

# **Sur une catalyse de la fusion nucléaire en agissant sur des interactions faibles**

## **About a possible catalytic nuclear fusion via weak interactions.**

Georges Lochak  
Fondation Louis de Broglie, Paris

**Résumé.** On examine la possibilité d'éviter, dans les expériences de fusion nucléaire, les températures ultra-hautes généralement introduites pour franchir la barrière coulombienne entre des particules électriquement chargées de même signe. On part du fait que, malgré la haute température qui règne au sein des étoiles, elle est curieusement inférieure à celle des expériences terrestres sur la fusion nucléaire. Nous suggérons la possibilité d'un catalyseur qui serait présent dans les étoiles et absent des expériences terrestres. On montrera que les neutrinos pourraient être un tel catalyseur dans les étoiles, où ils sont très abondants et doués d'interactions faibles, ce qui les rend capables de jouer ce rôle. Mais ils ne peuvent le faire dans les expériences terrestres où les neutrinos sont trop rares et, en outre, étant dépourvus de charge, ils s'éparpillent. Or nous avons à notre disposition des monopôles magnétiques leptoniques, complètement différents des monopôles lourds qu'on recherche par ailleurs. Ces monopôles leptoniques, que j'ai découverts il y a trente ans par voie théorique, sont depuis aujourd'hui couramment créés expérimentalement et étudiés dans de nombreuses expériences, majoritairement en Russie et en France (voir Partie III et Littérature). Ces monopôles leptoniques ont les mêmes propriétés nucléaires que les neutrinos dont ils sont une forme magnétiquement excitée. Tout en étant capables de remplacer les neutrinos, ils l'emportent radicalement par leur charge magnétique qui fait que, loin de se disperser comme les neutrinos, ils sont manœuvrables par l'électromagnétisme, et peuvent être focalisés et accélérés dans un champ magnétique, ce qui nous permet de construire un accélérateur. Il pourraient changer le problème de la fusion nucléaire.

**Abstract.** We examine a possible avoiding, in the experiments of nuclear fusion, of the super-high temperatures generally introduced in order to overcome the Coulombian barrier between electrically charged particles of the same sign. We start from the fact that in spite of very high temperatures in the heart of stars, they are less than the temperatures in the terrestrial experiments of nuclear fusion. We suggest the possibility of a catalist, which could be present in the stars and absent from our experiments. It will be shown that such a catalist could be neutrinos in the stars, were they are very abundant and endowed with weak interactions which make them able to play this role. But they cannot do so in terrestrial experiments were neutrinos are too few and in addition, being without any charge, they are scattered in all directions. Nevertheless, instead of neutrinos, we have in our disposal leptonic magnetic monopoles which were at first theoretically discovered and described and now, for many years, experimentally produced, observed and applied (see Part III and Literature). These leptonic monopoles have the same nuclear properties as neutrinos and they are able to the same weak interactions. So, they can accelerate such phenomena as a fusion proton-proton at a temperature far less from the temperatures of other attempts of nuclear fusion. In addition, due to their magnetic charge they can be easily focused and accelerated, instead of being scattered in the space. They are able to modify the problem of nuclear fusion.

### **I. Introduction.**

L'un des problèmes les plus difficiles de la physique appliquée actuelle est l'exploitation industrielle de l'énergie de fusion nucléaire. Le procédé actuel vise, en augmentant la température d'un plasma et donc la vitesse d'agitation moléculaire, à rapprocher des particules nucléaires (par exemple des protons) jusqu'au

rayon d'action des interactions fortes, beaucoup plus court que la barrière de répulsion coulombienne entre particules de charge électrique de même signe. Mais il y a deux obstacles.

D'abord il n'existe pas d'enceinte matérielle résistant à la température d'un plasma. Une réponse parut être le tokamak de Tamm et Sakharov, qui contraint les particules électriquement chargées à tourner autour d'un champ magnétique et les empêche d'approcher des parois. Mais une autre difficulté et qu'aux températures nécessaires à la fusion nucléaire, le tokamak devient instable et ne fonctionne que par brefs intervalles ; le problème n'est donc pas résolu. C'est la raison du présent article : je pense qu'il faut abandonner les hautes températures (plus de cent millions de degrés !). Mais comment ? Nous partirons de quelques remarques.

- 1) Les astrophysiciens ont découvert que, bien que la température interne des étoiles soit très élevée, elle est moindre que celle des installations terrestres de recherche sur la fusion nucléaire. On peut se demander s'il n'y a pas, dans les étoiles, un catalyseur qui aide à la fusion, mais qui serait absent des installations terrestres.
- 2) Quel peut être ce catalyseur ? On peut remarquer pour cela qu'il arrive que les interactions faibles contrecarrent, en quelque sorte, les interactions fortes, source de l'énergie des étoiles : par exemple, elles sont en position de ralentisseur des cycles du carbone ou de l'hydrogène. On peut alors se poser la question inverse : ne pourrait-on au contraire accélérer la production d'énergie en agissant sur certaines interactions faibles ?
- 3) Les interactions faibles qui interviennent dans les cycles précédents sont émettrices de neutrinos. Or, dans les étoiles, il existe beaucoup d'antineutrinos produits par la désintégration  $\beta$  des neutrons libres :



Les antineutrinos peuvent, au contraire, s'absorber dans la désintégration  $\beta$  inverse :



Dans cette dernière réaction, les antineutrinos proviennent de l'extérieur et engendrent la réaction (2) : leur absorption équivaut à l'émission forcée d'un neutrino. Une telle réaction peut aider à l'ensemble du cycle, l'antineutrino jouant le rôle d'un quasi-catalyseur (« quasi » puisqu'il disparaît dans la réaction).

4) Mais, hélas, même si cette hypothèse se justifie, elle ne s'applique pas aux installations de laboratoire qui manquent de neutrinos et, en outre, comme ils sont neutres, ils s'éparpillent dans toutes les directions. Pour ces raisons, la fameuse expérience de F. Reines & C. Cowan [20], qui a prouvé l'existence du neutrino, fut très difficile.

5) Cependant, un résultat d'Ivoïlov [21] soutient cette hypothèse car il a montré qu'en irradiant une source radioactive bêta avec des monopôles magnétiques leptoniques, on abaisse son temps de vie, autrement dit on accélère la radioactivité bêta.

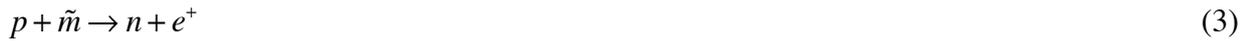
## II. Une idée préliminaire en vue d'un catalyseur de fusion nucléaire.

Nous montrerons maintenant comment on peut espérer utiliser en tant que catalyseur de la fusion nucléaire des monopôles leptoniques en les introduisant, par exemple, dans un tokamak (mais ce n'est pas le seul moyen). La théorie de ces monopôles est résumée en III-ième Partie et se trouve largement exposée par ailleurs ainsi que les nombreuses expériences qui ont suivi (voir *Littérature*).

Disons, pour l'instant, qu'il s'agit de monopôles magnétiques légers (même de masse nulle dans la théorie actuellement utilisée), avec deux propriétés principales :

- a) Ils ont une *charge magnétique g* égale à 137/2 fois celle de l'électron (les unités sont les mêmes).
- b) Ils sont capables des mêmes *interactions faibles* que le neutrino. Ils peuvent donc influencer sur les phénomènes nucléaires, comme le neutrino ou l'antineutrino, mais contrairement à eux - et grâce à leur charge magnétique - ils sont manœuvrables par des forces électromagnétiques. On peut donc les focaliser (ils ne se dispersent plus) et on peut leur communiquer de l'énergie grâce à un champ magnétique : nous construisons actuellement un accélérateur de monopôles. Soulignons au passage que le tokamak lui-même est un accélérateur de monopôles.

Nous remplacerons donc la réaction (2) par la suivante :



Où  $\tilde{m}$  représente un anti-monopôle qui a les mêmes interactions faibles que l'antineutrino de la formule (2). On pourrait vérifier la réaction (3) de diverses manières et nous proposerons plus loin une expérience-test assez simple.

#### Remarques :

**a) A propos de la réaction (3).** On peut objecter qu'elle ne satisfait pas à la conservation de l'énergie car le proton est plus léger que le neutron. Mais c'était déjà vrai de la formule (2) de la désintégration bêta inverse. De telles formules ne se préoccupent que des règles quantiques et supposent implicitement que l'équilibre de l'énergie est assuré par ailleurs. Notre cas semble assez simple car le monopôle gagne de l'énergie dans un champ magnétique : étant donné sa charge, en parcourant une longueur  $L$  le long d'un champ magnétique  $H$ , l'énergie gagnée sera  $E = 137/2 e HL$  ( $e$  étant la charge de l'électron).

**b) A propos de la température.** Comme nous l'annonçons dans le résumé, la température exigée n'est que celle de la formation du plasma, donc très loin des dizaines de millions de degrés des autres expériences sur la fusion nucléaire.

### III. L'expérience-test.

Les monopôles magnétiques leptoniques naissent le plus souvent lors de phénomènes électriques disruptifs dans l'eau, tels que<sup>1</sup> :

- 1) L'explosion dans l'eau d'un conducteur survolté (Urutskoiev, Moscou, repris plus tard à Nantes).
- 2) Un arc électrique dans l'eau (Ivoïlov, Kazan).
- 3) Une sorte d'étincelle dans l'eau (Bergher, Fondation Louis de Broglie, Paris).

Les monopôles s'enregistrent de différentes manières dont la plus courante est la pellicule photographique. Voici un exemple des « traces en chenilles » qu'on obtient. On en a des centaines.



<sup>1</sup> Il y a d'autres cas mais nous pouvons nous limiter ici aux trois cas cités.

Il résulte de ce qui précède, que **les monopôles enregistrés étaient, par définition, présents dans la source** où ils peuvent donc accélérer la formation de deutons, principale étape du cycle de l'hydrogène :



Ce qui surviendra ici sous la forme suivante qui équivaut à l'émission d'un neutrino, mais il s'agit ici d'une émission « forcée » puisqu'elle est imposée de l'extérieur par le monopôle :



**L'eau de la source de monopôles, en se refroidissant, devrait voir augmenter sa proportion d'eau lourde.**

J'ai conscience qu'il y a ici beaucoup d'hypothèses, mais il n'y a pas de science sans hypothèse et j'en prends le risque. Cependant, outre les réactions supposées de physique nucléaire, une objection évidente est la probabilité des phénomènes invoqués, donc le nombre de monopôles produits dans la source, qui pourrait être insuffisant pour rendre observables les réactions en question.

Si le nombre de monopôles produits était celui qui intervient dans les trajectoires observées, comme celle de la figure ci-dessus, il serait dérisoire et la probabilité serait négligeable. Mais des observations d'Ivoïlov, que semblent confirmer celles de Daniel et Sonia<sup>2</sup> Fargue, montrent qu'en plus des rares traces larges qu'on observe, il y en a beaucoup d'autres qui, contrairement aux précédentes, vont dans le sens de la source mais qui sont très fines et passent facilement inaperçues. Or, malgré cela, elles sont porteuses des charges habituelles des monopôles.

Il semble que le premier à avoir vu (indirectement) ces traces fines était Urutskoïev lorsque, ayant réalisé les premières photos de traces en chenilles, il a cherché à obtenir des traces en 3D dans une chambre à bulles, sur laquelle il a dirigé le flot de monopôles créé par la source. En effet, il n'a plus trouvé aucune trace, mais un grand nuage blanc qu'il a appelé une "comète". Je pense donc qu'Urutskoïev a trouvé en fait les traces innombrables correspondant aux traces fines identifiées plus tard par Ivoïlov. Celui-ci a attribué les traces épaisses qui sautent aux yeux à des accidents rares survenus à certaines de ces traces fines dans des circonstances particulières.

Il semble donc que les monopôles produits par les sources que nous connaissons ne soient pas rares mais très nombreux, ce qui permet quelque espoir quant au phénomène que j'envisage sur l'eau lourde. Il faut dire encore (sans entrer dans les détails) que d'autres phénomènes observés par Urutskoïev à Tchernobyl et qui ont été attribués aux monopôles - à raison semble-t-il - ne sont toutefois concevables que si le nombre de particules et donc de charges magnétiques est très élevé : je pense à des phénomènes magnétiques macroscopiques observés, comme l'attraction d'une ligne électrique par la conduite d'eau du réacteur, ou le changement du champ de gravitation sous l'effet des monopôles. Voyons maintenant quelques précisions sur le monopôle leptonique.

#### **IV. Le monopôle magnétique leptonique (exposé succinct, voir *Littérature*).**

Rappelons les matrices de Dirac  $\gamma_\mu$  ( $\mu=1,\dots,4$ ) et celles de Clifford construites sur elles :

---

<sup>2</sup> Sonia est la fille de Daniel. Elle n'est pas physicienne mais médecin, mais c'est elle qui a eu accès au *microscope confocal* qui affinait leurs observations.

$$\Gamma_N = \{I, \gamma_\mu, i\gamma_\mu\gamma_\nu, i\gamma_\mu\gamma_5, \gamma_5 = \gamma_1\gamma_2\gamma_3\gamma_4\} \quad (N=1, \dots, 16) \quad (1)$$

Entre les  $\Gamma_N$  on a les relations suivantes dans lesquelles le signe  $\pm$  dépend de  $\mu$  et  $N$  :

$$\gamma_\mu \Gamma_N \gamma_\mu = \pm \Gamma_N \quad (2)$$

Il suit de là que seules deux matrices  $\Gamma_N$  commutent de la même manière avec les quatre matrices  $\gamma_\mu$  : c'est  $\Gamma_1 = I$  (avec le signe +) et  $\Gamma_{16} = \gamma_5$  (avec le signe -). Et l'on montre que :

a) La première matrice  $\Gamma_1 = I$  définit une invariance de phase (ou invariance de jauge) :

$$\psi \rightarrow e^{i\vartheta} \psi \quad (3)$$

Cette invariance entraîne l'invariance de l'équation libre de Dirac (sans champ extérieur) avec masse :

b) La seconde matrice  $\Gamma_{16} = \gamma_5$  définit une nouvelle invariance de jauge :

$$\psi \rightarrow e^{i\frac{e}{\hbar c} \gamma_5 \vartheta} \psi \quad (4)$$

Elle entraîne, elle aussi, l'invariance de l'équation libre de Dirac *mais seulement en l'absence de masse propre, en raison du signe moins dans (2)* :

$$\gamma_\mu \partial_\mu \psi = 0 \quad (5)$$

Grâce à l'invariance de phase habituelle (3), on peut déduire une dérivation covariante et une invariance de jauge locale dans laquelle entrent les potentiels de Lorentz :

$$\nabla_\mu = \partial_\mu - i\frac{e}{\hbar c} A_\mu ; \psi \rightarrow e^{i\frac{e}{\hbar c} \phi} \psi, A_\mu \rightarrow A_\mu + \partial_\mu \phi \quad (6)$$

D'où l'on tire l'équation de l'électron de Dirac, et la covariance précédente impose le caractère polaire des potentiels  $A_\mu$  de Lorentz :

$$\gamma_\mu \left( \partial_\mu - i\frac{e}{\hbar c} A_\mu \right) \psi + \frac{m_0 c}{\hbar} \psi = 0 \quad (7)$$

De la seconde loi d'invariance (4) (voir *Littérature*) il suit *une autre covariance locale dans laquelle n'entrent plus les potentiels de Lorentz  $A_\mu$  mais des pseudo-potentiels  $B_\mu$*  :

$$\nabla_\mu = \partial_\mu - i\frac{g}{\hbar c} \gamma_5 B_\mu ; \psi \rightarrow e^{i\frac{g}{\hbar c} \gamma_5 \phi} \psi ; B_\mu \rightarrow B_\mu + \partial_\mu \phi \quad (8)$$

D'où j'ai obtenu l'équation du monopôle magnétique leptonique (voir *Littérature*) qui est sans masse propre en raison du signe moins dans (2) :

$$\boxed{\gamma_\mu \left( \partial_\mu - i\frac{g}{\hbar c} \gamma_5 B_\mu \right) \psi = 0} \quad (9)$$

Cette équation s'utilise généralement pour décrire le monopôle leptonique et ses prévisions sont vérifiées par l'expérience. Elle entraîne automatiquement les lois de symétrie découvertes par Maxwell et Pierre Curie. J'ai trouvé par ailleurs **deux autres équations, non linéaires avec masse, qui obéissent aux mêmes lois de symétrie mais dont le maniement est plus compliqué.**

C'est la présence de la matrice pseudo-scalaire  $\gamma_5$  qui impose, pour des raisons de covariance, le pseudo-quadripotential  $B_\mu$  et un pseudo-potential  $\phi$ . D'où il résulte que la charge magnétique  $g$  devient un scalaire vrai, comme toutes les constantes physiques et non plus un pseudo-scalaire comme font d'autres

théories du monopôle. Observons que, dans la présente théorie, la chiralité du magnétisme s'exprime non sur une constante physique mais sur un opérateur de charge  $G = g\gamma_5$ , ce qui est dans l'esprit des théories quantiques.

On sait que (6) entraîne la conservation de l'électricité  $J_\mu$  dans l'équation de Dirac (7) :

$$\partial_\mu J_\mu = 0 \quad (J_\mu = i\bar{\psi}\gamma_\mu\psi) \quad (10)$$

De même l'équation (9) entraîne, en vertu de (8), la conservation du courant magnétique :

$$\partial_\mu \Sigma_\mu = 0 \quad (\Sigma_\mu = i\bar{\psi}\gamma_\mu\gamma_5\psi) \quad (11)$$

Les deux courants  $J_\mu$  et  $\Sigma_\mu$  sont liés entre eux par des formules algébriques :

$$\begin{aligned} J_\mu \Sigma_\mu = 0; -J_\mu J_\mu = \Sigma_\mu \Sigma_\mu = \Omega_1^2 + \Omega_2^2 \\ (\Omega_1 = \bar{\psi}\psi; \Omega_2 = -i\bar{\psi}\gamma_5\psi) \end{aligned} \quad (12)$$

Les grandeurs  $\Omega_1$  et  $\Omega_2$  sont l'invariant et le pseudo-invariant de Dirac. Il suit de (12) que le courant  $J_\mu$  est du genre temps, comme on pouvait s'y attendre. Mais le courant  $\Sigma_\mu$  est du genre espace, ce qui est choquant. Mais tout s'éclaire si on met (9) en représentation de Weyl :

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2}}(\gamma_4 + \gamma_5) \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix} \quad (13)$$

Car l'équation (9) se décompose maintenant en **deux équations indépendantes gauche et droite** qui généralisent les équations du neutrino :

$$\begin{cases} \left( \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} - \mathbf{s} \cdot \nabla - i \frac{g}{\hbar c} (W + \mathbf{s} \cdot \mathbf{B}) \right) \xi = 0 \\ \left( \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{s} \cdot \nabla + i \frac{g}{\hbar c} (W - \mathbf{s} \cdot \mathbf{B}) \right) \eta = 0 \end{cases} \quad (14)$$

La partie cinétique de ces équations correspond au monopôle et à l'anti-monopôle à deux composantes, tandis que la partie potentielle représente l'interaction électromagnétique d'une charge magnétique respectivement gauche et droite. **C'est ce système qui a permis de considérer ces deux monopôles comme des formes magnétiquement excitées du neutrino et de l'antineutrino** (voir *Littérature*).

Ici, les matrices  $\mathbf{s}$  sont celles de Pauli et l'on a :  $iB_\mu = \{\mathbf{B}, iW\}$ , où  $\mathbf{B}$  et  $W$  sont un pseudo-vecteur et un pseudo-scalaire dans l'espace  $R^3$ . La grandeur  $B_4 = W$  est réelle parce que  $B_\mu$  est axial. On montre qu'il y a deux courants isotropes conservatifs gauche et droit reliés aux courants électrique et magnétique :

$$X_\mu = \{\xi^+ \xi, -\xi^+ \mathbf{s} \xi\}; \quad Y_\mu = \{\eta^+ \eta, \eta^+ \mathbf{s} \eta\}; \quad J_\mu = X_\mu + Y_\mu; \quad \Sigma_\mu = X_\mu - Y_\mu; \quad \partial_\mu X_\mu = 0; \quad \partial_\mu Y_\mu = 0 \quad (15)$$

On voit que  $J_\mu$  est la somme des deux courants isotropes et il est du genre temps. Au contraire,  $\Sigma_\mu$  n'est pas la somme mais la différence entre les deux courants et il est du genre espace, car  $X_\mu Y_\mu = 4|\xi^+ \eta|^2 \geq 0$ . C'est une propriété de l'espace qui n'influe pas sur le sens de l'écoulement du temps.

## Littérature :

[1] J.C. Maxwell, *A treatise on electricity and magnetism* (1873), Third Edition Clarendon Press (1991), deux Volumes reproduits par Dover.

- [2] P. Curie, *Journal de Physique*, 3<sup>e</sup> série, t.III, 1894, p. 393, p. 415. *Ann. Fond. Louis de Broglie*, **19**, 1994, p.159
- [4] G. Lochak, *Ann. Fond. Louis de Broglie* (I) : **22**, 1997, p.1 (II) : p. 187.
- [5] P.A.M. Dirac, *Proc. Roy. Soc. Ser. A*, 133, 1931, p. 60.
- [6] W. Pauli, *Annales de l'Institut Henri Poincaré*, **6**, 1936, p. 109.
- [7] G. Lochak, Sur un monopôle de masse nulle, *Ann. Fond. Louis de Broglie*, **8**, 1983, p. 345 (I). **9**, 1984, p. 5 (II).
- [8] G. Lochak, Wave equation for a magnetic monopole, *IJTP*, **24**, 1985, p. 1019.
- [9]. G. Lochak, *The Symmetry between Electricity and Magnetism and the Problem of the Existence of a Magnetic Monopole, contribution au recueil : Advanced Electromagnetism*, Ed. T.W. Barrett, D.M. Grimes, World Scientific, Singapore, 1995, p. 105-148.
- [10] L.I. Urutskoïev, V.I. Liksonov, V.G. Tsinoev, Expérimental observation of a « Strange Radiation » and of the transmutation of chemical elements, *Journal de Radio-électronique*, N°3, 2000 (en russe) ; *Ann. Fond. Louis de Broglie*, **28**, 2002, p. 701 (en français).
- [11] G. Lochak, L'équation de Dirac sur le cône de lumière. Electrons de Majorana et monopôles magnétiques, *Ann. Fond. Louis de Broglie*, **28**, 2003, p. 403.
- [12] T. Borne, G. Lochak and H. Stumpf, *Non perturbative Quantum Field Theory and Structure of matter*, Kluwer, Dordrecht 2001.
- [13] H. Stumpf, *Ann. Fond. L. de Broglie*, **28**, 2003, 65.
- [14] H. Stumpf, *Z. Naturforsch.* **58a**, 2003, 1.
- [15] H. Stumpf, *Z. Naturforsch.* **60a**, 2005, 696.
- [16] G. Lochak et L. Urutskoïev *Low-Eenergy Nuclear Reactions and Leptonic Monopoles*, Conférence Internationale sur la Fusion Froide (ICCF 11), Marseille 31.10.04 au 05.11.04, 2004.
- [17] G. Lochak, *Z. Naturforschung*, **62a**,231-246, 2007
- [18] H. Stumpf, *Z.Naturforschung*,**66a**,205-214,2011
- [19] H. Stumpf, *Z. Naturforschung* **67a**, 163-179, 2012
- [20] F. Reines & C.L.Cowan, *Phys. Rev.* 1953, T. 92, p.830.
- [21] N. Ivoïlov, *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, **31**, 2006, p. 115.