

Origines des éléments
Mokastudy.tk – Eddy Ikhlef

ORIGINES DES ELEMENTS
Jose BUSO - Centre de physique des particules de Marseille

Si vous trouvez des erreurs ; merci de me le dire en me contactant via mon mail.

I Structure de la matière :

Premières idée à propos de la structure de la matière : Démocrite expliquait l'univers autour de 2 principes :

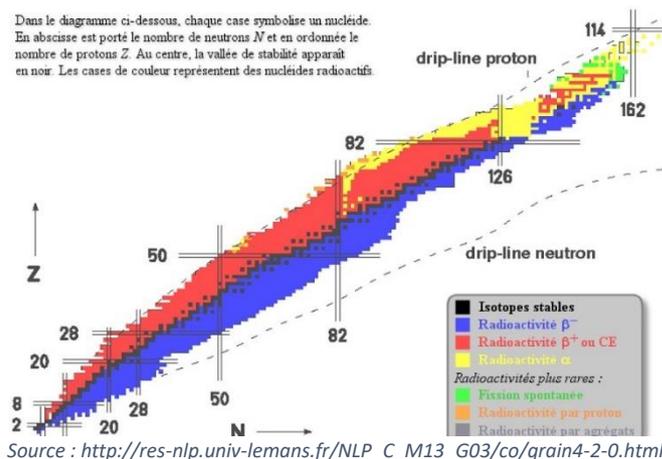
- Le vide dans lequel se déplacent les ar de matière pure
- Le plein formé d' « atomos », des parts de matières pure : atomes

Aristote : croyait que la matière était continue, qu'il n'y avait pas de vide. Sa théorie de la continuité exprime que toute matière pouvait être divisible indéfiniment et que la matière fut composer de 5 éléments : feu, eau, terre, vent et éther (ce qu'on pourrait appeler matière noir de nos jours. Nb : idée toujours présent même au 19ème)

Malheureusement Aristote devint le plus influent et sa philosophie pris le devant jusqu'au 18eme siècle : en 1780, Lavoisier développe la théorie des éléments chimiques et en 1803, J. Dalton combine les idées de Démocrite et de Lavoisier pour introduire les atomes pour décrire les réactions chimique : Il considère alors que la matière est faite d'atome et associe un atome différent a chaque corps simple. Cette théorie commence à s'imposer au 19eme siècle. En 1905 Einstein publie 4 articles sur l'effet photo, l'électrodynamisme des corps en mouvements (relativité restreinte), inertie du corps et l'interprétation du mouvement brownien. Il fut le premier à proposer une théorie quantitative du mouvement brownien, ce qui permet à Perrin en 1908 de prouver l'existence des atomes (prix Nobel)

Plus tard, entre 1911-13 grâce à la radioactivité, on décrit mieux l'atome, un modèle proton + électron (atome de Rutherford Bohr), puis un modèle noyau de proton et neutron et électron qui gravitent autour suivant une « route » bien déterminé par l'atome. Cette version est revu avec la découverte du neutron par Chadwick. Le modèle atomique d'aujourd'hui est celui découvert en 1961 par Gell et Mann, où le noyau est formé par des particules formées elles-mêmes de quarks. (NB. Il y a 90 types d'atomes présents sur terre.)

(Rappel de lycée: l'atome est caractérisé par nombre proton et de Nucléon, le noyau peut avoir des variations avec le nombre de neutron, il y a donc différent type du même atome (isotopes))



II Composition élémentaire :

La composition élémentaire du système solaire : beaucoup d'hélium, hydrogène, carbone oxygène,... structure proche entre soleil, terre, etc.

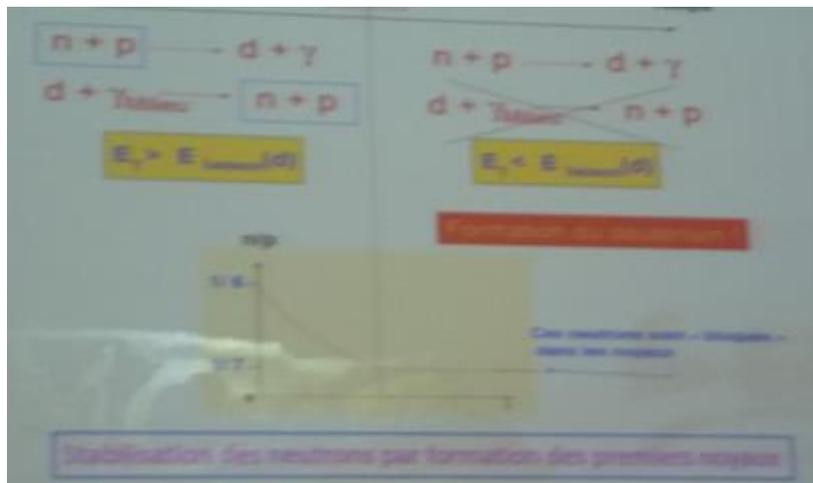
Les premiers instants de l'univers :

En 1917, V.M. SLIPHER montre l'existence d'une « fuite des galaxies », les galaxies s'éloignent de nous (montrer de part des calculs de vitesse.). Il observe ce phénomène (l'effet doppler) mais ne le comprend pas car il ne connaissait pas la distance des astres. Plus tard, Hubble en 1929, trouva une constante ($V=H*D$) en étudiant les variations des étoiles variables céphéides. Il en conclut que l'univers est en expansion. En 1917 Einstein le savait déjà ! Mais il ne croyait pas ses équations : Il ne pensait pas que l'univers pouvait être expansible et inséra une « constante cosmologique » a ses équations : Λ est cette constante.

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu}$$

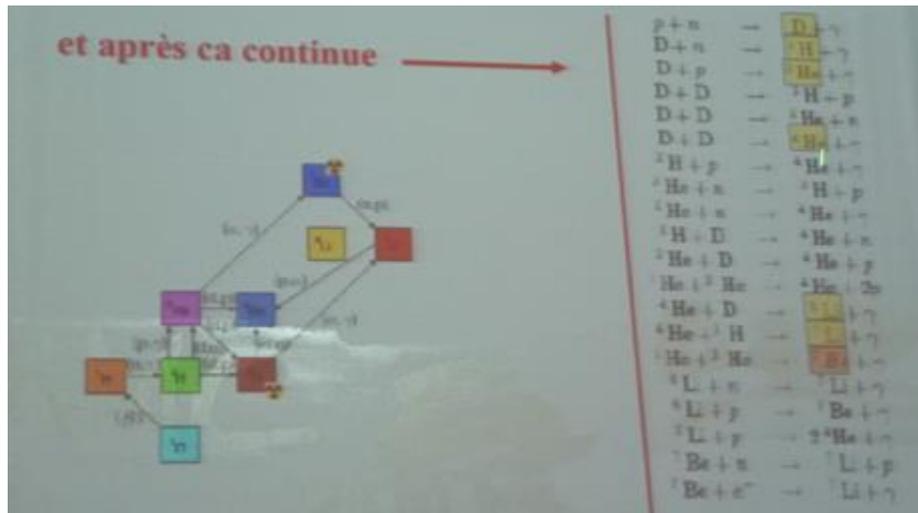
Si l'univers est en expansion avant il était plus petit (G. Lemaitre). En 1949, Gamow propose la création des éléments à partir du « Ylem » initial (que tous les éléments soient créés à partir de la création de l'univers).

L'univers, étant en expansion, son rayon augmente, et se refroidit comme c'est un « fluide ». Lorsque l'univers était vieux de 20ms, toutes les particules initial ont disparu sauf nucléon, photons leptons et sont en équilibre. La brisure de l'équilibre a eu lieu quand l'univers n'avait que 1s ! Alors, les neutrons ne peuvent que se désintégrer désormais, les neutrons commencent à disparaître. La stabilisation des neutrons est néanmoins garantie par formations des premiers noyaux ; un neutron libre se désintègre, lié dans un noyau est stable. Les conversions continuent mais à 25min la température et l'énergie sont trop faible et la nucléosynthèse primordiale s'arrête.



Source : Diaporama de Jose BUSO

Quelque 13Gy après le Bigbang (he li, li), il y a plus d'élément créé dans des « chaudron cosmique », les étoiles. 380 000 ans après la création de l'univers, les premiers atomes peuvent se former (NB : avant cela était impossible, trop d'énergie donc non stable alors qu'après 380 000m ans l'énergie des

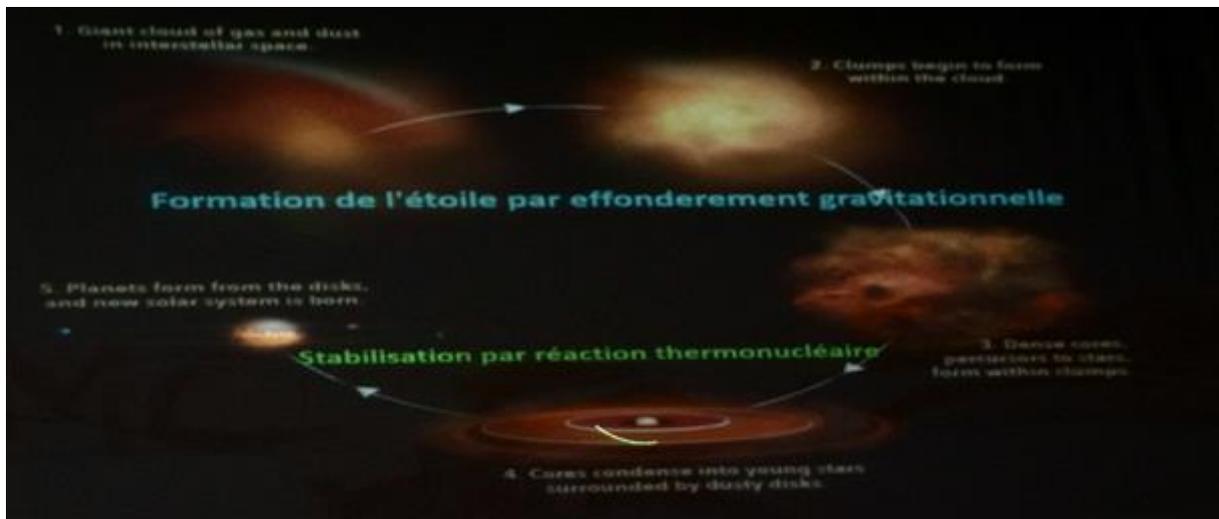


Source : Diaporama de Jose BUSO

photons est trop faible et ne peuvent plus arracher des électrons, il y a alors formations des premiers atomes, la lumière s'échappe et n'est plus absorbé)

Ainsi la première image de l'univers est le fond cosmologique micro-ondes à il y a 380 000 ans. Les régions rouge (dense)/bleu (faible densité) correspondent à la densité des éléments. Il faudra attendre 400 000 ans pour que les premières étoiles se forment.

Comment se forme une étoile ? A partir de nuage d'hydrogène froid, qui commencera à s'effondrer par gravitation (en s'attirant) et devient de plus en plus dense, ce qui crée des « grumeaux » créant des étoiles.



Source : Diaporama de Jose BUSO

Ce qui crée l'énergie ici est donc l'hydrogène et la température (Exemple : le soleil = 92% H, 7.8% He, et autres dans des proportions moindres)

Première idée : en 1938 Gamow, Bethe et Alpher proposent un modèle qui montre comment à partir de l'hydrogène on crée des qui stop la contraction des étoiles, c'est la fusion thermonucléaire de l'hydrogène ($4\text{H} \rightarrow \text{He} \rightarrow 28\text{MeV}$). Il faut 1MA d'années pour faire cette thermonucléaire.

$1\text{H}+1\text{H} \rightarrow 2\text{H}$, $2\text{H}+1\text{H} \rightarrow 3\text{He}$, $3\text{He}+3\text{He} \rightarrow 4\text{He}$

Les étoiles évoluent par des cycles de contraction (pour créer du « carburant ») et de fusion thermonucléaire.

En 1946 Hoyle montre que la plupart des éléments et leurs isotopes sont produits par les étoiles, en 1951-52 Il identifie la réaction 3 α . La nucléosynthèse au-delà de l'Helium est née.

En 1954-57, la théorie de la nucléosynthèse est forgée (B²FH, Cameron -> 4 chercheur dans cette publication).

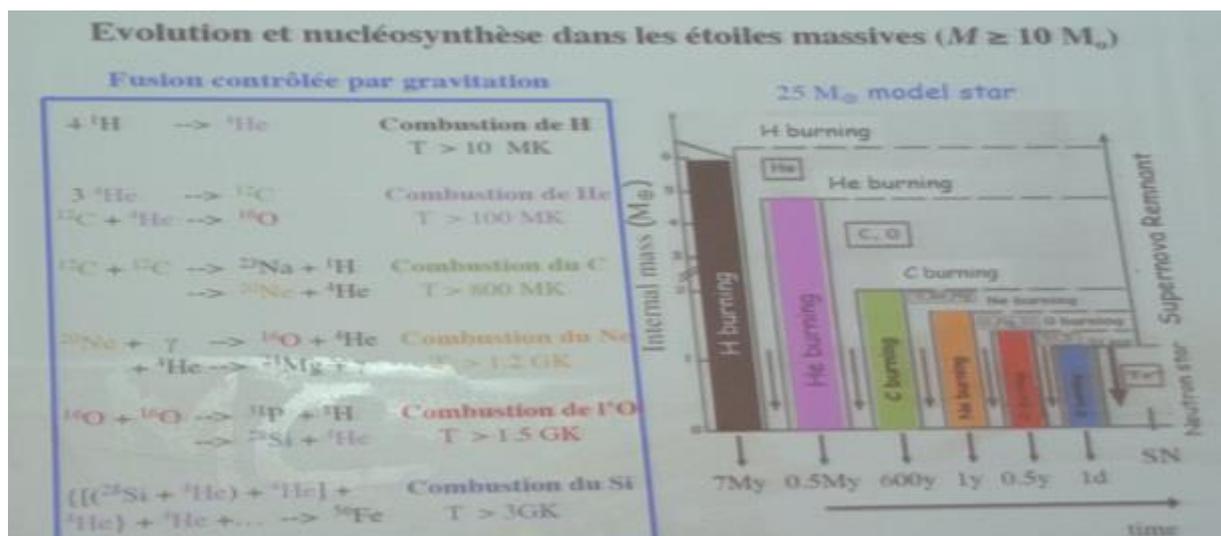
Une étoile est formée d'une couche externe avec fusion d'hydrogène, etc. (plus on va à l'intérieur, plus lourds les éléments sont, plus leur consommation est vite car la chaleur devient de plus en plus importante).

Energie de liaison par nucléon : le frein nucléaire. Le fer est l'élément le plus stable (presque 9MeV pour le briser). Après le noyau de fer il n'y a plus de réaction thermonucléaire, plus d'énergie, il y a un effondrement gravitationnel (contraction du noyau de fer) emmenant à des réactions de neutralisation, la photodésintégration devient possible. Lorsque la densité atteint 10¹⁴g/cm³ (densité nucléaire), l'effondrement s'arrête brusquement : les couches extérieures qui tombent sur les noyaux, rebondissent et l'étoile explose. Elle deviendra une étoile géante rouge puis supernova (dissémination des matières dans le MIS) créant ensuite soit une étoile à neutron soit un trou noir si l'étoile était très dense. La supernova enrichit le milieu interstellaire en éléments lourds jusqu'au fer.

Remarque : quid des autres éléments ? (ceux plus lourds que le fer)

Il y a 2 remarques de physique nucléaire : la désintégration β^- et la capture neutronique : gain de proton c'est ainsi que les éléments plus lourds que le fer se sont créés. On peut « se déplacer ».

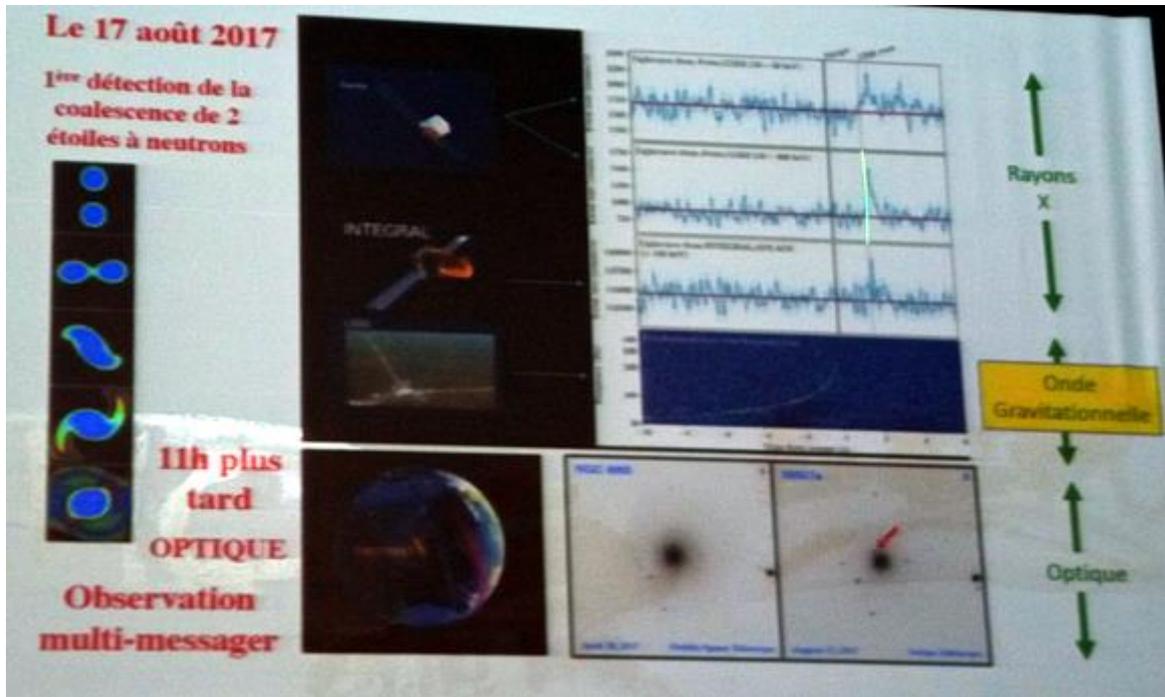
Mais ce sont des processus de capture lents, petit à petit dans des périodes de 10 à 1000 ans, et sont responsables de la moitié des noyaux au-delà du fer dans l'univers. Les processus de capture rapide quant à eux durent moins d'une seconde et sont responsables de l'autre moitié des noyaux au-delà du fer dans l'univers.



Source : Diaporama de Jose BUSO

Notre compréhension de la nucléosynthèse par processus rapide est considérée comme l'une des 11 questions fondamentales de la physique et de l'astrophysique. Il y a donc encore de nombreuses questions ouvertes, exemple, quel est le site du processus r ?

Longtemps favorisé dans l'explosion supernova des étoiles massives mais les calculs marchaient moyennement, on favorise de nos jours cette fabrication lors de la coalescence de deux étoiles à Neutrons (distribution théorique des noyaux r très proche de celle dans le système solaire.)
Le 17 août 2012 : 1^{er} détection de la coalescence de 2 étoiles à neutrons



Source : Diaporama de Jose BUSO

Conclusion : la compréhension de l'origine des éléments nous a conduit à un extraordinaire voyage entre l'infiniment grand, l'infiniment petit mais que c'est encore mal compris.