

LA LONGUE HISTOIRE DE LA MATIÈRE

Jacques REISSE

Université Libre de Bruxelles

Académie Royale de Belgique

jreisse@ulb.ac.be

Ces quelques clichés viendront en soutien de l'exposé oral. Ceux que le sujet intéresse pourront trouver une discussion beaucoup plus approfondie dans l'ouvrage *La longue histoire de la matière : une complexité croissante depuis des milliards d'années*, Presses Universitaires de France (2006).

S'il y a évolution, il y a histoire !

- ~L'Homo sapiens a une histoire
- ~La vie a une histoire
- ~La Terre a une histoire
- ~L'Univers a une histoire

et donc

La matière a, elle aussi, une histoire qui accompagne toutes ces histoires particulières

Pour faire œuvre d'historien il faut ...

- ~Définir le sujet étudié
- ~Fixer des limites temporelles
- ~Utiliser une « grille d'analyse »

Pour l'historien de la matière que je voudrais être ...

- ~Le sujet est la **matière baryonique** (soit 5% du tout !)
- ~Les limites de temps vont de $t_0 + 3$ min à aujourd'hui (soit environ 14 Ga)
- ~La grille de lecture est faite des « lois de la nature » (et des constantes fondamentales)

L'historien de la matière se fonde sur des données obtenues par ...

- ~Les cosmologistes et astrophysiciens
- ~Les astronomes et planétologues

~Les géologues et minéralogistes

~Les paléontologues

~Les biologistes spécialistes de l'évolution

~Les écrits et réalisations des alchimistes, des chimistes, des spécialistes en sciences des matériaux, des physiciens nucléaires

Moins heureux, le spécialiste en chimie prébiotique qui ...

ne dispose d'aucun vestige, d'aucun fossile et qui pourtant veut étudier l'un des moments majeurs de l'histoire de la matière

et qui

doit renoncer à la logique d'Aristote (logique du tiers exclu)

Que nous disent les cosmologistes et astrophysiciens ?

~Big bang : (« vrai » début : t_0)

~ $t_0 + 3$ min : matière baryonique

~ $t_0 + qq 10^5$ ans : flamboyance initiale dont subsiste le rayonnement fossile

~ $t_0 + (0,x \text{ Ga})$: accréation des premières étoiles et premières nucléosynthèses stellaire

Que nous disent les astrophysiciens ?

~Formation des premières étoiles il y a 13 Ga

~Ejection de matière par ces étoiles en fin de vie

~Formation de nuages interstellaires

~Accréation de nouveaux systèmes stellaires dont le système solaire à $t_0 + 9$ Ga

$t_0 + 9 \text{ Ga} = 4,5685 \text{ Ga BP}$ (âge des CAI's)

Que nous disent les géophysiciens, géologues et micropaléontologues ?

Formation des CAI's : 4,57 Ga BP

Après qq 10^7 ans : formation de la Terre

4,4 Ga : premiers océans (*zircons*)

3,8 Ga : fin du bombardement intense

3,5 Ga : premières traces de vie ?

2,7 Ga : présence de vie indiscutable

Que nous disent les paléontologues ?

~2,7 (et peut-être 3,5) : premiers microfossiles

~2,2 : présence confirmée de cyanobactéries

~1,7 : premiers eucaryotes

~1,0 : premiers pluricellulaires

~0,56 : premiers organismes de grandes tailles

~60 Ma : « avant-dernière » extinction majeure

~3-2j Ma : premiers Homo

~100 000 a : premiers Homo sapiens

« 3 minutes après le BB », il existe des protons, neutrons, électrons et photons

et quelques noyaux atomiques « simples » tels

1p soit ^1H

1p + 1n	soit ${}^2\text{H}$
1p + 2n	soit ${}^3\text{H}$
2p + 2n	soit ${}^4\text{He}$
3p + 4na	soit ${}^7\text{Li}$

dans un Univers en expansion et qui se refroidit

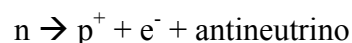
Les interactions baryon-baryon, baryon-électron et électron-électron

- ~Interactions gravitationnelles (10^{-40})
- ~Interactions électromagnétiques (10^{-2})
- ~Interactions fortes intranucléaires (1)
- ~Interactions faibles intranucléaires (10^{-13}) (à *T ordinaire*)

Nucléosynthèse stellaire

- ~Par fusion nucléaire, par capture de neutrons, par fission, par spallation
- ~Exemple de fusion : synthèse de C-12 processus triple \square ($3 \times {}^4\text{He} = {}^{12}\text{C}$!!)
- ~A partir de Fe-56, la fusion est endoénergétique

Quand un neutron devient proton ...



- ~ $t_{1/2}$ du neutron « nu » : 887 s
- ~ $t_{1/2}$ du neutron dans C -12 : « très » long

~ $t_{1/2}$ du neutron dans C -14 : 5715 ans

$t_{1/2}$ n'est pas un descripteur signifiant de n

Quels sont les descripteurs signifiants du neutron ?

~la masse au repos m_0

$$m = m_0 / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$$

~la charge baryonique

~le spin

~le moment magnétique

(l'antineutron a une charge baryonique opposée à celle du neutron)

Pour suivre l'évolution de la matière,

il faut s'intéresser (aussi) à ce qui ne change pas !

Lors des transformations de la matière :

Conservation de l'énergie, des charges électriques, baryoniques et leptoniques, du spin

Si le proton a une durée de vie « infinie »

Si nous ne partons pas en cendres et fumée de manière spontanée

C'est à cause de lois de conservation

Paradoxe de la structuration de la matière dans un Univers qui évolue spontanément

~ L'Univers est un système isolé

- ~Tout changement au sein d'un système isolé s'accompagne d'une augmentation d'entropie (seconde loi)
- ~L'entropie de l'Univers croît depuis le BB
- ~Malgré cela, il existe des lapins !

Origine de la seconde loi de la thermodynamique

- ~Au BB, l'entropie de l'Univers était très faible
(l'explication ultime viendra d'une théorie quantique de la gravité)
- ~Depuis le BB, l'entropie de l'Univers croît

L'entropie croît au niveau global : elle peut décroître au niveau local

Un système qui échange de la matière et de l'énergie avec le monde extérieur est qualifié d'ouvert

Un tel système peut voir décroître son entropie : il « exporte » de l'entropie vers l'extérieur, il se « nourrit » de néguentropie

Une étape majeure de l'histoire de la matière : la transition NV → V

Darwin y avait déjà pensé en 1871 !

« mais si (et quel grand si) nous pourrions concevoir que dans quelque petite mare chaude, contenant toute sorte de sels d'ammonium et de sels phosphoriques, avec de la lumière, de la chaleur, de l'électricité présentes, un dérivé protéique soit formé et prêt à subir des modifications plus complexes encore ... »

Définition minimaliste de l'être vivant (bactérie)

Système ouvert codé et structuré au sein duquel se déroulent des réactions chimiques et qui est capable de réguler ses échanges avec le monde extérieur et de se scinder en deux autres systèmes ayant chacun des propriétés semblables mais non nécessairement identiques à celles du système initial.

De la non-vie à la vie : introduction arbitraire d'une discontinuité

Avant la vie : l'évolution de la matière est régie par les lois de la physique et de la chimie

Après l'apparition de la vie : l'évolution de la « matière vivante » est régie par ces mêmes lois et par la sélection naturelle associée au hasard

Deux approches possibles pour traiter de l'origine de la vie

~**Approche « ascendante » :** des composants élémentaires vers l'hypothétique premier système vivant (**chimie prébiotique**)

~**Approche « descendante » :** des organismes actuels vers LUCA

(LUCA : Last Unicellular Common Ancestor)

La chimie prébiotique comme approche "ascendante"

~Recherche de l'origine des « briques élémentaires » du vivant (eau, acides aminés, sucres, bases azotées,...)

~Recherche des modes d'interaction et de réaction entre les « briques »

Ce qui semble ne plus poser de problèmes « majeurs »

- ~L'origine des « briques élémentaires » du vivant (eau, molécules organiques)
- ~La formation spontanée de membranes
- ~La formation spontanée d'oligopeptides
- ~ Le comportement de systèmes ouverts près ou loin de l'équilibre
(simulations théoriques et expérimentales)

Ce qui pose encore des problèmes majeurs

- ~La formation spontanée de nucléotides et, a fortiori, de polynucléotides
- ~L'accumulation, en un même lieu et au même moment, des constituants moléculaires des premiers unicellulaires
- ~**L'apparition spontanée d'une « sémantique moléculaire »**

Preuve de ce que la question reste sans solution globale

« L'Univers n'est pas gros de vie, ni la biosphère de l'homme. Notre numéro est sorti au jeu de Monte Carlo. Quoi d'étonnant à ce que, tel celui qui vient d'y gagner un milliard, nous éprouvions l'étrangeté de notre condition ? » (J. Monod, 1970)

« La vie appartient à la même trame que l'Univers. Si elle n'était pas une manifestation obligatoire des propriétés combinatoires de la matière, il eut été absolument impossible quelle prenne naissance naturellement (C. de Duve, 1990)

« *Il est stupide de penser aujourd'hui à l'origine de la vie, on pourrait aussi bien penser à l'origine de la matière* » (Charles Darwin, 1863)

145 ans plus tard, on en sait plus sur l'origine de la matière que sur l'origine de la vie

L'histoire de la matière est régie par la nécessité ET par le hasard

~ »**Nécessité ?** » : des nucléons aux noyaux, des noyaux et électrons aux atomes, des atomes aux molécules, des molécules aux systèmes supramoléculaires (minméraux, agrégats, liquides, micelles, vésicules,...)

~ « **Hasard ?** » : Apparition des premières cellules vivantes, des premiers pluricellulaires, de l'Homo sapiens

Conclusion générale

En ce qui concerne l'histoire de la matière, ce qui est hasard aujourd'hui peut devenir nécessité demain

Ce qui reste à découvrir excède ce que nous connaissons et la recherche scientifique sera toujours l'une des plus belles aventures pour l'Homo (qui est loin d'être pleinement sapiens !)