

SVT Thème 1 Une longue histoire de la matière

I/ Un niveau d'organisation les éléments chimiques

Comparer l'abondance des éléments chimiques dans l'univers, notre étoile, notre planète et les êtres vivants, comprendre l'origine des différences
Savoir utiliser un tableur, réaliser des graphiques pertinents ; savoir utiliser un logiciel de molécules 3D

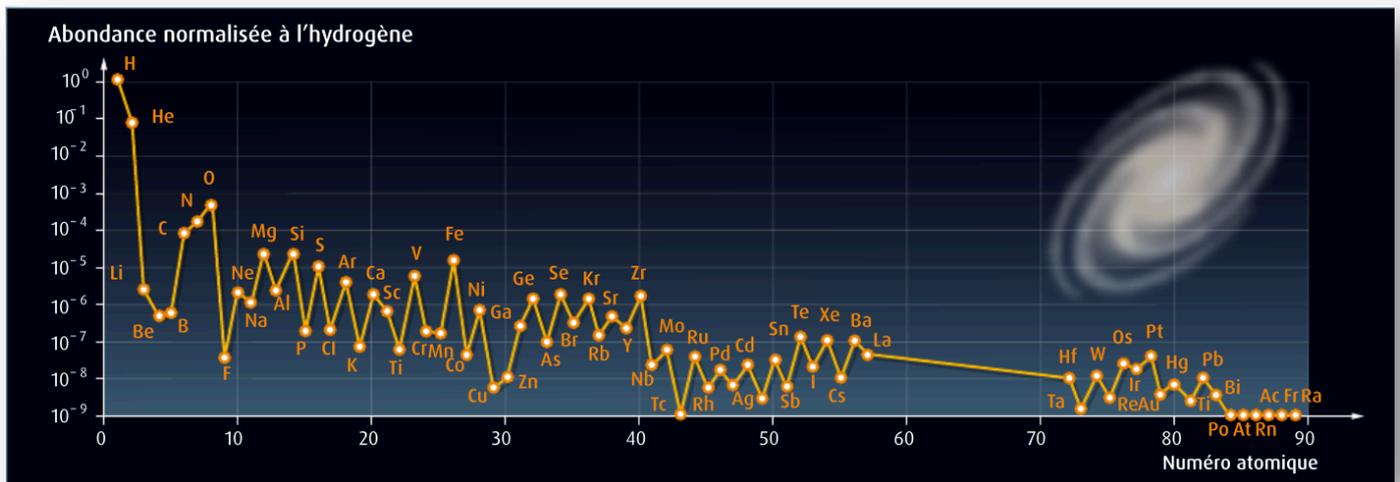
Intro : Hubert Reeves : « poussière d'étoiles

« Combien de temps faut-il pour engendrer un être intelligent ? Il faut d'abord faire des étoiles à partir de la purée initiale. Puis il faut que ces étoiles vivent leur vie et rejettent leur moisson d'atomes dans l'espace. Il faut ensuite que ces atomes se combinent en molécules et en poussières. Que ces grains de poussière s'accumulent en planètes rocheuses lors de la naissance d'une nouvelle étoile. Finalement, il faut assurer le

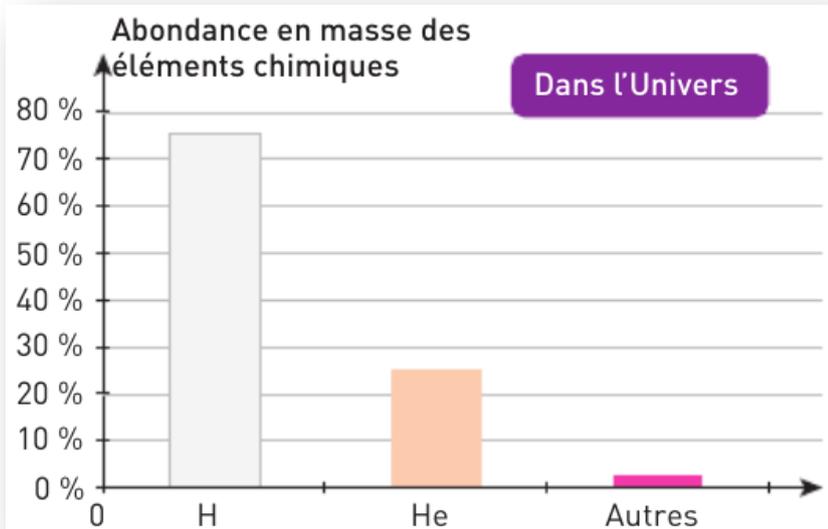
cours de l'évolution chimique et biologique de la planète. Nous connaissons plus ou moins bien la durée de chacune de ces opérations. En faisant la somme, on arrive à un minimum de plusieurs milliards d'années. Faut-il s'étonner que l'Univers ait déjà quatorze milliards d'années ? Il ne lui en faut pas moins pour engendrer un être capable de conscience, capable de lui demander son âge... »

1. La composition de la matière, de l'univers aux êtres vivants

a) l'abondance des éléments chimiques dans l'univers



Les éléments les plus abondants :



Les éléments les plus abondants dans l'univers sont l'Hydrogène et l'Hélium

Les autres éléments sont générés lors l'évolution des étoiles

Élément	Particules du noyau	
	Proton	Neutron
Hydrogène	1	0
Hélium	2	1

La **nucléosynthèse** stellaire produit en continu dans le cœur des étoiles tous les noyaux d'atomes au delà de l'hélium, jusqu'aux plus lourds, et notamment les atomes d'oxygène qui vous permettent de lire ces lignes.

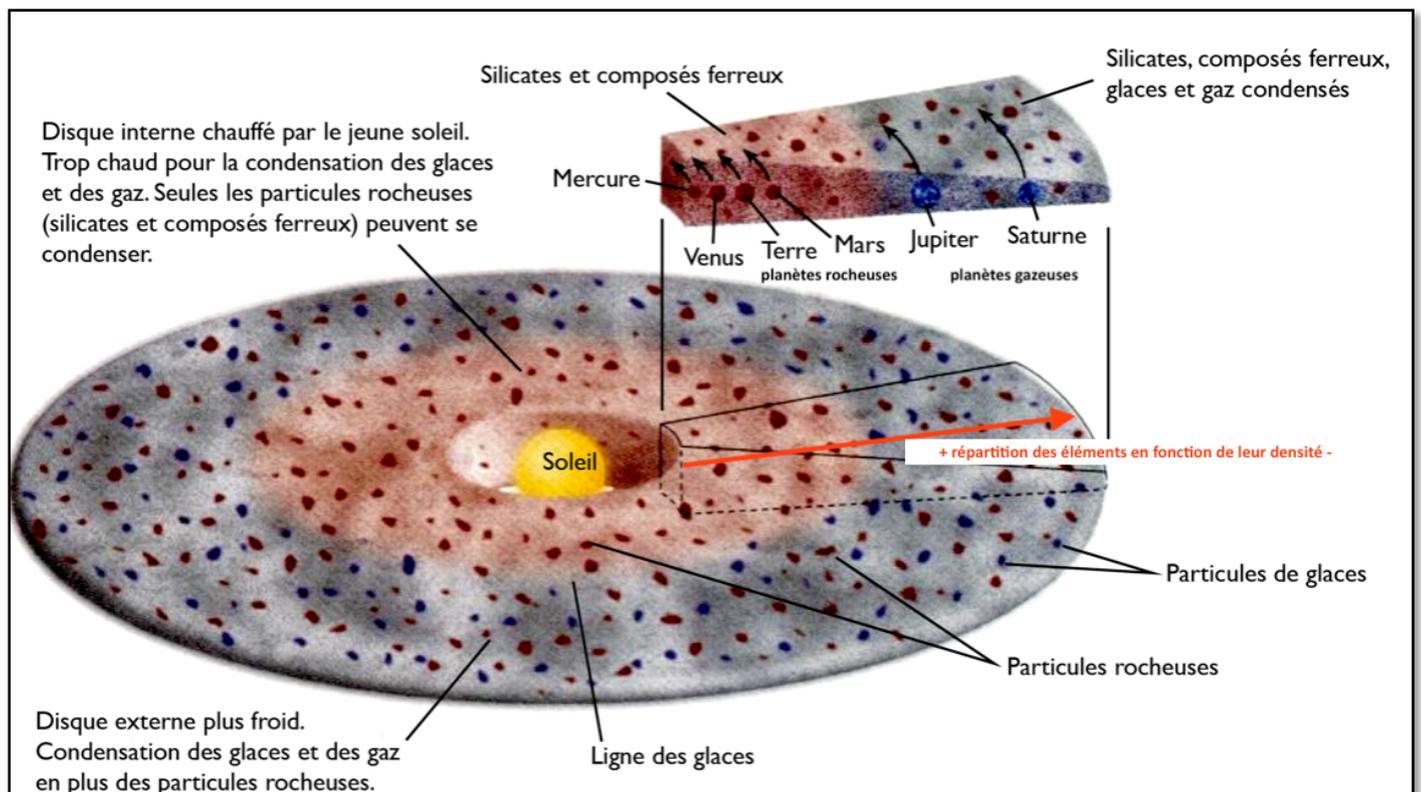
b) l'abondance des éléments chimiques dans notre système planétaire

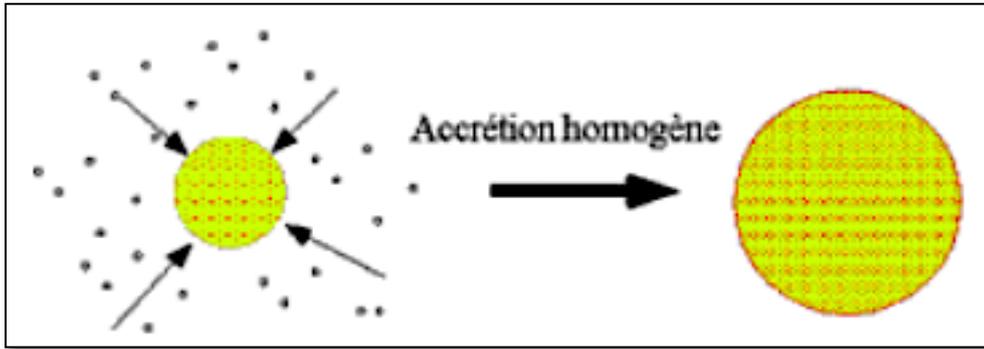
La terre s'est formée il y a **4,6 GA** en même temps que le soleil

Les planètes se sont formées autour du soleil

Le soleil a émis, lors de sa formation, un disque de matière où les différentes particules se sont réparties en fonction de leur densité sous l'effet de la force centrifuge.

L'agrégation (accrétion) des particules a formé les objets du système solaire.





La Terre comme toutes les planètes, s'est formée par accrétion de particules de tailles diverses situées dans le nuage autour du soleil

• **Abondance relative des éléments sur Terre (total)...**

Hydrogène H	Oxygène O	Carbone C	Azote N	Calcium Ca	Potassium K	Silicium Si	Fer Fe	Magnésium Mg	Aluminium Al	Manganèse Mn	Nickel Ni
Traces	32,40	Traces	Traces	0,16	0,02	17,20	28,20	15,90	0,15	0,30	1,60

Le total est inférieur à 100 % cars un grand nombre d'éléments chimiques présents en très faible quantité ne sont pas représentés.

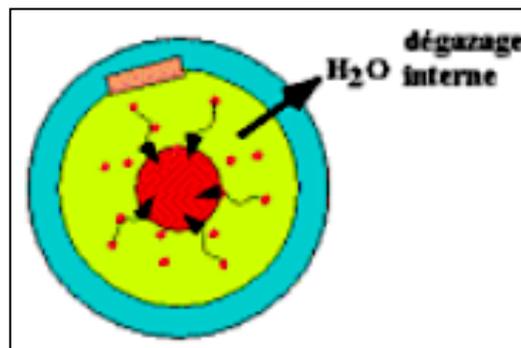
• **...mais une inégale répartition**

Abondance relative dans la croûte terrestre

Terre	
Fe	35
O	30
Si	15
Mg	13
Ni	2,4
S, Ca, Al	< 2 % chacun
C, H, N	traces

📖 Exercice 4 page 41

Sur terre, les éléments se sont répartis des moins denses, en surface au plus denses, en profondeur

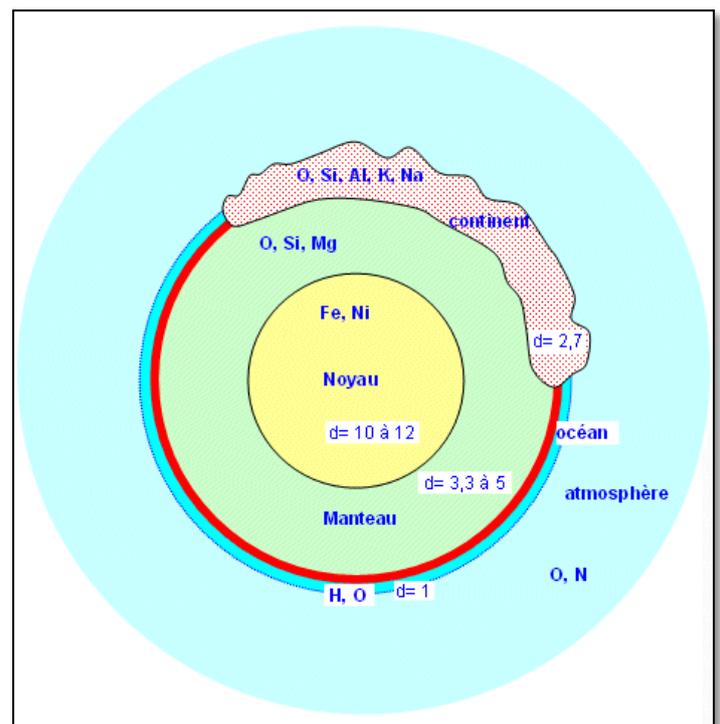


● **nickel, fer**

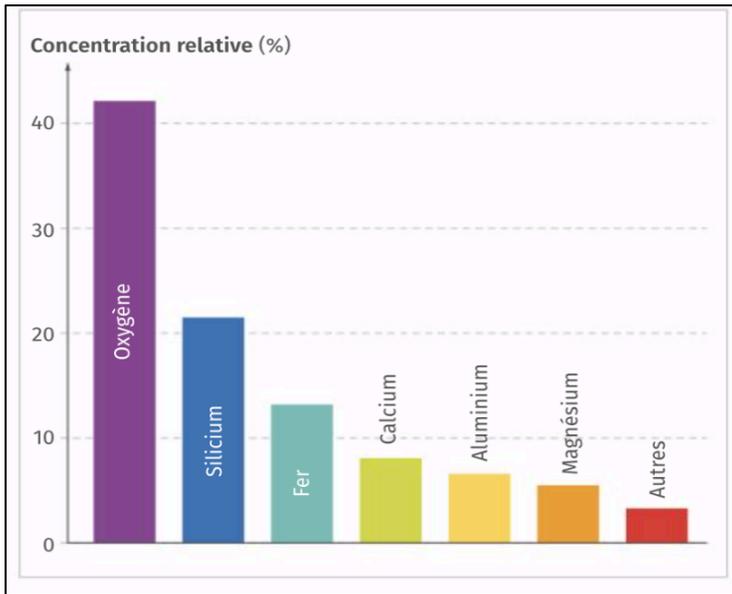
Une organisation en couches, de composition chimique différente, en fonction de la densité des éléments.

💡 Les éléments les plus abondants de notre planète sont Le silicium, l'oxygène, le fer, le magnésium, le nickel. Ils sont inégalement répartis en fonction de leur densité, en couches : croûte, manteau, noyau.

En raison de la forte teneur en oxygène, les éléments sont la plupart du temps oxydés (SiO₂, MgO...)



🔦 Ces connaissances peuvent permettre de répondre à des questions : par exemple, *l'origine de la lune*

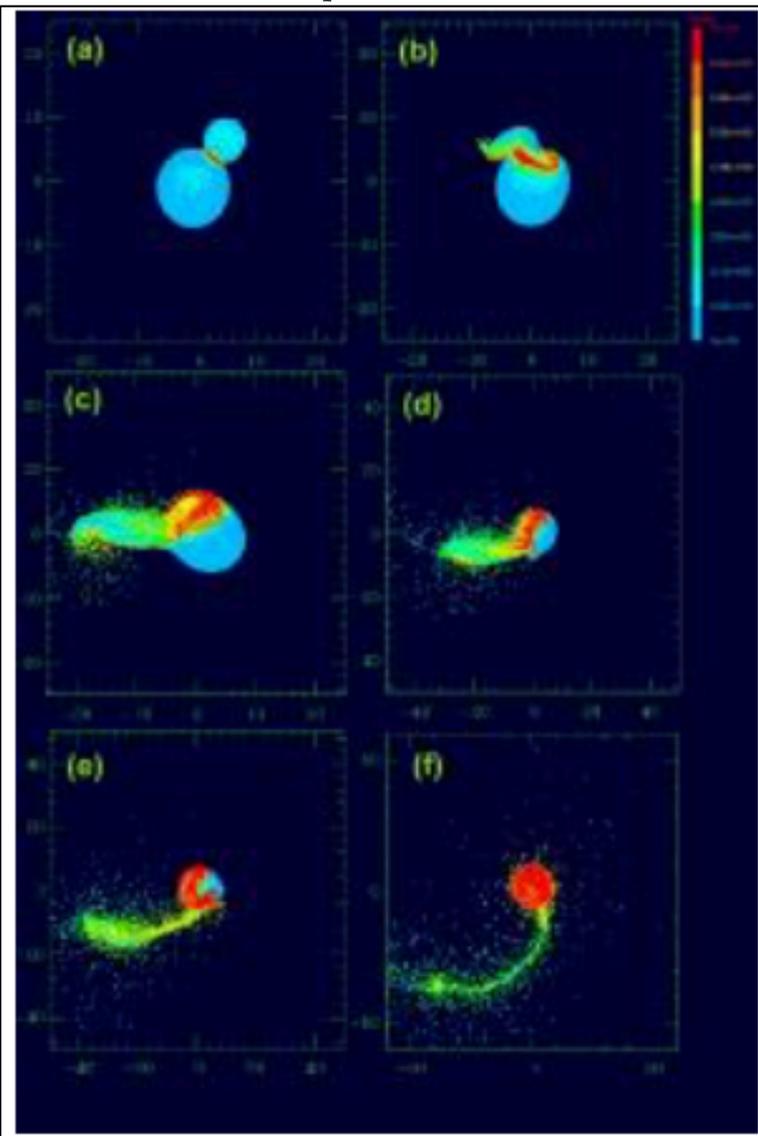


La comparaison de la composition relative de la lune et de la croûte terrestre nous permet d'émettre une hypothèse sur l'origine de la lune

30 à 200 Ma après la formation de la terre, des modèles récents postulent que la formation de la Lune est due à un impact géant entre la proto-Terre et une autre proto-planète, appelée « Theïa », peut-être de la taille de Mars.

Dans le modèle « standard » de *Robin-Canup* Theïa impacte la Terre à vitesse élevée et est détruite ;

Une simulation de l'impact Lune-Theïa



Un nuage de débris extrêmement chauds, essentiellement formé du manteau de Theïa et de la Terre se forme en orbite autour de la proto-Terre (qui est partiellement détruite par l'impact mais survit cependant). A l'époque de l'impact, la plus grande partie du fer de la Terre s'était déjà rassemblée dans le noyau. La matière éjectée provenait principalement du manteau, plus pauvre en fer.

La Lune se forme ensuite à partir de cet anneau de débris en refroidissement. Un tel impact expliquerait plusieurs des caractéristiques peu banales de la Lune :

- 1) La Lune est très pauvre en fer comparé à la Terre.
- 2) Elle est également très pauvre en éléments volatiles (H₂O, Azote, CO₂, etc.)
- 3) La similarité dans la proportion de différents noyaux atomiques est due au fait que les deux corps ont une origine commune.
- 4) Enfin, la nature très aléatoire d'un impact explique pourquoi la Terre est la seule planète interne du système solaire à posséder un satellite de si grande taille

c) l'abondance des éléments chimiques chez les êtres vivants

► D'après nos connaissances actuelles, la seule planète habitée dans l'Univers est la Terre. Certes, la liste des exoplanètes potentiellement habitables s'allonge, mais c'est bien sur notre planète que les êtres vivants sont constitués – entre autres – de matière organique.

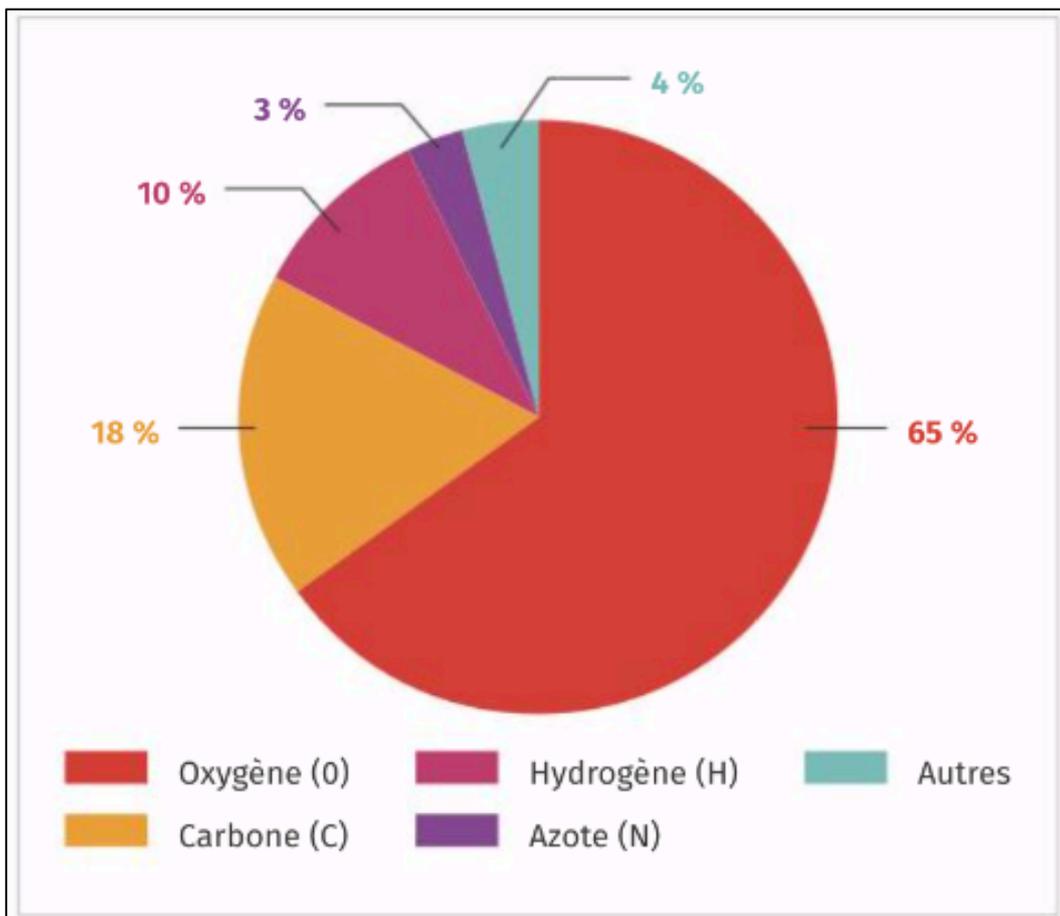
Terre		Bactérie		Luzerne		Espèce animale	
Fe	35	C	50	C	11	C	18
O	30	H	8	H	9	H	10
Si	15	O	20	O	77	O	65
Mg	13	N	14	N	0,8	N	3
Ni	2,4	P	3	P	0,1	P	2
S, Ca, Al	< 2 % chacun	K, S, Na	< 1 % chacun	K, S, Na	< 1 % chacun	K, S, Na	< 1 % chacun
C, H, N	traces	Mg, Ca	traces	Mg, Ca	traces	Mg, Ca	traces

Les éléments chimiques les plus abondants de la planète Terre, et dans des exemples d'êtres vivants (en pourcentage de leur masse sèche).

La vie utilise **25/ 92 éléments présents à l'état naturel** 4 particulièrement importants, à partir desquels une infinité de molécules sont constituées

📍 En comparaison, la composition chimique de nos organismes est dominée par **l'oxygène** (65,4%), le **carbone** (18,1%), **l'hydrogène** (10,1%), **l'azote** (3%) puis le **calcium** (1,5%). (CHONPS)

📖 doc 3 page 27



Ces atomes (excepté l'hydrogène) ont un âge supérieur à 5 milliards d'années.

On le sait simplement par le fait qu'ils n'ont pas été produits par notre étoile favorite (trop petite et trop jeune) mais étaient déjà présents lors de la formation du proto-système solaire il y a 4,6 milliards d'années.

Le soleil en effet ne fabrique pour le moment que de l'hélium dans son cœur.

C'est à une ou plusieurs générations d'étoiles antérieures que nous devons nos beaux atomes d'oxygène, de carbone et autres. Des étoiles qui ont disparu depuis bien longtemps en expulsant autour d'elles leur gaz enrichi par leurs réactions nucléaires.

On le voit, les êtres vivants que nous sommes sont faits d'une matière tout à fait exotique à l'échelle de l'Univers : les atomes un peu plus complexes que l'hydrogène, formés par les étoiles et qui finissent par construire nos molécules, se révèlent n'être que d'infimes traces.

En d'autres termes, nous pouvons affirmer que nous sommes à la fois très vieux et très rares

🔍 **Allons plus loin...le coin des curieux**

Chimie organique, chimie du vivant ?

Historiquement la chimie organique s'oppose à la chimie inorganique (ou chimie minérale). En effet on pensait autrefois qu'une « force vitale » était indispensable à la synthèse de molécules organiques au sein d'un être vivant.

On a longtemps cru que la chimie organique et la chimie minérale étaient deux mondes à part. Mais cette frontière est artificielle pour 2 raisons:

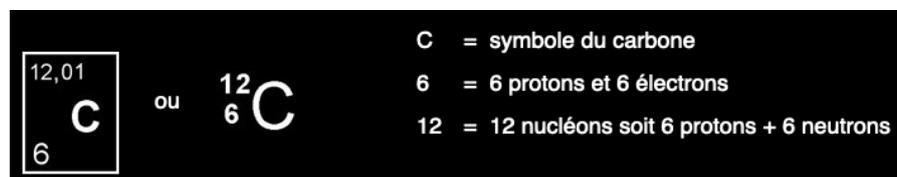
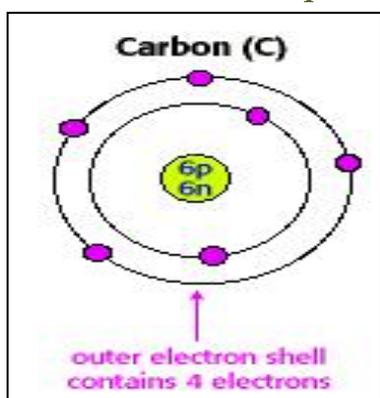
En 1828, Friedrich Wöhler réussit la synthèse de l'urée, une molécule organique qu'on trouve dans l'urine. Il réalise cette synthèse ("fabrication") à partir d'un réactif inorganique: le cyanate d'ammonium NH_4OCN ce qui était réputé impossible. Depuis cette époque des milliers de substances «organiques» ont pu être produites. On est capable actuellement de synthétiser 1 million de substances organiques dont la plupart ne se trouve pas à l'état naturel.



D'un autre côté on trouve des substances «inorganiques» dans les êtres vivants: des sels de calcium et de magnésium dans les os, des métaux (fer, cobalt, cuivre,...) comme oligoéléments.

La chimie organique est la partie de la chimie qui traite des substances naturelles ou synthétiques formées de carbone, **la biochimie** relève de la chimie organique qui a trait aux êtres vivants

Un atome démocratique...



Le **Carbone** est l'élément le plus important de tous pour l'apparition de la vie. C'est lui qui lui donne en quelques sortes le squelette chimique principal du vivant. L'atome de Carbone a la propriété de pouvoir **s'unir à 4 autres éléments chimiques** (principalement Carbone, Oxygène, Azote et Hydrogène) pour former des molécules organiques.

L'atome de Carbone possède **4 liaisons chimiques possibles**, c'est-à-dire il a en quelques sortes 4 bras avec lesquels il peut en faire beaucoup de choses. Il peut, grâce à ses 4 bras (à ces 4 possibilités de liaison chimique), créer des chaînes moléculaires en s'associant à d'autres atomes de Carbone ou à de l'Oxygène, Azote, Hydrogène...

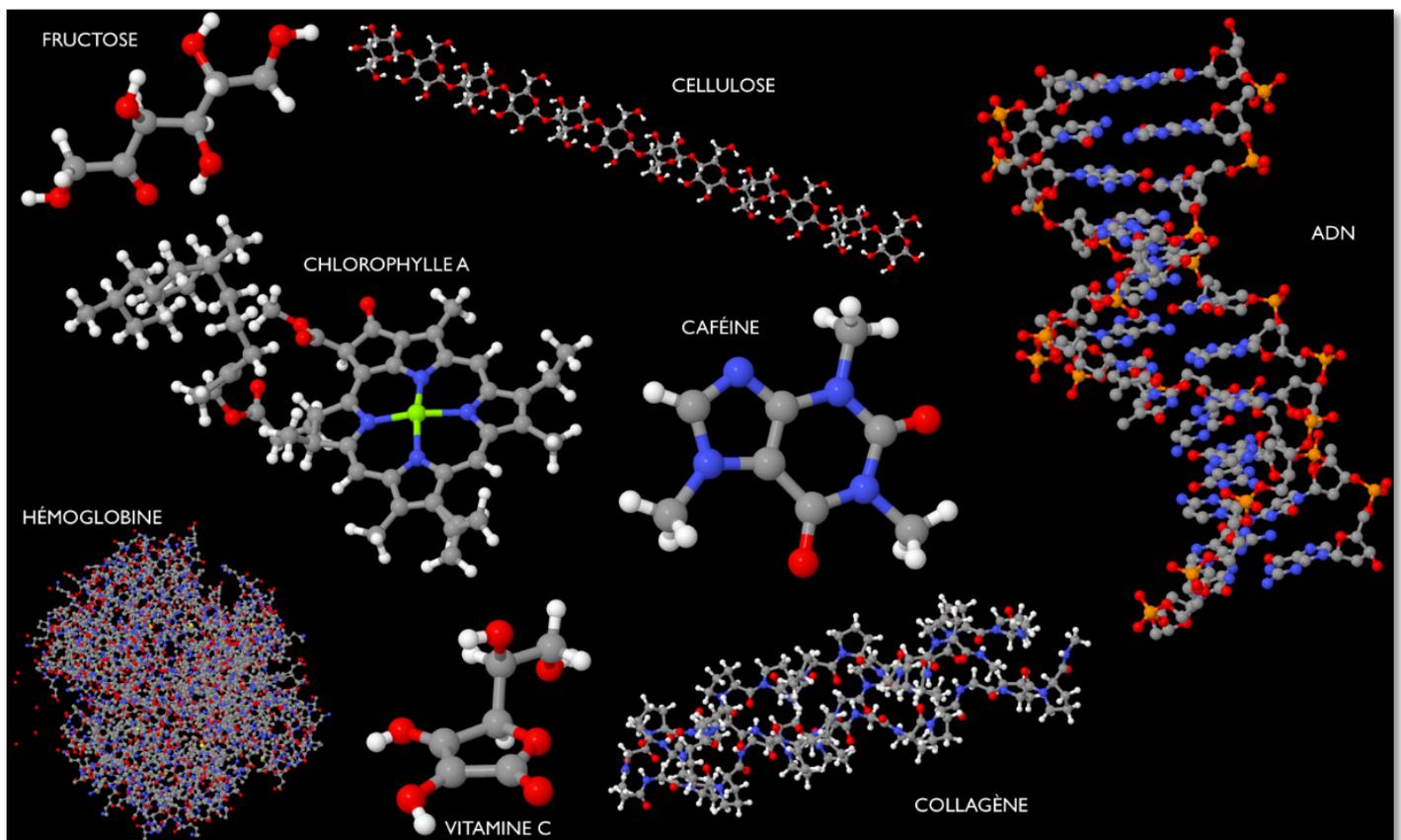
Mais une autre particularité intéressante du Carbone est que **l'énergie mise en jeu dans la liaison qui l'unit à un atome voisin n'est pas contraignante**. Les énergies de liaison et de rupture sont similaires entre le Carbone et les éléments chimiques avec lesquels il peut se combiner pour que la vie apparaisse.

Par exemple, l'énergie mise en jeu dans une liaison Carbone-Oxygène est similaire à celle mise en jeu dans une liaison Carbone-Carbone ou Carbone-Azote. L'atome de Carbone **n'a donc pas de préférence de liaison avec un élément** qui aurait une liaison plus forte et plus difficile à rompre.

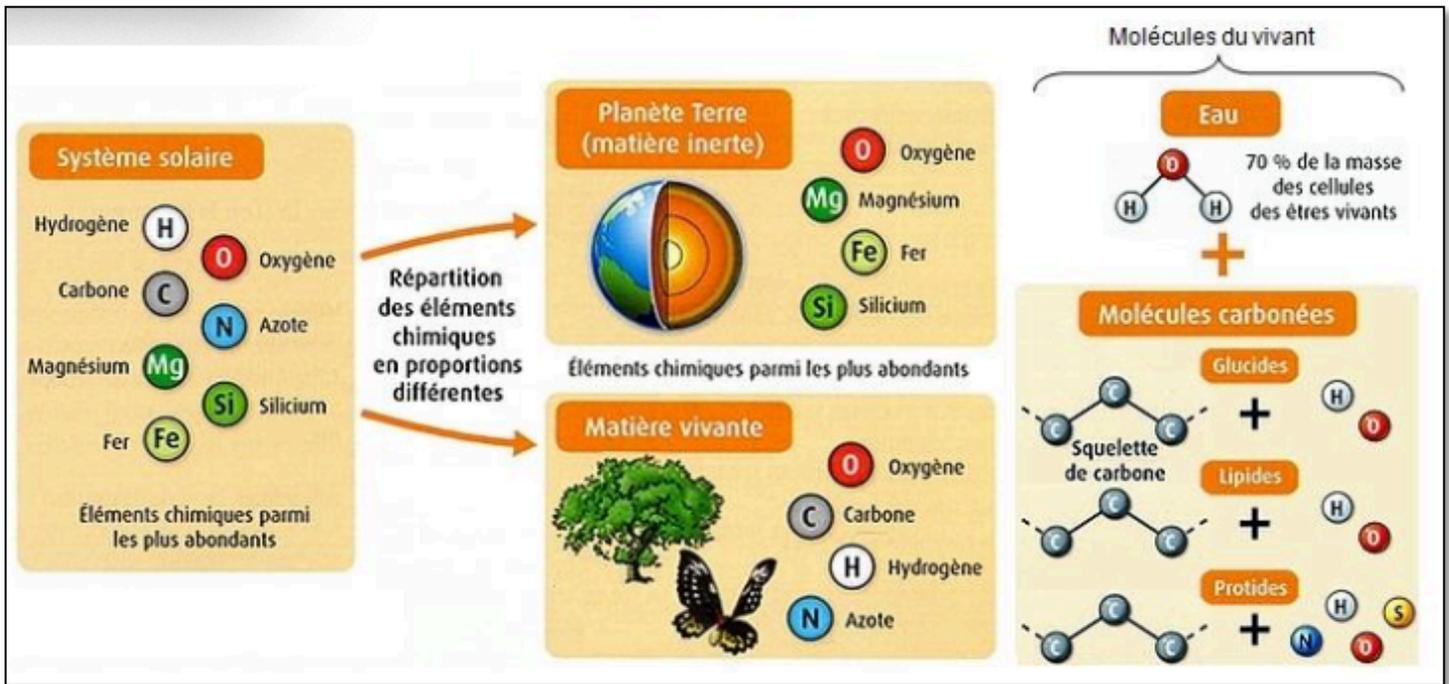
L'atome de Carbone traite les éléments avec lesquels il s'unit de façon équitable, c'est un atome démocratique. **Ces différentes propriétés lui confèrent donc une grande capacité de diversité de combinaisons moléculaires**. Sans diversité moléculaire, un système complexe avec métabolisme et symbiose moléculaire ne pourrait tout simplement pas exister.

L'eau liquide est aussi un élément indispensable, car elle va jouer le rôle de solvant pour **faciliter les réactions chimiques à partir de ces éléments chimique de base**. L'eau permet aussi de transporter les molécules de ces éléments pour qu'elles se rencontrent.

🔗 Les êtres vivants sont constitués d'**éléments chimiques** disponibles sur le globe terrestre. Leurs **proportions** sont différentes dans le monde inerte et dans le monde vivant. (C, H, O, N, P, S)
Sur le plan moléculaire, le vivant est caractérisé par une forte proportion d'eau et des molécules riches en élément carbone (molécules carbonées ou molécules organiques) : **glucides, lipides protides, acides nucléiques** capables de polymériser en macromolécules.



Cette unité moléculaire est interprétée comme un indice de parenté entre les êtres vivants.

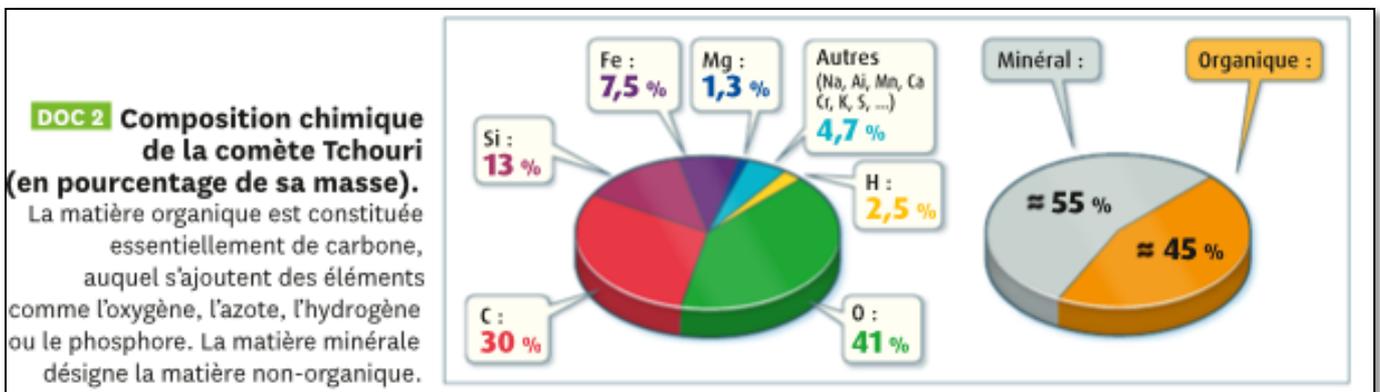


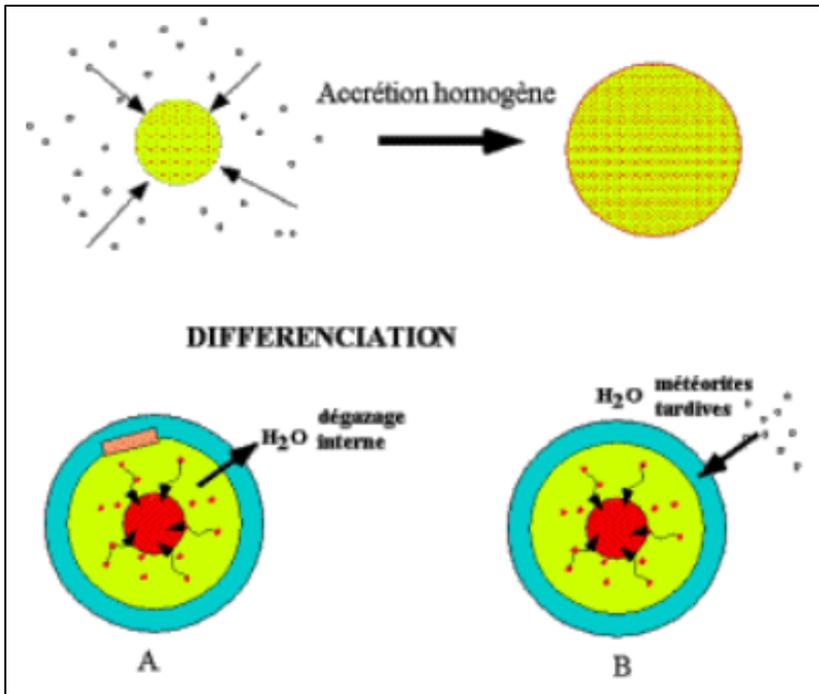
d) poussières d'étoiles.

Des informations apportées par l'étude de la comète Tchouri

Sonia Fornasier, enseignante-chercheuse à l'Université Paris Diderot et astrophysicienne au LESIA- Observatoire de Paris.

La sonde Rosetta a été lancée en 2004 par l'Agence Spatiale Européenne (ESA) afin d'explorer la comète Tchouri. L'objectif principal était de comprendre comment fonctionne une comète et de quoi elle est composée. Pour cela, Rosetta, après 10 ans de voyage interplanétaire, s'est mise en orbite autour de la comète en 2014, et l'a observée pendant deux années grâce aux 11 instruments de l'orbiteur, et *in situ* grâce à l'atterrisseur Philae. Ces mesures ont montré une composition cométaire dominée par l'eau, mais contenant également de la matière organique, des sucres et de la glycine, le plus simple des acides aminés. Une découverte très intéressante puisque la vie est vraisemblablement apparue sur Terre peu après le grand bombardement tardif, il y a 3,9 milliards d'années, durant lequel elle a été frappée par de nombreux astéroïdes et comètes, vecteurs d'eau et des molécules complexes qui ont peut-être contribué à l'apparition de la vie sur notre planète.





Des informations qui éclairent nos origines

- Les chercheurs ont découvert que la signature atomique des molécules d'eau captées sur la comète était très différente de celles se trouvant sur la Terre. **L'eau de nos océans ne provient donc pas de la même famille que celle de la comète Tchouri.**

Avec ces résultats, "nous devons conclure que l'eau terrestre a été plus probablement apportée par des astéroïdes que par des comètes", avait dit Kathrin Altwegg de l'Université suisse de Berne, en présentant ces résultats.

- Rosetta a découvert sur la comète de la **glycine**, le plus petit des acides aminés, qui est un **ingrédient essentiel à la vie sur la Terre**, et du phosphore, un élément clé de l'ADN.

« Cette découverte est un résultat très important car c'est la première fois que l'on détecte de façon certaine de la glycine dans l'atmosphère d'une comète », souligne M. Rocard.

"Les comètes, qui sont les objets les plus riches en carbone, en bombardant la Terre, ont dans doute ensemencé ses océans avec ces acides aminés", analyse-t-il.

"On sait que les comètes sont nées en périphérie du nuage protosolaire (à l'origine de la formation du système solaire, ndlr) mais la nouveauté apportée par la mission Rosetta, c'est que ces comètes sont porteuses d'un matériel primitif, des sortes de messagers du cosmos porteurs d'une chimie complexe", détaille Alain Cirou.

- A la surprise totale des scientifiques, Rosetta a trouvé **de l'oxygène** en abondance dans l'atmosphère de Tchouri. **C'est la première fois** que l'on trouve du dioxygène – plus couramment appelé oxygène moléculaire – dans une comète.

Le scénario de l'origine de la vie sur Terre n'est en rien modifié, mais précisé : comètes et astéroïdes ont bombardé la Terre dans sa petite enfance, y apportant tous les ingrédients pour que des organismes vivants se développent dans les océans. "C'est comme une recette de cuisine", explique Alain Cirou.

"On a d'un côté la farine, les œufs, l'huile... ce qu'ont apporté les comètes. Et le cuisinier, représenté par la Terre, a permis la confection du gâteau : la vie".

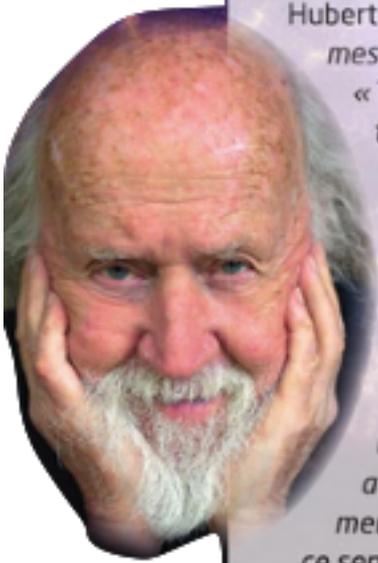
Mais la mission Rosetta a permis de confirmer que "le cosmos a fabriqué naturellement ces ingrédients il y a plus de 5 milliards d'années" lorsque les comètes sont apparues.

Une révolution, estime le spécialiste. Car si le cosmos sait fabriquer tout seul comme un grand de la matière utile à la vie, il y a de quoi espérer que la vie existe ailleurs, sur une autre planète.

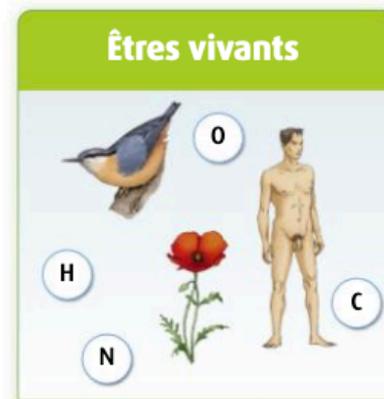
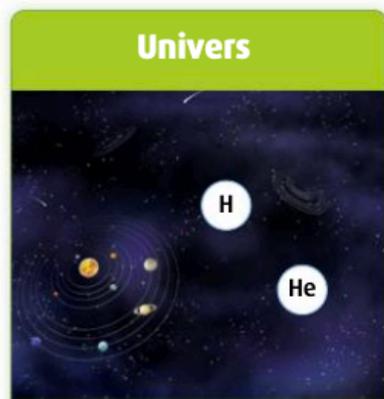
L'étude des étoiles par les physiciens depuis plusieurs siècles a permis de comprendre comment les éléments chimiques se forment et d'où provient la matière qui nous constitue.

Hubert Reeves, astrophysicien québécois, dans son livre « *L'Univers expliqué à mes petits-enfants* » (« *Expliqué à...* » © Éditions du Seuil, 2011), écrit :

« Touche ton front en regardant le ciel. Croirais-tu que les atomes qui forment ton corps sont nés dans les étoiles ? C'est bien ce que les astronomes ont découvert grâce à leurs télescopes et à leurs patients travaux. Comme je te l'ai déjà dit, au centre des étoiles il fait très chaud – des millions de degrés – et des réactions nucléaires ont lieu. Elles engendrent de nouveaux atomes qui s'accumulent dans le corps de l'astre. Plus tard, après la mort et le démantèlement de chaque étoile, ces atomes errent dans l'espace. Un certain nombre vont se retrouver dans la matière qui constitue notre planète. Ils circulent dans les sols et dans les océans. Et un jour, ils entrent dans les cycles de vie de toutes les espèces. Depuis, ces atomes composent chaque individu et ta nourriture t'en apporte constamment. On peut vraiment dire que nous sommes des poussières d'étoiles ! En ce sens, les étoiles sont les arrière-grands-mères de tous les humains de toutes les époques et de tous les vivants au monde. »



Bilan



► La composition de l'Univers est liée à la manière dont ont été synthétisés les éléments. L'hydrogène est l'élément principal et les éléments sont globalement d'autant plus rares qu'ils sont de masse élevée.

► La Terre comprend des éléments plus massifs que le fer, ce qui signifie que le système solaire est postérieur à une explosion de supernova.

► Elle s'est formée en même temps que le système solaire, il y a 4,5 GA. Les éléments sont répartis en couches concentriques en fonction de leur densité.

► Les êtres vivants sont constitués de **molécules dites organiques**, essentiellement faites d'hydrogène, de carbone, d'oxygène et d'azote. On trouve aussi des molécules organiques sur d'autres corps du système solaire.

► Les molécules du vivant : glucides, lipides, protides, acides nucléiques

✂ Savoir faire :

- Je sais utiliser un tableur pour réaliser un graphique
- Je sais utiliser un logiciel pour visualiser des molécules
- Je sais lire un graphique

Pour être exhaustif, je devrais ajouter qu'il est tout de même fort probable que certains de vos protons n'ont pas l'âge de l'Univers, et certains de vos neutrons n'ont plus. Comme beaucoup de noyaux d'atomes sont instables et radioactifs, ils peuvent posséder des neutrons qui se transforment en protons (radioactivité bêta moins), ou l'inverse : des protons qui se transforment en neutrons (radioactivité bêta plus).

C'est notamment le cas des protons de vos atomes de carbone. Comme vous le savez probablement, une toute petite fraction du carbone que nous ingérons quotidiennement (constituants nos aliments) est du carbone-14. Ce carbone est radioactif (radioactivité bêta moins) et transforme un neutron en proton lorsqu'il devient du azote-14.

Sans le savoir forcément (mais c'est désormais chose faite), vous créez ainsi tous les jours des protons tout neufs, à partir de très vieux neutrons...

Mais comment utiliser cette propriété de la matière ?