

IAU Symposium 268 – “Light elements in the Universe” et Conférence publique – “ Deuterium, hélium, lithium : du Big Bang à la civilisation contemporaine ”

Du 9 au 13 novembre 2009 se tiendra à Genève le **Symposium 268 de l’Union Astronomique Internationale (IAU)** intitulé « **Light elements in the Universe** ». Il réunira les plus grands spécialistes mondiaux (venus de 25 pays) de la formation et de l’évolution des éléments légers dans l’Univers.

À cette occasion, l’**Observatoire Astronomique de l’Université de Genève** et la **Société de Physique et d’Histoire Naturelle (SPHN)** organisent le 11 novembre (de 18h30 à 21h) à Uni Dufour (Amphi Piaget) un colloque grand public intitulé « **Deuterium, hélium, lithium: du Big Bang à la civilisation contemporaine** ». Les quatre orateurs seront, par ordre d'intervention:

- **Hubert Reeves** (astrophysicien, Paris et Montréal) :
"La saga des éléments légers"
- **Johannes Geiss** (astrophysicien, Berne) :
"The Apollo landings on the Moon: what did we learn?"
- **Guy Laval** (physicien, Académie des Sciences, Paris) :
"Eléments légers et énergie nucléaire"
- **Jean-Michel Aubry** (médecin psychiatre, HUG, Genève) :
"Lithium et troubles bipolaires"

Le Secrétaire Général de l’Université, **Stéphane Berthet**, s’adressera au public au début de la conférence qui sera modérée par **Corinne Charbonnel**, organisatrice du Symposium IAU 268. Les interventions se feront en français, sauf celle de Johannes Geiss qui s'exprimera en anglais. Au terme des quatre exposés aura lieu un débat avec le public.

Les informations détaillées se trouvent sur le site
http://obswww.unige.ch/iau268/Public_colloquium.htm.

Contacts :

Corinne Charbonnel (Observatoire Astronomique de l’Université de Genève et CNRS)
Corinne.Charbonnel@unige.ch

Michel Grenon (Observatoire Astronomique de l’Université de Genève et SPHN)
Michel.Grenon@unige.ch

Les éléments légers dans l'Univers

Dans quelque direction que pointent nos télescopes, la composition de l'Univers visible (matière et énergie noires exclues) apparaît dominée par les éléments chimiques les plus légers et les plus simples. Ainsi, l'hydrogène et l'hélium constituent environ 98% de la masse de notre Soleil et des étoiles de notre Galaxie. Aux confins du cosmos, dans les régions qui n'ont pas été polluées par les étoiles, la matière est composée à près de 100% par ces seuls deux éléments. Ce fait est le fruit du premier quart d'heure de l'histoire du cosmos, et constitue le troisième pilier sur lequel repose la théorie du Big Bang (avec le mouvement des galaxies et le fonds diffus cosmologique).

L'histoire de l'Univers est une longue saga d'environ 13.7 milliards d'années. Dans cette histoire, l'hégémonie de l'hydrogène et de l'hélium se joue dans les tout premiers instants et tient au fait que l'Univers est passé par une phase ultra-dense et très chaude. Tout n'est d'abord qu'énergie, puis l'espace entre dans une violente expansion. Au bout d'une seconde, la température vaut 10 milliards de degrés. Tout se joue rapidement tandis que l'espace se refroidit inexorablement. Les quarks s'agrègent un à un. Ne restent bientôt que des protons, neutrons, électrons, photons et neutrinos. Au bout de trois minutes et alors que la température ne cesse de décroître, protons et neutrons s'agglomèrent pour former les éléments les plus légers: l'hydrogène et l'hélium, mais aussi le deutérium (ou hydrogène lourd), l'hélium-3, et le lithium-7. Au bout d'un quart d'heure, à cause de l'expansion, la température et la densité deviennent trop faibles pour permettre la fusion d'autres noyaux et la nucléosynthèse s'arrête. La proportion est alors d'un noyau d'hélium-4 pour douze noyaux d'hydrogène. En termes de masse de matière ordinaire, hydrogène et hélium-4 représentent alors 99.99 %, le deutérium, l'hélium-3 et le lithium-7 n'étant synthétisés qu'en quantités infinitésimales. D'après le modèle dit standard, aucun élément « lourd » (c'est-à-dire plus lourd que le lithium) n'a pu être produit au cours de cette phase de nucléosynthèse primordiale. Jusqu'à ce que les premières étoiles s'allument, la composition chimique du cosmos demeure inchangée.

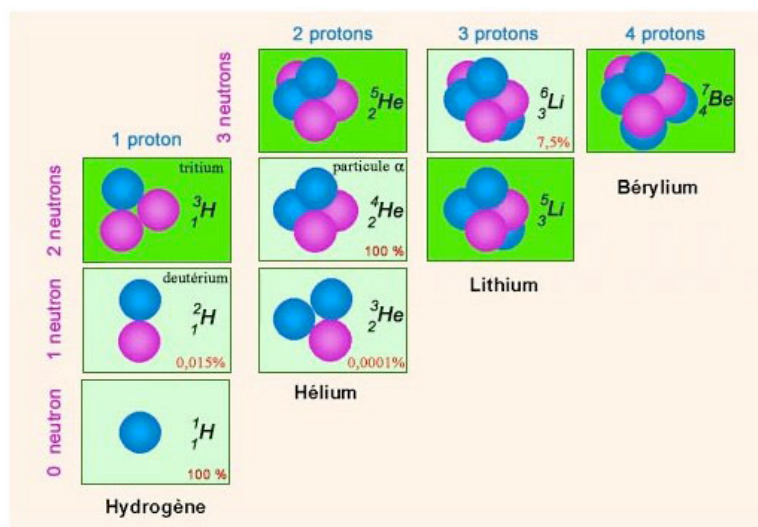
Dans le cœur des étoiles qui se sont succédé pendant 13.7 milliards d'années, les éléments légers ont participé à la nucléosynthèse stellaire qui a donné naissance aux éléments lourds comme le carbone, l'oxygène ou le fer. Le deutérium, très fragile, a ainsi vu son abondance cosmique diminuer, tandis qu'un peu d'hélium et de lithium ont pu être fabriqués dans les chaudrons stellaires puis rejetés dans l'espace. Ainsi, les abondances cosmiques des éléments légers ont légèrement changé au cours du temps. Mais en les observant aux confins de l'Univers, dans des galaxies ou des quasars très distants, ou dans les étoiles les plus vieilles du halo de notre Galaxie, on peut espérer déterminer leurs abondances primordiales. Ces mesures présentent un intérêt crucial pour la cosmologie, car elles permettent de remonter aux conditions physiques qui régnaient lorsque ces éléments se sont formés. Mais elles représentent une tâche délicate qui requiert l'utilisation des plus grands télescopes au sol et dans l'espace. Les objets astronomiques dans lesquels les éléments légers n'ont pas ou peu été affectés depuis leur création dans l'Univers primordial sont en effet très rares et très peu lumineux. De plus, l'interprétation des observations nécessite le développement de modèles très sophistiqués. Enfin, les erreurs systématiques dans les mesures sont probablement encore trop grandes, dans le cas de l'observation de l'hélium-4 en particulier. Les scientifiques n'ont donc pas dit le dernier mot sur le sujet !

Aujourd'hui, modèles et calculs permettent de reproduire les quantités observées de l'hydrogène, du deutérium et de l'hélium-4, confortant globalement la théorie du Big Bang et de la nucléosynthèse primordiale. Ils sont en accord avec la détermination indépendante de certains paramètres cosmologiques, comme la densité baryonique de l'Univers déduite des mesures de fluctuation du fonds diffus cosmologique par le satellite Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) lancé par la NASA en 2001. De telles mesures sont au cœur de la mission de l'Agence Spatiale Européenne PLANCK lancée avec succès en mai 2009.

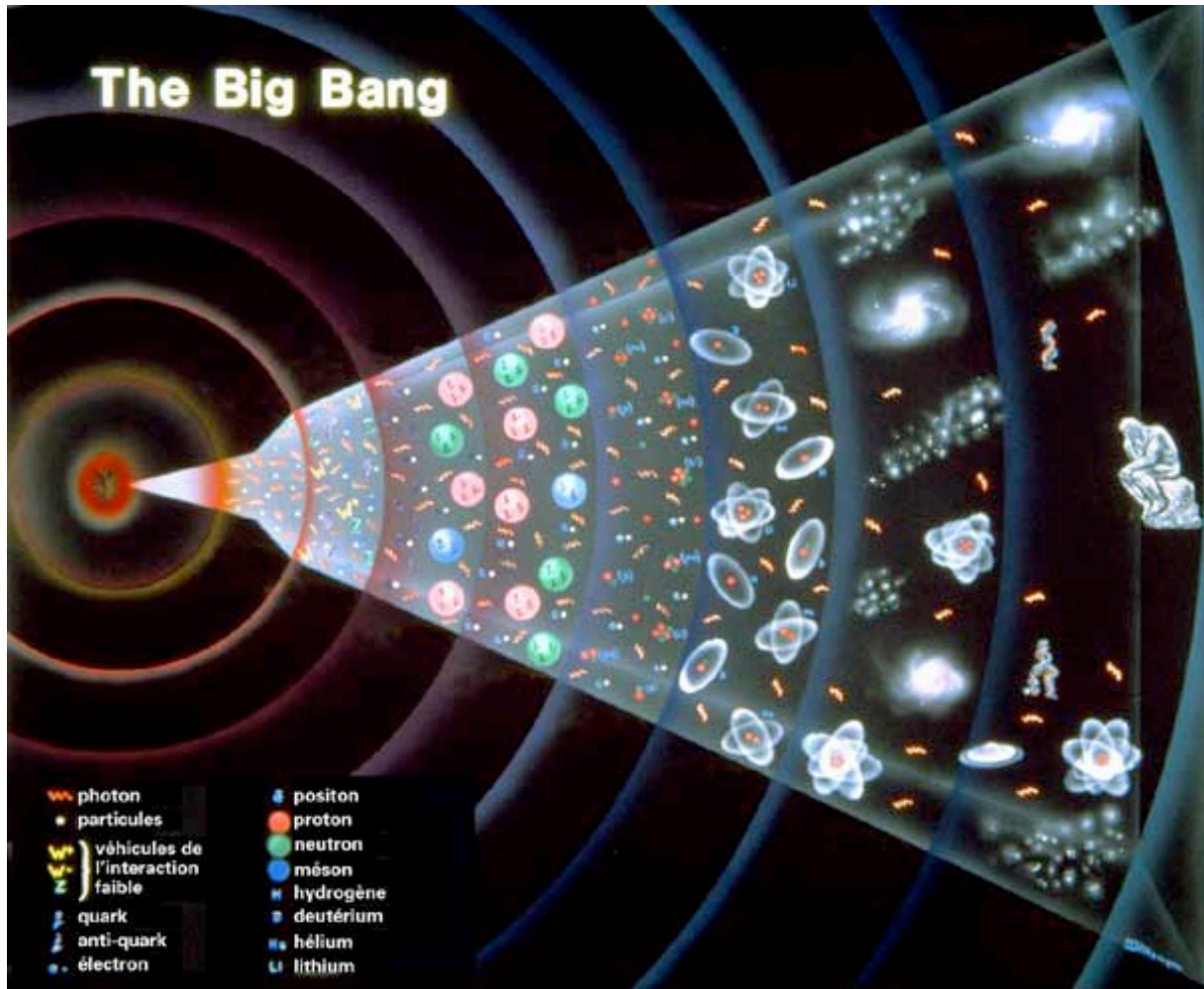
Cependant des difficultés subsistent. L'évolution de l'hélium-3 dans la Galaxie reste mal comprise. Son abondance dans le vent solaire, mesurée lors de la mission Apollo 11 sur la Lune, il y a quarante ans, est très proche de la valeur mesurée dans le milieu interstellaire et de la valeur primordiale, alors que les modèles prédisent une forte augmentation au cours du temps. Le cas du lithium-7 est également problématique. Les étoiles les plus vieilles du halo de notre Galaxie en renferment en effet environ trois fois moins que ne le prédisent les calculs de nucléosynthèse primordiale. Dans les deux cas, les spécialistes mettent en cause des mécanismes particuliers opérant au sein des étoiles, certains de ces processus étant d'ailleurs observés dans l'atmosphère ou les océans terrestres.

Notons enfin que l'isotope léger du lithium, le lithium-6, mais aussi le béryllium et le bore, ne sont produits ni dans l'Univers primordial décrit par le modèle standard (Be et B le sont seulement en quantités infinitésimales), ni dans les étoiles. Ces éléments sont synthétisés par les réactions de spallation entre les rayons cosmiques galactiques hautement énergétiques et les noyaux de la matière interstellaire. Les quantités créées sont très faibles, mais elles nous renseignent sur les phénomènes énergétiques du cosmos comme les explosions de supernovae.

Les éléments légers sont donc des messagers qui nous renseignent sur de vastes domaines de l'Astrophysique : cosmologie, formation et évolution des galaxies, physique et évolution des étoiles, nucléosynthèse primordiale et stellaire, processus de spallation. Leur étude et la compréhension de leur formation et de leur évolution dans l'Univers requièrent ainsi la collaboration entre physiciens, astrophysiciens et cosmologistes.



Ce tableau montre les noyaux atomiques les plus légers, par complexité croissante. Vers le haut, le nombre de protons augmente. Vers la droite, c'est le nombre de protons qui s'accroît. Les principaux isotopes actuels du lithium (lithium-7) et du béryllium (béryllium-9) sont exclus de cette représentation. Crédits: CNRS/IN2P3



Cette image est une allégorie scientifique de l'histoire de l'Univers, telle qu'on la perçoit aujourd'hui. Initialement régnait une "soupe" indistincte de quarks et de gluons. C'est cet état de la matière que les chercheurs tentent de reproduire dans les accélérateurs tels que le LHC du CERN. Après le Big Bang, la température baisse et l'espace s'étend. Chaque étape marque un jalon dans l'évolution de la matière et de l'Univers. Les protons et neutrons se sont formés environ un cent-millième de seconde après l'instant initial. Au bout d'environ 1000 secondes, les nucléons (neutrons ou protons) s'agglomèrent pour former les éléments légers. La nucléosynthèse primordiale dure une quinzaine de minutes. Il faut attendre ensuite environ 200 millions d'années pour que les premières étoiles commencent à fabriquer des éléments lourds et à modifier la composition chimique de l'Univers.

Crédits: CNRS/IN2P3

http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbig/decouv/ximg/chrono/inflat/zo1_2/Nepal.htm

Les éléments légers dans la civilisation contemporaine

Les éléments légers jouent un rôle crucial dans l'histoire de la vie, celle de l'homme en particulier, et dans la civilisation technologique contemporaine. Voici quelques exemples non exhaustifs.

L'élément le plus fréquent, l'hydrogène, est l'un des constituants de l'eau - deux atomes sur trois - dont la présence est une condition nécessaire à l'apparition de la Vie sur les planètes telluriques.

L'homme lui-même est constitué de près de 80% d'eau, dont tous les atomes d'hydrogène sont issus de la nucléosynthèse primordiale alors que l'oxygène a été formé en majorité dans le cœur des étoiles massives, une fois les galaxies formées. Ceci a permis à Hubert Reeves de dire que si nous sommes poussières d'étoiles quant aux éléments lourds qui nous constituent, nous sommes également enfants du Big Bang pour l'hydrogène qui est en nous.

Les éléments légers Lithium, Béryllium et Bore sont, avec les éléments les plus lourds comme l'or ou l'uranium, les éléments les plus rares dans le système solaire (il y a 10 milliards d'atomes d'hydrogène pour un atome de Béryllium). Cela tient au très faible taux de formation durant le Big Bang et dans la matière interstellaire, mais aussi aux mécanismes de destruction ultérieurs dans les étoiles.

Les éléments légers sont partie constitutive de cristaux parmi les plus rares et les plus prisés comme les béryls (émeraudes avec Béryllium) ou les tourmalines (avec Lithium et Bore) utilisés de tout temps comme gemmes par l'homme comme parure et symboles de richesse et de pouvoir.

Le lithium, confiné sur les continents à quelques lacs salés des Andes et d'Asie centrale, est commun dans l'eau de mer sous forme de chlorure, bien que très dilué. Dans le futur, le lithium des mers sera notre principale source de constituants pour les accumulateurs électriques, une fois épuisés les métaux lourds et polluants comme le mercure.

Le lithium est également un élément clé pour la technologie de fusion nucléaire, en cours d'étude à Cadarache (France) dans le cadre du programme international ITER. Cette technique tend à reproduire, en milieu confiné, certains des processus à l'oeuvre durant le Big Bang, à la différence que l'énergie produite devrait servir aux besoins de l'homme plutôt qu'à la dilatation de l'Univers. Malgré les difficultés de mise en oeuvre, cette ressource énergétique est inépuisable, tout comme l'énergie solaire, et disponible partout, indépendamment de l'ensoleillement.

L'interaction des particules à haute énergie - les "rayons cosmiques" - avec les atomes de la haute atmosphère, oxygène et azote, brise ces atomes par le processus dit de spallation. Parmi les particules filles, on trouve le carbone léger, le carbone-14, radioactif de durée de vie moyenne, soit 5730 ans. Cet isotope se combine avec l'oxygène pour former du CO₂, qui entre dans le cycle de la vie notamment par la photosynthèse. Le taux de carbone-14 résiduel dans les bois et les matières organiques est une mesure de l'âge des dépôts anciens, largement utilisée par les géologues et surtout les archéologues.

L'isotope lourd du béryllium, le béryllium-10, est aussi produit par spallation dans la haute atmosphère. Rapidement combiné avec l'oxygène, il forme des noyaux de condensation de la vapeur d'eau et est précipité au sol sous forme de pluie ou neige en 2-3 ans. Le taux de

production du béryllium-10 est modulé par l'activité magnétique du Soleil, qui contrôle l'intensité du champ magnétique interplanétaire et module l'intensité du rayonnement cosmique susceptible d'interagir avec notre atmosphère. Aux périodes de faible activité solaire correspondent des Petits-Ages glaciaires. La mesure du taux de béryllium-10 précipité sous forme de neige dans les calottes polaires permet de reconstituer l'histoire du climat terrestre sur près de 1 million d'années avec une résolution de 2-3 ans sur les derniers 100'000 ans.

L'équilibre psychique de l'homme lui-même est dépendant de la présence d'un élément léger rare, le lithium. Très curieusement, certains troubles psychiques graves, les troubles bipolaires, peuvent être corrigés par l'administration de doses de lithium. Cette propriété a fait la réputation des eaux minérales lithinées comme la source Henniez à Yverdon.

Le colloque grand public « Deutérium, hélium, lithium : Du Big Bang à la civilisation contemporaine »

Le **colloque grand public du 11 novembre** a pour but de mettre en évidence les processus de formation des éléments légers, qui sont la clé de décryptage de l'histoire des débuts de notre Univers, et en parallèle de donner des exemples d'interaction entre l'homme, ses activités et la présence d'éléments légers sur Terre.

L'histoire de la formation et de la destruction des éléments légers sera développée par **Hubert Reeves**, astrophysicien, qui décrira comment les abondances observées dans divers objets astrophysiques permettent de décrire les premiers âges de l'Univers.

L'importance de la mesure de l'abondance des isotopes de l'hélium, Helium-3 et Helium-4, dans le vent solaire pour caractériser les processus de nucléosynthèse durant le Big Bang a conduit **Johannes Geiss**, astrophysicien de l'Université de Berne, à développer une expérience de piégeage des particules du vent solaire. Cette expérience fut déposée sur le sol lunaire, il y a tout juste quarante ans, lors de l'alunissage de la mission Apollo 11 et des premiers pas de l'homme sur la Lune.

Guy Laval, physicien et membre de l'Académie des Sciences française, présentera l'utilisation des éléments légers pour la production de l'énergie nucléaire sur Terre, par la fission mais aussi dans le cadre de projets de fusion nucléaire.

Jean-Michel Aubry, psychiatre des Hôpitaux Universitaires de Genève, décrira le rôle du lithium dans le traitement des troubles bipolaires qui affectent les perceptions, la personnalité, l'humeur et les cognitions des personnes en souffrant.

Dans le cadre du Symposium 268 de l'Union Astronomique Internationale

Mercredi 11 novembre 2009 de 18h30 à 21h

Uni Dufour, Auditoire Piaget | Entrée libre

Conférence suivie d'un débat avec le public

DEUTERIUM, HÉLIUM, LITHIUM: DU BIG BANG À LA CIVILISATION CONTEMPORAINE

Quatre orateurs d'exception

Hubert Reeves | astrophysicien, Paris et Montréal
«La saga des éléments légers»

Johannes Geiss | astrophysicien, Berne
«The Apollo landings on the Moon: what did we learn?»

Guy Laval | physicien, Académie des Sciences, Paris
«Éléments légers et énergie nucléaire»

Jean-Michel Aubry | médecin psychiatre, HUG, Genève
«Lithium et troubles bipolaires»

Le Symposium IAU 268 « Light Elements in the Universe »

La compréhension de la production et de l'évolution des éléments légers dans l'Univers est une tâche délicate, qui requiert la collaboration de scientifiques aux compétences très variées, cosmologistes, physiciens nucléaires, hydrodynamiciens, astronomes spectroscopistes, physiciens experts en évolution stellaire, spécialistes de la formation et de l'évolution chimique des galaxies.

L'objectif du Symposium 268 de l'Union Astronomique Internationale (UAI/IAU) intitulé « Light Elements in the Universe » est de réunir les meilleurs experts mondiaux pour débattre des questions encore en suspens et dégager les grandes lignes des travaux futurs à mener en la matière. Le dernier Symposium IAU sur le sujet s'est tenu à Natal au Brésil en 1999. Depuis, le domaine a fait l'objet de nombreux développements qui seront présentés et discutés à Genève.

Sur le plan observationnel, la détermination de la densité baryonique de l'Univers résultant des mesures effectuées par le satellite Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) a conduit au calcul précis des produits de la nucléosynthèse primordiale. De telles mesures, d'une précision encore inégalée, sont au cœur de la mission de l'Agence Spatiale Européenne PLANCK lancée avec succès en mai 2009. Par ailleurs, la mise en service des très grands télescopes comme le VLT de l'Observatoire Européen Austral (European Southern Observatory, ESO) a permis la détermination de l'abondance des éléments légers dans des objets astronomiques inobservables précédemment, révélant de nombreuses surprises encore inexpliquées. Mais les astronomes rêvent déjà des performances qu'ouvrira la prochaine génération d'instruments, en particulier le projet d'E-ELT de l'ESO, un télescope de 42m qui permettra d'observer entre autres les fossiles des premiers instants de l'Univers que sont les plus vieilles étoiles des galaxies autres que la Voie Lactée.

Sur le plan théorique, des progrès considérables dans le domaine de la physique stellaire en particulier nous permettent désormais de prédire avec une plus grande confiance le sort des éléments légers au sein des étoiles et leur recyclage tout au long de la vie des galaxies. Une partie de ces progrès sont venus de la prise en compte, dans les modèles développés à l'Observatoire de Genève et décrivant la structure et l'évolution des étoiles, de mécanismes observés dans l'atmosphère ou les océans terrestres. Il s'agit en particulier de l'oscillation quasi-biennale des vents stratosphériques au-dessus de l'équateur qui influe sur les quantités d'ozone aux latitudes moyennes et élevées et qui concourt à l'activité cyclonique terrestre, et de la circulation à grande échelle des océans, dont l'impact sur le climat et sur le cycle du carbone est activement étudié.

Mais comme toujours en sciences, ces progrès ont engendré de nouvelles questions et de nouvelles voies de recherche interdisciplinaires dont débattront pendant une semaine les scientifiques.

<http://obswww.unige.ch/iau268/>

UAI/IAU : <http://www.iau.org/>

IAU Symposium 268

Light Elements in the Universe

November 9-13, 2009

SOC: C. Charbonnel (Chair, contact person) • M. Tosi (Co-chair) • B. Balbus • Y. Izotov
T. Kajino • D. Lambert • J. Lattanzio • P. Molaro • H. W. Moos • F. Primas • R. Rood • S. Talon
LOC: C. Charbonnel • C. Chiappini • M. Dessauges • S. Ekström • M. Grenon • N. Lagarde
C. Taçoy • G. Simón

Organized by
Observatory of Geneva University
at the Museum of Natural History
Geneva, Switzerland

<http://obswww.unige.ch/iau268> • email: iau268@unige.ch



Copyright © Cécile A.H.

