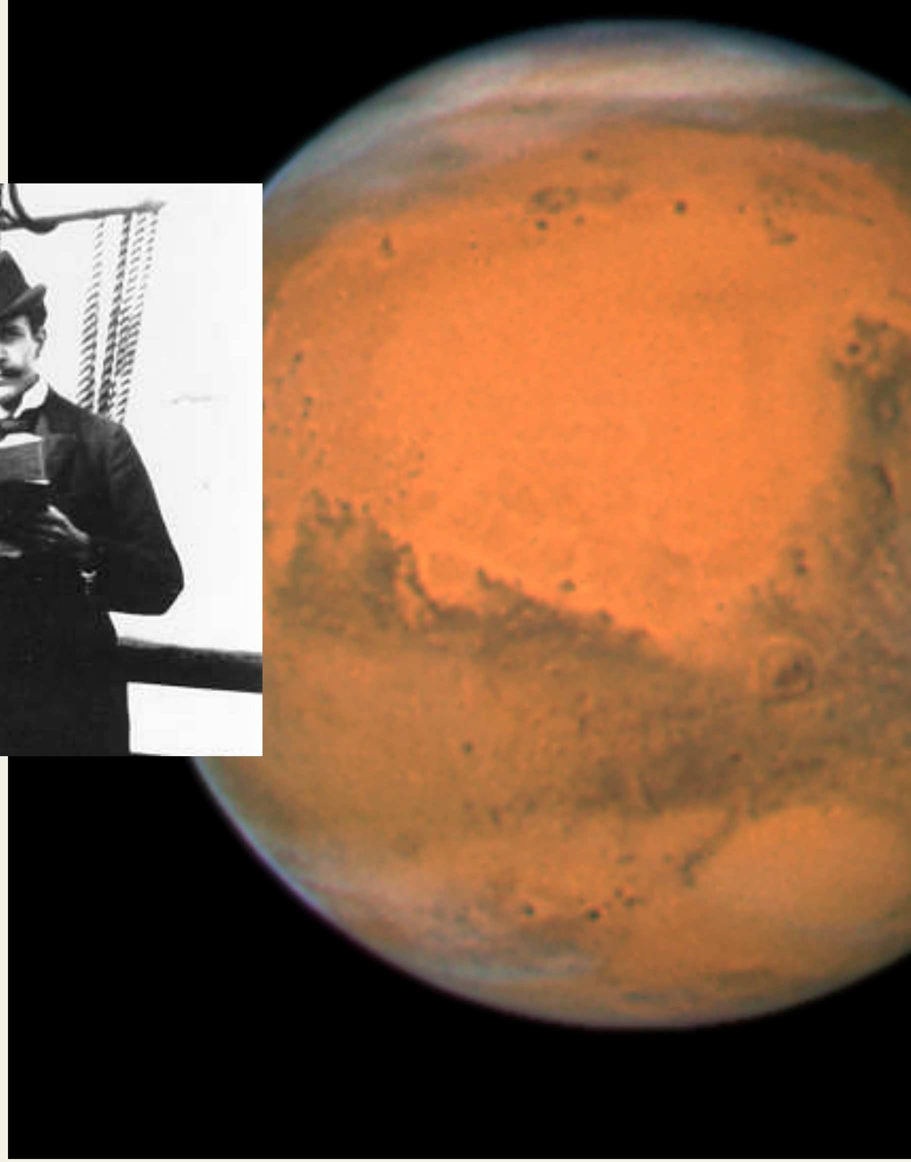


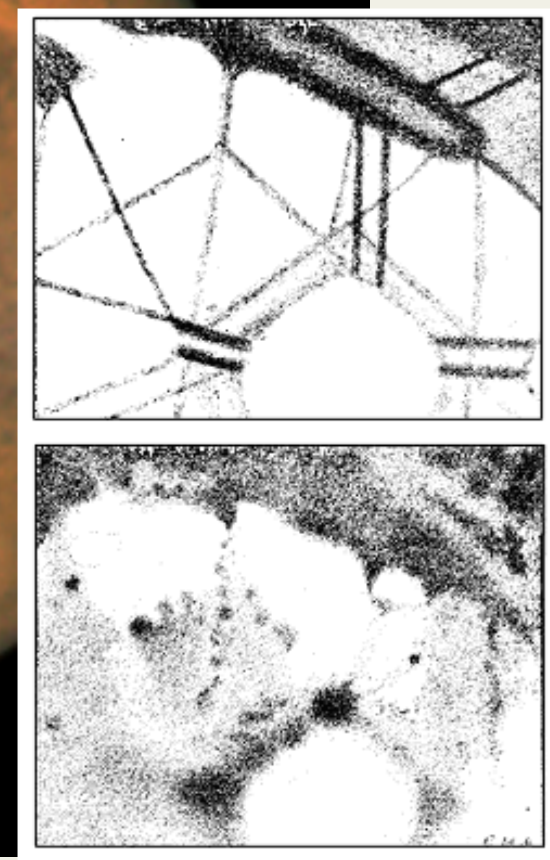


Mars sillonné de canaux, selon Lowell



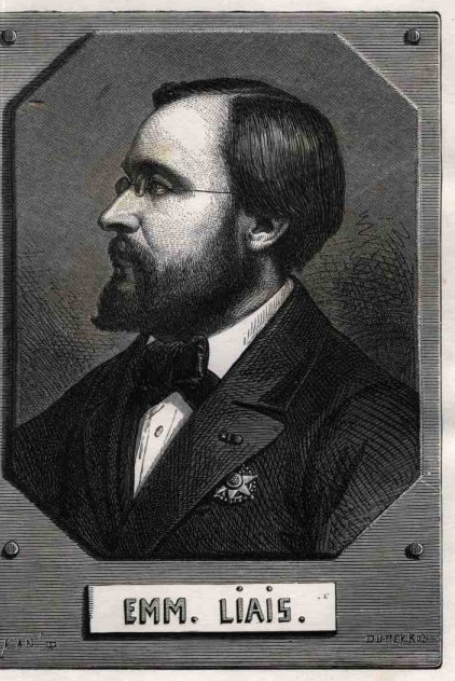
1909, LE DÉMENTI D’ ANTONIADI

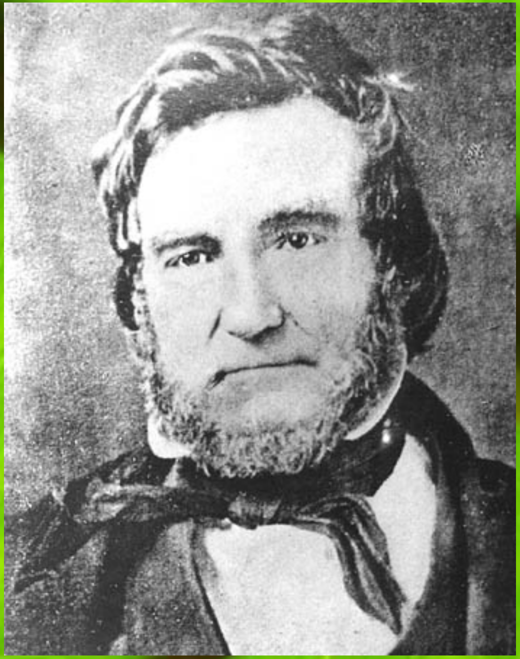




FIN D’ UN MYTHE ?

L’ HYPOTHÈSE DE LA VÉGÉTATION MARTIENNE





Emmanuel Liais, William Pickering, Percival Lowell

L'ASTROBOTANIQUE DE TIKHOV

La spectroscopie est utilisée pour détecter une végétation martienne


Mars...


un désert?

NAISSANCE DE L'EXOBIOLOGIE

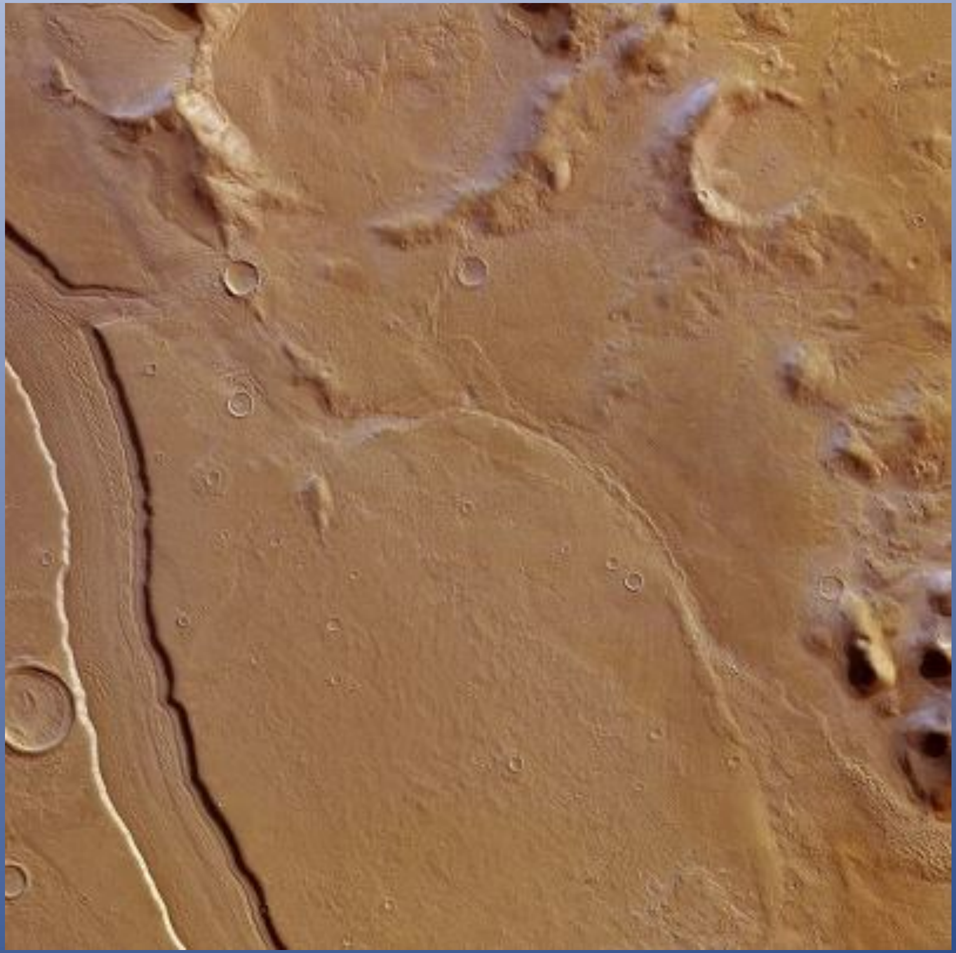
Naissance, dans les années 1960, de l'Exobiologie avec Joshua Lederberg et Carl Sagan : essor de l'exploration spatiale, problèmes de contamination biologique, développement de la biologie moléculaire.

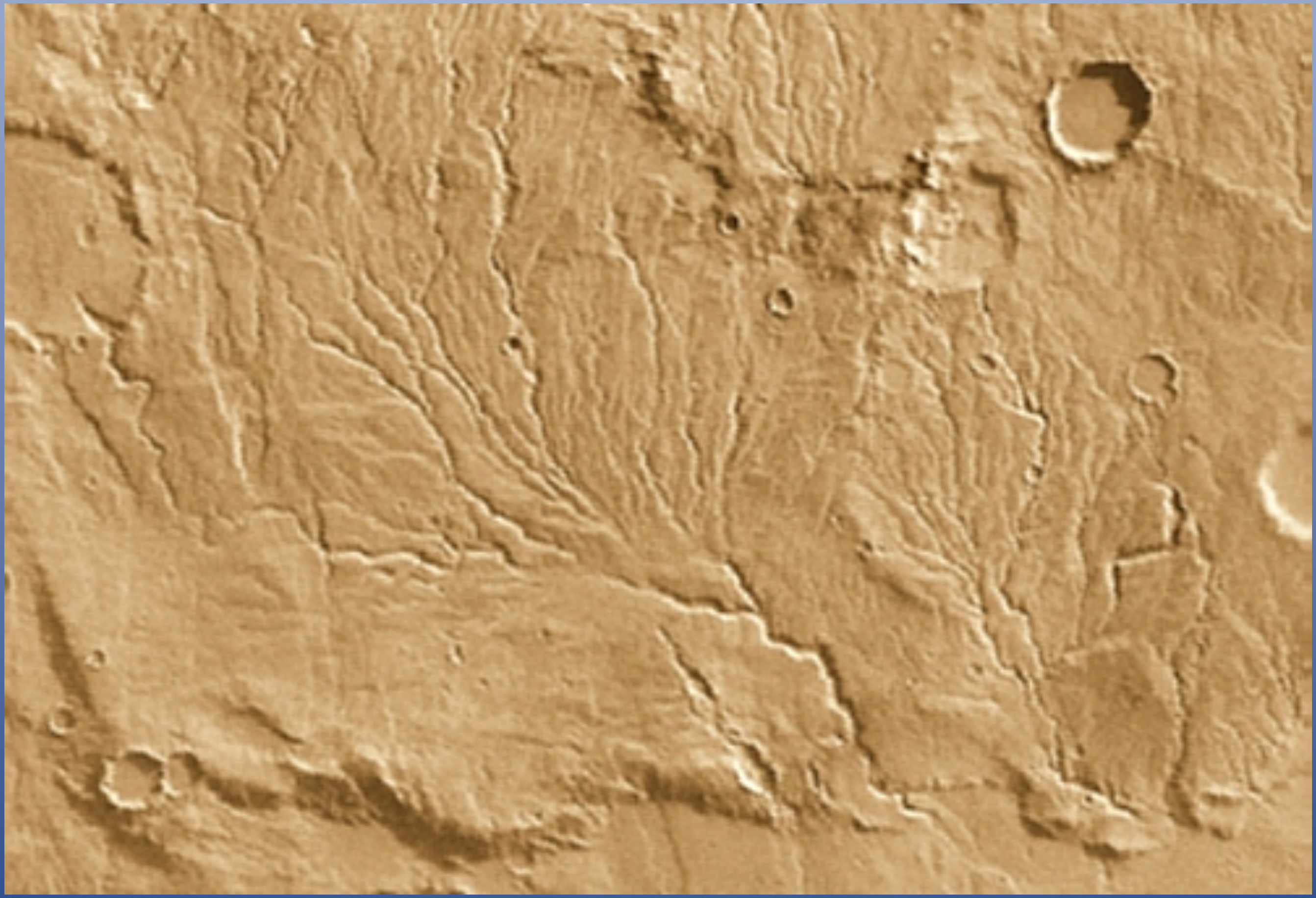
Ses aspects pluridisciplinaires : astrophysique, planétologie, géologie, paléontologie, biologie de l'évolution, biologie moléculaire, biochimie, chimie organique, modélisation etc…

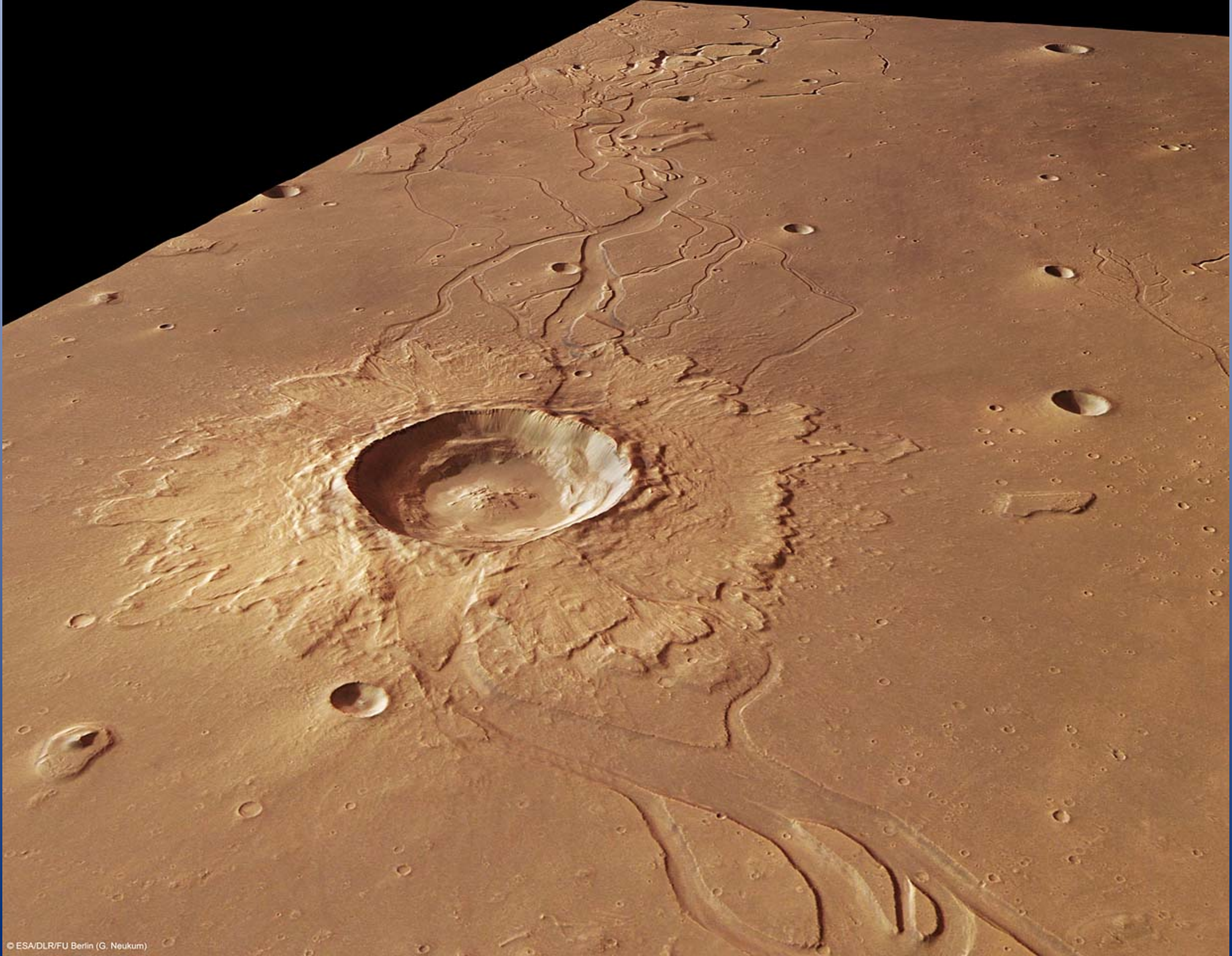
L'EXPLORATION SPATIALE

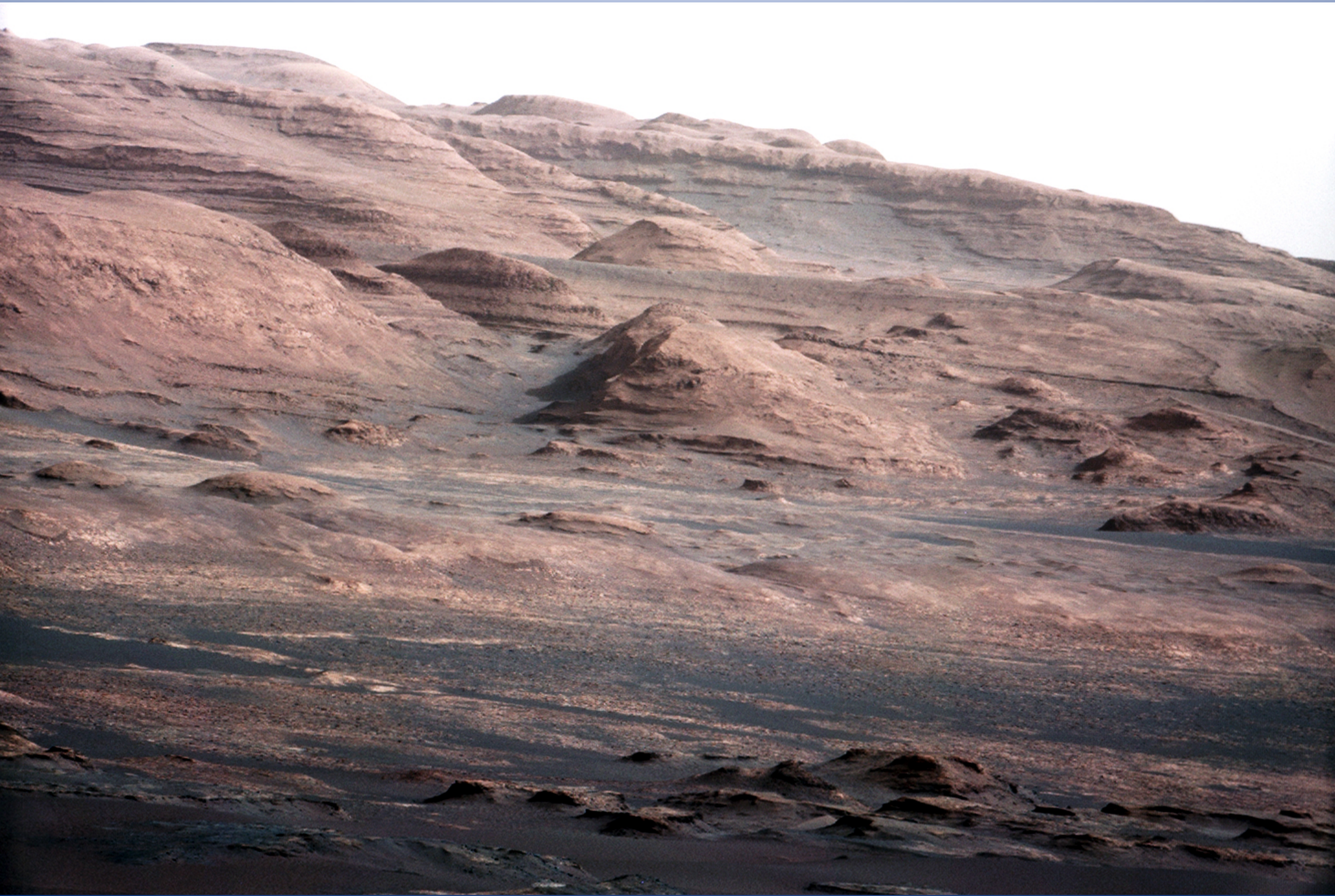
La planète Mars

LA PLANÈTE MARS



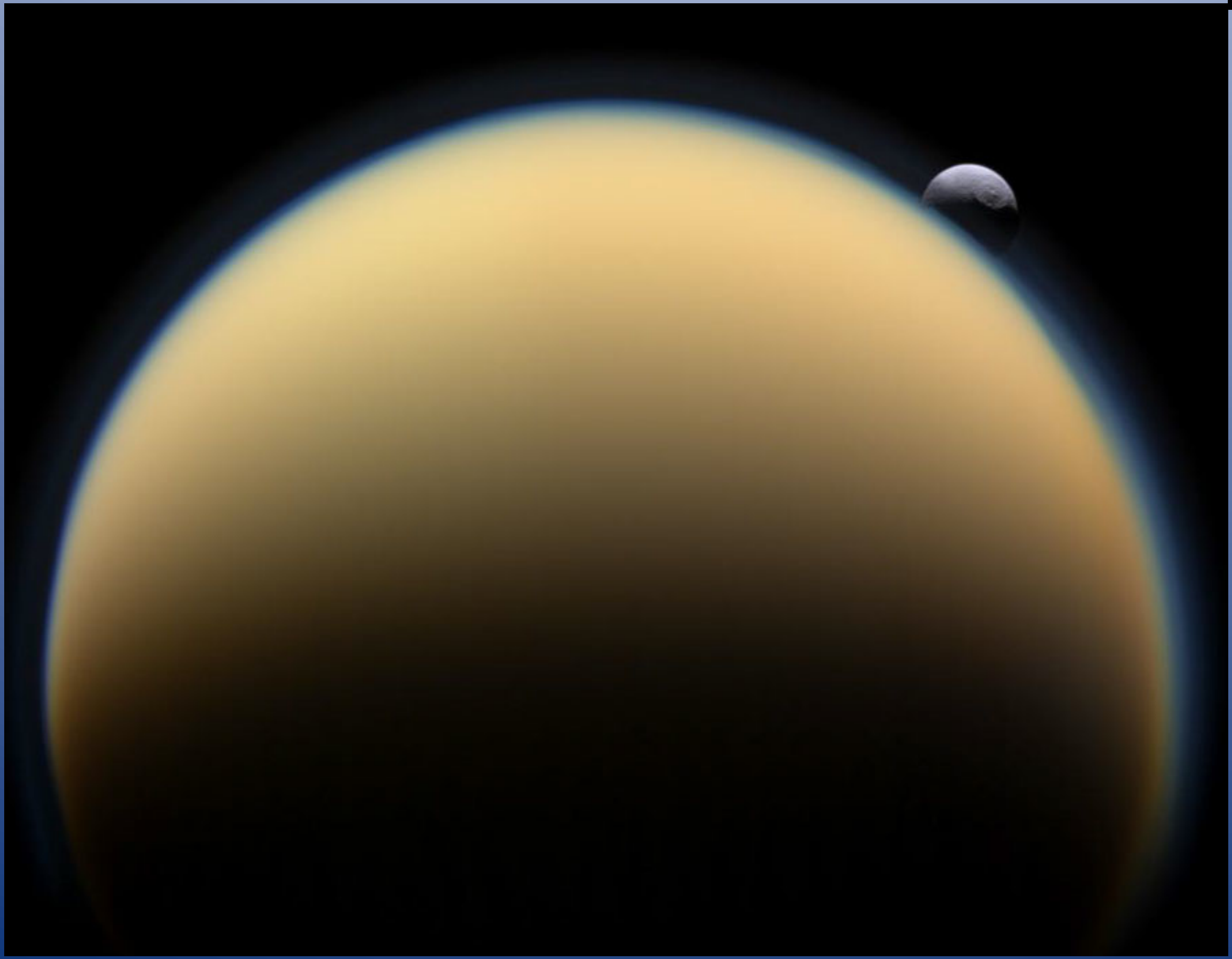


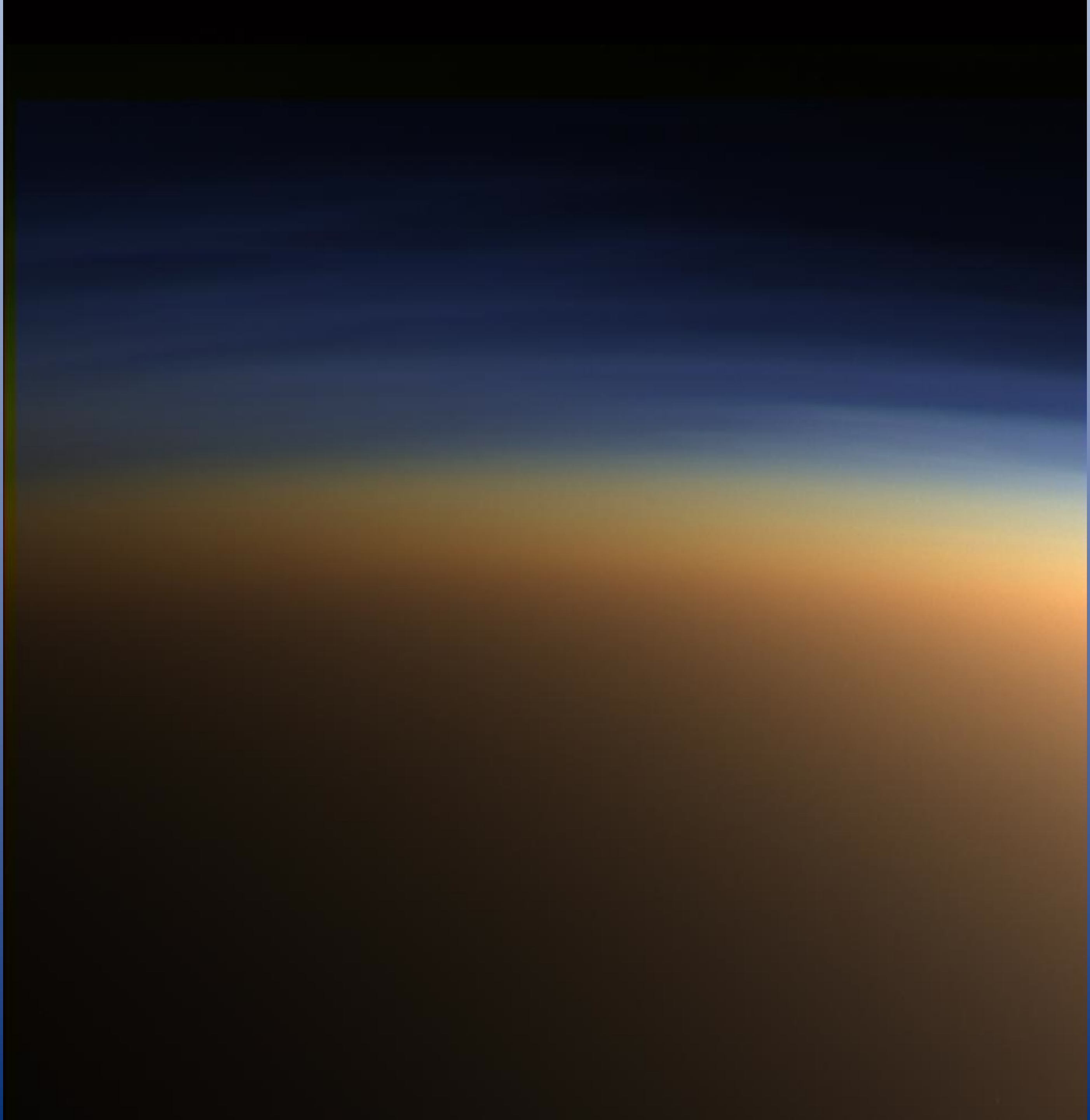

© ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)

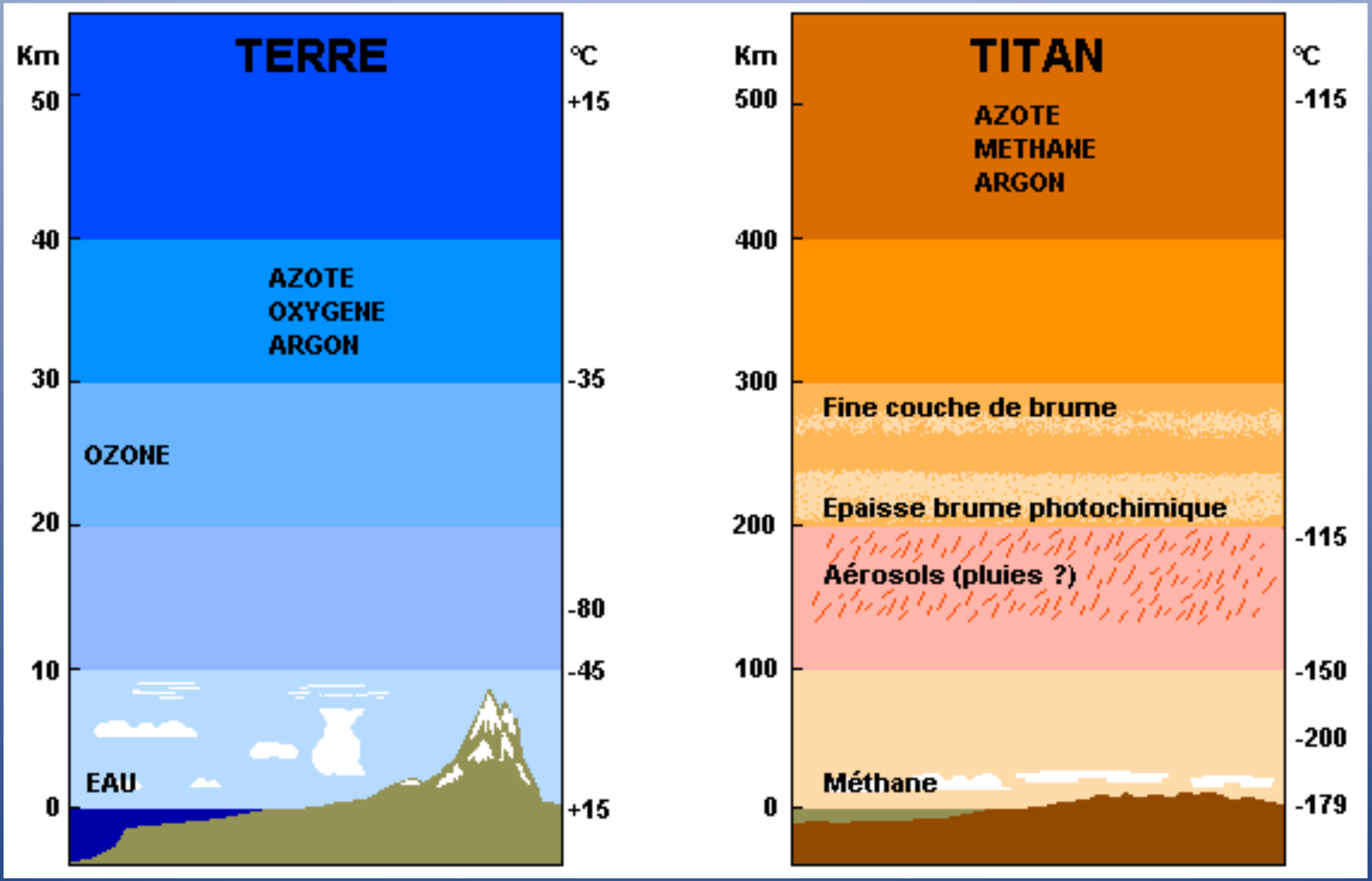


Titan, satellite de Saturne

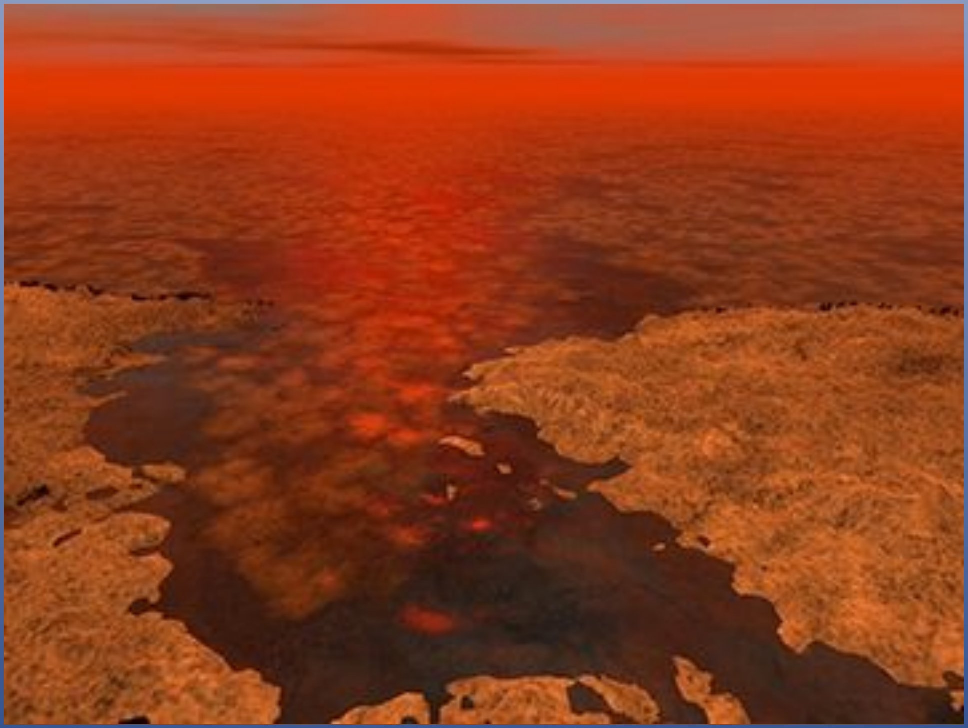
(et Thétys)



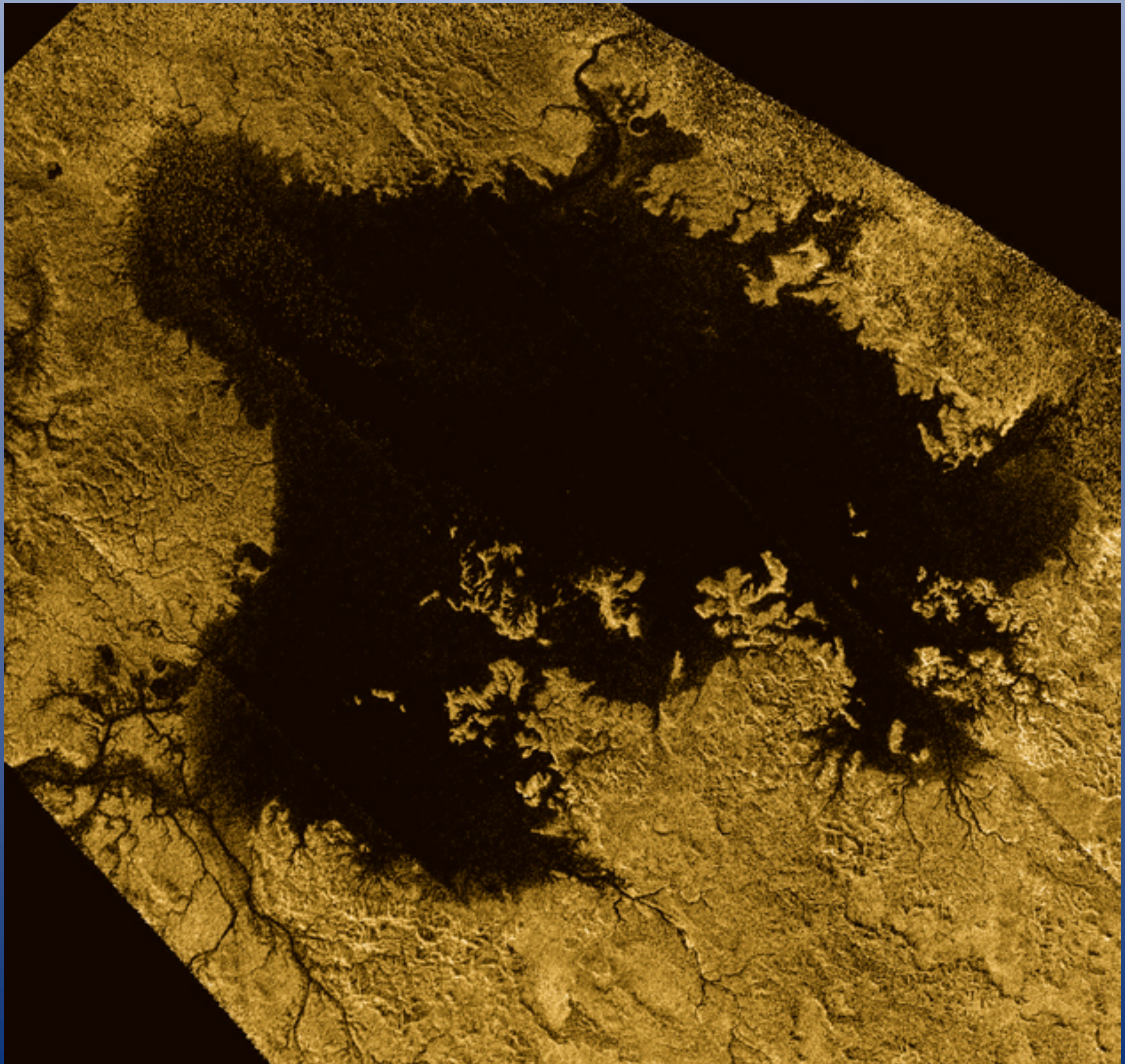



TERRE
Km
°C
50
40
30
20
10
0
+15
-35
-80
-45
+15
AZOTE
OXYGENE
ARGON
OZONE
EAU
TITAN
Km
°C
500
400
300
200
100
0
-115
-115
-150
-200
-179
AZOTE
METHANE
ARGON
Fine couche de brume
Epaisse brume photochimique
Aérosols (pluies ?)
Méthane

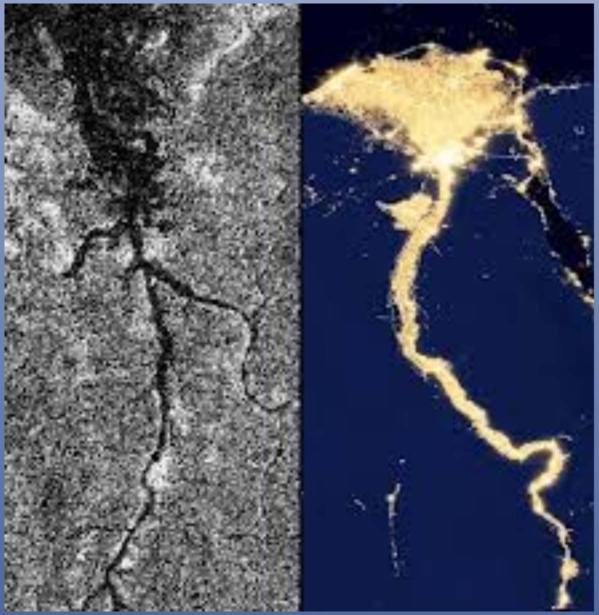
Une vue d'artiste des lacs de Titan



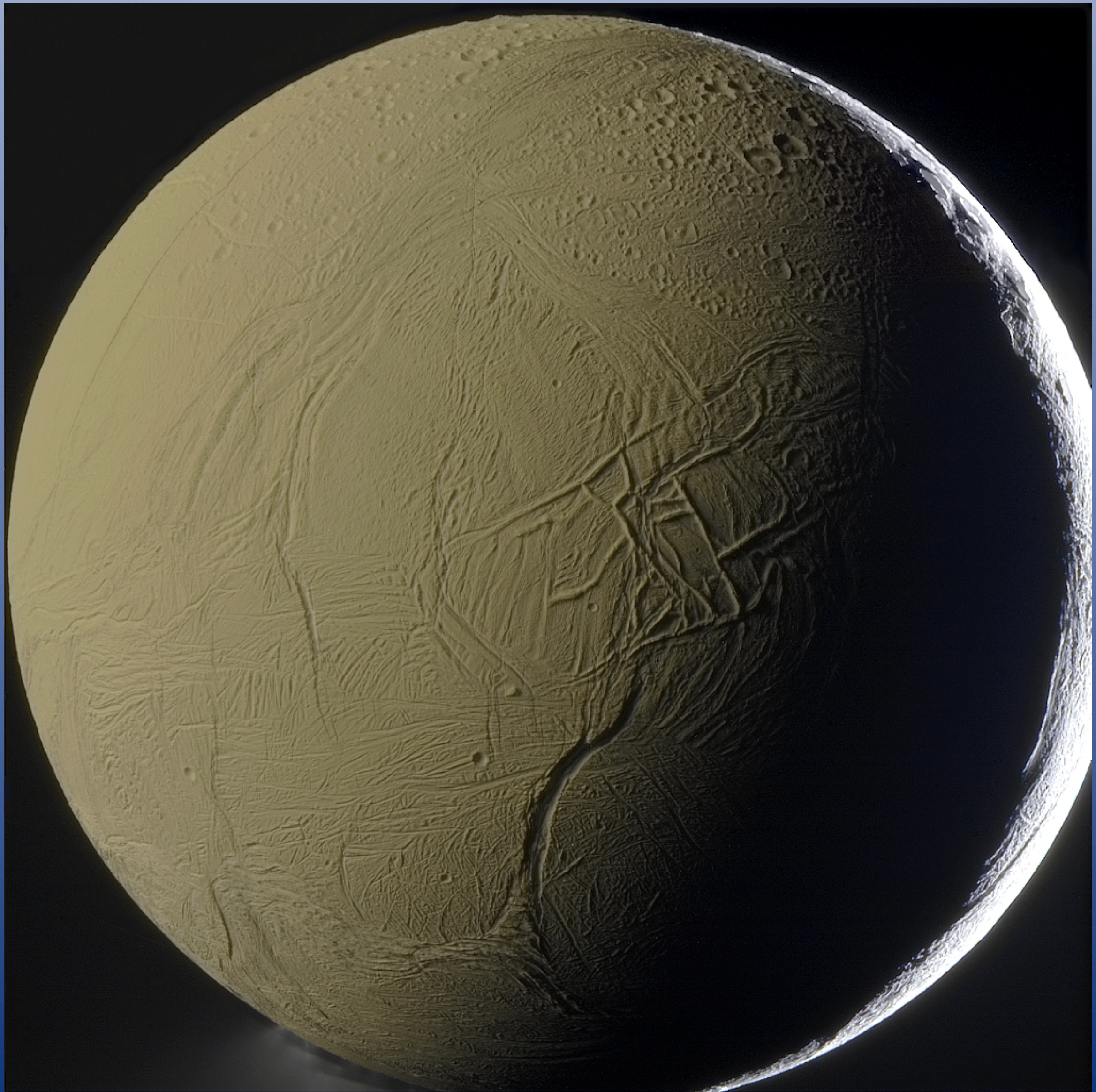
Une mer d'hydrocarbures sur Titan

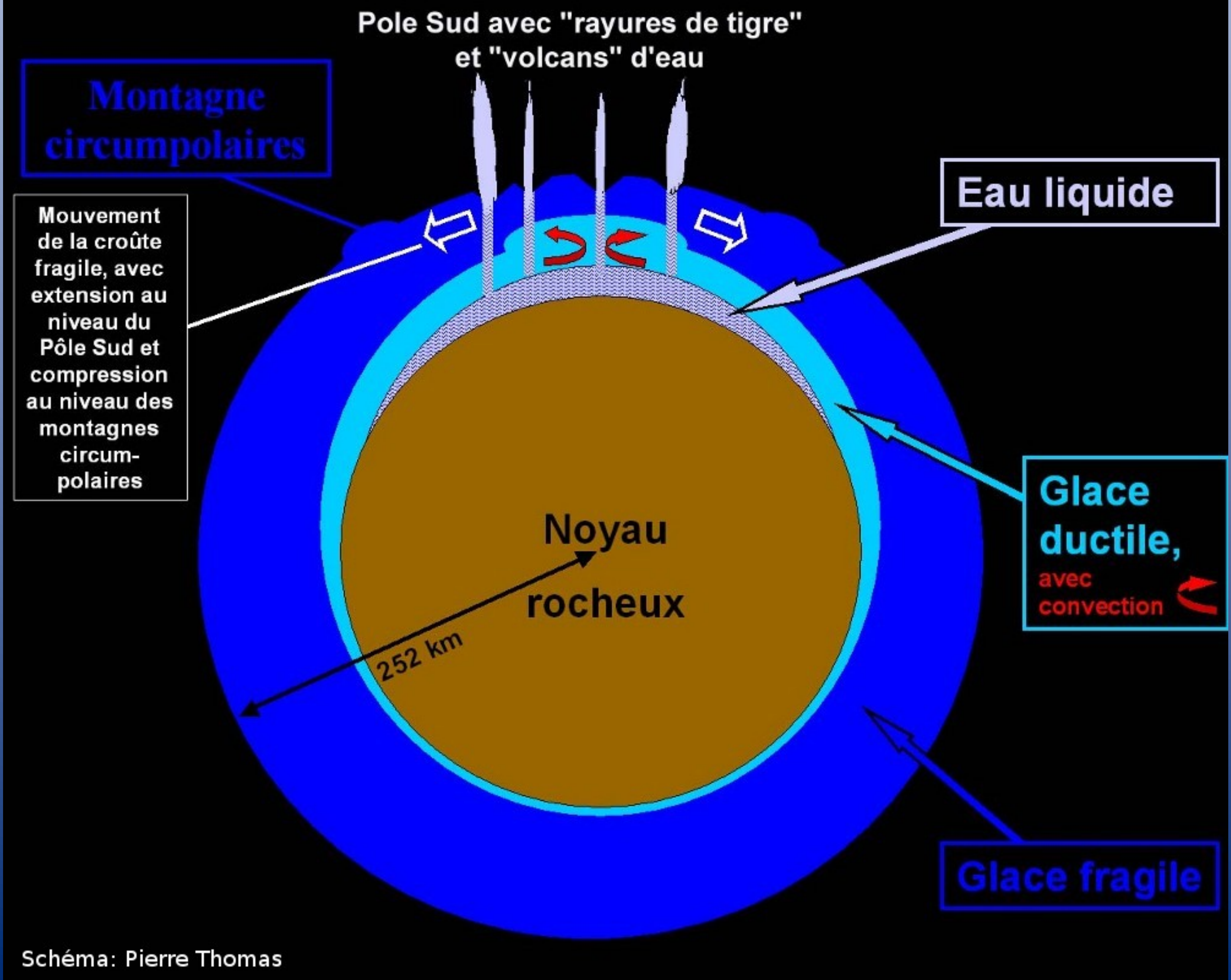


Comparaison entre le delta du Nil et une image de Titan



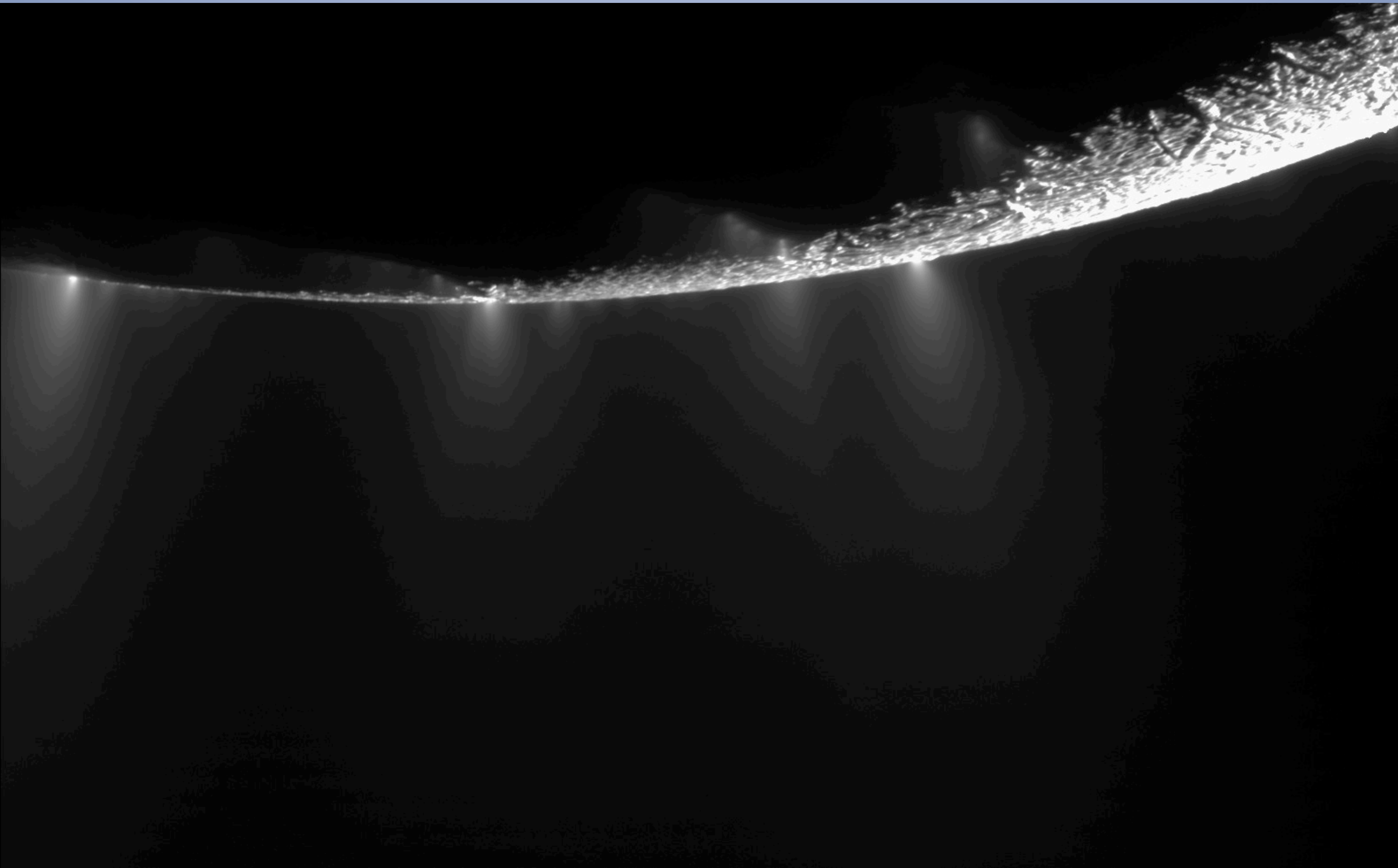
Encelade, satellite de Saturne

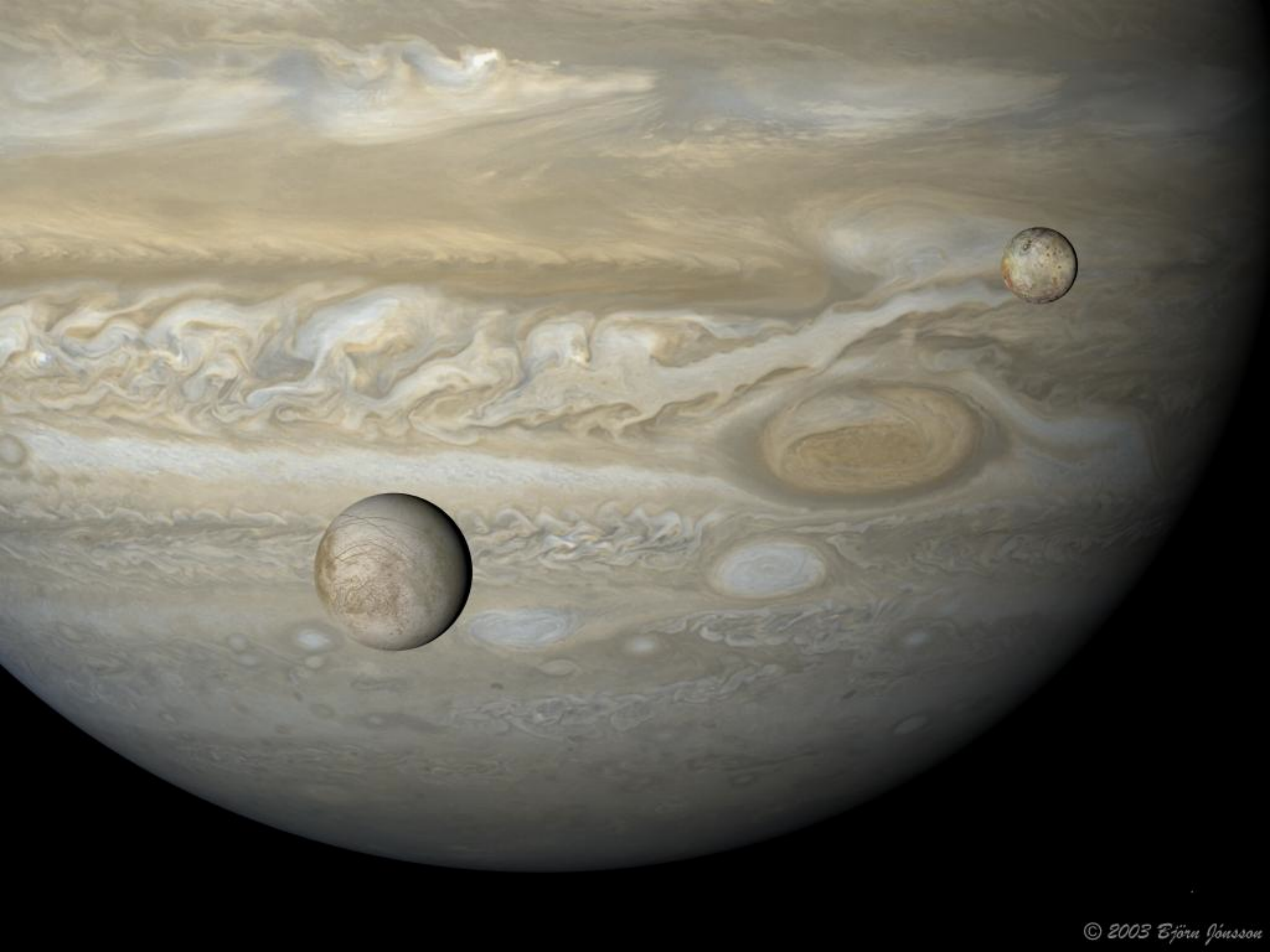




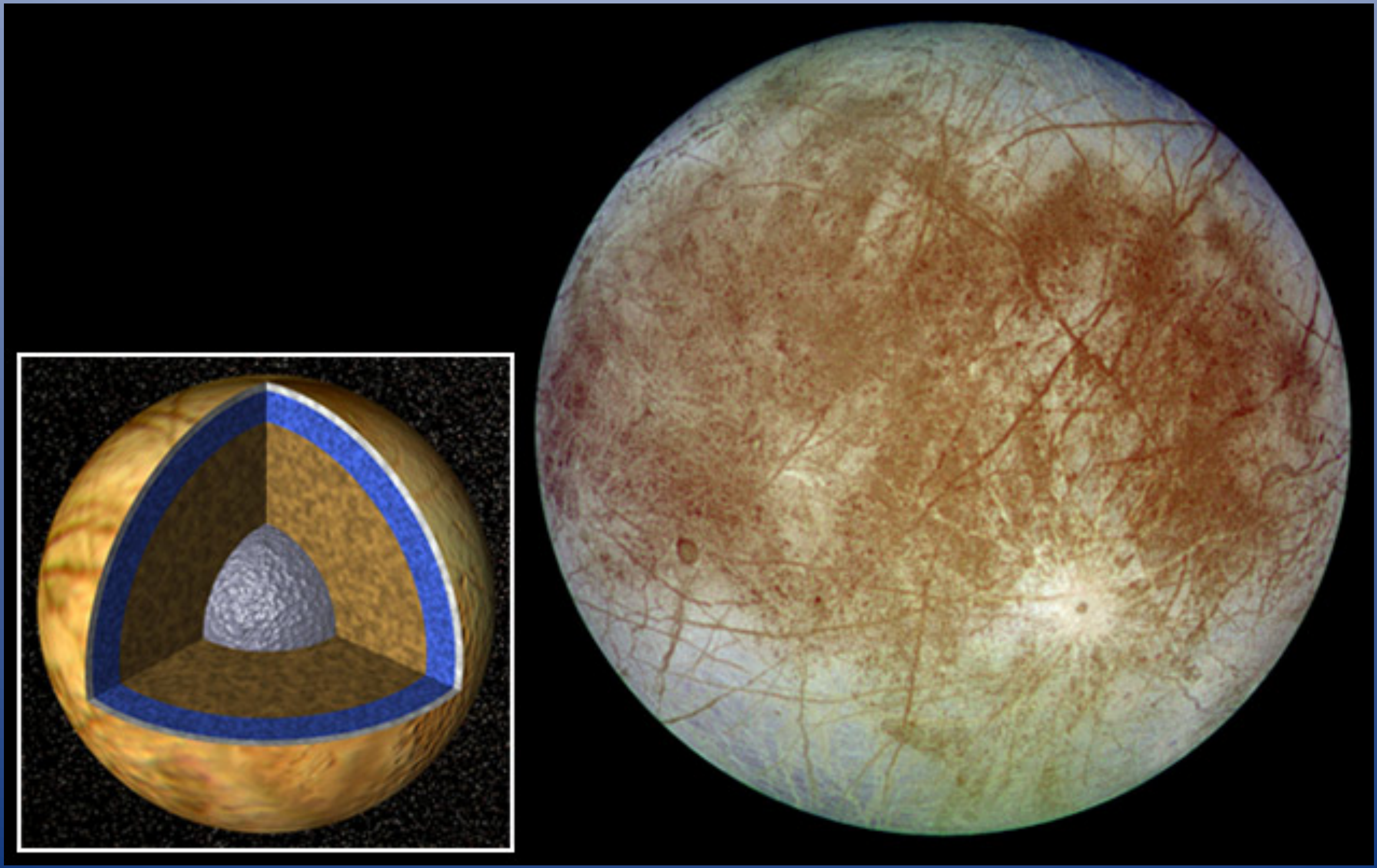
Pole Sud avec "rayures de tigre"
et "volcans" d'eau
Montagne circumpolaires
Mouvement de la croûte fragile, avec extension au niveau du Pôle Sud et compression au niveau des montagnes circum-polaires
Eau liquide
Noyau rocheux
252 km
Glace ductile,
avec convection
Glace fragile
Schéma: Pierre Thomas

Encelade

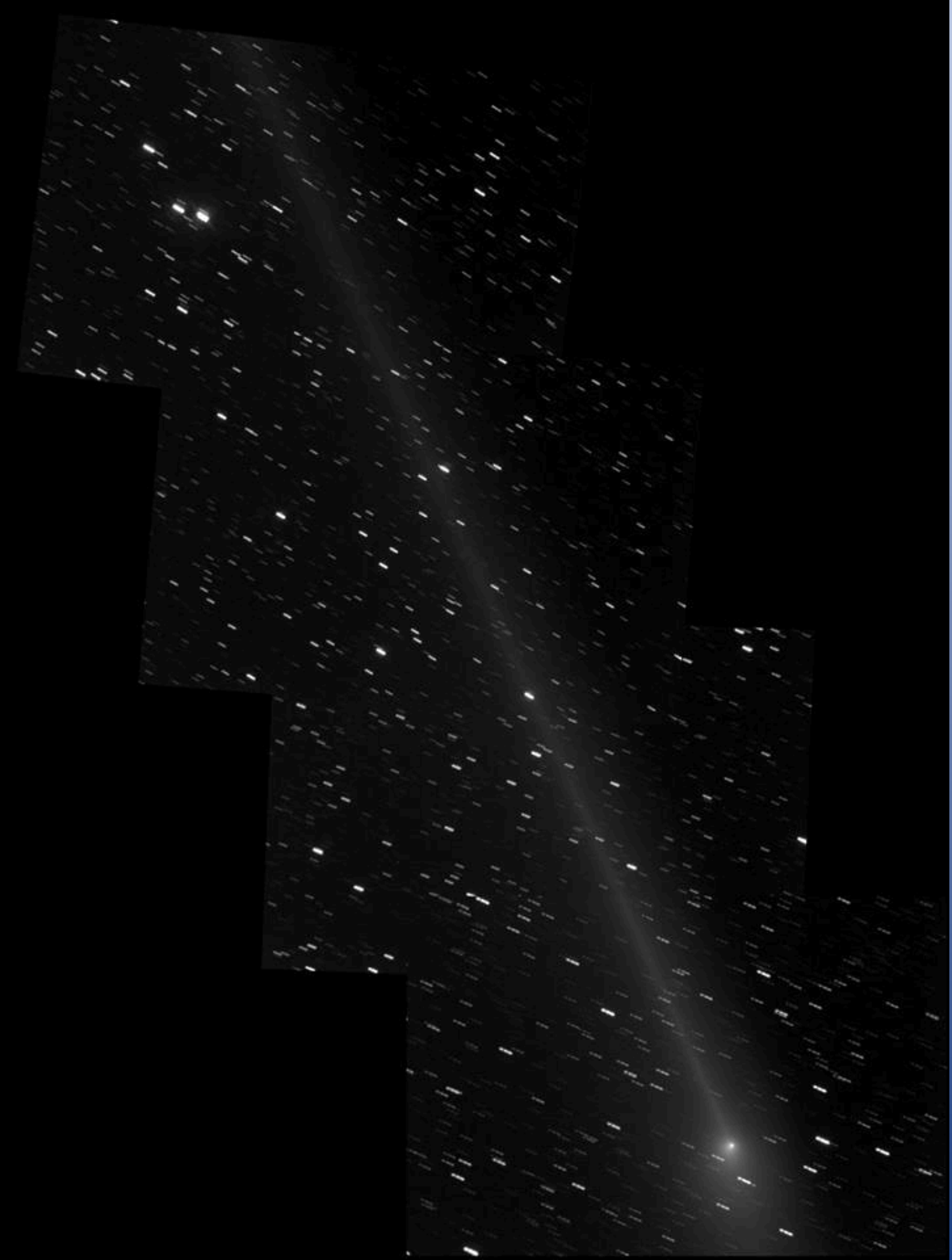




Europe, satellite de Jupiter



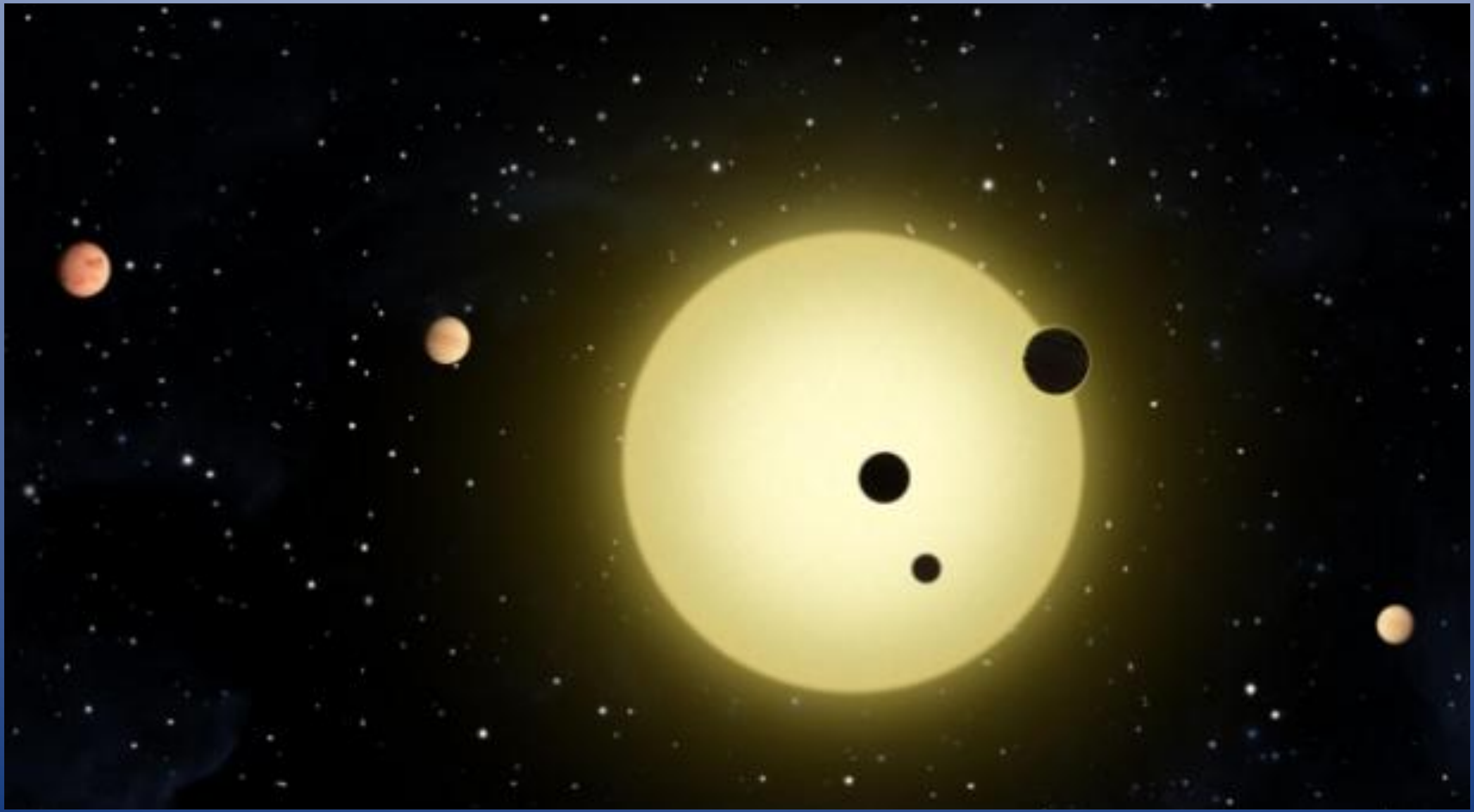
Comète Hale-Bopp



Comète Panstarrs
visible à l'œil nu, avril 2013
(photo Luc Arnold)

Photo Jean-Luc Dauvergne

LES EXOPLANÈTES
897 exoplanètes (26 juin 2013)



http://exoplanet.eu/

DES DÉCOUVERTES SURPRENANTES

- Des planètes autour d'étoiles de toutes tailles (solaires, géantes, naines)
- De tout type : solaire, pulsars, naines blanches, systèmes en formation, disques de débris…
- Par des méthodes indirectes, dans 98% des cas, car on ne peut observer que :

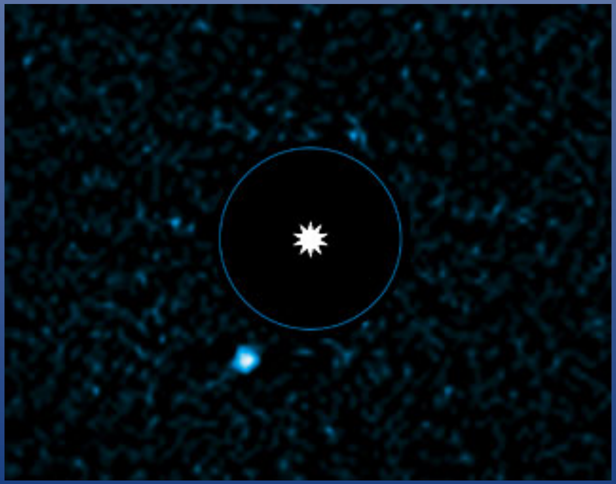
  - la lumière réfléchie de la lumière de l'étoile

  - l'émission thermique de la planète

Imagerie d’exoplanètes

La première image d'une exoplanète (entre 1 et 40 fois fois la taille de Jupiter) orbitant en 1200 ans autour de l'étoile T Taurii CQ Lupi.

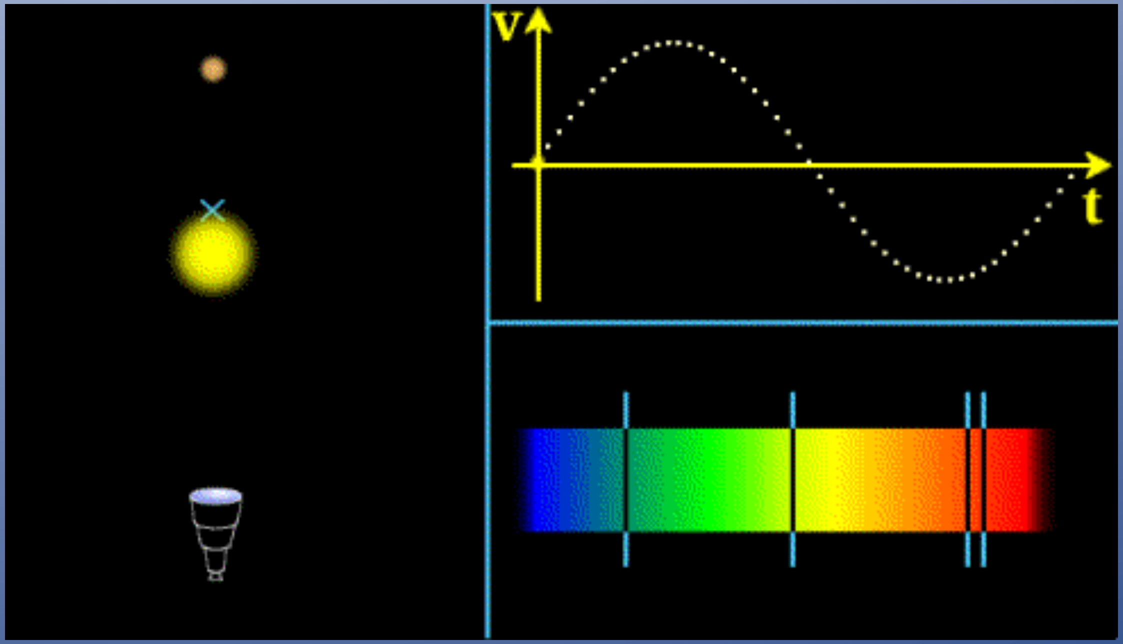
ESO VLT, 2013



La méthode des vitesses radiales

L'existence d'une planète orbitant autour d'une étoile peut être détectée en mesurant **la légère perturbation qu'elle provoque sur l'étoile**, le système étoile-planète étant en mouvement autour du centre d'inertie du système.

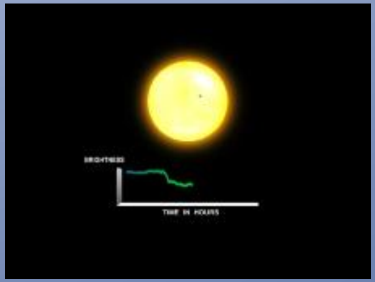
Une grande précision de mesure est nécessaire : le mouvement de l'étoile étant très ténu – Technique destinée à des étoiles proches.



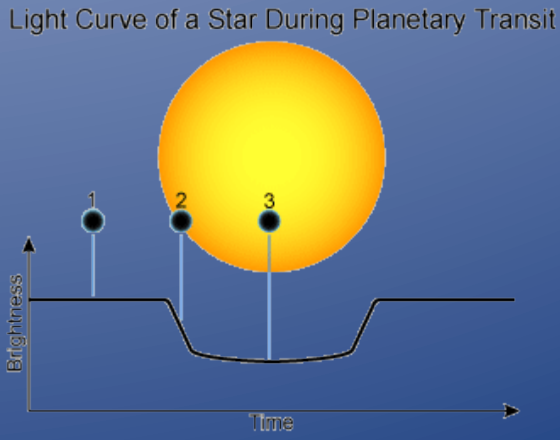
Mesure des mouvements par **l'effet Doppler** : l'étoile s'éloigne de l'observateur, les raies de son spectre son décalées vers le rouge - elle se rapproche, le décalage s'effectue vers le bleu.

LA MÉTHODE DES TRANSITS PLANÉTAIRES

La méthode des transits : mesure de très faibles diminutions de l’éclat d’une étoile, dues à l’occultation que crée une planète en passant devant son étoile.



Limites : efficace pour grosses planètes en orbite rapprochée
– probabilité faible qu’une planète passe entre son étoile et nous
– impossible depuis la Terre de détecter des baisses de luminosité < 1%



La détection des transits planétaires depuis l'espace par les télescopes spatiaux

Mission CoRoT (COnvection et ROtation stellaires et Transits planétaires, **CNES) :** télescope de 25 cm et caméra grand champ constituée de 4 détecteurs ultra-sensibles et ultra-stables. Lancé en décembre 2006 –

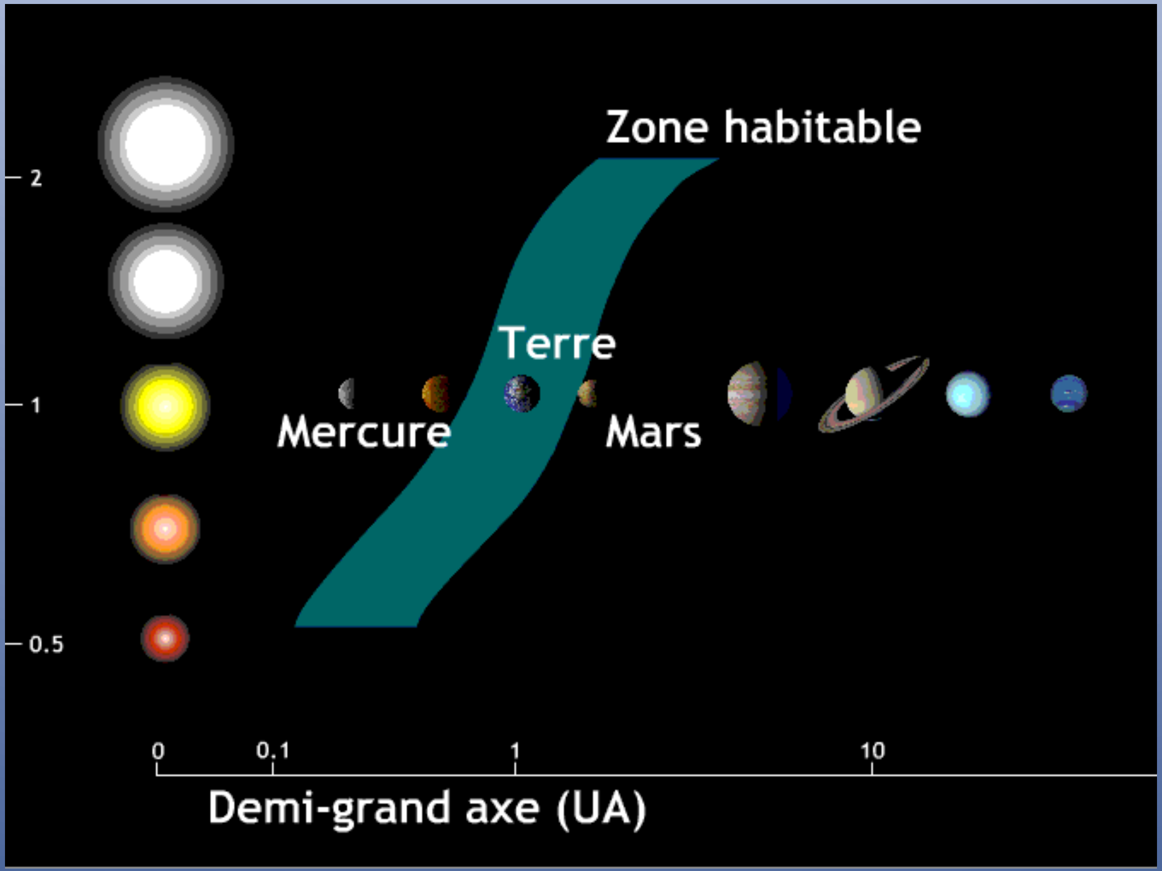
Objectif : détecter des exoplanètes par la méthode des transits.

Mission Kepler (NASA) : Le **télescope spatial Kepler** (1 m de diamètre) est un photomètre spatial développé par la NASA pour détecter des exoplanètes par la méthode des transits.

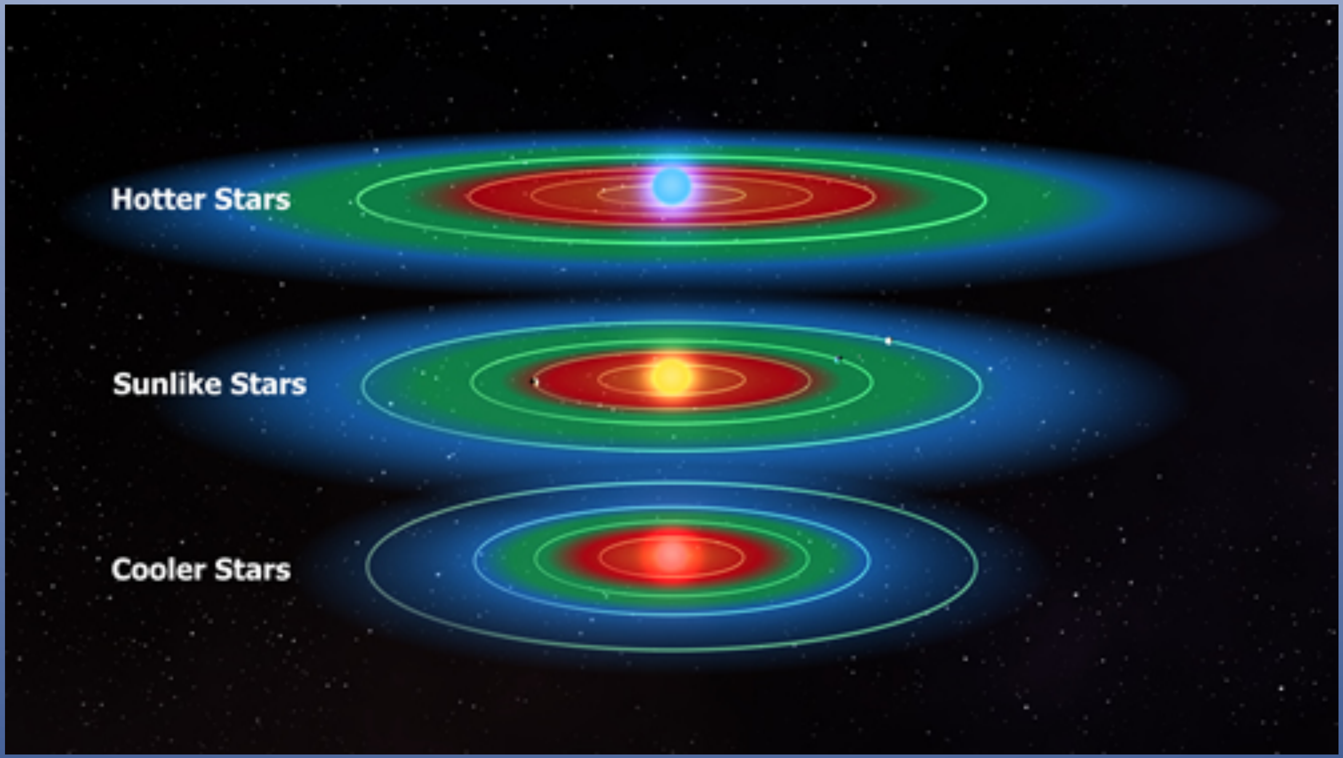
Il a été lancé le 7 mars 2009 et placé en orbite héliocentrique.

Précision de détection : baisse de luminosité d' une étoile de 0,002 %

Objectif : détecter des planètes telluriques de la taille de la Terre . La mission est étendue jusqu'en 2016.



La zone habitable dans le système solaire


Hotter Stars
Sunlike Stars
Cooler Stars

DECOUVERTE DE LA PREMIERE EXOPLANETE TELLURIQUE HABITABLE 2007

Etoile: Gliese 581

Distance: 20.5 al

Type: Naine Rouge (M2.5V)

Planète: **Gliese 581c**

Distance à l'étoile mère:1/14 UA

Période sidérale: 13 jours

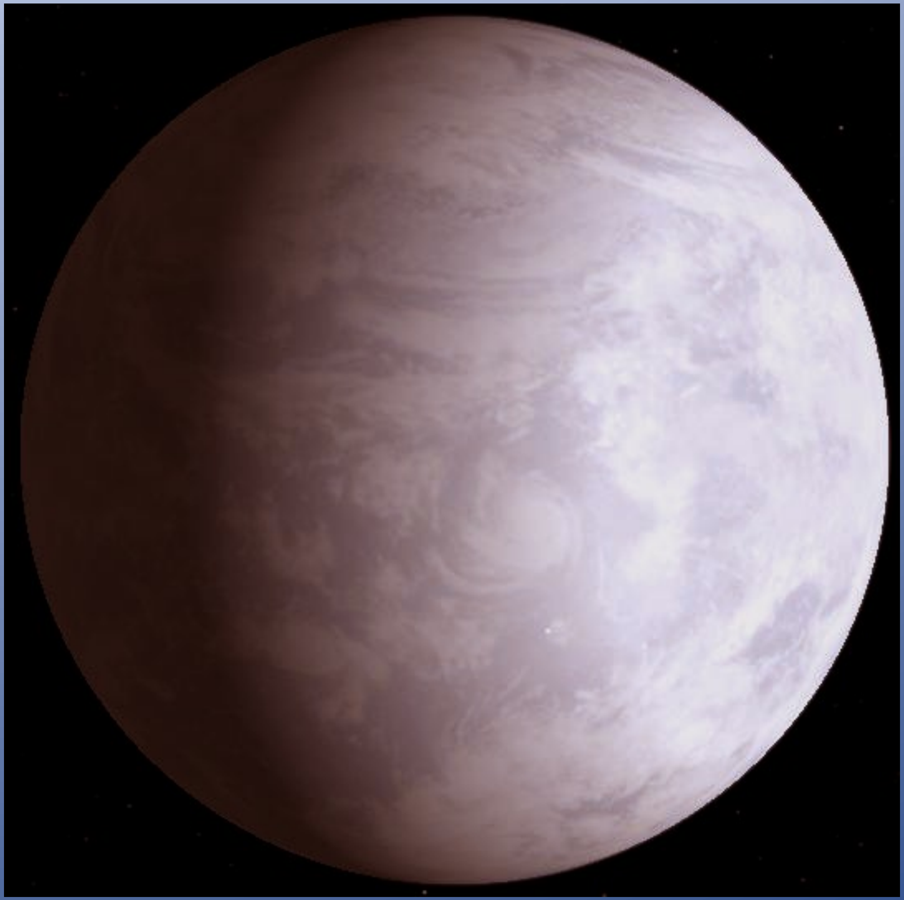
Masse: 5 masses terrestres

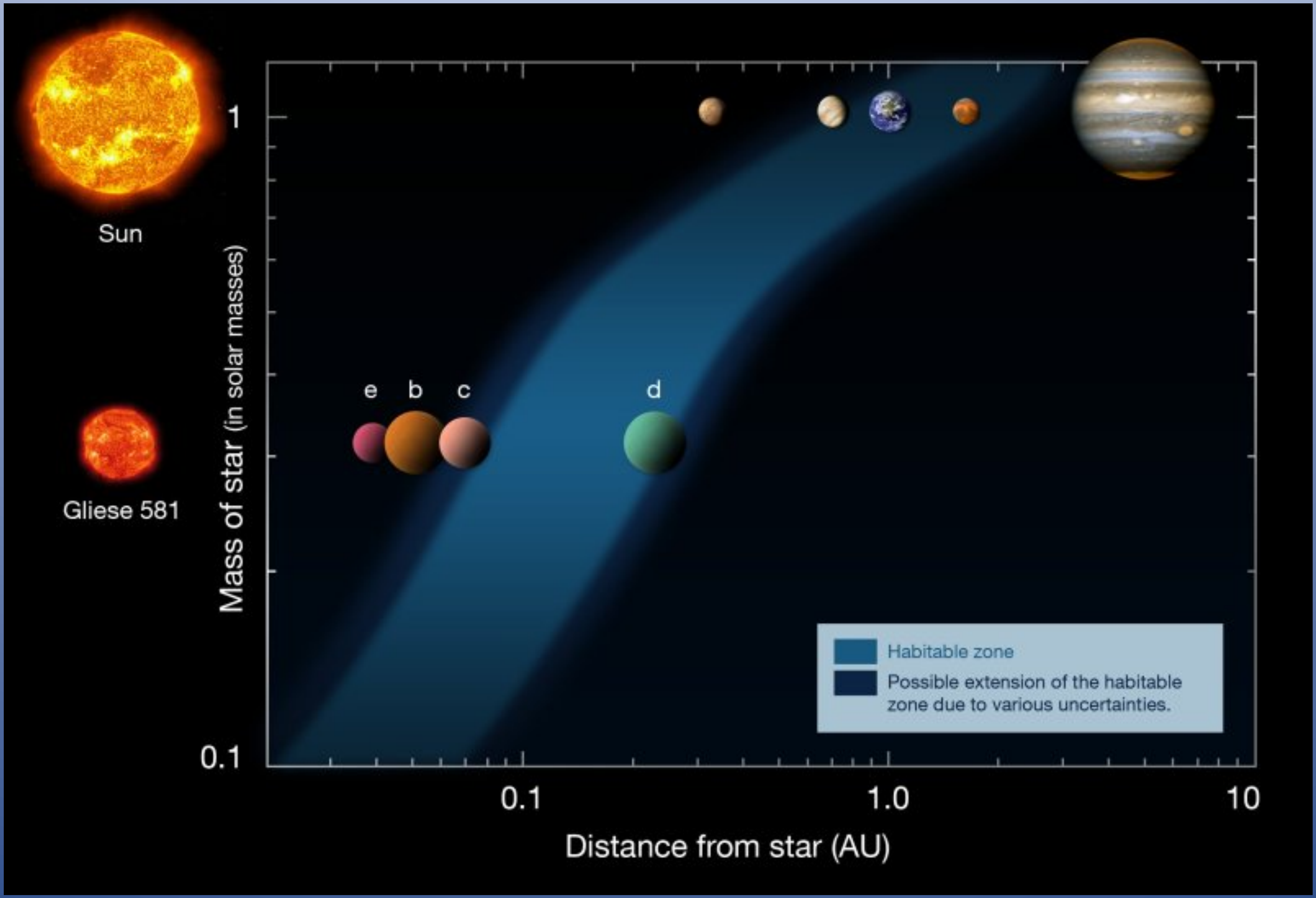
Diamètre: 1.5 rayons terrestres

Gravité de surface: 2.2 fois la gravité terrestre

Type: Tellurique ou Océane

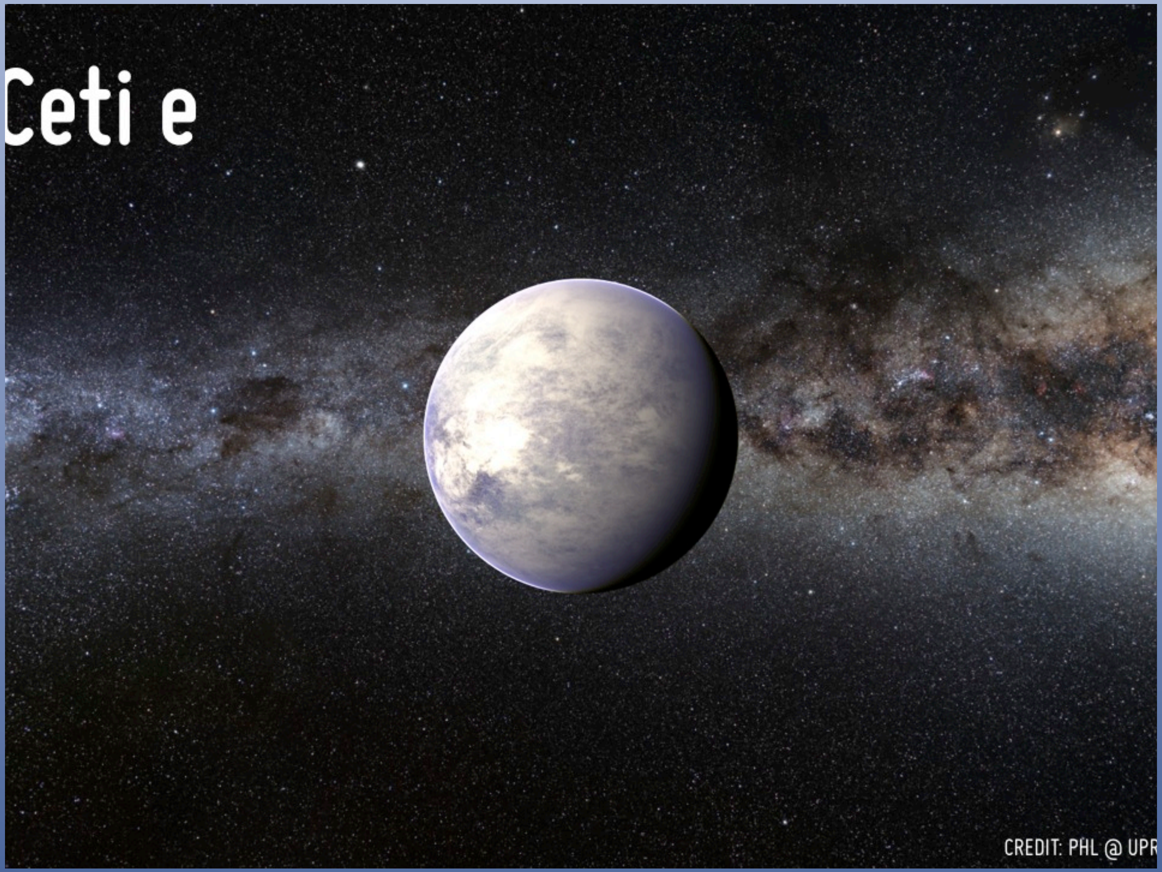
Température moyenne de surface: entre 0 et 40°C





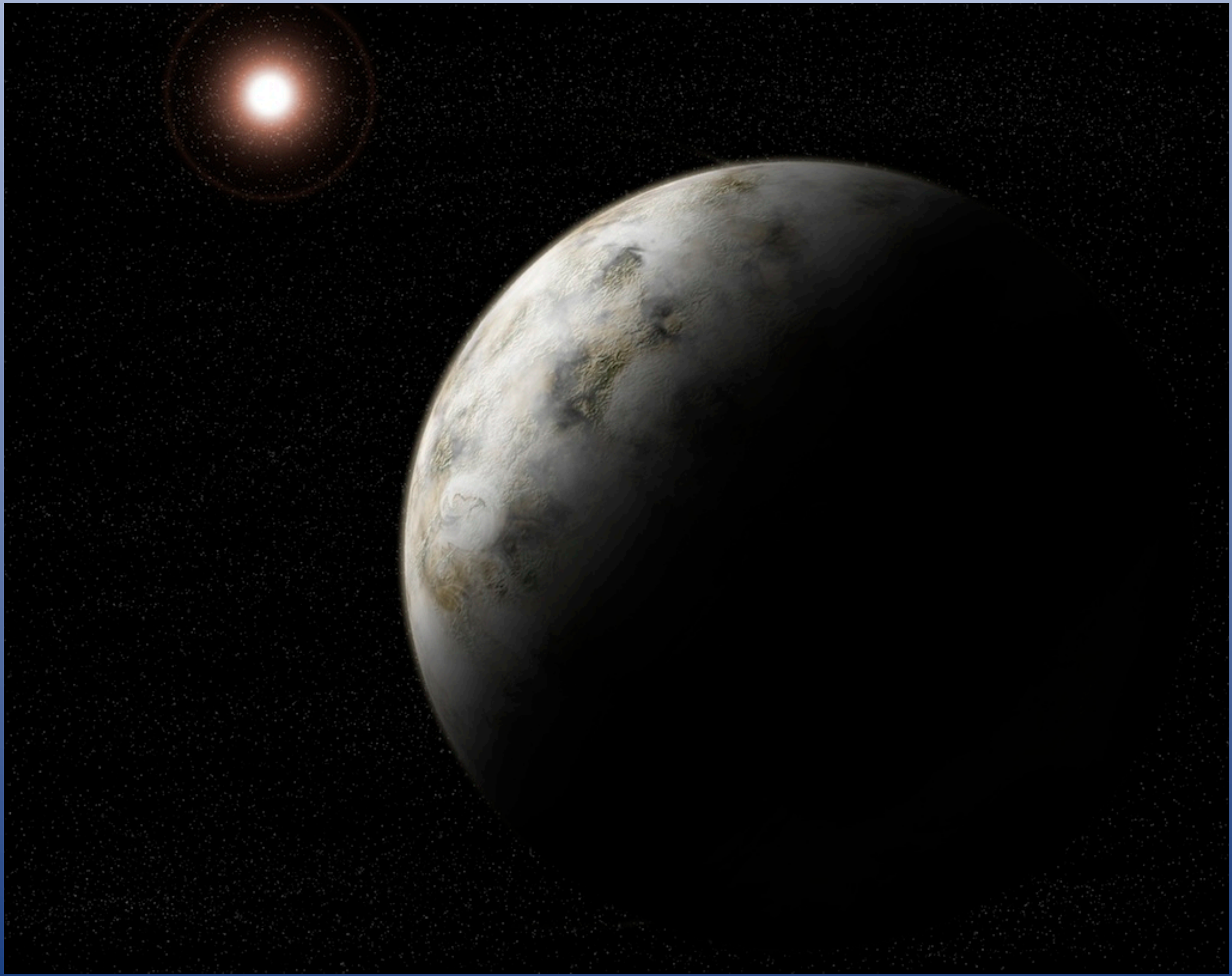
La zone dite "habitable" pour l’étoile Gliese 581 et le positionnement des différentes exoplanètes


Gliese 581 Planetary System
Gliese 581 is a red dwarf star located 20.3 light years from Earth in the constellation Libra. It has a mass of one third of the Sun and at least six planets. The fourth planet from the star, Gliese 581g, is the first Earth-like planet detected around a star.
Gliese 581b
Gliese 581f
Gliese 581c
Gliese 581d
Gliese 581g
Gliese 581e
Earth
CREDIT: Abel Méndez, UPR Arecibo (Oct. 2010)



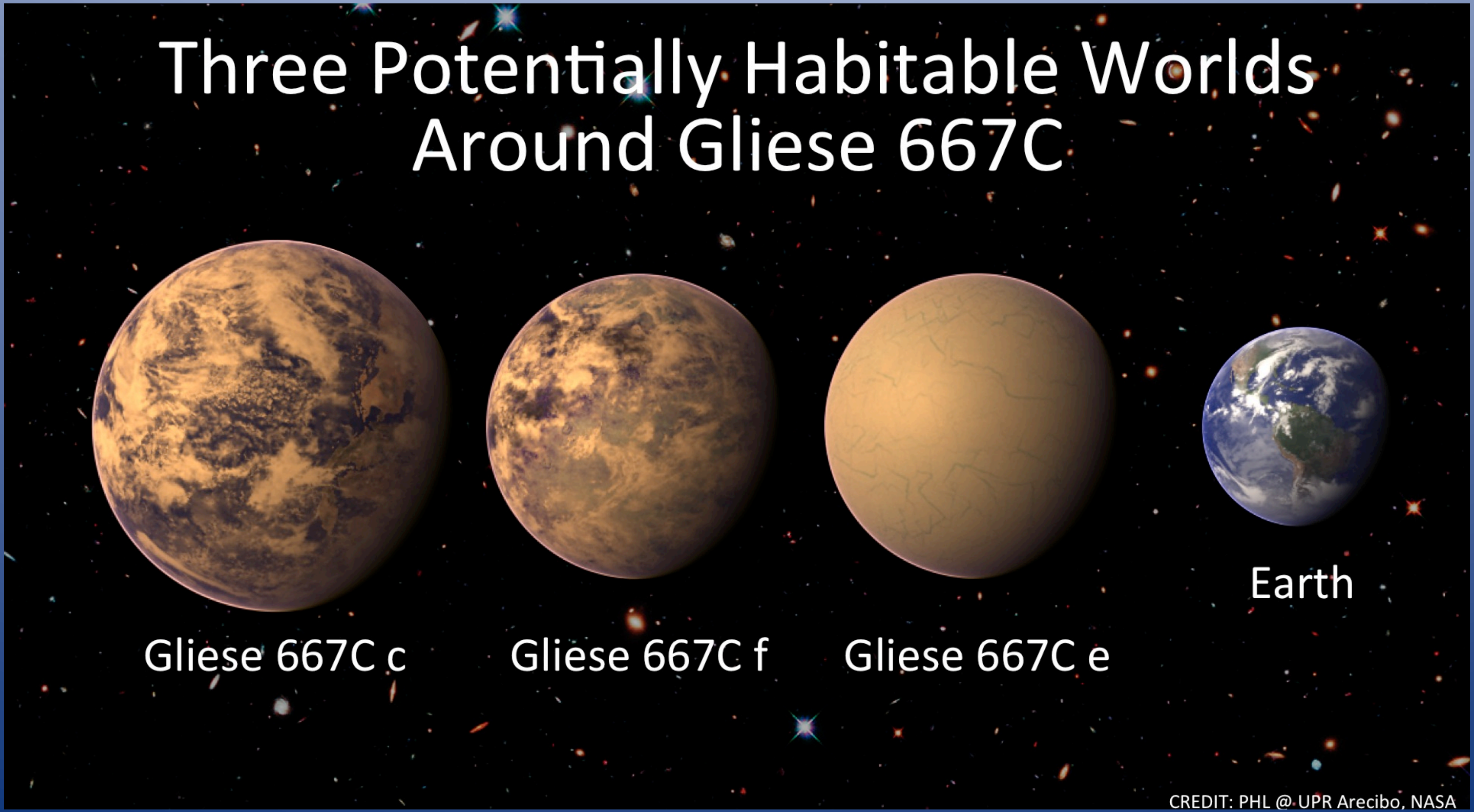
Tau Ceti e

The planet candidate Tau Ceti e, which was detected in December 2012, is found just 11.9 light-years from Earth. This world is a "super-Earth" at least 4.3 times as massive as Earth. Depending on its atmosphere, Tau Ceti e could be a mildly hot planet suitable for simple life, or a scorching world like Venus.

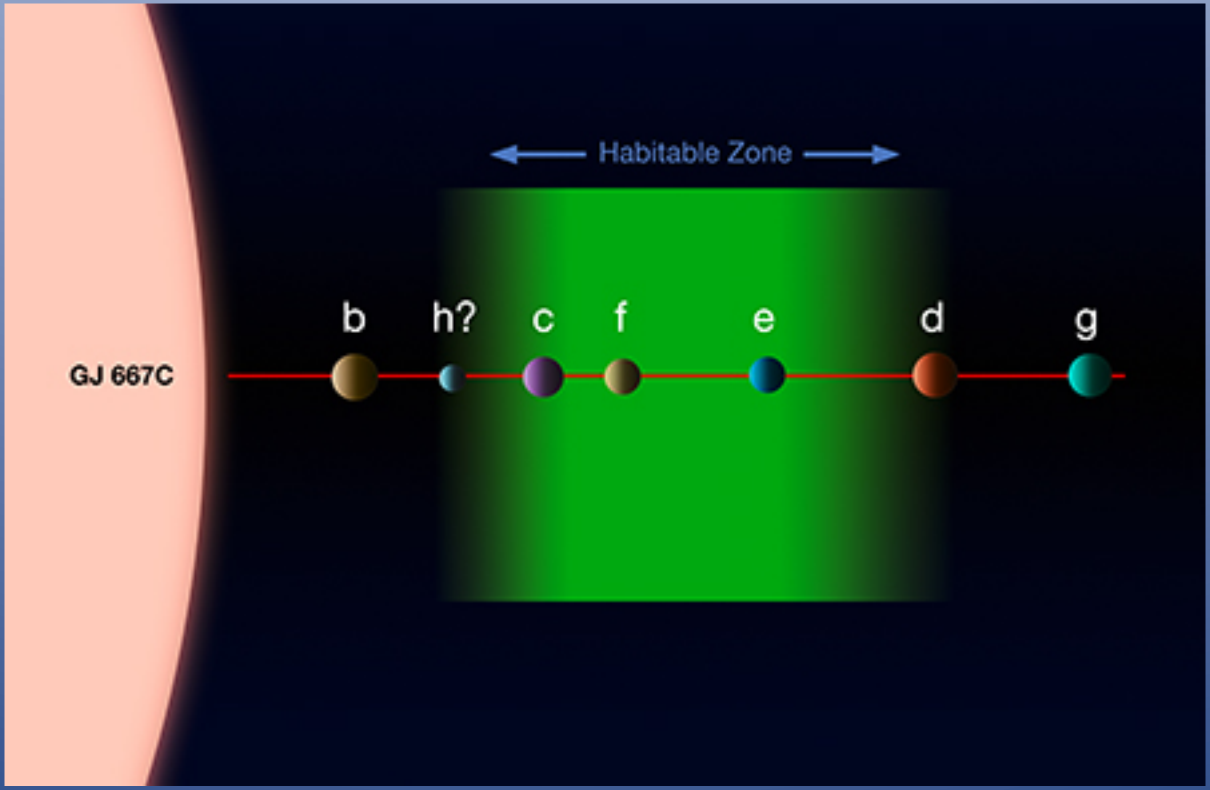


Kepler-61 b
Vue d’artiste

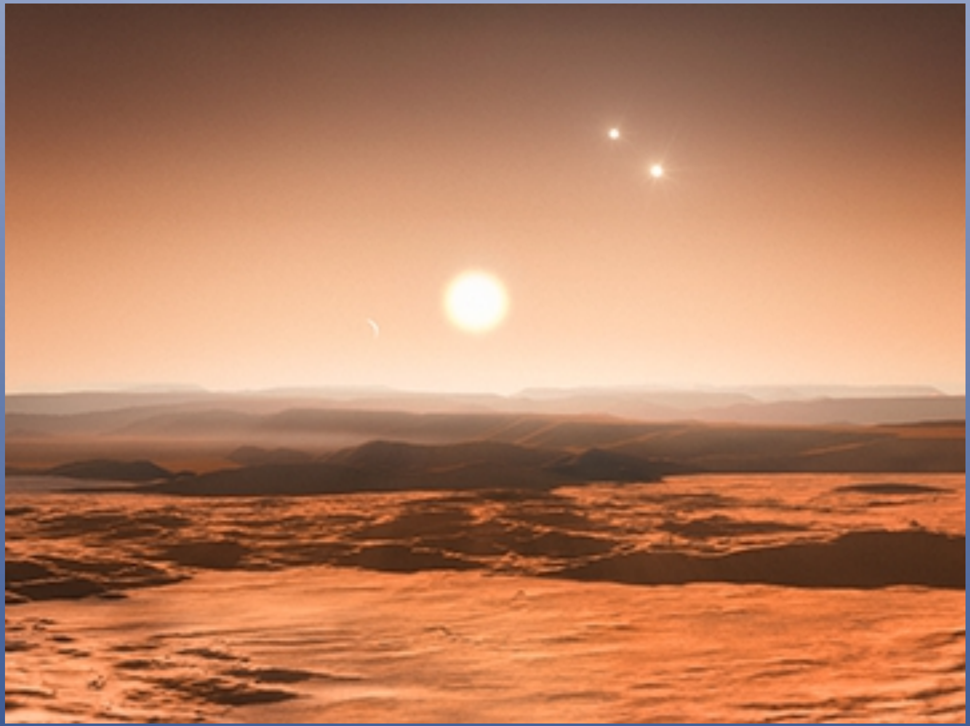
L'étoile Gliese 667C serait désormais la meilleure candidate pour abriter des planètes habitables, à 22 années-lumière



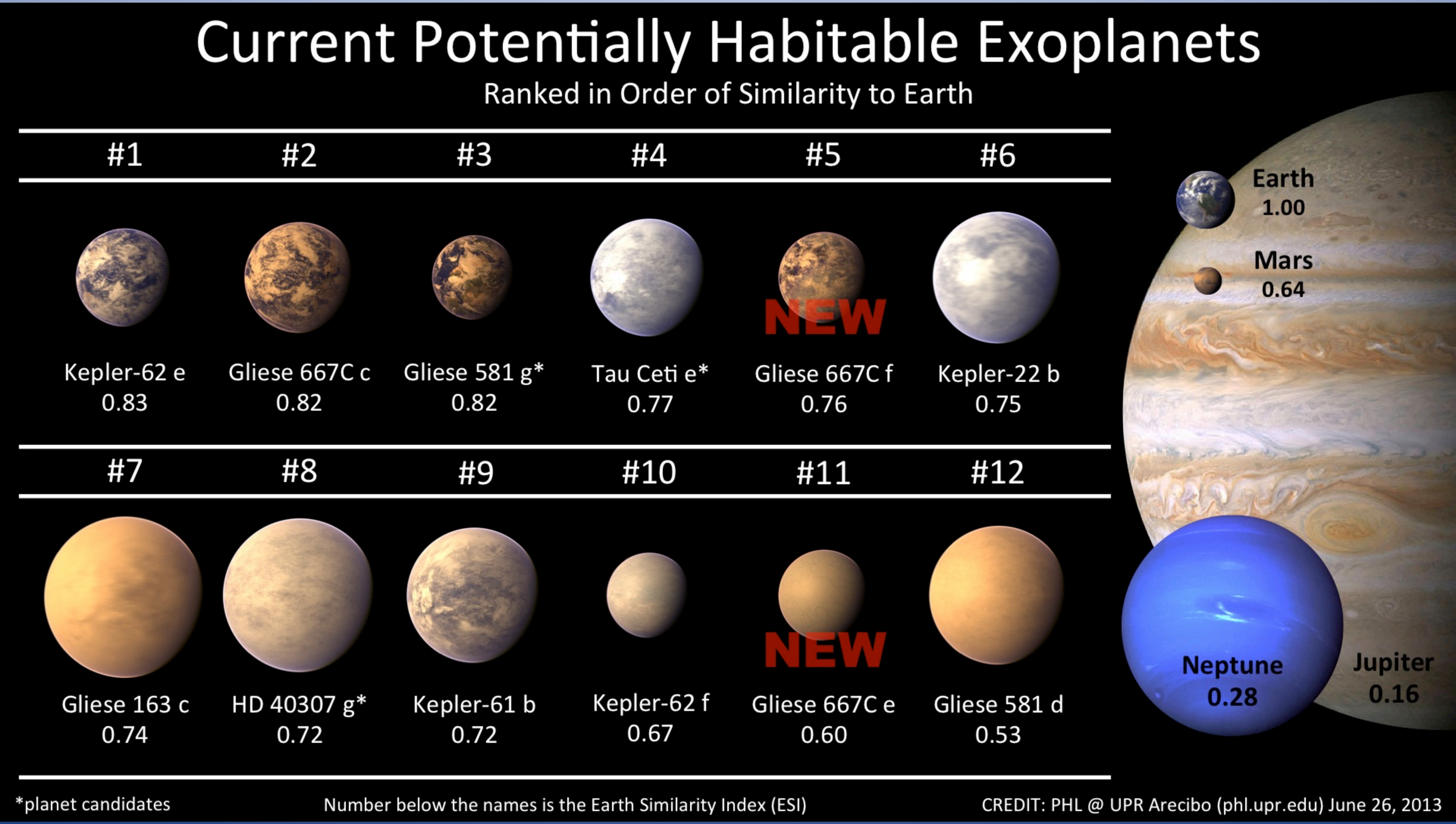
La zone habitable de Gliese 667C



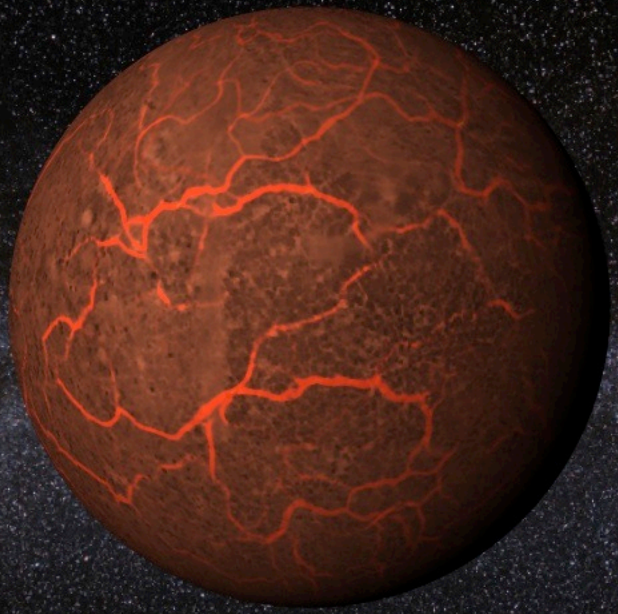
Vue d'artiste d'une planète dans la zone habitable de Gliese 667C



Les 12 exoplanètes potentiellement habitables



Alpha Centauri B b



Type	Hot Terran
Habitability	non habitable
Mass	$\geq 1.13\ M_E$
Radius	$\sim 1\ R_E$
Period	3.24 days
Dist. to Star	0.04 AU
Temperature	~ 870°C

Earth Similarity Index = 0.27

CREDIT: PHL @ UPR Arecibo

DES SIGNATURES DE LA VIE ?

D'ici vingt ans, devrait être publiée la première liste des planètes habitables à proximité du système solaire, grâce à laquelle des expériences futures pourront rechercher de possibles signatures spectroscopiques de la vie dans des atmosphères d'exoplanètes.

COMMUNIQUER AVEC LES EXTRATERRESTRES

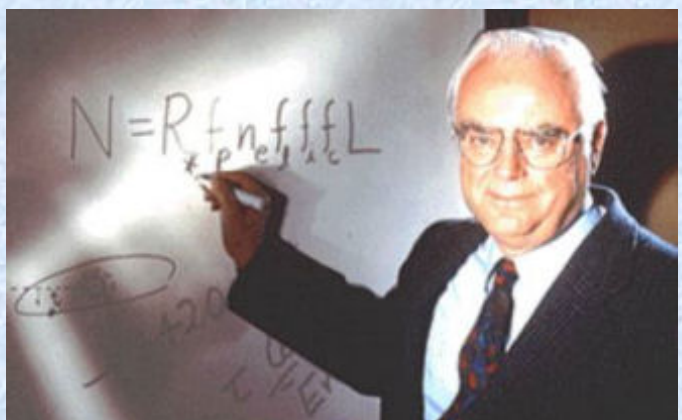
MYTHE
OU
RÉALITÉ ?

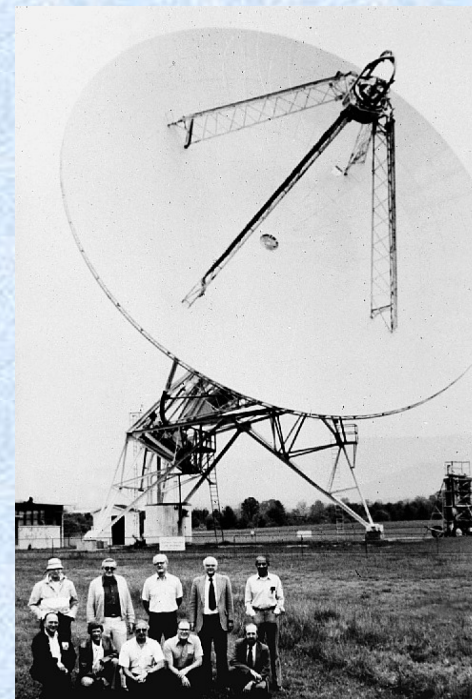
NAISSANCE DE SETI

Search for ExtraTerrestrial Intelligence

1959 : Cocconi et Morrison

1960 : Frank Drake



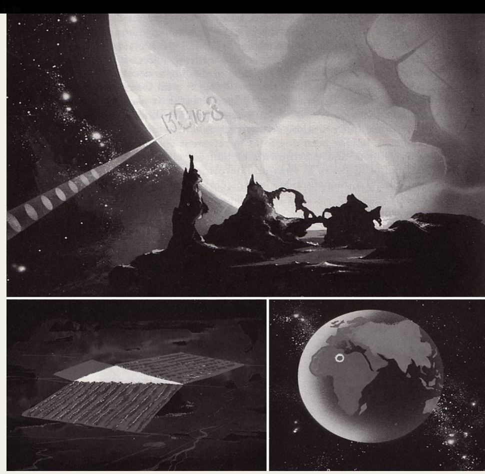


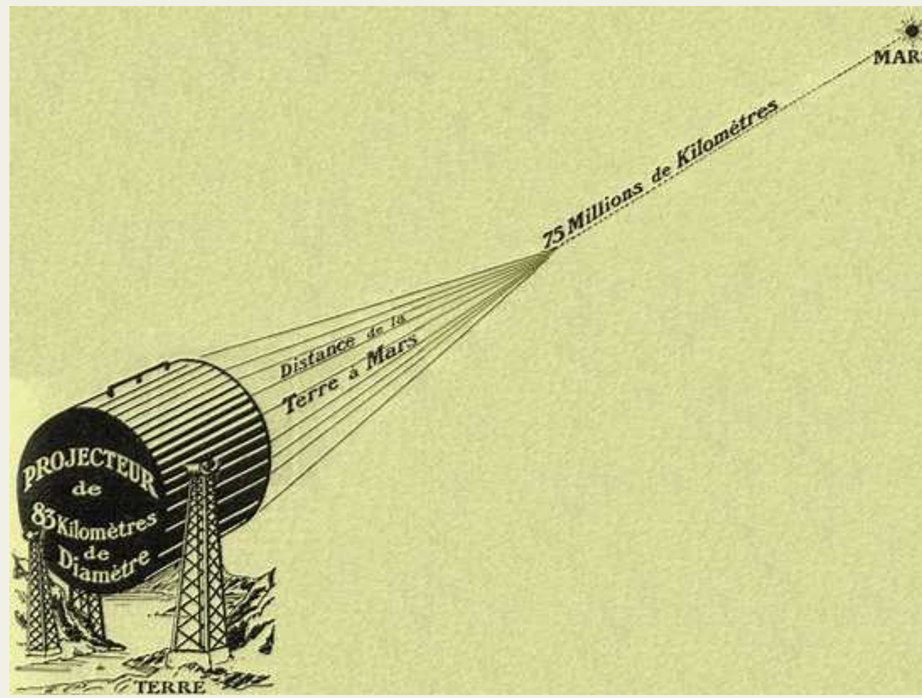
Les pionniers de la communication interastrale

Comment communiquer sur des distances interplanétaires ?

CREDIT: NASA/HSTI

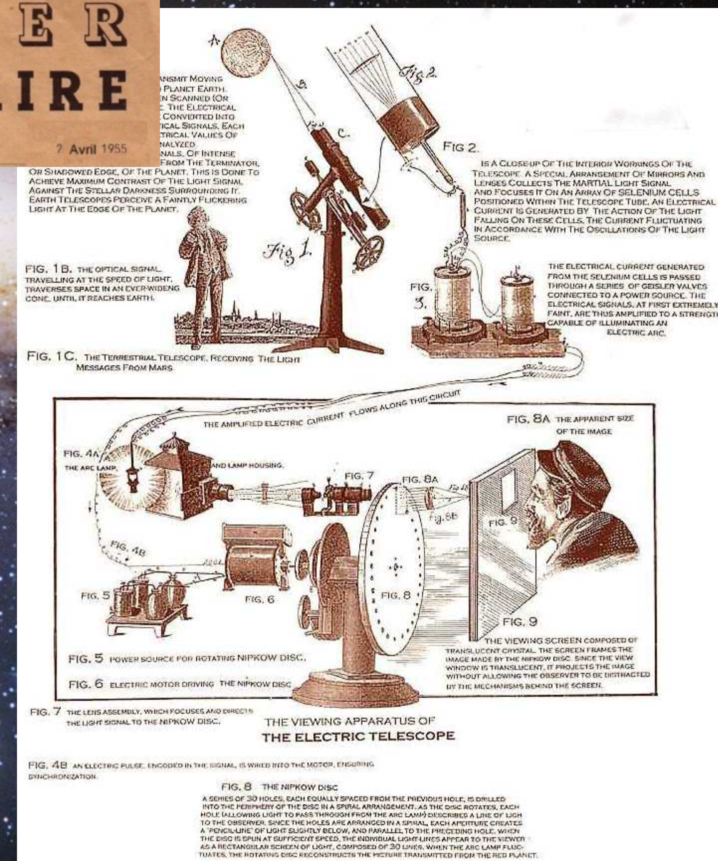
COMMUNIQUER AVEC LES HABITANTS DE LA LUNE
OU DE MARS





LA TÉLÉGRAPHIE INTERPLANÉTAIRE

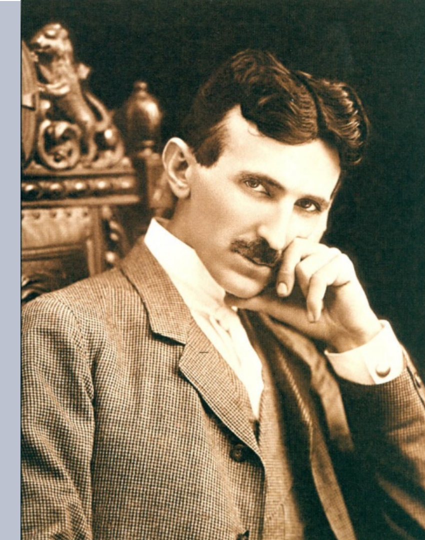
LE COURRIER
INTERPLANÉTAIRE
Journal international
No 7 Organe bimensuel de l'Association Mondialiste Interplanétaire 7 Avril 1955

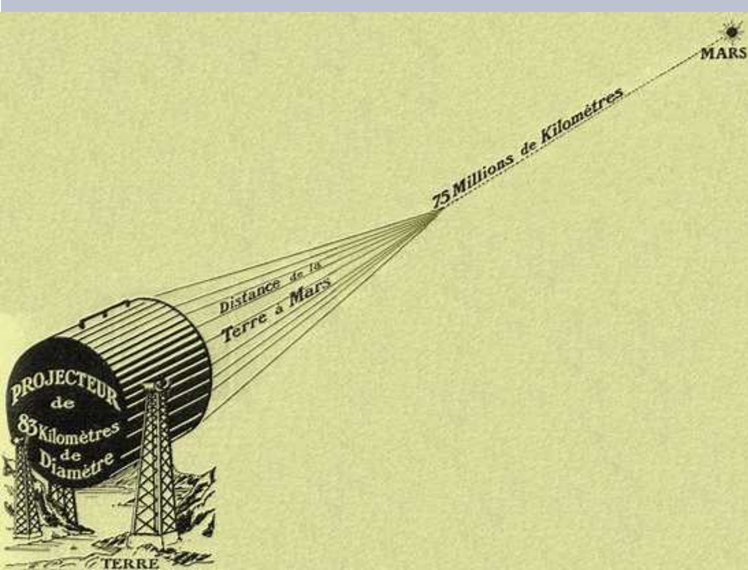


LA TÉLÉGRAPHIE INTERPLANÉTAIRE

de

Ch. Cros, C. Flammarion, W. Pickering, A. Mercier et N.Tesla

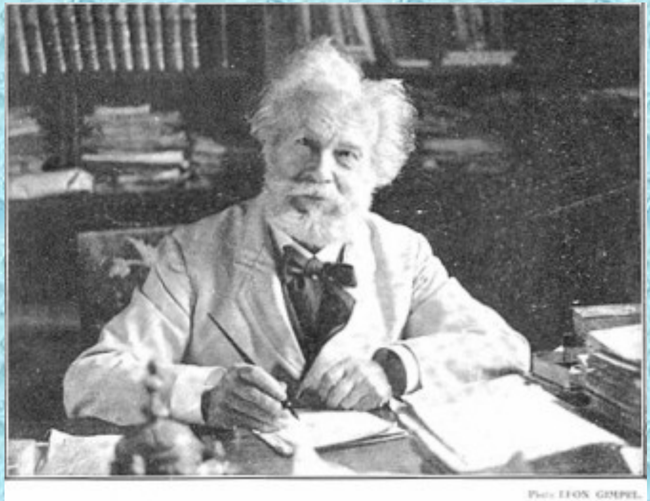


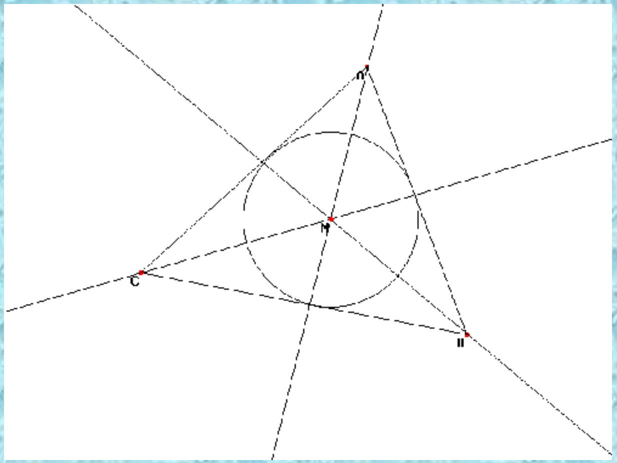


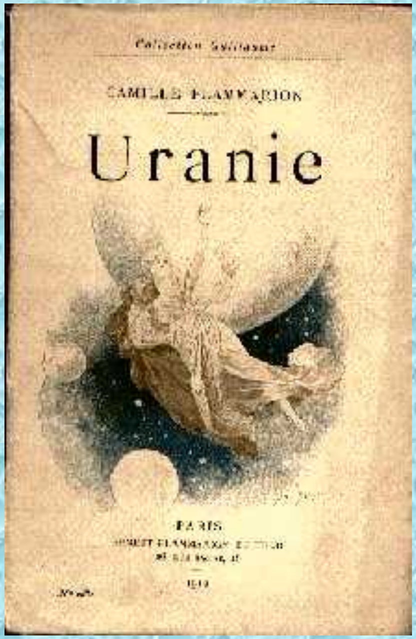
CHARLES CROS (1842-1888) et les faisceaux lumineux

Charles Cros (1842-1888) a inventé le paléophone, premier procédé de reproduction des sons en avril 1877.

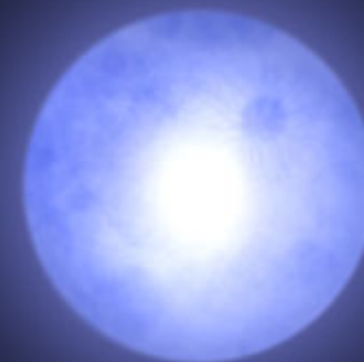
LA GÉOMÉTRIE UNIVERSELLE DE FLAMMARION


Le dernier Portrait de CAMILLE FLAMMARION





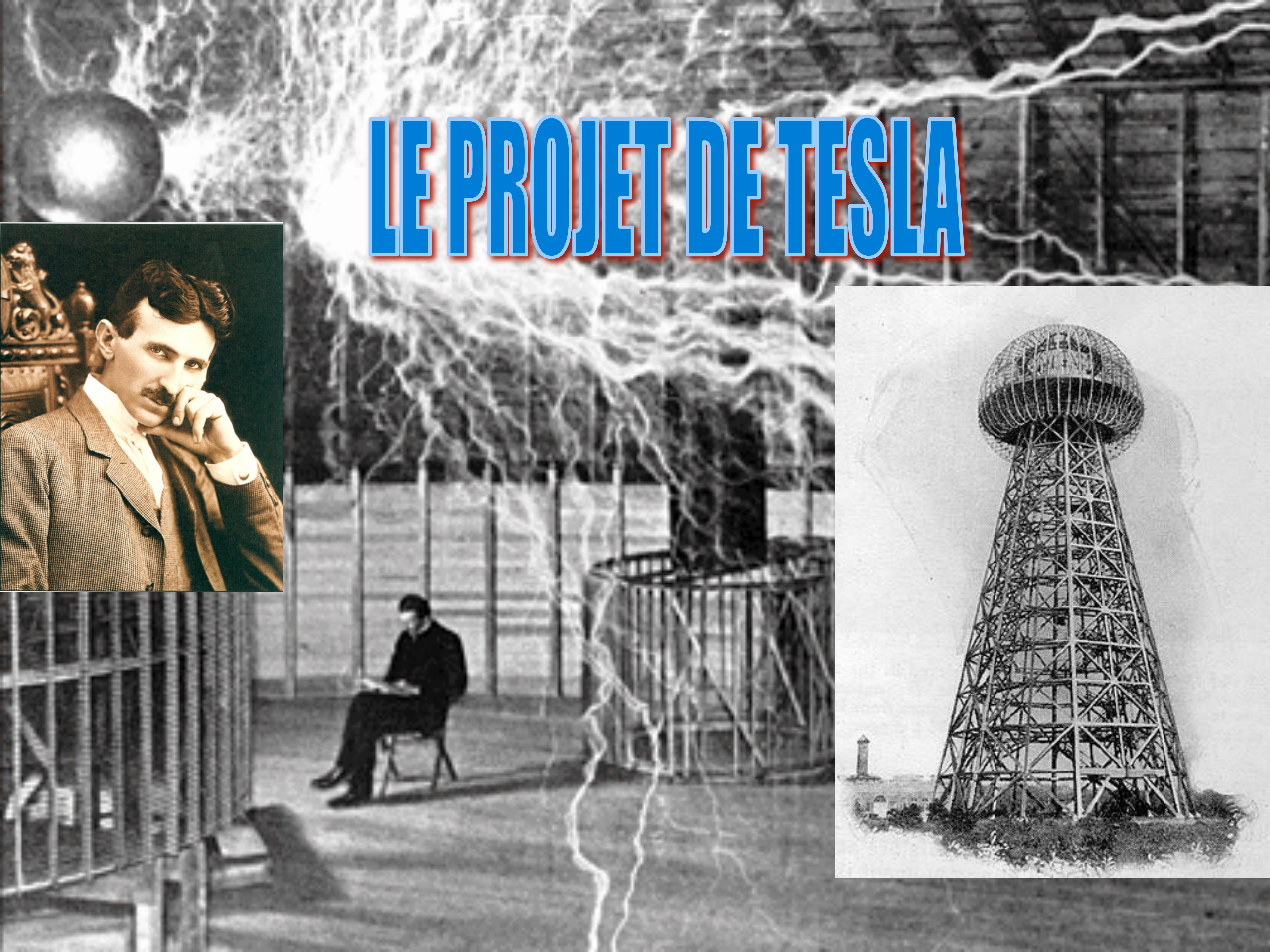
LA TÉLÉGRAPHIE DE MERCIER



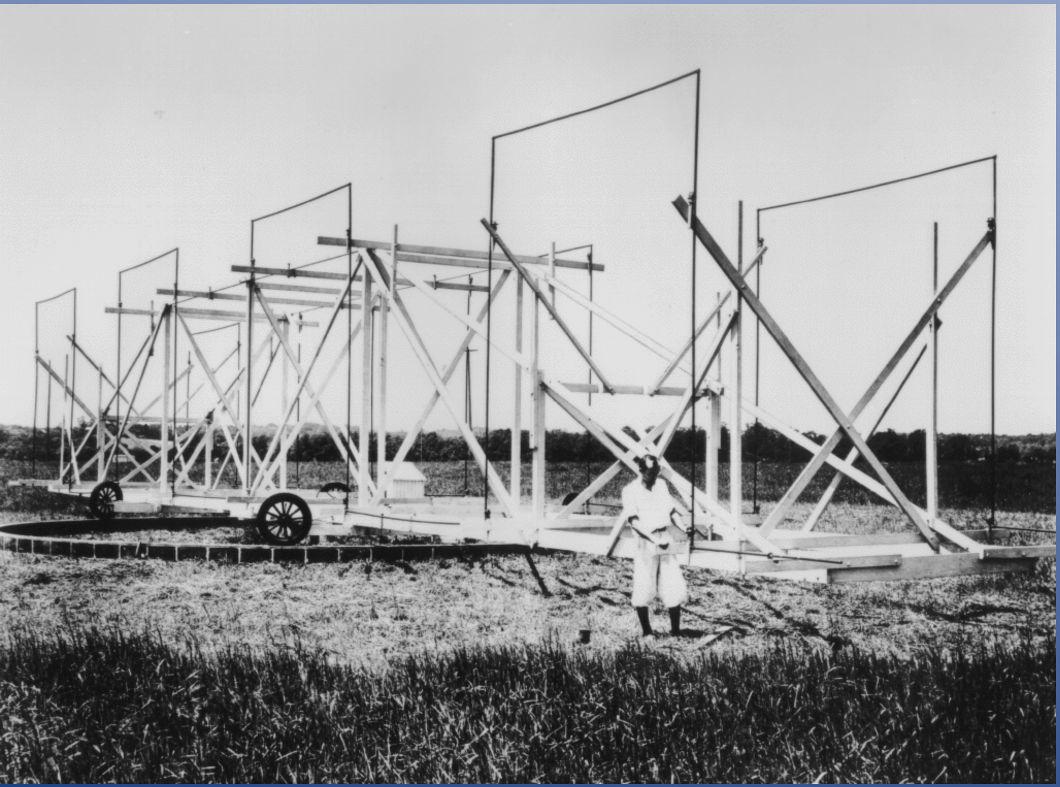
Le prix Guzman (1891)

« Un prix de 100 000 francs est légué à l'Institut de France (section des Sciences) pour la personne de n'importe quel pays qui trouvera le moyen, d'ici à dix années, de communiquer avec un astre (planète ou autre) et d'en recevoir réponse.

La testatrice désigne spécialement la planète Mars, sur laquelle se portent déjà l'attention et les investigations de tous les savants. »

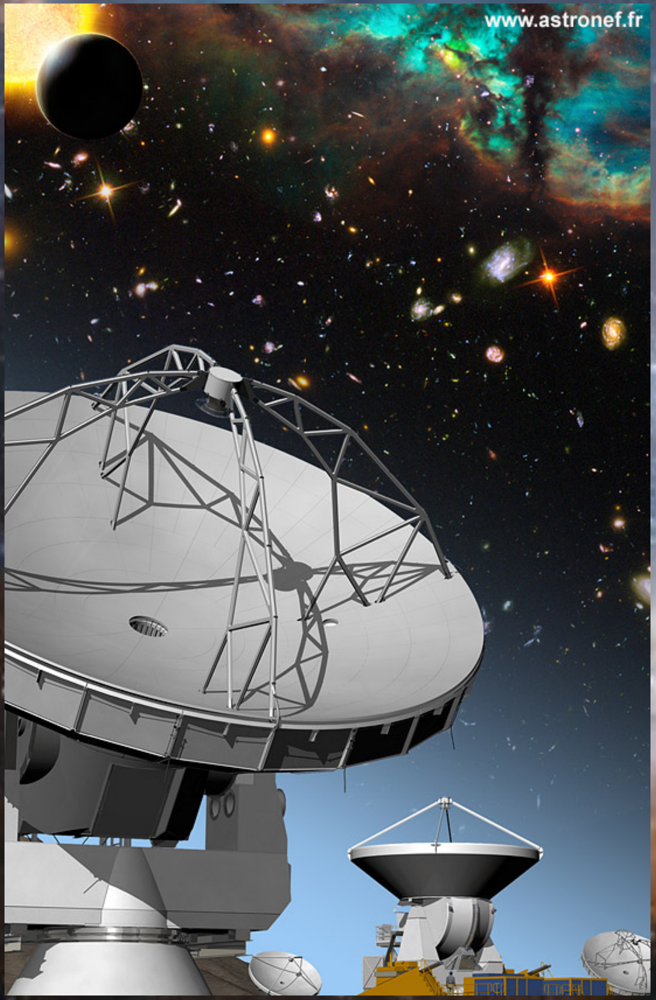

LE PROJET DE TESLA

NAISSANCE DES RADIO-TÉLÉCOMMUNICATIONS



NAISSANCE D'UNE SCIENCE DE LA COMMUNICATION INTERSTELLAIRE

COMMUNICATION WITH EXTRATERRESTRIAL INTELLIGENCE



L'ARTICLE DE COCCONI ET MORRISON

SEARCHING FOR INTERSTELLAR COMMUNICATIONS

By GIUSEPPE COCCONI* and PHILIP MORRISON†

Cornell University, Ithaca, New York

NO theories yet exist which enable a reliable estimate of the probabilities of (1) planet formation; (2) origin of life; (3) evolution of societies possessing advanced scientific capabilities. In the absence of such theories, our environment suggests that stars of the main sequence with a lifetime of many billions of years can possess planets, that of a small set of such planets two (Earth and very probably Mars) support life, that life on one such planet includes a society recently capable of considerable scientific investigation. The lifetime of such societies is not known; but it seems unwarranted to deny that among such societies some might maintain themselves for times very long compared to the time of human history, perhaps for times comparable with geological time. It follows, then, that near some star rather like the Sun there are civilizations with scientific interests and with technical possibilities much greater than those now available to us.

To the beings of such a society, our Sun must appear as a likely site for the evolution of a new society. It is highly probable that for a long time they will have been expecting the development of science near the Sun. We shall assume that long ago they established a channel of communication that would one day become known to us, and that they look forward patiently to the answering signals from the Sun which would make known to them that a new society has entered the community of intelligence. What sort of a channel would it be?

The Optimum Channel

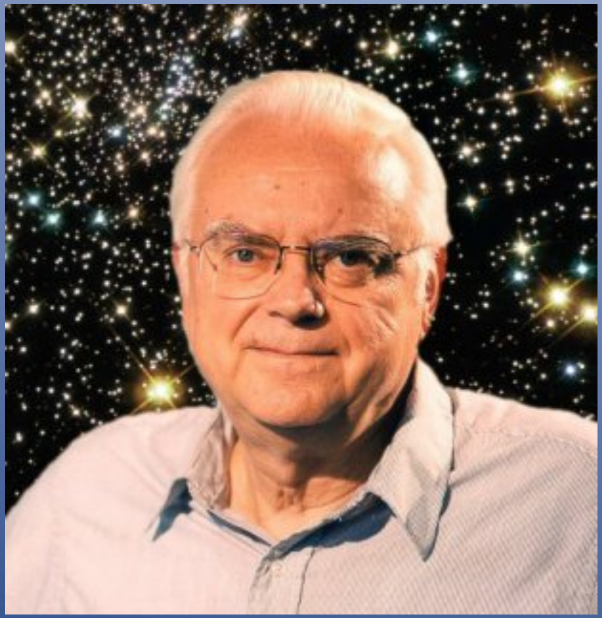
Interstellar communication across the galactic plasma without dispersion in direction and flight-time is practical, so far as we know, only with electromagnetic waves.

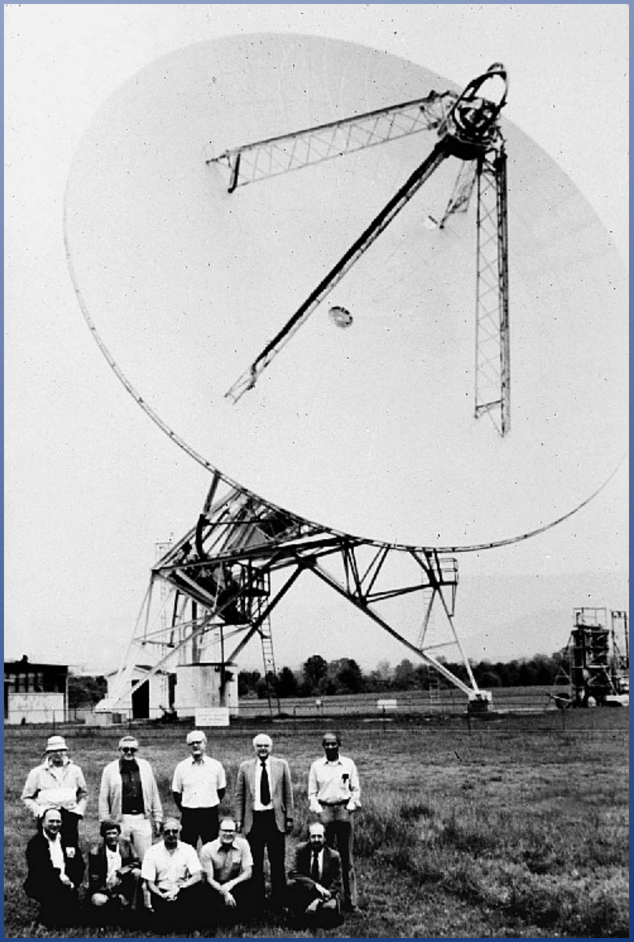
Since the object of those who operate the source is to find a newly evolved society, we may presume that the channel used will be one that places a minimum burden of frequency and angular discrimi-

* Now on leave at CERN, Geneva.

† Now on leave at the Imperial College of Science and Technology, London, S.W.7.

1960, Le projet OZMA de FRANK DRAKE





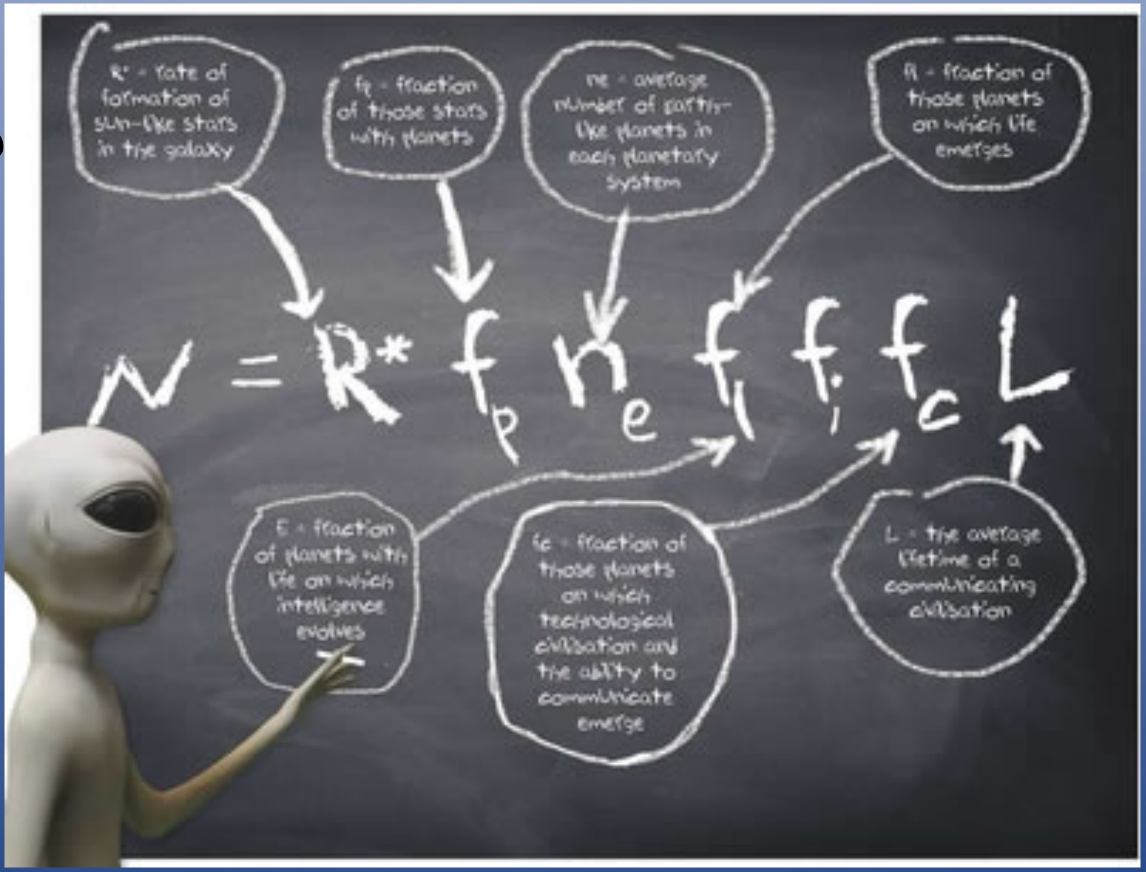
L' ORDRE DES DAUPHINS

Première réunion officielle sur la communication avec d'autres civilisations dans la galaxie

(Green Bank 1961)

Carl Sagan

L' ÉQUATION DE DRAKE



LE LANCEMENT DES PROGRAMMES SETI

Le projet Cyclops (1971)

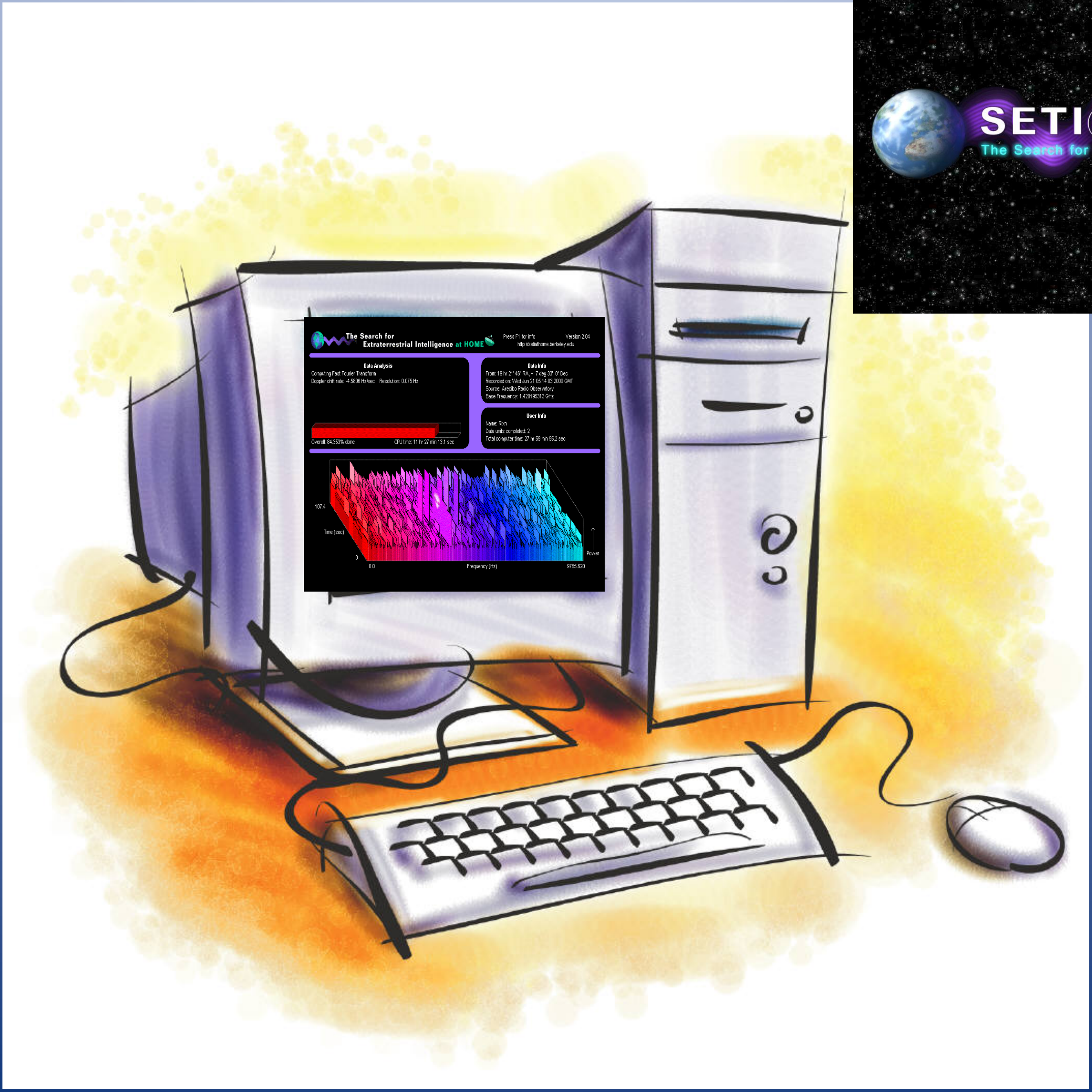
PROJET PHOENIX

Jill Tarter

PROJET SERENDIP

SETI
aux USA

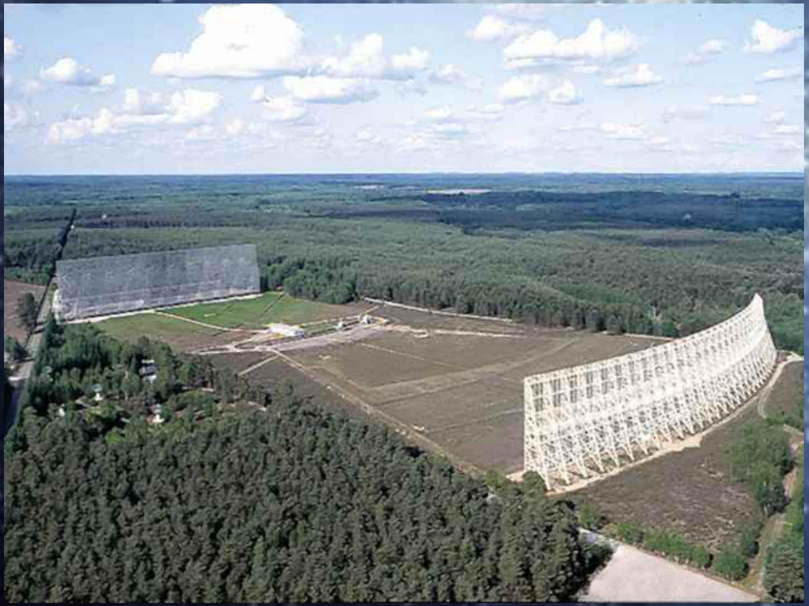
- SETI INSTITUTE
- PLANETARY SOCIETY
- SETI LEAGUE
- SETI@HOME


The Search for
Extraterrestrial Intelligence at HOME
Press F1 for info
Version 2.04
http://setiathome.berkeley.edu
Data Analysis
Computing Fast Fourier Transform
Doppler drift rate: -4.5806 Hz/sec Resolution: 0.075 Hz
Overall: 84.353% done
CPU time: 11 hr 27 min 13.1 sec
Data Info
From: 19 hr 21' 46" RA, + 7 deg 33' 0" Dec
Recorded on: Wed Jun 21 05:14:03 2000 GMT
Source: Arecibo Radio Observatory
Base Frequency: 1.420195313 GHz
User Info
Name: Rixn
Data units completed: 2
Total computer time: 27 hr 59 min 55.2 sec
107.4
Time (sec)
0
0.0
Frequency (Hz)
9765.620
Power


SETI@home
The Search for Extraterrestrial Intelligence

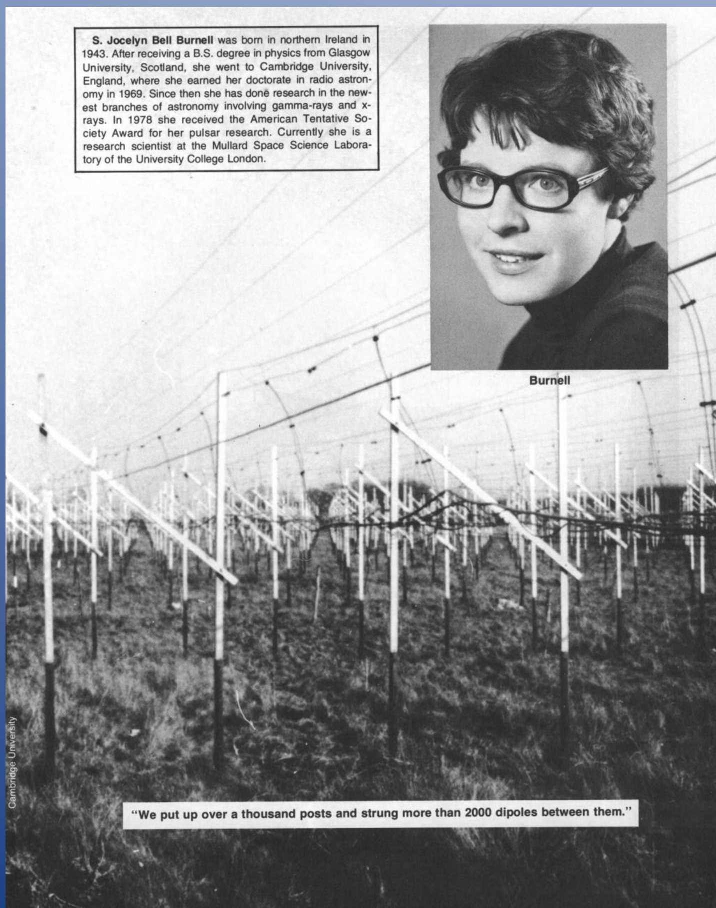
SETI PASSIF : « ÉCOUTER » LES ÉTOILES

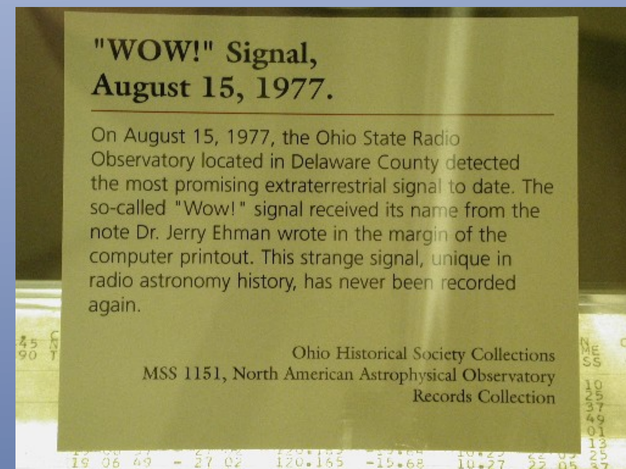
- Signaux domaine radio : écoutes ciblées ou balayage de tout le ciel
- Signaux domaine optique

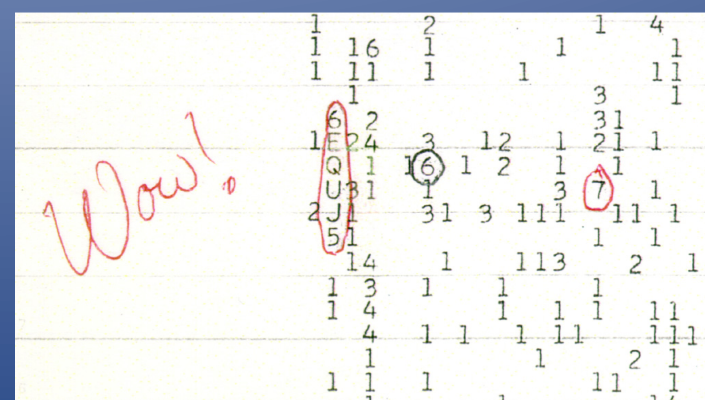


SETI OPTIQUE

LES FAUSSES ALERTES



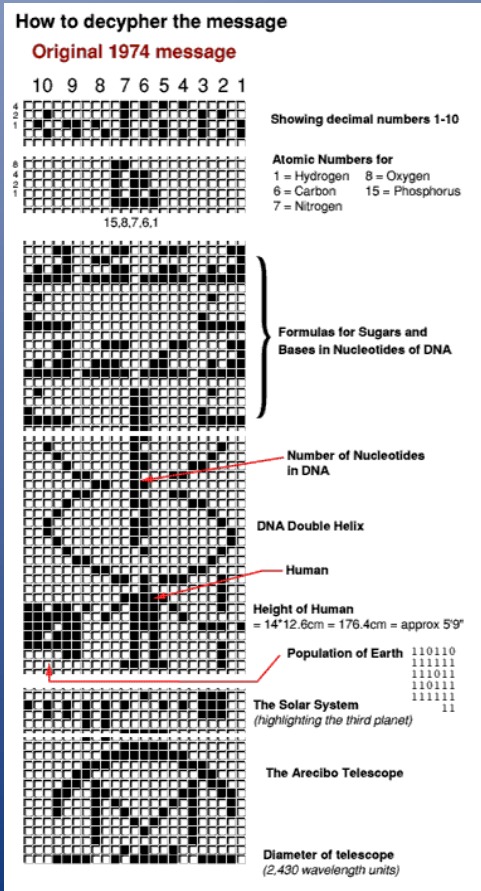


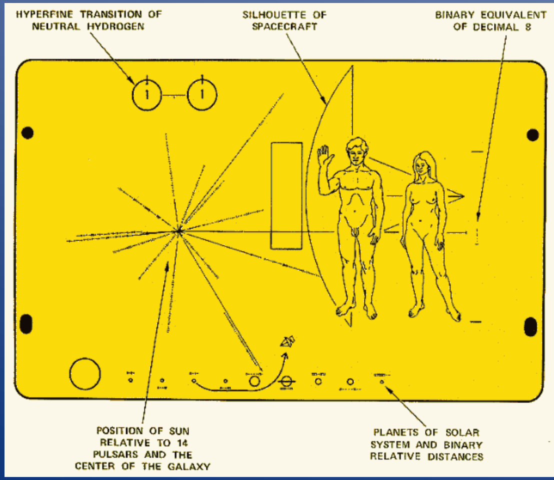


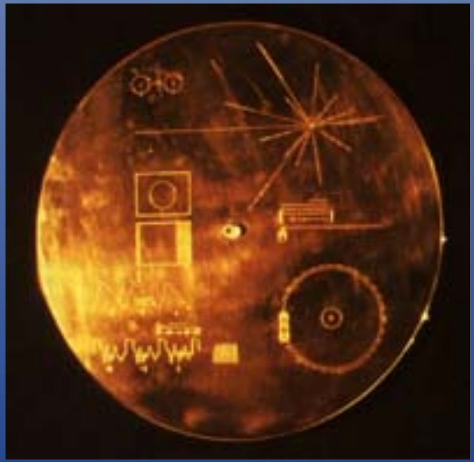
SE SIGNALER ?

SETI ACTIF

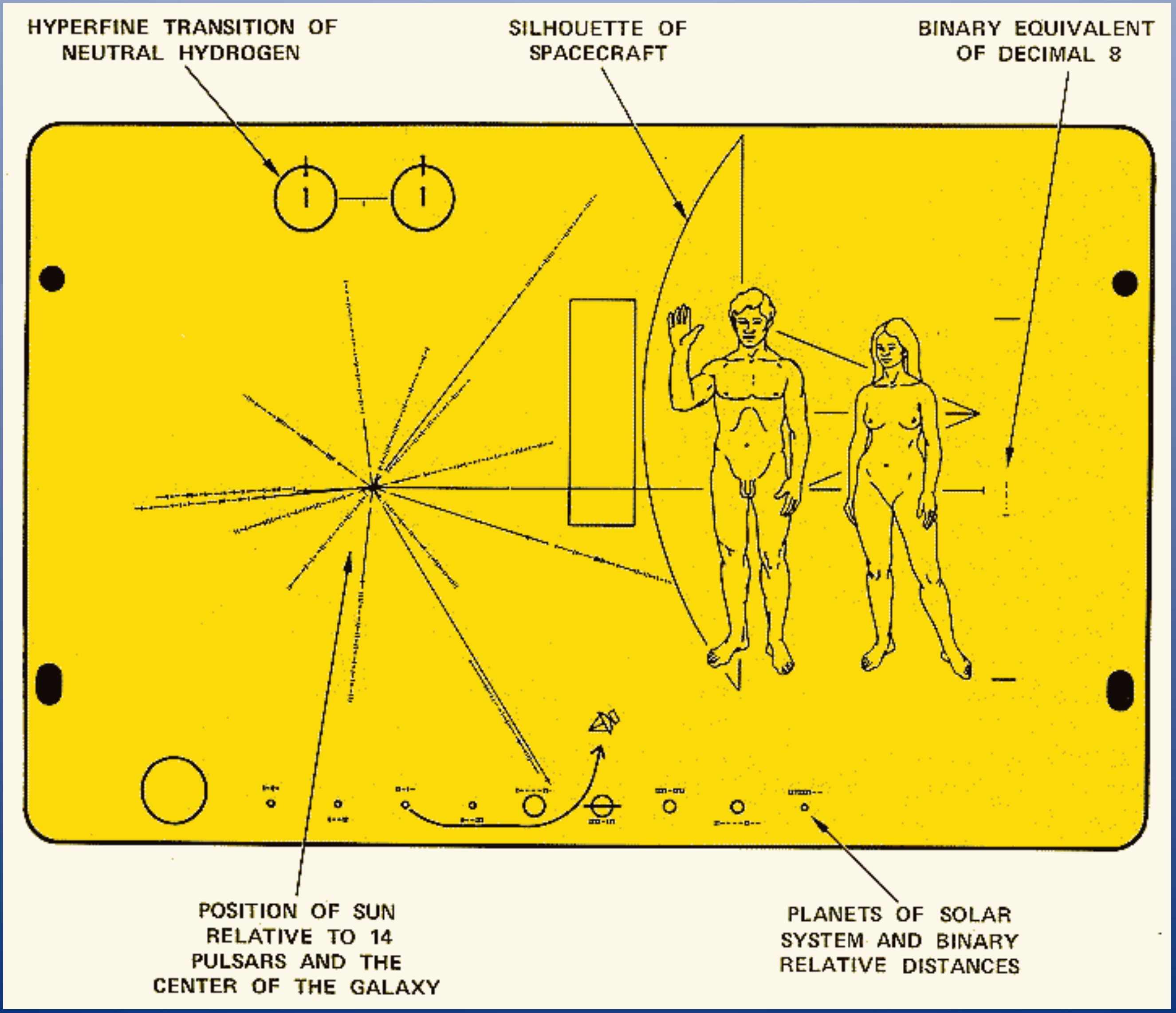
- La plaque des sondes Pioneer (1972, 1973)
- Le message d’Arecibo (1974)
- Le disque de Voyager (1977)



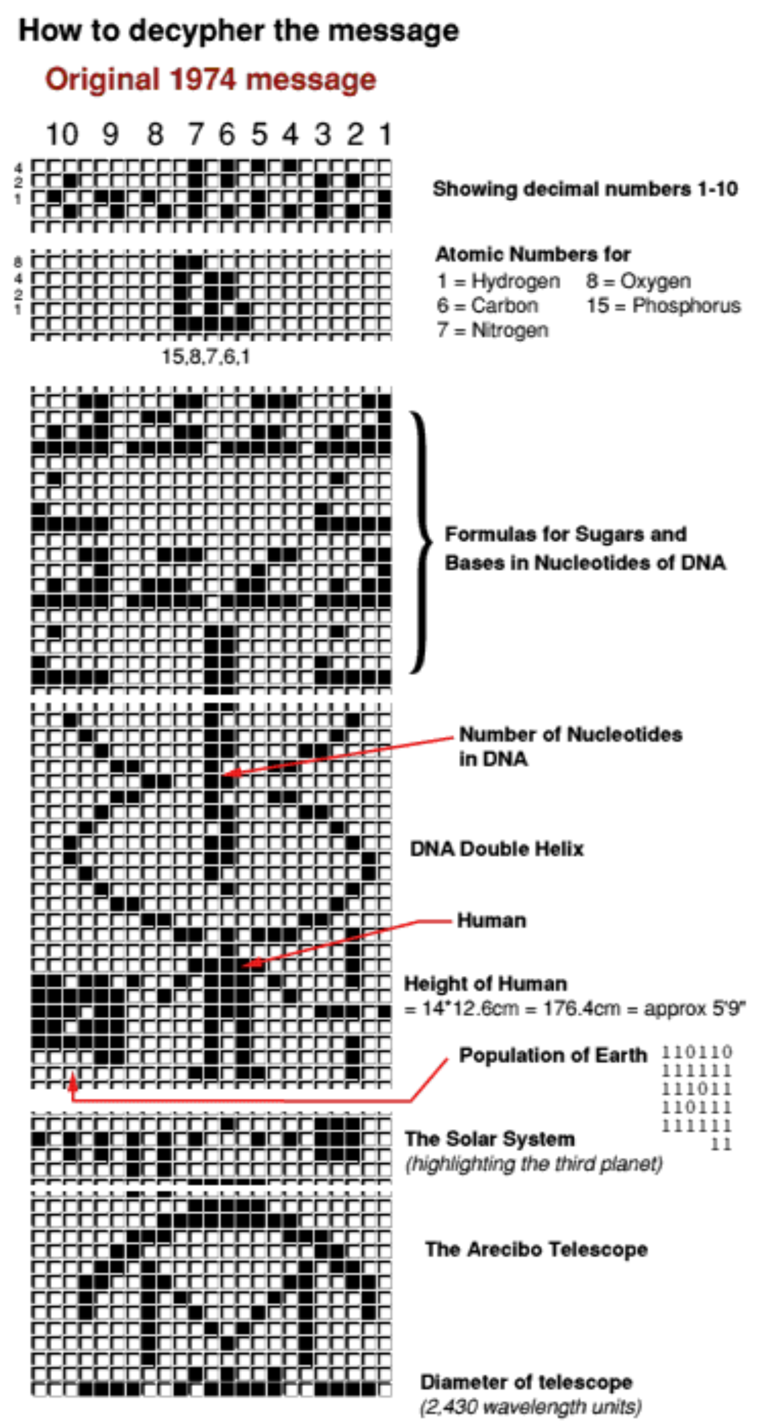




LA PLAQUE PIONEER

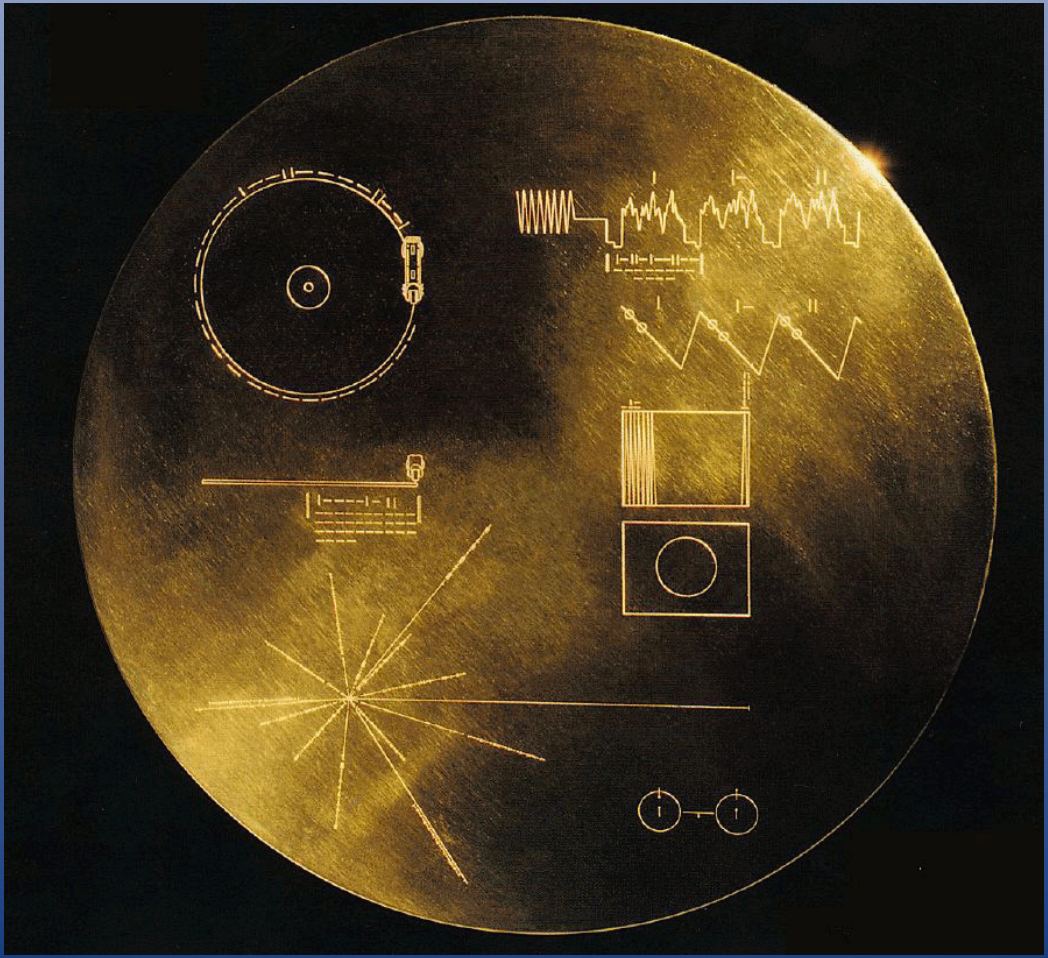


LE MESSAGE D'ARECIBO

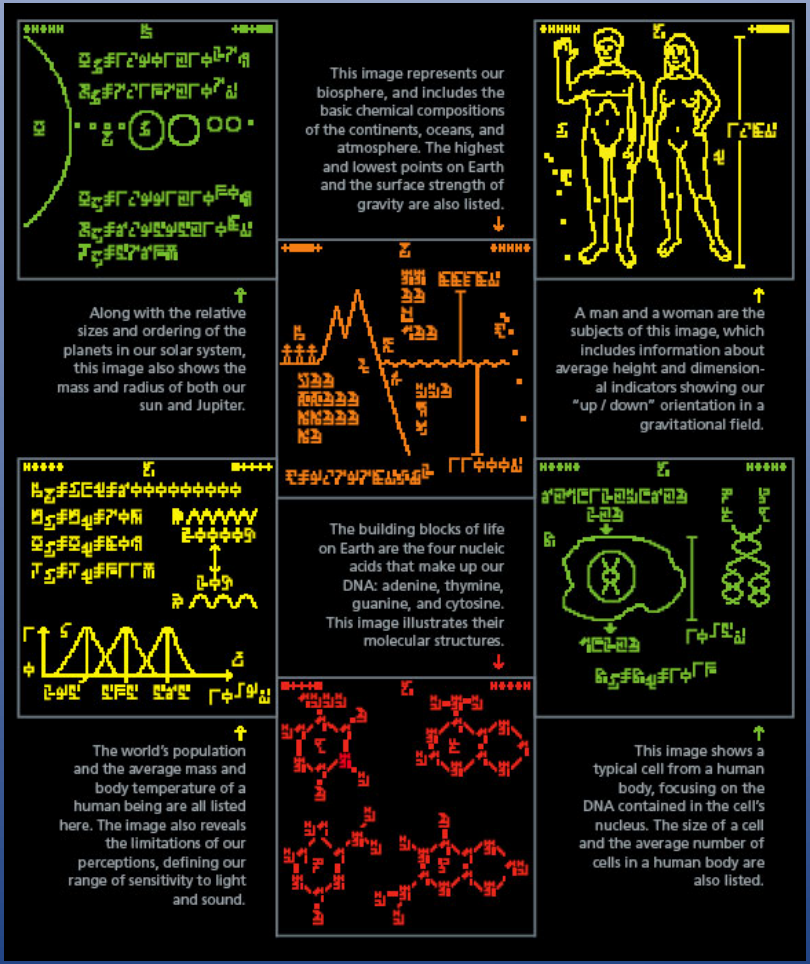


LE DISQUE VOYAGER

Une collection de 116 images et illustrations, des sons de la nature, des langues et salutations, des musiques



COSMIC CALLS MESSAGES

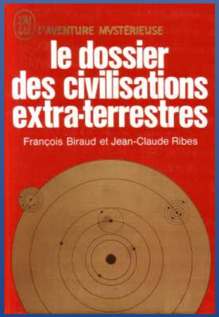


TEEN AGE MESSAGES

A MESSAGE FROM EARTH

Message envoyé en octobre 2008 en direction de l'exoplanète Gliese 581c, qu'elle atteindra vers 2029

SETI EN FRANCE

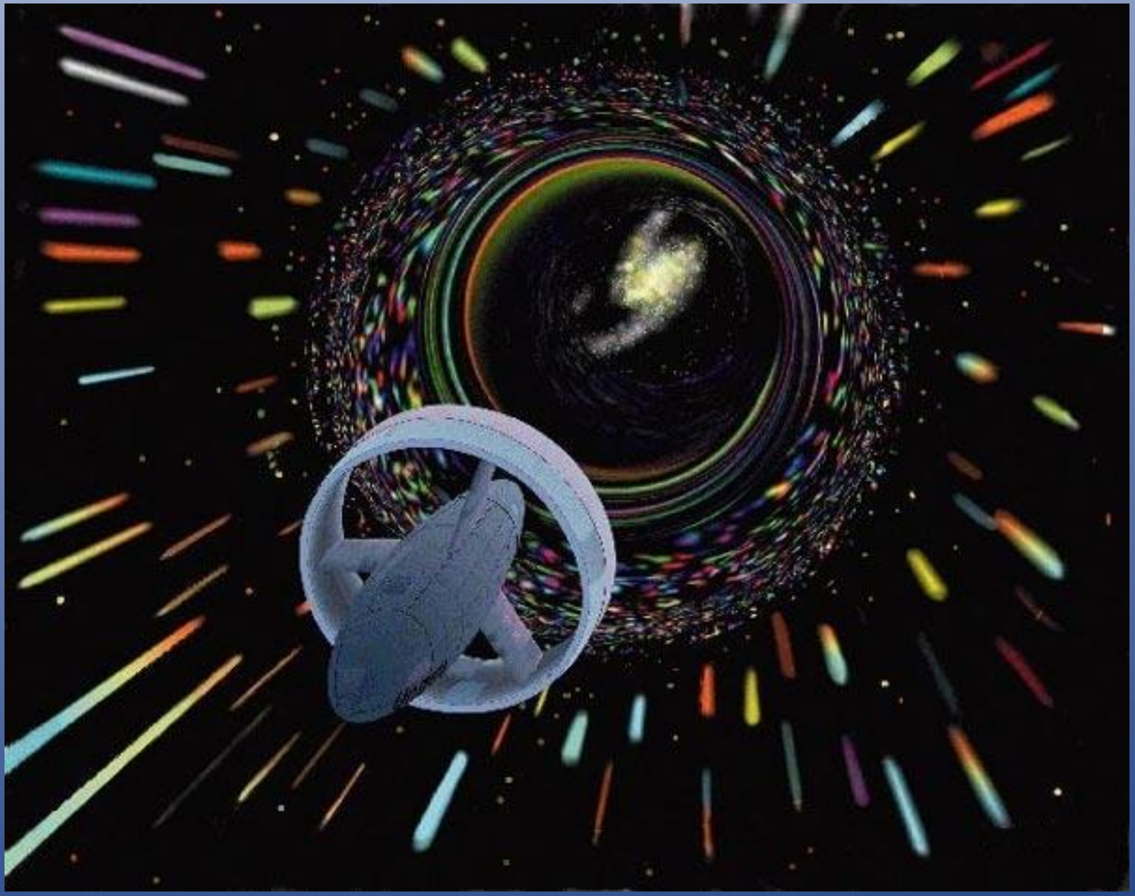


PROJET ATA

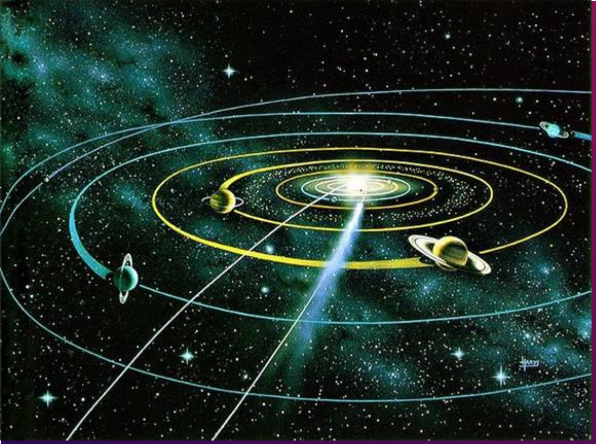
- ATA : ALLEN TELESCOPE ARRAY


MAIS OÙ SONT-ILS ?
ça, c’est une bonne question !

LE PARADOXE DE FERMI



Mais où sont-ils ?????



LE ZOO COSMIQUE