

L'évolution de notre compréhension du Soleil

Avant le 20^{ème} siècle

Les civilisations antiques telles que les Aztèques, les Mayas, les Hébreux, et les Égyptiens firent des observations précises sur les déplacements du Soleil dans le ciel. Les philosophes et scientifiques occidentaux furent intrigués par le Soleil bien avant l'avènement d'Athènes. Plusieurs théories furent émises à propos du Soleil et jusqu'au 18^{ème} siècle, des mesures astronomiques simples furent réalisées avec différents niveaux de précision. Au 18^{ème} siècle, des découvertes remarquables furent établies à propos de notre Terre elle-même, et en particulier à propos de son âge.

Il était alors largement admis que la Terre avait 6 000 ans d'âge, cette estimation étant basée sur l'histoire biblique interprétée en 1654 par l'archevêque érudit irlandais James USSHER. Cependant, à la fin du 18^{ème} et au 19^{ème} siècle, les estimations des scientifiques quant à l'âge de notre planète furent révisées à la hausse pour atteindre 100 000 ans. Cette valeur commença à créer des interrogations au sujet des moyens qui permirent à la Terre de conserver sa chaleur pendant une si longue période. On présuma d'abord que la Terre était issue d'une boule de roches en fusion qui avait refroidi lentement. Mais des calculs, notamment réalisés par Sir Isaac NEWTON, montrèrent que même si la Terre avait été formée à partir d'une boule de roches en fusion, elle aurait refroidi pour atteindre sa température actuelle en un laps de temps compris entre 50 000 et 75 000 ans. La question de la source de chaleur de la Terre demeura un problème crucial pendant le 19^{ème} et une partie du 20^{ème} siècle.

Le problème fut encore compliqué par les progrès de la géologie conjugués à l'apparition de la théorie de DARWIN sur l'origine des espèces publiée en 1859. Les processus géologiques qui formèrent la Terre et le temps requis à l'évolution de la vie pour en arriver à la situation actuelle impliquaient un âge de la Terre et du Soleil beaucoup plus élevé qu'il avait été estimé. De nouvelles découvertes étaient nécessaires pour résoudre le puzzle. Une partie de la solution fut apportée par le développement de la thermodynamique durant la seconde moitié du 19^{ème} siècle. Le développement du concept de chaleur irradiée ainsi que l'idée que l'énergie sous toutes ses formes peut être quantifiée furent d'une grande importance.

Avec ces nouvelles idées, certains commencèrent à s'interroger au sujet de l'énergie du Soleil (d'où vient-elle, depuis quand existe-t-elle, combien de temps va-t-elle exister ?). On réalisa que la seule énergie chimique sous quelle forme que ce soit était insuffisante pour garder le Soleil en état de fonctionner plus de quelques milliers d'années. Cette prise de conscience fut primordiale. Le Soleil n'était donc pas une boule de fer chaud en train de refroidir, pas plus qu'un globe de charbon se consumant. Alors, si la chimie ne pouvait fournir une explication satisfaisante, la physique pourrait-elle faire mieux ? Il était désormais clair qu'une source

d'énergie capable de "fonctionner" pendant des millions d'années et de fournir de la chaleur était nécessaire. Pour trouver cette source d'énergie, beaucoup se concentrèrent sur le concept de gravité. Au début, une théorie prétendit que le Soleil était alimenté par des météores qui s'y écrasaient. Cette idée était simple et connut un grand intérêt. Selon cette théorie, si un météore était attiré par le Soleil à cause de son immense force gravitationnelle, l'énergie cinétique [$EC = (m/2)v^2$ avec m égal à la masse du météore et v égal à sa vitesse] du météore allait être convertie en chaleur au moment de l'impact, chauffant à la fois le Soleil et les débris du météore. Mais cette théorie fut abandonnée parce qu'il n'y avait tout simplement pas assez de météores disponibles, pas plus que de preuve d'une augmentation de la masse du Soleil. Lord KELVIN, un chercheur dont le travail fut capital en matière de thermodynamique, proposa même que le Soleil demeurait chaud en "avalant" des planètes entières, convertissant en chaleur l'énergie gravitationnelle des planètes lors de l'impact. Cette théorie fut également abandonnée après quelques recherches et on conclut finalement que la piste météoritique n'était pas la solution au problème. Cependant, le rôle-clé joué par la gravitation dans le processus de maintien de production d'énergie solaire ne fut pas remis en cause par de nombreux scientifiques, sans doute parce cette théorie était considérée comme la plus raisonnable. Ainsi en 1854, H. VON HELMOLTZ proposa une théorie selon laquelle le Soleil se contractait peu à peu transformant son énergie gravitationnelle en chaleur. Il suggéra également que le Soleil était initialement divisé en petites parties rocheuses ou même en particules de poussières dispersées dans l'espace. Toujours selon cette théorie, ces particules s'effondrèrent sur elles-mêmes, libérant leur énergie gravitationnelle lors de leurs collisions pour former une masse de roches en fusion. Mais des calculs montrèrent que cet objet théorique aurait eu assez d'énergie emmagasinée pour fonctionner pendant 10 millions d'années tout au plus. En se basant sur ses études concernant les flux de chaleur, l'âge de la Terre et la production énergétique d'un Soleil alimenté grâce à la gravité, KELVIN déclara en 1897 que l'âge de la Terre et du Soleil était de 24 millions d'années. Cette estimation restait en conflit avec la biologie de l'évolution et la géologie qui impliquaient une valeur bien plus élevée. Il est paradoxal de noter que KELVIN, bien que dogmatique en proclamant l'exactitude de ses calculs, laissa entendre que des lois physiques encore à découvrir pourraient un jour résoudre le problème. Il faudra attendre 30 ans pour que ces nouvelles lois et phénomènes soient découverts et appliqués aux problèmes de production énergétique et de détermination de l'âge du Soleil.

Les développements survenus au cours du 20^{ème} siècle

Le 20^{ème} siècle marqua la naissance de l'ère atomique. A la fin du 19^{ème}, les rayons X furent découverts, les CURIE révélèrent la radioactivité dans l'uranium. Ils prouvèrent également que l'atome est fissile. Les particules Alpha furent identifiées ainsi que les rayons Beta. Il fut établi que la radioactivité est le résultat de la transformation d'atomes d'un certain élément en atomes d'un élément différent. En outre, on apprit que les éléments libéraient de l'énergie à

travers la radioactivité. En 1903, des calculs montrèrent que $3,6 \text{ g/m}^3$ de radium dans le Soleil pourraient fournir toute la chaleur produite à la surface de l'étoile (à noter que la chaleur issue de sources radioactives est souvent utilisée comme source d'énergie sur les vaisseaux actuels comme Cassini). Cependant il n'existe aucune preuve spectroscopique de la présence d'une telle quantité de radium dans le Soleil.

La découverte de la radioactivité eut des conséquences sur l'estimation de l'âge de la Terre. Des recherches menées sur l'uranium contenu dans les roches terrestres démontrèrent que notre planète devait être âgée d'au moins un milliard d'années. Dans les années 20, on admit que l'estimation de KELVIN était fautive et que la Terre était âgée de plusieurs milliards d'années. Aujourd'hui, on estime que le système solaire s'est formé il y a 4,5 milliards d'années.

En 1905, EINSTEIN proposa une théorie selon laquelle l'énergie et la masse sont équivalents, comme cela est exprimé dans sa célèbre équation : $E = mc^2$. Il devint alors tentant de penser que l'atome était la clé pour comprendre les processus de production d'énergie au sein du Soleil et des autres étoiles.

Dans les années 20 et 30, grâce aux nouvelles connaissances acquises en physique et en matière de masses isotopiques, des physiciens parmi lesquels Arthur EDDINGTON, Hans BETHE et Carl VON WEIZACHER établirent que la réserve d'énergie du Soleil était de nature subatomique, écartant ainsi définitivement la théorie sur la contraction émise par KELVIN. Cela marqua également le moment où le "modèle solaire standard" commença à prendre forme, un modèle dans lequel les protons se percutent au coeur du Soleil, fusionnent et produisent finalement de l'hélium ainsi que de l'énergie sous la forme de photons de lumière. Cependant dans les années 20, il resta aux astrophysiciens un dilemme à résoudre : l'énergie cinétique des particules dans le Soleil, à la température calculée par EDDINGTON était trop faible pour que des réactions de fusion nucléaires puissent se produire. Le Soleil, à cette température, n'était pas assez chaud pour accélérer suffisamment les protons pour qu'ils puissent vaincre les puissantes forces répulsives électrostatiques qui les empêchent de s'approcher assez près (10^{-15} m) pour fusionner.

Une nouvelle révolution était nécessaire. Ce fut le développement de la théorie quantique et la compréhension de la physique des particules subatomiques.

Deux importants concepts de physique quantique furent découverts dans les années 20. Ils eurent d'importantes conséquences sur le dilemme de la fusion solaire. Tout d'abord, on put décrire une force (que l'on nommera force nucléaire) qui entre en action sur des distances nucléaires extrêmement courtes et qui, à ses distances, est capable de contrecarrer les forces électrostatiques répulsives intervenant entre les protons. Puis, dans le monde quantique des

particules subatomiques tels que les protons et les électrons, les particules se comportent de la même façon que des ondes. Agir comme une onde implique une définition imprécise de la particule, puisque les ondes se répandent et n'occupent pas un volume défini.

Avec ces deux concepts, il devint possible d'offrir un scénario plausible sur le fonctionnement de la fusion nucléaire au coeur du Soleil à des températures relativement " basses ". Tout d'abord, si les protons parviennent à s'approcher suffisamment les uns des autres, la " force nucléaire " pourra contrecarrer les forces électromagnétiques répulsives. Ensuite, si les particules agissent comme des ondes, elles peuvent s'entremêler, devenant ainsi suffisamment proches pour que la " force nucléaire " puisse entrer en action. On exposa rapidement que l'énergie du Soleil pouvait résulter de la fusion des protons, même si à cette époque, on ne disposait encore d'aucune certitude sur la structure chimique du Soleil.

Ce ne fut pas avant les années 30 que les scientifiques, grâce à des techniques spectroscopiques, établirent que l'hydrogène est l'élément le plus abondant dans le Soleil. Néanmoins, il faut noter que ce manque de connaissance à propos de la composition exacte du Soleil demeura un barrage aux progrès scientifiques. Il fallu attendre les années 50 pour avoir la certitude que la fusion des protons est d'une extrême importance dans le processus de production d'énergie solaire.

Contribution de la mission GENESIS

Le but de la mission GENESIS, lancée en 2001, est de collecter des échantillons de vent solaire et de les ramener sur Terre en 2003 pour analyse. Les scientifiques du monde entier travailleront sur ces échantillons qui seront conservés dans un laboratoire spécial au Johnson Space Center de Houston, au Texas. Les recherches porteront sur la composition isotopique du vent solaire. Les résultats constitueront une base de connaissances à propos du Soleil.

Ceci est la traduction d'un document publié par le Jet Propulsory Lab de la NASA concernant la mission GENESIS et intitulé : " A history of our understanding of the Sun. A closer look " .

Adresse : http://www.genesismission.org/science/mod3_SunlightSolarHeat/UnderstandingOfSun/index.html