

SETI ET LA BIOASTRONOMIE (I)

Jean Heidmann
Observatoire de Paris

Nous présentons ici quelques extraits, remis à jour ponctuellement, du manuscrit original du livre de Jean Heidmann *Intelligences Extra-Terrestres*, publié par les Editions Odile Jacob en octobre 1992 (copyright 1994 J.Heidmann & O.Jacob).

OUVERTURE

Les vues nouvelles apportées par la radioastronomie, par l'exploration spatiale du système solaire et par l'étude de l'origine de la vie, permettent d'envisager maintenant la vie comme un phénomène naturel de l'évolution du cosmos. Mais alors, s'il en est ainsi, la grande aventure qu'a été son apparition, puis son évolution, sur la Terre, pourrait aussi très bien s'être déroulée ailleurs dans l'univers. Face à cette ouverture grandiose, les astronomes sont en première ligne, car le cosmos est leur domaine.

Vie extraterrestre ne signifie pas forcément vie évoluée jusqu'au niveau d'intelligence et de civilisation atteint par l'humanité actuelle. Le chemin complexe de l'évolution, à l'échelle cosmique, peut être divisé en cinq stades principaux:

1- un stade cosmique, allant du Big Bang, avec l'apparition de l'espace et de la matière, jusqu'à la formation des étoiles et des planètes plusieurs milliards d'années après, en passant par la synthèse des éléments chimiques, comme le carbone, fondamental pour la vie telle que nous la connaissons;

2- un stade organique, avec la formation des premières molécules organiques servant de base à notre vie, telles celles trouvées dans l'espace interstellaire par les radioastronomes, dans les comètes par les sondes spatiales, dans les météorites tombées sur terre par les biochimistes;

3- un stade prébiotique, où s'élaborent des 'briques' déjà plus complexes, mais pas encore vivantes, comme des acides aminés, constituants essentiels des protéines, ou des bases nitrées, formant les barreaux de l'échelle en double hélice de l'ADN; cette chimie prébiotique est peut-être à l'oeuvre sur le satellite Titan

de la planète Saturne;

4- un stade biologique primitif, comme celui des bactéries, qui ont régné en maîtres pendant les premiers milliards d'années de notre Terre, stade que les astronomes espèrent trouver, peut-être sous une autre forme, dans le sous-sol gelé de la planète Mars;

5- enfin un stade 'avancé', plus que nous encore, car rien n'indique dans l'étude de l'univers, bien au contraire, que l'homme soit le summum de ce que l'évolution du cosmos ait pu produire; notre seul moyen pour aborder ce problème, par l'observation, est SETI, Search for ExtraTerrestrial Intelligence, soit, essentiellement, la recherches de signaux radio artificiels émanant d'éventuelles civilisations avancées.

Selon ces schémas a pris corps, ces dernières années, une nouvelle branche de l'astronomie, la Bioastronomie, consacrée à la recherche de la vie extraterrestre. La Bioastronomie répond aux plus nobles aspirations de l'esprit humain et passionne le grand public. Des institutions renommées comme l'Académie Internationale d'Astronautique et les Académies Nationales des Etats Unis et de l'Union Soviétique ont été les premières à apporter leur caution, et l'Union Astronomique Internationale a créé, en 1982, une commission consacrée à la bioastronomie. Plusieurs instituts de par le monde ont débuté des programmes SETI de grande envergure, basés sur de nouvelles technologies, qui exploreront des dizaines de millions de canaux de fréquences radio. Cette entreprise SETI en plein essor, dont le but ultime, affiché, est de découvrir des intelligences extraterrestres, a dans la perspective bioastronomique des implications intellectuelles fondamentales pour l'esprit humain.

LE VOYAGE INTERSIDERAL D'UNE POUSSIERE

Si l'espace interstellaire contient des nuages moléculaires géants où les densités peuvent atteindre dix mille atomes par centimètre cube, dans sa majorité l'espace qui sépare les étoiles de notre galaxie fait figure de vide parfait, avec seulement un atome par cm^3 . Un tel vide ne peut que laisser rêveurs les physiciens qui en laboratoire tentent de 'vider' une enceinte. A la pression atmosphérique, 22,4 litres d'hydrogène contiennent 10^{24} atomes; en pompant jusqu'au milliardième d'atmosphère, il reste encore cent milliards d'atomes par cm^3 ... Devant le vide impressionnant des espaces intersidéraux on ne peut que s'étonner

de la moisson extraordinaire que, ces dernières trente années, les radioastronomes y ont glanée: ils ont détecté 100 sortes différentes de molécules, et qui plus est, organiques pour la plupart. Quelle machine a pu synthétiser dans un tel vide une telle variété de molécules?

En fait, selon une piste prometteuse ouverte par Mayo Greenberg de l'Université de Leyde, il faut la rechercher dans des entités interstellaires encore plus rares, des petits grains de silicate, d'un dixième de micron. On en trouve seulement un par cube de 100 m de côté! De si minuscules machines n'ont pu produire un résultat que parce qu'elles en ont eu le temps, des centaines de millions d'années. On trouve ici encore une situation typique dans l'univers: de tout petits nombres, presque nuls, multipliés par d'autres très grands, infinis presque, donnent un résultat tangible.

Seulement 2% du 'remplissage' du milieu interstellaire provient des explosions de supernovae; le reste est alimenté à 98% par les vents stellaires et est constitué essentiellement de flots de particules arrachées de leurs atmosphères par l'activité des étoiles, produisant des enveloppes circumstellaires qui finissent par se disperser dans le vide. Quand les étoiles arrivent vers la fin de leur carrière thermonucléaire, souvent sous forme de géante rouge, refroidies et dilatées au point d'atteindre des dimensions interplanétaires, elles éjectent les petits grains de silicates déjà évoqués. Avant de quitter définitivement l'enveloppe circumstellaire, à leur surface viennent se congeler des glaces d'eau, de méthane et d'ammoniac.

Puis le long périple intersidéral commence, le froid devient intense, mais le grain est bombardé par les photons UV des étoiles de la galaxie. Ceux-ci brisent les molécules de glaces en radicaux chimiques; l'eau, en particulier, forme le radical OH, très réactif à température normale, mais qui, trop froid, reste inactif. Cependant, au cours de dizaines de millions d'années de dérive dans l'espace, les radicaux migrent lentement à la surface du grain, OH se rapprochant de NH_2 , ou de CH_3 . Puis le grain vogue vers une étoile, il se réchauffe, et tout à coup les radicaux réagissent violemment entre eux, CH_3 et NH_2 produisant du méthylamine CH_3NH_2 , OH et CH_3 de l'alcool méthylique CH_3OH , etc...

À nouveau un long trajet dans l'espace froid est entrepris, suivi d'un réchauffement près d'une étoile, ou par simples collisions dans un nuage moléculaire. En définitive, au bout de centaines de millions d'années, le grain est recouvert d'un manteau

de matière organique, dont certaines molécules, comme le formaldéhyde H_2CO ou l'acide cyanhydrique HCN ont des propriétés intéressantes pour la chimie prébiotique et la synthèse de briques du vivant.

On estime que, par des processus de ce genre, l'espace interstellaire peut produire énormément de molécules organiques complexes et que, dans un nuage moléculaire typique de quelques années-lumière de diamètre, leur masse peut atteindre celle du Soleil.

Le périple du grain s'arrête quand il est piégé dans un nuage protoplanétaire en passe de créer un nouveau système solaire; il sera vite incorporé dans un noyau de comète et, peut-être, capté par une planète primitive, où il pourrait faciliter le démarrage de la vie. Certains pensent que notre Terre elle-même peut traverser des nuages enrichis en molécules organiques, pouvant alors récolter jusqu'à un milliard de tonnes de matériau organique, soit plus que la biomasse actuelle.

CHIMIE PREBIOTIQUE SUR TITAN?

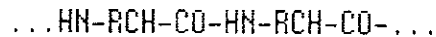
L'intérêt des scientifiques vis-à-vis de Titan se porte sur le stade de chimie prébiotique qui pourrait s'y dérouler, le troisième stade fondamental dans la recherche de la vie dans le cosmos. La chimie prébiotique a débuté avec la célèbre expérience de Urey et Miller en 1953. Dans un ballon de verre rempli d'un mélange de méthane, d'ammoniac et d'hydrogène, Miller créait des étincelles électriques, tandis qu'il y faisait circuler un courant de vapeur d'eau; en condensant le courant gazeux dans un réfrigérant, il obtenait des molécules organiques complexes, en particulier des acides aminés.

Dans des expériences récentes du même type, mais extrêmement poussées, dans le but de simuler l'atmosphère de Titan, Carl Sagan, Directeur du Laboratory for Planetary Studies de l'Université Cornell, a identifié dans les produits gazeux formés, 59 espèces différentes, dont 27 nitriles. En plus il obtient un dépôt goudronneux épais, de couleur brune, qu'il a baptisé 'tholin', du grec 'boueux'; son analyse pose un défi comparable à celle des composés organiques des météorites carbonées, mais il y a cependant identifié des polyènes, des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des acides aminés biologiques et non-biologiques.

Suite à de nombreux travaux de laboratoire entrepris depuis,

en particulier ceux effectués par François Raulin, Professeur à l'Université de Paris 12 - Val de Marne, la chimie prébiotique à l'échelle planétaire peut se diviser en deux étapes. Dans une première étape il y a formation dans l'atmosphère de petites molécules organiques réactives: des nitriles RCN et des aldéhydes RCHO, où R est un radical. Leur production se fait au mieux dans une atmosphère contenant du méthane, de l'azote et de la vapeur d'eau, à partir d'énergie amenée par des UV ou des décharges électriques.

Dans une deuxième étape, ces précurseurs atmosphériques évoluent dans l'eau, la fameuse soupe primordiale, pour former les briques du vivant: acides aminés, bases nitrées et sucres. Les acides aminés, de la forme $H_2N-RCH-COOH$, entrent dans la formation des protéines en s'aboutant par élimination d'eau:

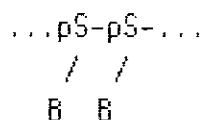


Ces longues chaînes n'utilisent, dans la vie terrestre, que 20 acides aminés différents, correspondant à 20 radicaux R différents, alors que, dans des météorites, on a découvert 90 acides aminés différents, dont 8 communs avec les nôtres. Ceci fait ressortir à la fois la richesse des ressources organiques (d'origine naturelle, non biologique) extraterrestres et la sélectivité de la vie terrestre.

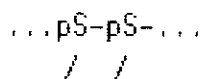
Les bases azotées, structurées autour d'un cycle hexagonal formé de quatre C et de deux N, s'obtiennent à partir de la polymérisation des nitriles en solution aqueuse, l'acide cyanhydrique H-CN conduisant aux bases puriques (adénine et guanine) et aux bases pyrimidiques (cytosine, uracile et thymine), tandis que le cyanoacétylène HC_2-CN conduit à la cytosine et à l'uracile.

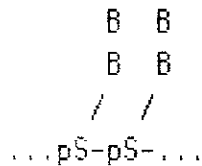
Quant aux sucres d'intérêt biologique, les pentoses, structurés autour d'un pentagone formé de quatre C et un O, ils peuvent s'obtenir à partir des aldéhydes; en particulier, le formaldéhyde HCHO conduit au ribose et au désoxyribose.

Ces sucres S et bases azotées B sont les briques qui, avec un acide phosphorique p (PO_4H_2), forment les nucléotides de structure pSB, qui en s'aboutant en chaînes



peuvent conduire à la double hélice de l'ADN:





où les deux chaînes sont reliées par des paires de bases BB, agissant comme barreaux de l'échelle en double hélice. Ce sont les diverses natures des bases B qui servent à coder la génétique de toutes les espèces vivantes terrestres.

Ces filières de chimie prébiotique sont-elles celles qui ont prévalu sur la Terre primitive? Il faut noter l'existence de nombreuses difficultés. Ainsi, dans le scénario de la soupe primitive, si les océans se sont formés rapidement, les composants prébiotiques ont été vite très dilués, ce qui est défavorable à leurs réactions ultérieures. Cette objection pourrait être contournée par un scénario utilisant des lacs ou des mares, ou par un autre utilisant des propriétés catalytiques des argiles, comme l'a proposé Cairns-Smith. Un tel support écarte les risques d'hydrolyse des molécules formées dans un milieu aqueux.

Une autre difficulté provient surtout du fait que dans la synthèse du sucre dans des conditions prébiotiques, il se forme un mélange très complexe où le ribose n'apparaît qu'en très faible proportion.

Est-ce une filière en cours d'exploitation sur Titan? Son atmosphère dense renferme les ingrédients nécessaires et les sources d'énergie sont présentes; le premier stade des précurseurs atmosphériques est vraisemblablement en cours de par les 6 hydrocarbures et les 4 nitriles découverts. Quant au stade de l'évolution vers les briques du vivant, il est handicapé par l'absence d'eau liquide; l'eau est gelée et forme peut-être des continents sur un océan de méthane et d'éthane. Peut-on remplacer le milieu aqueux par la présence de l'ammoniac dissout dans l'océan? Peut-on compter sur l'énergie apportée par les rayons cosmiques dans ce milieu ammoniacqué pour conduire à une pseudo-biochimie où se formeraient néanmoins des purines et des pyrimidines et éventuellement des pseudo-polypeptides? Le dernier mot reviendra à la sonde Huygens qui, si tout marche bien, nous enverra un message au début du troisième millénaire...

LES METEORITES

Tous les jours on découvre des météorites; ainsi des astronomes de l'Observatoire Européen Austral ont trouvé en 1985,

sur le plateau désertique, à proximité des télescopes, 77 morceaux de la Uaca Muerta. Tombé il y a 3 500 ans, le météoroïde avait plus d'un mètre, une masse de plusieurs tonnes. Un morceau métallique d'une tonne a été exploité vers 1860 par les Indiens pour en faire des outils, qu'on a retrouvés dans les musées.

Bien sûr, tous ces renseignements résultent d'études de laboratoire; on a ainsi appris que Uaca Muerta provenait de la collision d'une petite planète, partiellement fondue, ayant eu une activité volcanique, avec une autre petite planète possédant un noyau métallique. Par la suite les débris communs se sont refroidis en un mélange de minéraux, moitié rocheux, moitié métalliques, qui après ont été à nouveau brisés en un essaim de fragments dont certains atteignent la Terre de temps en temps.

Ce type très rare de 'mésosidérite' n'a été récolté qu'en une trentaine d'endroits différents. Saluons et admirons au passage l'esprit méticuleux, perspicace et persévérant avec lequel les géologues ont travaillé pour dénicher, de par le globe, quelques cailloux retraçant une si extraordinaire histoire.

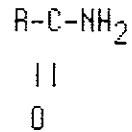
La partie insoluble de la matrice de ceratines météorites contient des macromolécules organiques, typiques de polymères du kérogène, dont les structures sont des feuillets constitués d'une trame d'hexagones aromatiques, entremêlés de pentagones nitrés, où se fixent des fonctions COOH, OH et des radicaux divers. En plus, on y trouve du carbone exotique: du graphite, du carbure de silicium SiC et du diamant. Quant à la partie soluble, elle contient des silicates et une bonne proportion de composés organiques. Cronin y a identifié 74 acides aminés différents, 87 hydrocarbures aromatiques, 140 aliphatiques, une dizaine de polaires et surtout les 5 bases nitrées de l'ADN!

Parmi les acides aminés, 8 se retrouvent dans les 20 utilisés par la vie terrestre pour fabriquer ses protéines, tels la glycine, l'alanine, la valine, la leucine. Certains acides aminés extraterrestres, contrairement aux nôtres, contiennent jusqu'à 8 carbones, ont 2 ou 3 radicaux au lieu de 1, un radical cyclique au lieu d'un radical linéaire, ou deux fonctions acides COOH au lieu d'une.

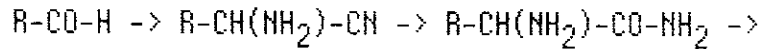
Selon Cronin, ce qui frappe est la diversité structurale et le fait que, jusqu'à 5 atomes de carbone, tous les composés possibles sont trouvés. L'ensemble est racémique, c'est-à-dire que les isomères gauches ou droits sont en proportions comparables, contrairement à la vie terrestre qui n'utilise qu'une forme.

Cronin a également trouvé des précurseurs de ces acides aminés, qui par réactions chimiques peuvent y conduire, comme des

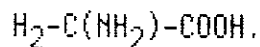
carboxamides



En laboratoire, la synthèse d'acides aminés est possible par la réaction de Strecker, à l'aide d'acide cyanhydrique HCN en présence d'ammoniac NH₃ et d'eau H₂O:



R-CH(NH₂)-COOH. Ainsi, pour le cas le plus simple, en partant du formaldéhyde H₂CO, on obtient la glycine



Citant encore Cronin, "avec un peu d'effort on peut faire des acides aminés à partir des molécules interstellaires, et les précurseurs interstellaires sont ceux dont on a besoin pour fabriquer les composés organiques dans les météorites".

En résumé, on peut construire le tableau donnant les précurseurs interstellaires, les composés trouvés dans les météorites (briques du vivant) et les biopolymères fondamentaux de la vie:

précurseurs	briques du vivant	trouvées dans les météorites	biopolymères
RCHO, HCN, NH ₃ , H ₂ O	acides aminés	oui	protéines
HCN, H ₂ O	purines	oui	acides nucléiques
HCN, H ₂ O, CH ₃ CN	pyrimidines	oui	
H ₂ CO	ribose	non	
PN, CP?	phosphate	oui	membranes
HAP?, polyynes?	acides gras	oui	

DU COSMOS INERTE A LA TERRE VIVANTE

Au tout début de ce livre j'ai ouvert le paradigme nouveau qui teinte nos vues sur le cosmos: du monde physique nous passons à

l'univers biologique. La biochimie imprègne tout notre espace, depuis le vide interstellaire avec ses molécules organiques, jusqu'au coeur des noyaux de comètes; et aussi tout notre temps, sur ses quinze milliards d'années, depuis le Big Bang, sauf ses quelques premières centaines de millions d'années, le temps que se forment les étoiles, avec des planètes autour et des atomes de carbone en leur sein.

Ici aussi nous allons passer du physique au biologique, mais de façon bien plus spécifique, car nous cernons un instant crucial et un lieu particulier, nous convergeons vers le passage de l'inerte au vivant, au vrai vivant, sur notre globe à nous, les seuls vivants du cosmos connus actuellement. Nous sommes arrivés à l'évènement fatidique de la rencontre entre la bioastronomie et la cosmochimie.

Peut-on résumer le scénario actuel pour l'apparition de la vie? On y voit quatre étapes successives:

acte 1: des molécules organiques simples, provenant de synthèses dans l'atmosphère, ou dans l'espace, ou près des événements sous-marins, élaborent, avec l'eau comme solvant, la chimie prébiotique;

acte 2: la machine à copier primitive, avec ses erreurs lui permettant d'évoluer par mutations, s'établit, aidée par des angiles, ou les feuilletts protéiques; c'est le monde préARN;

acte 3: un acide ribonucléique simple qui est sa propre enzyme, le 'ribozyme', prend pied avec ses fonctions d'information et de catalyse, se pourvoit, par évolution, de nouvelles fonctions, comme celle de créer des membranes, donc des protocellules; c'est le monde ARN;

acte 4: les premiers microorganismes apparaissent, avec notre premier ultime ancêtre commun, le 'progénote', qui, vers 2,3 milliards d'années dans le passé, donne naissance par ses premières diversifications aux trois règnes de base: les archaeobactéries, les eubactéries et les eucaryotes; bien plus tard, deux rameaux des eubactéries, les mitochondries et les chloroplastes, se mettent en symbiose avec des eucaryotes pour conduire, après 0,7 milliard d'années dans le passé, aux plantes, aux animaux, aux champignons, aux protozoaires et aux archaeozoaires...le monde actuel!

Dans lequel de ces actes peut-on dire que la vie est réellement apparue? Les choix se portent vers le second et le troisième. André Brack penche pour le second, en disant qu'il faut absolument trouver la molécule qui s'autoreproduit!

En fait, plusieurs tentatives sont faites pour élucider le choix. Les pistes vont dans la direction du nouveau paradigme qui

ne considère plus les protéines et les acides nucléiques comme deux mondes dissociés, spécialisés l'un dans les fonctions catalytiques et l'autre dans celles de l'information. Notons que le prix Nobel de 1989 a été attribué à T.Cech et S.Altman pour avoir découvert que l'ARN peut avoir une activité catalytique, conduisant ainsi à remplacer la question de savoir quoi a émergé le premier de l'ADN ou des protéines, par le schéma selon lequel un ARN primitif, du type de celui étudié par M.-C.Maurel, a précédé les deux.

La question, si souvent évoquée pour l'apparition du vivant, de savoir qui, de l'oeuf ou de la poule, a précédé l'autre, ne se pose plus; il faut maintenant, dans une fourchette temporelle étroite et dans l'alternative acte 2 ou acte 3, se frayer une voie, par des expériences de biochimie de plus en plus poussées et par une tentative de découverte et d'étude in situ de vie éventuelle fossile sur la planète Mars.