

1.3 Les Neutrinos Solaires

Au cœur des étoiles, certaines réactions de fusion nucléaire produisent des particules interagissant très peu avec la matière et appelées neutrinos ν . Le Soleil en produit environ $2 \cdot 10^{38}$ par seconde. Chaque centimètre carré de la Terre est alors à son tour traversé toutes les secondes par $65 \cdot 10^9$ de ces particules. Ces particules furent observées pour la première fois en 1956 par Reines et Cowan, bien qu'elles aient été prédites par conservation de l'impulsion et de l'énergie cinétique dans le cas d'une désintégration β par Pauli dès 1930. Leur facilité à échapper aux détecteurs des physiciens provient du fait qu'elles ne sont sensibles qu'à l'interaction faible et à la gravité, d'où une section efficace d'interaction très faible. Celle-ci se situe entre 10^{-46} et $10^{-41} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ aux énergies solaires (0.2-14 MeV). La première expérience ayant observé des neutrinos solaires est l'expérience radiochimique basée sur le chlore de R. Davis en 1964. Elle possède un seuil de détection de 0.814 Mev (voir fig 1.2) et ne détecte que les neutrinos les plus énergétiques venant du béryllium ${}^7\text{Be}$, du bore ${}^8\text{B}$ et du cycle CNO. Elle en observe quelques dizaines par an, mais en nombre insuffisant (2 à 3 fois moins) quand on compare aux prédictions des modèles théoriques. Le problème des neutrinos solaires est lié à la difficulté d'interpréter le désaccord entre l'expérience et la théorie .

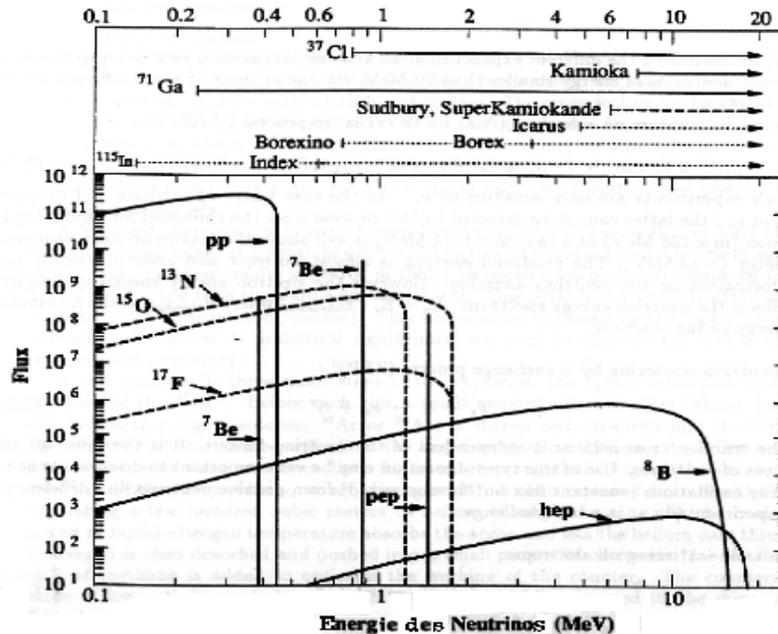


FIG. 1.2 – Spectre en énergie des neutrinos solaires. Flux de neutrinos des sources continues en $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MeV}^{-1}$, les raies sont en $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$. Au dessus, on indique les expériences présentes ou futures et leur seuil de détection

Il a fallu attendre les années 1990 pour voir se développer des expériences (Gallex, Sage) pouvant détecter les neutrinos de basse énergie (0.27 Mev) de la réaction fondamentale

($p+p \rightarrow D + e^+ + \nu_e + 1.172 \text{ Mev}$) jusqu'à ceux du bore (14 Mev).

Les résultats confirment un certain désaccord théorie-expérience, mais le nombre détecté est tout de même suffisant pour qu'une solution astrophysique ou nucléaire ne puisse être exclue et ainsi pour ne pas pouvoir considérer l'idée de réduction du flux par l'oscillation des neutrinos comme la solution définitive. Il est pourtant nécessaire de comprendre cette différence, celle-ci peut donc venir, soit de la description physique du cœur nucléaire, soit de la nature même des neutrinos.

Solutions venant de la physique des particules :

- si le neutrino est massif, il lui est possible de changer de saveur (osciller d'électronique à muonique ou tauique), par interaction dans le plasma solaire, ou dans le vide, et donc d'échapper aux détecteurs actuels, seulement sensibles à la première saveur.
- s'il possède un moment magnétique, il peut alors passer de l'hélicité gauche à l'hélicité droite, qui est stérile du point de vue de l'interaction faible, et donc ne pas interagir avec les détecteurs.

Solutions venant de l'astrophysique et de la physique nucléaire:

- une incertitude dans la description microscopique (réactions nucléaires, équation d'état, opacités et abondances initiales)
- l'existence de processus macroscopiques de mélange (instabilité, ondes de gravité, champs magnétique)
- autre source d'énergie permettant de ne plus imposer l'égalité entre énergie rayonnée et énergie nucléaire produite.
- l'existence d'un processus détruisant le béryllium ${}^7\text{Be}$, d'où un nombre réduit de neutrinos venant des chaînes PPII et PPIII.

Solutions Expérimentales:

- une plus grande incertitude dans la détermination des flux et donc une distortion de la moyenne sur un temps long,
- une mauvaise détermination des sections efficaces d'absorption pour une partie du spectre en énergie.

Si la solution est de nature astrophysique, alors elle doit avoir un impact sur la structure du Soleil (principalement une baisse de la température centrale) et doit être identifiable par l'héliosismologie. Cette thèse tentera de déterminer quelles limites l'héliosismologie impose sur le cœur nucléaire et testera certaines solutions astrophysiques.