

Université de Strasbourg
IUT Robert Schuman
<http://chemphys.u-strasbg.fr/mpb/teach/originevie.html>

L'ORIGINE DE LA VIE

Sophie Bennhar
2ème année DUT Chimie
2009-2010

dirigé et complété par : **Marie-Paule Bassez**
Professeur



2009



Année de l'Astronomie

1609: il y a 400 ans:

- Johannes Kepler publie ses lois.
- Galilée construit la lunette avec laquelle il découvre les cratères lunaires, 4 satellites de Jupiter, l'anneau de Saturne, les taches solaires, les étoiles de la voie lactée...

1969: il y a 40 ans:

- Neil Armstrong et Edwin Aldrin marchent pour la 1ère fois sur la Lune (mission Apollo avec Michael Collins).

Année Darwin

1809: il y a 200 ans: naissance de Charles Darwin

1859: il y a 150 ans:

" l'Origine des Espèces" est publié.

L'origine de la vie sur Terre?

- D'où venons nous?
Tout le monde s'est déjà posé cette question, mais personne n'a réussi à y répondre.
- Cependant il existe des hypothèses qui expliqueraient cette origine.



ESA

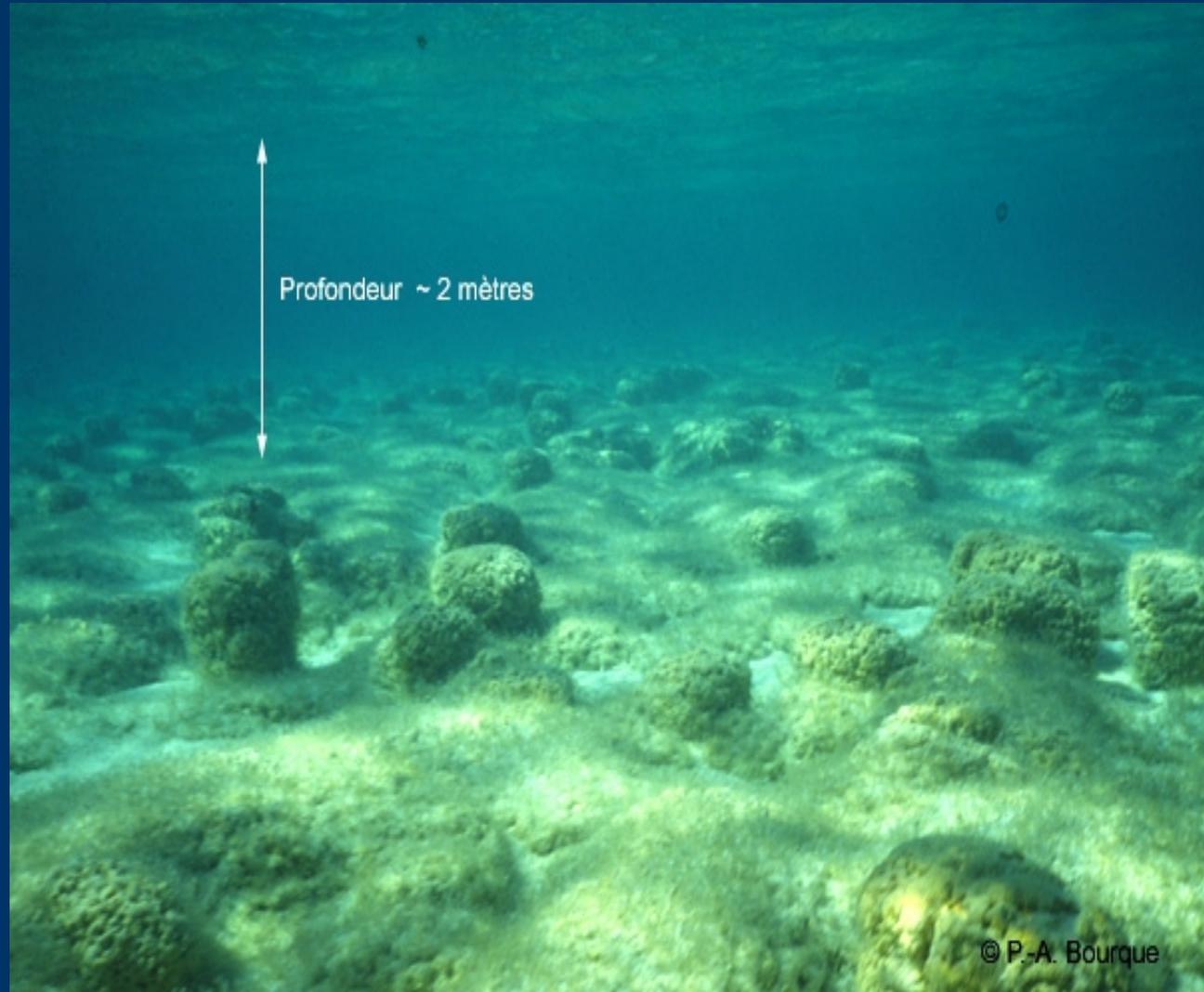
Stromatolithes anciens



Pilbara, Warrawoona, Australie de l'ouest où W. Schopf a collecté des échantillons de stromatolithes et échantillon de la bibliothèque de Perth. [1]

Stromatolithes actuels

Tapis bactérien (microbial mat): tapis gélaniteux constitué de filaments bactériens, dont les cyanobactéries, qui piègent les sédiments. Ce sont des stromatolithes en formation.



[2] et [3]

Baie des requins, Australie,

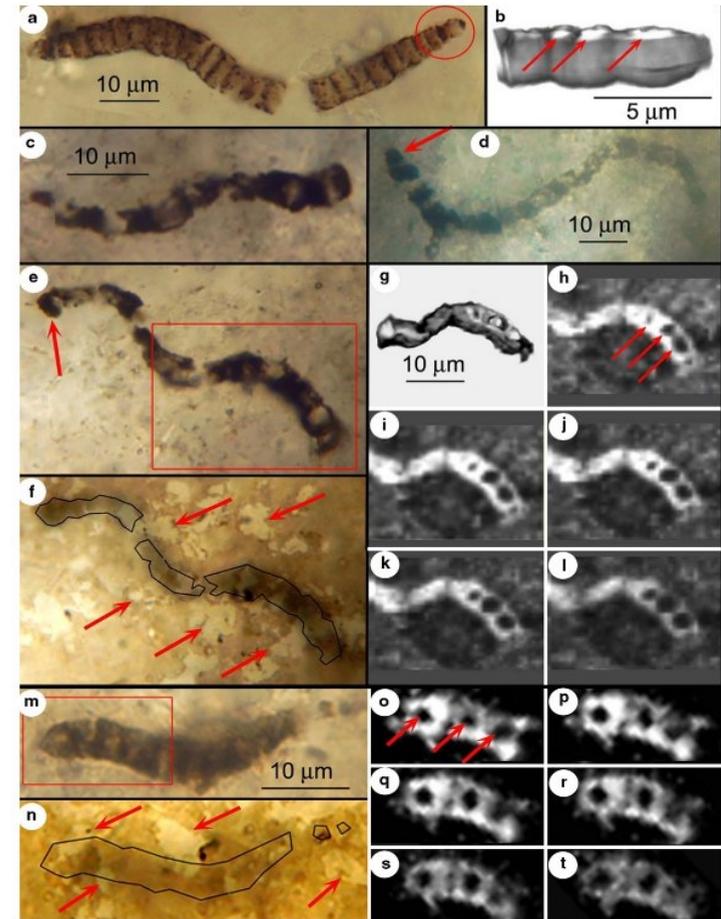
Coupes minces de stromatolithes

Filaments carbonés dans les roches sédimentaires de:

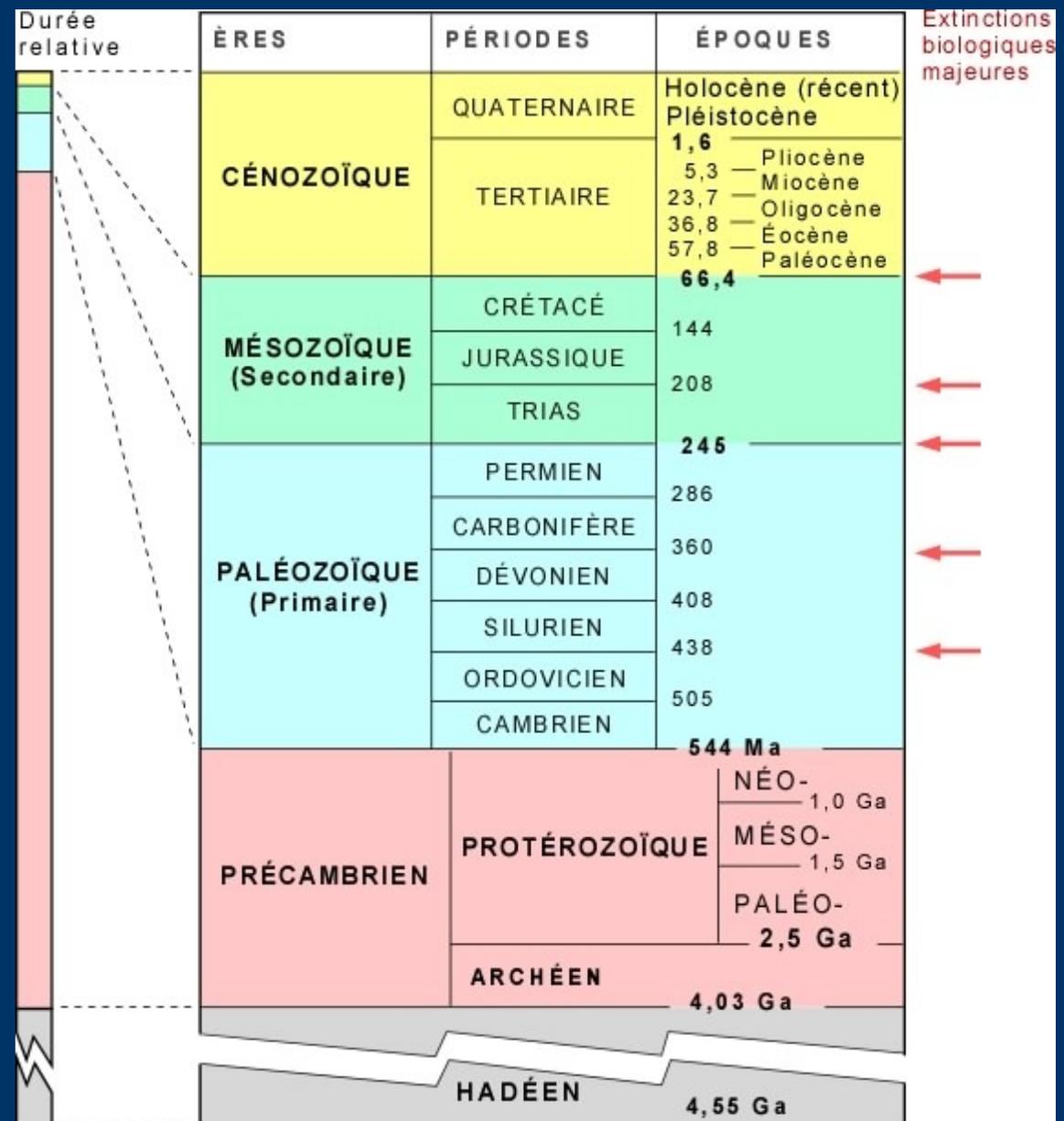
Bitter Springs, Australie du centre, (a,b), attribués à un microbe du Précambrien Protérozoïque, ~750 Ma (millions an.)

et de Pilbara, Australie de l'ouest, (c-t) attribués à des microbes filamenteux cellulaires.

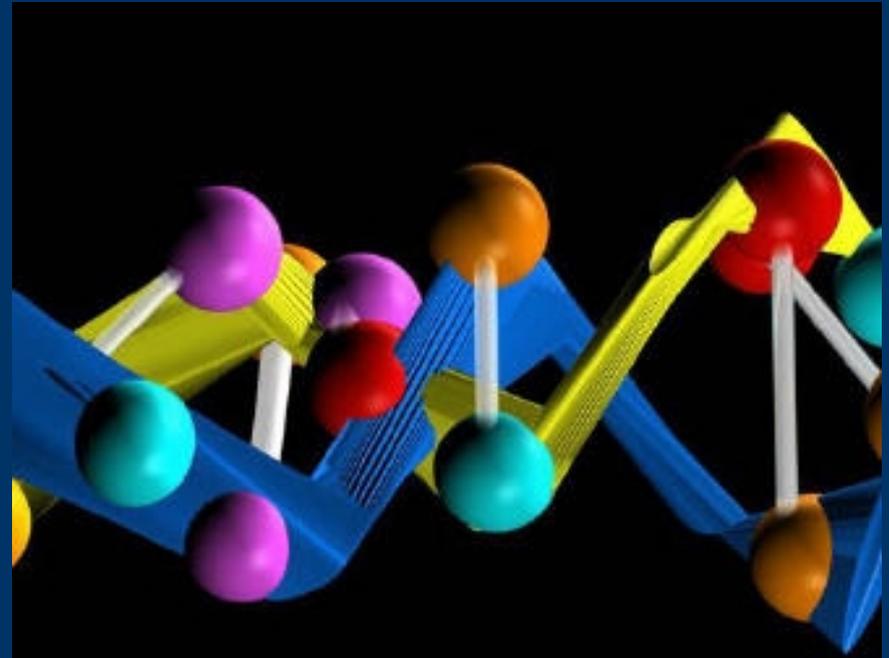
Ce seraient des microfossiles de cellules bactériennes.



Le calendrier géologique
les cycles biogéochimiques



- La vie serait donc apparue sur Terre il y a environ 3,5 à 3,8 milliards d'années.
- Comment est-elle apparue et dans quelles conditions?



Pour commencer, il est important de se demander quelles sont les molécules nécessaires à la vie.

- L'eau liquide: la Terre est la seule planète connue où l'on trouve l'eau sous forme liquide.
 - Les molécules élémentaires du vivant:
 - Les sucres, les bases azotées et les phosphates qui font partie de la structure élémentaire de l'ADN et de l'ARN.
 - Les 20 acides aminés qui permettent la synthèse des protéines des cellules vivantes
 - Les lipides trouvés dans les membranes des cellules.
-
-

Les bases azotées

Elles sont les composantes principales des nucléotides qui servent à la construction de l'ADN et de l'ARN. Il y en 5:

- 2 bases puriques

- L'adénine: pour l'ADN et l'ARN

- La guanine: pour l'ADN et l'ARN

- 3 bases pyrimidiques

- La cytosine: pour l'ADN et l'ARN

- La thymine: pour l'ADN

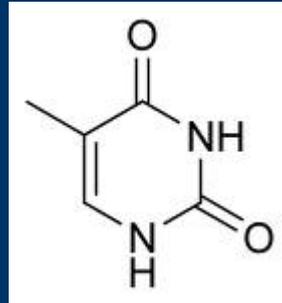
- L'uracile: pour l'ARN

ADN (ATGC) et ARN (AUGC)

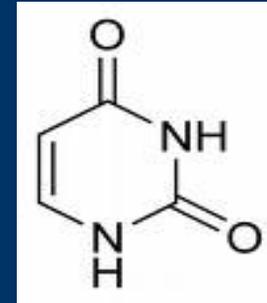
Structure des bases azotées



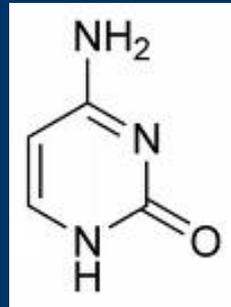
Adénine



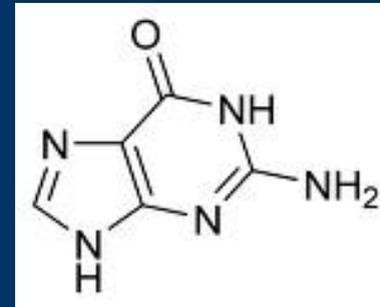
Thymine



Uracile



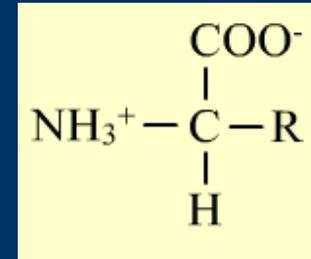
Cytosine



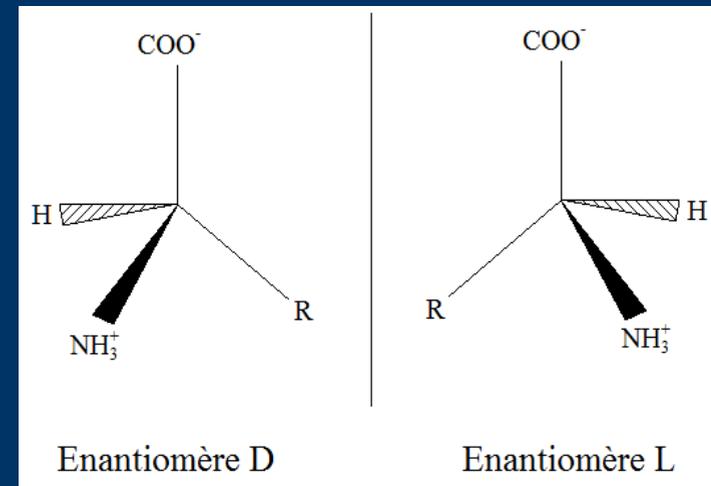
Guanine

Les acides aminés

- Un acide aminé se présente sous la forme suivante:

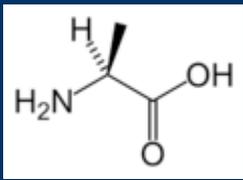


- Le carbone portant les 4 groupements est asymétrique. Ainsi les acides aminés sont dits chiraux, à l'exception de la glycine qui n'a pas de centre d'asymétrie. Cette chiralité implique l'existence de deux énantiomères:

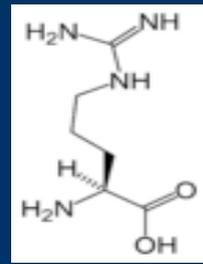


• Tous les acides aminés naturels trouvés dans les molécules du vivant se trouvent sous la forme L- On parle d'homochiralité. Ils en existent 20.

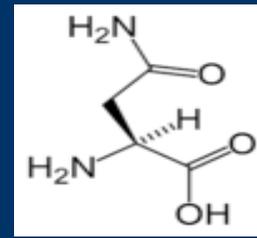
Nom complet de l'acide aminé	Code à une lettre	Code à trois lettres
<u>Alanine</u>	A	Ala
<u>Arginine</u>	R	Arg
<u>Asparagine</u>	N	Asn
<u>Aspartate ou acide aspartique</u>	D	Asp
<u>Cystéine</u>	C	Cys
<u>Glutamate ou acide glutamique</u>	E	Glu
<u>Glutamine</u>	Q	Gln
<u>Glycine</u>	G	Gly
<u>Histidine</u>	H	His
<u>Isoleucine</u>	I	Ile
<u>Leucine</u>	L	Leu
<u>Lysine</u>	K	Lys
<u>Méthionine</u>	M	Met
<u>Phénylalanine</u>	F	Phe
<u>Proline</u>	P	Pro
<u>Sérine</u>	S	Ser
<u>Thréonine</u>	T	Thr
<u>Tryptophane</u>	W	Trp
<u>Tyrosine</u>	Y	Tyr
<u>Valine</u>	V	Val



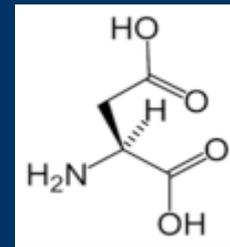
(Ala/A)



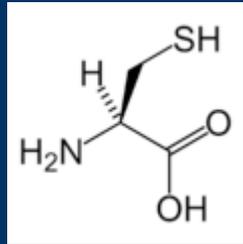
(Arg/R)



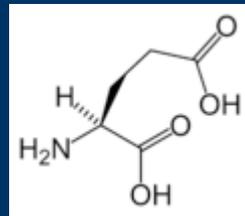
(Asn/N)



(Asp/D)



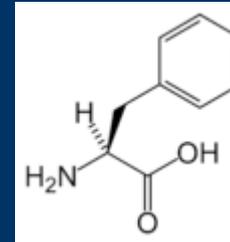
(Cys/C)



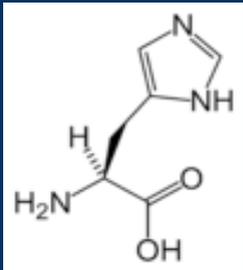
(Glu/E)



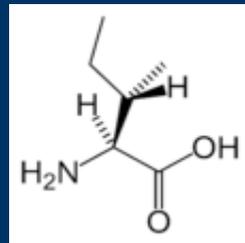
(Gln/Q)



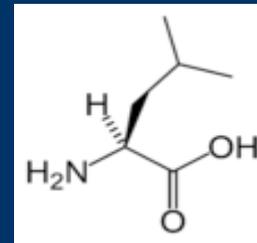
(Phe/F)



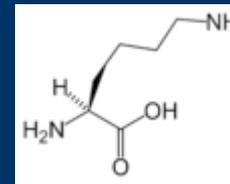
(His/H)



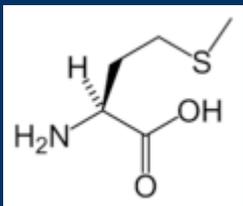
(Ile/I)



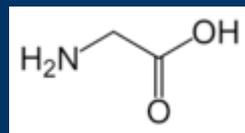
(Leu/L)



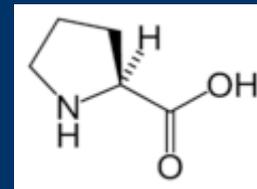
(Lys/K)



(Met/M)



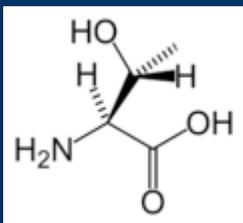
(Gly/G)



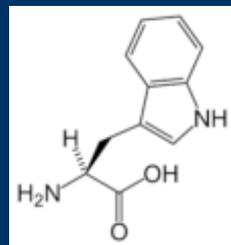
(Pro/P)



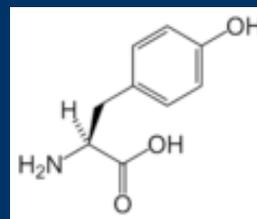
(Ser/S)



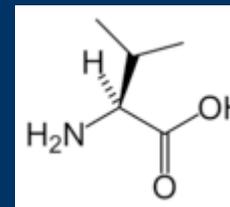
(Thr/T)



(Trp/W)

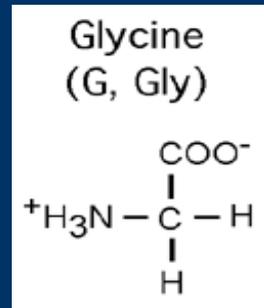


(Tyr/Y)



(Val/V)

La Glycine



- Il est le plus simple des acides aminés. C'est pour cela que les chercheurs l'étudient. Son carbone central n'est pas asymétrique.
- Entre 1976 et 1978, le professeur M.P. Bassez a analysé le spectre rotationnel de cette molécule afin de déterminer les fréquences rotationnelles qui permettent de rechercher cette molécule dans l'espace interstellaire.

[7]

- Ainsi, en 1978, avec une équipe de Monash University, elle fut le premier chercheur à rechercher la glycine, à l'aide d'un radiotélescope, dans les nuages moléculaires interstellaires:
la molécule n'a pas été détectée.

[8]



radiotélescope de Parkes en Australie

[9]

La Recherche de la glycine

- *Dans le milieu interstellaire :*

- Brown et al. 1979
- Hollis et al. 1980
- Snyder et al. 1983
- Beralis et al. 1985
- Guélin Cernicharo 1989
- Combes et al. 1996
- Ceccarelli 2000
- Snyder 1997
- Hollis et al. 2003K
- Kuan et al. 2003
- Snyder 2005
- Jones et al. 2007
- Cunningham et al. 2007
- Guélin et al. 2008

- *Dans les comètes: détectée dans Wild 2 (2009)
dans les météorites (chondrites carbonées):
détectée (après hydrolyse acide)*

	dans MIS	
methyl carbamate	$\text{NH}_2\text{-COOCH}_3$	recherchée
2-aminoethanol	$\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$	recherchée
aminoacétonitrile	$\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-CN}$	détectée
formamide	$\text{NH}_2\text{-CHO}$	détectée
methylamine	$\text{NH}_2\text{-CH}_3$	détectée
acetic acid	$\text{CH}_3\text{-COOH}$	détectée

Molécules détectées dans le MIS et les enveloppes circumstellaires: Gaz et Solide

(Milieu InterStellaire)

Composés hydrogénés

H₂, HD, H₃⁺, H₂D⁺

Chaînes et cycles carbonés

CH	CH ⁺	C ₂	CH ₂	CCH	C ₃
CH ₃	C ₂ H ₂	1-C ₃ H	c-C ₃ H	CH ₄	C ₄
C-C ₃ H ₂	1-C ₃ H ₂	C ₄ H	C ₅	C ₂ H ₄	C ₅ H
1-H ₂ C ₄	HC ₄ H	CH ₃ CCH	C ₆ H	C ₆ H ₂	HC ₆ H

C ₇ H	CH ₃ C ₄ H	C ₈ H	C ₆ H ₆
------------------	----------------------------------	------------------	-------------------------------

Composés contenant H, O, C

OH	CO	CO ⁺	H ₂ O	HCO
HCO ⁺	HOC ⁺	C ₂ O	CO ₂	H ₃ O ⁺
HOCO ⁺	H ₂ CO	C ₃ O	HCOOH	CH ₂ CO
H ₂ COH ⁺	CH ₃ OH	CH ₂ CHO	HC ₂ CHO	C ₃ O
CH ₃ CHO	c-C ₂ H ₄ O	CH ₃ OCHO	CH ₂ OHCHO	CH ₃ COOH
CH ₃ CHOH	(CH ₃) ₂ O	CH ₃ CH ₂ OH	(CH ₃) ₂ CO	HOCH ₂ CH ₂ OH
C ₂ H ₅ OCH ₃				

Composé contenant H, C, N

NH	CN	NH ₂	HCN	HNC	N ₂ H ⁺
NH ₃	HCNH ⁺	H ₂ CN	HCCN	C ₃ N	CH ₂ CN
CH ₂ NH	HC ₃ N	HC ₂ NC	NH ₂ CN	C ₃ NH	CH ₃ CN
CH ₃ NC	HC ₃ NH ⁺	C ₃ N	CH ₃ NH ₂	C ₂ H ₃ CN	HC ₅ N
CH ₃ C ₃ N	C ₂ H ₅ CN	HC ₇ N	CH ₃ C ₅ N	HC ₉ N	HC ₁₁ N

Composés contenant H, O, C, N

NO HNO N₂O HNCO NH₂CHO (?), (NH₂)₂CO (?) NH₂CH₂COOH ?

Composés soufré, silicés et autres espèces

SH	CS	SO	SO ⁺	NS	SiH	SiC
SiN	SiO	SiS	HCl	NaCN	MgCN	MgNC
H ₂ CS	HNCS	C ₃ S	c-SiC ₃	NaCl	AlCl	KCl
HF	AlF	CP	PN	H ₂ S	C ₂ S	SO ₂
OCS	HCS ⁺	c-SC ₂	SiCN	SiH ₄	SiC ₄	CH ₃ SH
C ₅ S	FeO	AlNC				

+ molécules deutérées

Grande détectivité des molécules dans le gaz $n_X \sim 10^{-8}/10^{-15} n_{H_2}$

Conditions physiques du gaz

T (K), P, ionisation

Mesures des constantes de vitesse

Modélisation

Molécules solides (glaces « sales »)

très abondantes $n_X \sim 10^{-5}/10^{-6} n_{H_2}$

détectivité médiocre (S/N, confusion), aussi observées en phase gaz

Chimie en phase solide?

Simulations en laboratoire

formamide, urée, glycine?

+PAHs

+ α-CH

~150 molécules

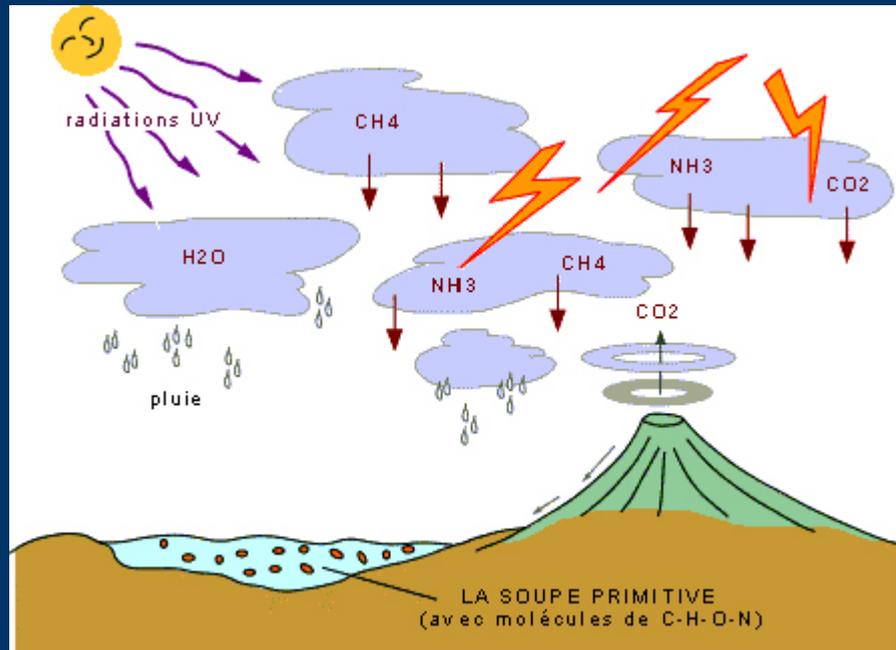
blanc: dans gaz

rouge: dans gaz et surtout dans phase solide

vert: formamide et urée jamais en phase gaz seulement dans phase solide

glycine pas dans MIS

- Il existe plusieurs hypothèses sur l'origine de la vie sur Terre:
 - Théorie de la soupe prébiotique d'origine terrestre
 - Théorie de l'impact météoritique d'origine extra-terrestre
 - Théorie des sources hydrothermales



[12]

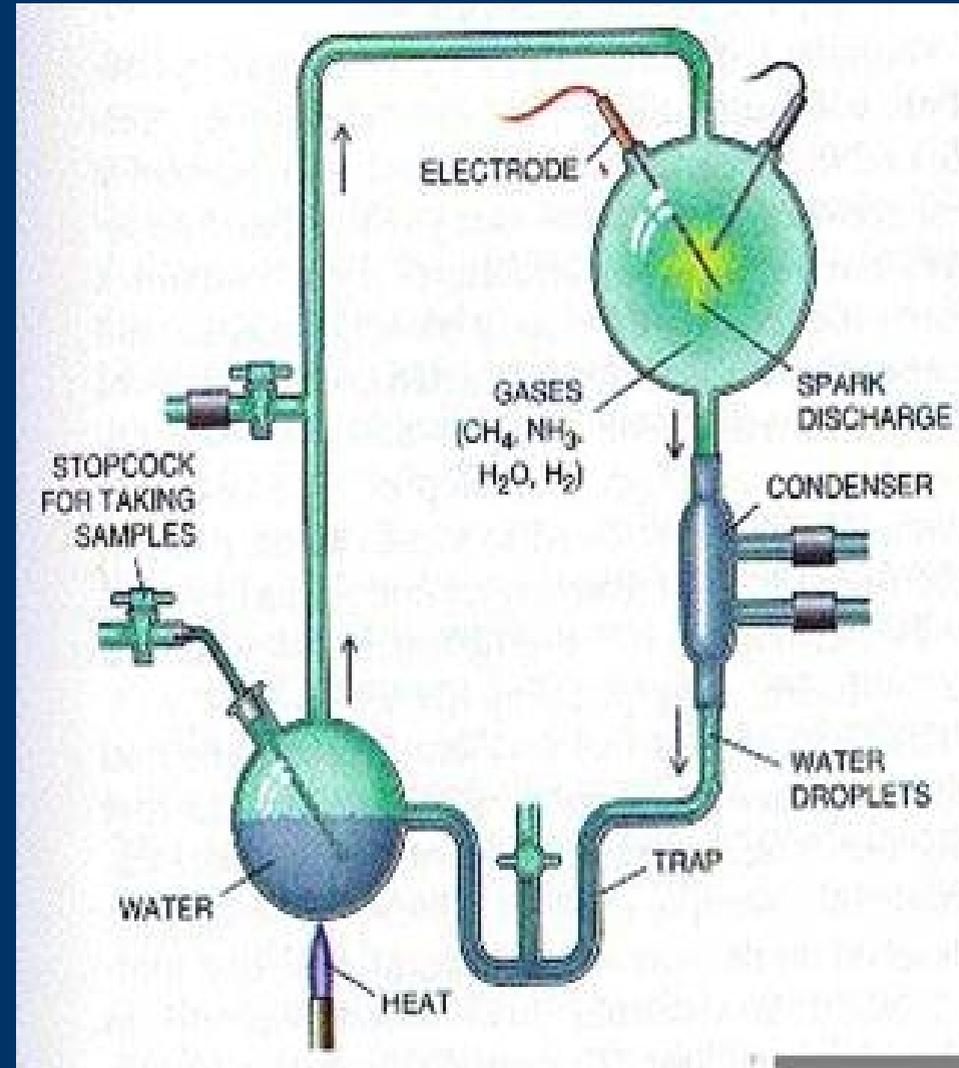


[13]

La soupe prébiotique

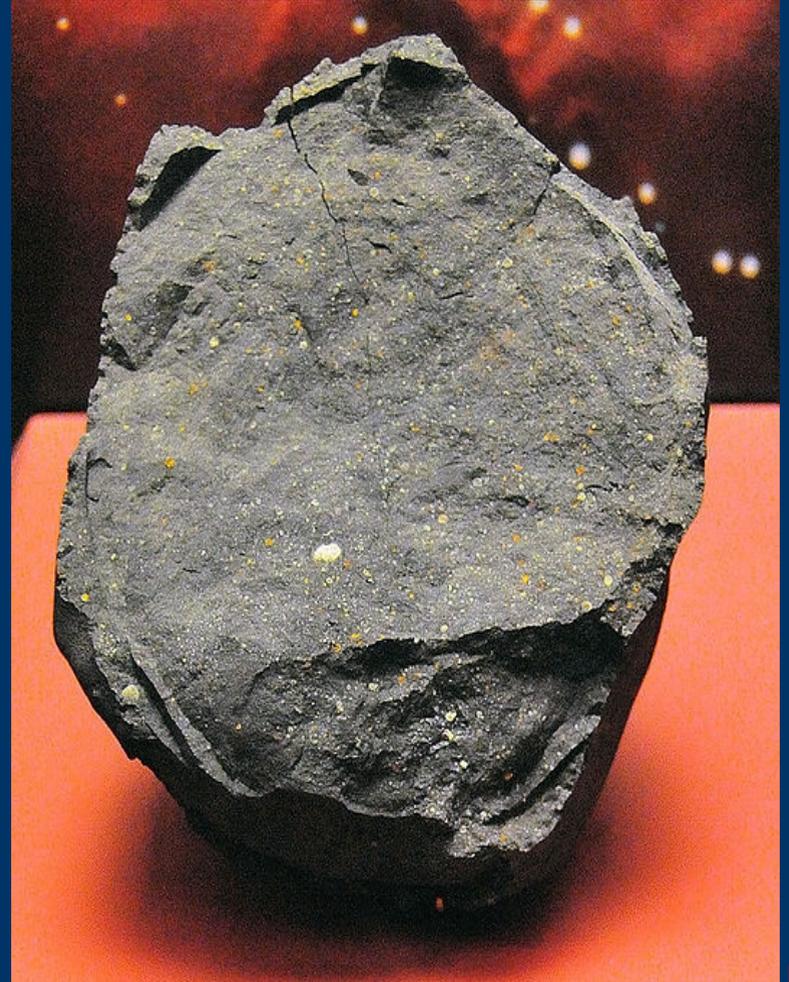
• En 1953, les scientifiques Stanley Miller et Harold Urey ont réalisé une expérience permettant de reconstituer les conditions de l'atmosphère primitive, avec un mélange de H_2O , H_2 , NH_3 et CH_4 gazeux. Ils ont réussi à synthétiser des molécules organiques telles que des acides aminés, des acides hydroxyliques et de l'urée.

• Depuis, des expériences ont montré qu'un mélange de CO et CO_2 comme source de carbone au lieu de CH_4 , produit également une grande quantité d'acides aminés à condition que le rapport H_2/C soit élevé [15]. La synthèse de bases de l'ADN et des sucres varie selon les proportions. Toutefois l'échappement gravitationnel de H_2 de l'atmosphère terrestre rend peu probable la formation de molécules organiques dans une atmosphère formée de CO_2



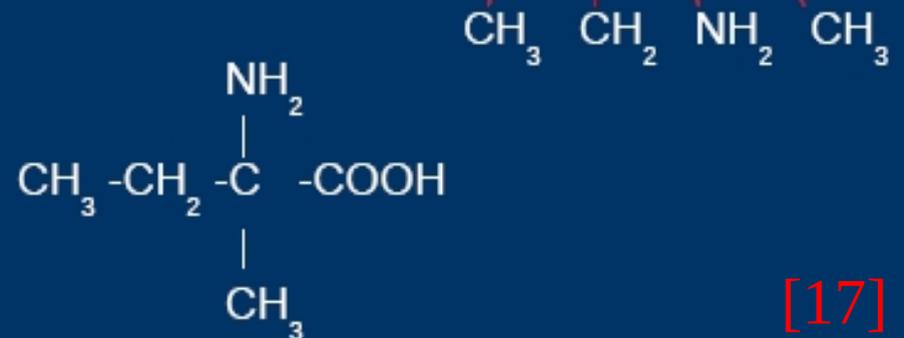
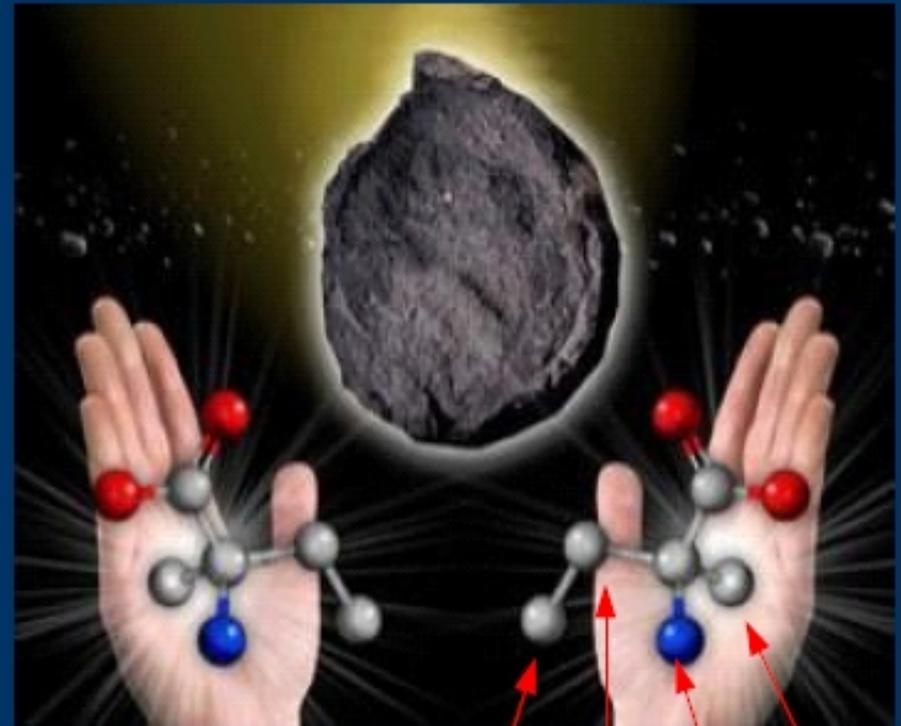
L'impact météoritique

- Cette théorie est basée sur l'étude des débris du système solaire, telles que les météorites, les comètes et les poussières interstellaires.
- L'exemple le plus célèbre est celui de la météorite tombée à Murchison en 1969 en Australie et qui date de 4,6 milliards d'années (date de formation du système solaire). L'étude de cette météorite révéla plus de 70 acides aminés dont 8 présents dans les protéines terrestres. De plus, on a pu observer certains acides aminés avec un excès énantiomérique -L.



•C'est le cas de l'isovaline qui est un acide aminé α -méthylé. Elle présente un excès énantiomérique de 18,5%(+/-2,6) dans la météorite de Murchison et 15,2% (+/- 4,0) dans la météorite d'Orgueil tombée en 1864 dans le département de Tarn-et-Garonne.

•Cette origine extra-terrestre de la vie laisse à penser qu'elle pourrait exister ailleurs.

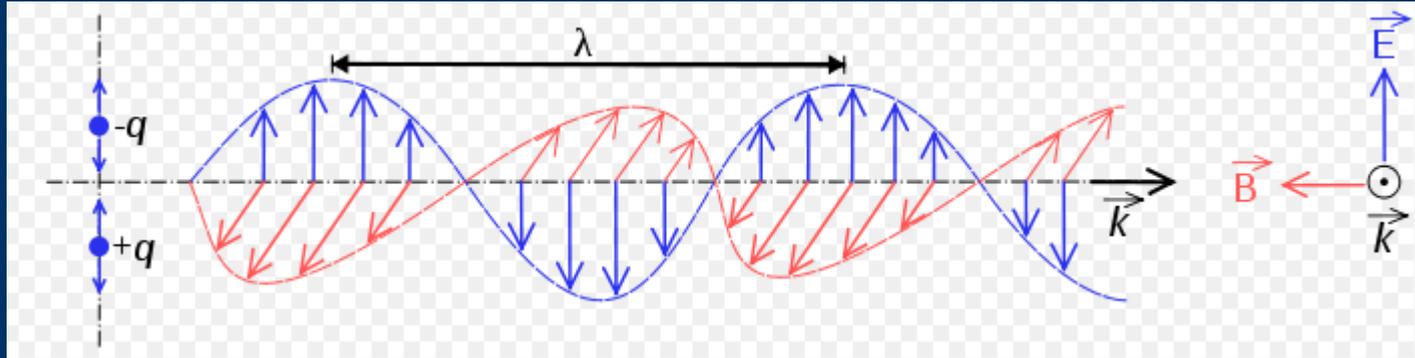


L'Homochiralité

• La présence d'un excès énantiomérique sur ces météorites pourrait s'expliquer par la Lumière Polarisée Circulairement (CPL). Ainsi, au cours de leur voyage jusqu'à la Terre, ces molécules auraient été soumises à cette lumière qui aurait induit une photochimie asymétrique permettant ainsi de créer un excès énantiomérique favorisant l'une des deux formes.



CPL

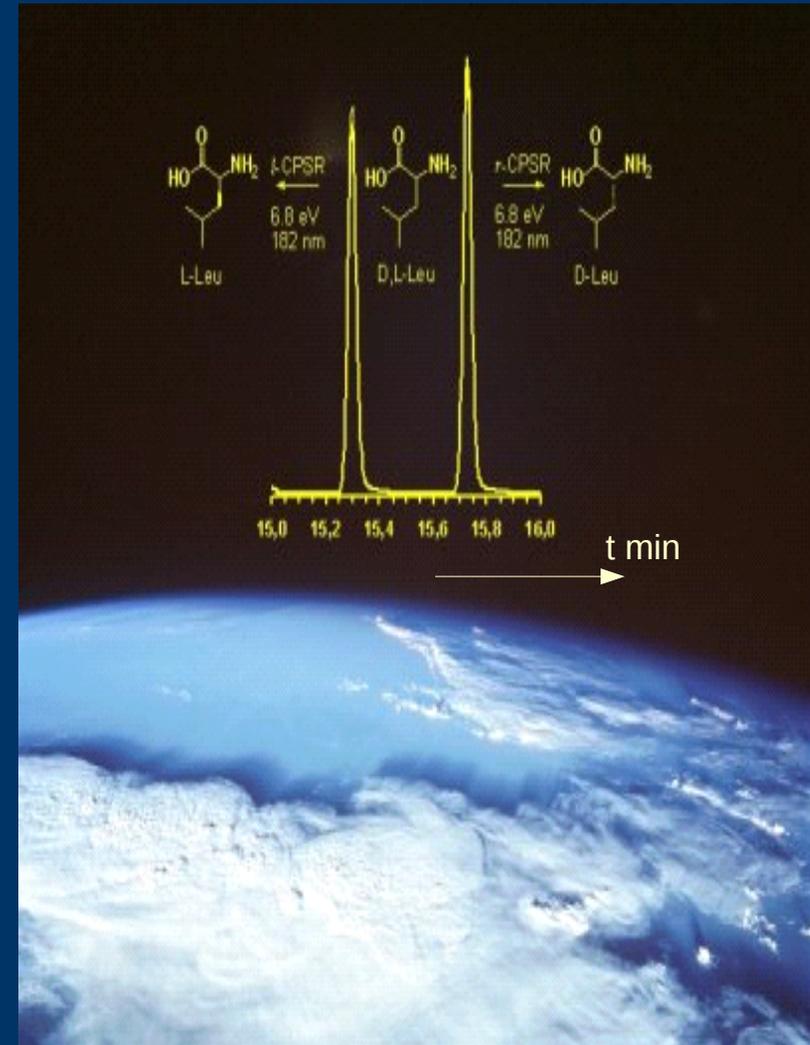


- La Lumière Polarisée Circulairement peut être représentée en simplifié par un tire-bouchon qui tournerait soit dans le sens droit, soit dans le sens gauche. Ces deux états sont images l'un de l'autre dans un miroir mais non superposables: on parle de lumière « chirale ». Le vecteur champ électrique \vec{E} tourne autour de la direction de propagation, c'est-à-dire un cercle.

La leucine

- Des chercheurs ont essayé de créer un excès énantiomérique de la forme L- à partir d'un mélange racémique D-, L- de l'acide aminé leucine.
- Ils ont utilisé de la lumière polarisée circulairement gauche (l-CPSR) (circularly polarized synchrotron radiation) qui dégrade les molécules de la forme D-. Ainsi ils ont obtenu un très léger excès de la forme L- leucine.

Les 2 pics d'énantiomères D- et L- leucine séparés sur une colonne chromatographique Chirasil-L-Val.



Les cheminées hydrothermales

- **Les fumeurs noirs:** (~3000m de profondeur dans les fosses océaniques.)

Günther Wächtershäuser a proposé la réaction suivante:



FeS_2 : pyrite de fer qui tapisse les cheminées

H_2 formé est un agent réducteur de CO_2 à partir duquel la synthèse de molécules organiques s'effectue.

- **Les péridotites:** Ce sont les roches du manteau terrestre.

Marie-Paule Bassez a proposé la synthèse de molécules organiques à l'intérieur des péridotites. Lors de la serpentinisation de ces roches (transformation de l'olivine en serpentine), il y a dégagement de H_2 . Ce dihydrogène pourrait réagir avec le CO_2 inséré dans la roche pour former du CH_4 et des molécules organiques. Avec N_2 de l'environnement, des acides aminés pourraient être synthétisés. [20]



- **fumeur actif** du site Ashadze, 13°N, 4080 m et communauté d'**anémones**

- essaim de crevettes Rimicaris sur le site Logatchev, ~15°N, 2970m



Conclusion

- Les origines de la vie restent toujours inconnues malgré les différentes hypothèses proposées.
On ne peut pas dire que l'une ou l'autre soit la bonne. Il se pourrait que ce soit un mélange de plusieurs théories qui aurait contribué à l'apparition de la vie sur Terre.



Références (avec hyperliens)

- [1] Pilbara project, "NASA-Macquarie Pilbara Education Project"
- [2] Pierre-André Bourque, 1997-2009, " Cours ", *Planète Terre*, Dépt Géologie, Université de Laval, Ca.
- [3] NASA Astrobiology, *Microbial Mat and Stromatolites Image Gallery*, http://nai.arc.nasa.gov/students/this_month/g3_matgallery.swf
et NASA, *The Investigation of a microbial mat community*, "Stromatolite explorer."
- [4] William J. Schopf, Anatoliy B. Kudryavtsev, Andrew D. Czaja, Abhishek B. Tripathi 2007, *Evidence of Archean Life: Stromatolites and Microfossils*, *Precambrian Research*, 158, 141-155.



- [5] Sophie Bennhar et Marie-Paule Bassez, 2008, *L'Homochiralité à l'Origine de la Vie sur Terre*, <http://chemphys.u-strasbg.fr/mpb/teach/originevie.html>
- [6] Gille Camus, cours Les acides aminés. <http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/acideamine/acideamine.htm#>

Cours de biochimie.

<http://pages.usherbrooke.ca/bcm-514-bl/1a.html>

- [7] Ronald D. Brown, Peter D. Godfrey, John W.V. Storey and Marie-Paule Bassez, 1978 *Microwavespectrum and conformation of glycine* , J. Chemical Society, Chemical Communications, 547-548.
- [8] Ronald D. Brown, Peter D. Godfrey, John W.V. Storey, Marie-Paule Bassez, Brian J. Robinson, Robert A. Batchelor, M. Gerry McCulloch, Olof E.H. Rydbeck, Ake G. Hjalmanson, Jan. 1979, *A search for interstellar glycine*, RoyalAstronomical Society, Monthly Notices, vol.186, 5P-8P

- [9] The CSIRO Parkes radiotelescope, <http://www.parkes.atnf.csiro.au/>
- [10] Tableau écrit à partir de données de:
Cécile Favre, Nathalie Brouillet et Didier Despois, 02/04/2009, *La Saga de la glycine*, présentées à l'Atelier "Des molécules interstellaires aux molécules prébiotiques", CNES.

et de Hervé Cottin, 24/08/2009, De la glycine dans les comètes?, Société Française d'exobiologie.

- Elsila, J. E., Glavin, D. P. and Dworkin, J. P., In Press. Cometary glycine detected in samples returned by Stardust. *Meteoritic and Planetary Science*.
- Max Planck Institute for Radioastronomy, 27/03/2008, Detection of aminoacetonitrile, $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CN}$, in the star forming region Sagittarius B2.
et <http://www.mpifr-bonn.mpg.de/public/pr/pr-nitril-fr.html>

- [11] Louis d'Hendecourt, 02 avril 2009, *Les origines de la Vie: la chimie interstellaire*, données présentées à l'Atelier "Des molécules interstellaires aux molécules prébiotiques", CNES.
et à Nice, 16/06/2009,
<http://leslundisdelaconnaissance.wordpress.com/2009/06/16/louis-dhendecourt/>
- [12] *Geosciences*, " Lyon" .
- [13] http://www.nirgal.net/ori_where.html
- [14] Stanley Miller, *A Production of Amino Acids Under Possible Primitive Earth Conditions*, *Science*, 117, 528-529, 1953.
http://www.sciencemag.org/cgi/pdf_extract/117/3046/528
- image de: Rich Townsend, *cours: The development of Life on Earth*,
<http://www.astro.wisc.edu/~townsend/static.php?ref=diploma-4>
- Marie-Christine Maurel, *Origine de la Vie: questions biologiques*, 10/06/2009.
<http://leslundisdelaconnaissance.wordpress.com/2009/06/10/398/>

- [15] Stanley Miller, *The endogenous synthesis of organic compounds*, 1998, dans *The Molecular Origins of Life*, André Brack ed., Cambridge University Press.
- [16] *Echantillon de la météorite de Murchison*, "National Museum of Natural History" (Washington).
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Murchison_crop.jpg
- [17] Daniel P. Glavin, Jason P. Dworkin, *Enrichment of the amino acid L-isovaline by aqueous alteration on CI and CM meteorite parent body*, PNAS, 106, 5487, 2009 (Liquid Chromatography/Fluorescence Detection: LC-FD/TOF-MS).
<http://astrobiology.gsfc.nasa.gov/analytical/PDF/GlavinDworkin2009.pdf>
- [18] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/polclas.html#c3>
- [19] Nahon L, Alcaraz C, SU-5: a calibrated variable-polarization synchrotron radiation beam line in the vacuum-ultraviolet range. *Appl Optics* 43: 1024-37, 2004.
- Uwe J. Meierhenrich, *Amino Acids and the Asymmetry of Life*, Springer-Heidelberg, p.111-115, 2008.

- [20] Marie-Paule Bassez, *Synthèse prébiotique dans les conditions hydrothermales*, CNR'IUT 29/05/08, communication orale
<http://chemphys.u-strasbg.fr/mpb/research/index.html>
- Marie-Paule Bassez, 2009, *Synthèse prébiotique dans les conditions hydrothermales*, C. R. Chimie, 12, 801-807.
- Marie-Paule Bassez, Yoshinori Takano, Naohiko Ohkouchi, 2009, *Organic Analysis of Peridotite Rocks from the Ashadze and Logatchev Hydrothermal Sites*, Int. J. Mol. Sc., 10(7), 2986-2998.
- Marie-Paule Bassez, Yoshinori Takano, Naohiko Ohkouchi, Organic analysis of peridotite rocks from the MAR, 14-18/12/2009, AGU Fall meeting, San Francisco.
- [21] Mission Serpentine 2007, Ifremer,
<http://www.ifremer.fr/serpentine/archives/07-03-24.htm>

