

# Sur les lois renversées de maxwell comme source de monopôles magnétiques dans la matière noire

Russell Bagdoo  
rbagdoo@gmail.com  
rbagdoo@yahoo.ca

## Sommaire

Selon le modèle standard de la cosmologie, la matière noire est une entité pour expliquer la dynamique des galaxies et des structures à plus grande échelle. Omniprésente, elle représente environ 80 % de la matière présente dans l'univers. Évanescence à l'extrême, elle résiste à toute tentative de détection, que ce soit celles des astronomes ou des physiciens des particules. On ne sait pas en quoi elle consiste et pourrait être très différente de ce que l'on pense. Nous proposons une autre piste pour appréhender ce quelque chose de profond qui nous échappe. L'idée est la suivante. Pour expliquer la matière noire, nous avons conjecturé qu'elle est composée de particules très légères ou très lourdes, du type neutrinos et d'antineutrinos associés à une charge magnétique et que ces neutrinos proviennent essentiellement des trous noirs primordiaux et des trous noirs classiques. Nous avons donc supposé que lorsque la matière baryonique franchit l'horizon des événements et qu'il y a black-out, les lois de Maxwell s'inversent, la charge électrique se transforme en une charge magnétique et c'est le courant magnétique qui induit le courant électrique. Dans les régions internes périphériques du trou noir, la densité et la température de matière baryonique sont très élevées. Les particules subiraient une transition de phase et se comporteraient comme des particules magnétiques. Les neutrinos standards deviennent des neutrinos magnétiques stériles, véritable monopôles magnétiques. Ces neutrinos traverseraient l'horizon (de plusieurs façons) vers l'extérieur pour constituer ce noir qui envahit. Ils seraient essentiels à la formation des galaxies et amas de galaxies. Le modèle que nous esquissons indique que les neutrinos stériles associés avec une charge magnétique interagiraient avec la force faible par le biais des champs magnétiques qui façonnent le cosmos. Ces neutrinos constituent les halos qui ceinturent les galaxies. Ils reçoivent l'énergie des champs magnétiques provenant des étoiles des galaxies extérieures ou des pulsars et seraient liés à la distribution de la matière visible et invisible. L'énergie magnétique, convertie en énergie cinétique, qu'ils reçoivent des champs magnétiques pourrait provoquer des lueurs de rayons gamma dans le noir.

**Mots clé :** matière noire, horizon des événements, monopôle magnétique, équations de Maxwell inversées, code 137, magnéto-électricité, équation de Dirac, neutrino magnétique stérile, trou noir intermédiaire, champ magnétique, halo, lueurs de rayons gamma.

[« *Sur les lois renversées de Maxwell comme source de monopôles magnétiques dans la matière noire* » est la version française de « *On Maxwell's Reversed Laws as Root of Magnetic Monopoles in Dark Matter* » sur [viXra.org/abs/2106.0092](https://arxiv.org/abs/2106.0092)]

## I Introduction

La matière noire représenterait plus de 80 % de la matière de l'univers [1] pour constituer environ 27 % de la densité d'énergie totale de l'univers observable [2], selon les modèles cosmologiques. Elle a été imaginée pour expliquer la cohésion des galaxies et des amas de galaxies. Car il semble que les galaxies tournent trop vite pour être maintenues gravitationnellement par la seule masse de la matière visible que nous observons dans ces galaxies [3]. La matière noire apporte le supplément d'attraction empêchant les galaxies en rotation d'éjecter le gaz et les étoiles de leurs régions les plus externes.

On attribue sa découverte à l'astronome suisse Fritz Zwicky au début des années 1930. Il a alors parlé du problème de la masse manquante, mais les astrophysiciens n'ont pas pris cette idée au sérieux. La question est revenue sur le tapis à la fin des années 1970 avec l'avènement de la radioastronomie et les travaux d'Albert Bosma, aux Pays-Bas, et de Vera Rubin, aux États-Unis. À cette époque, on croyait que la masse manquante était de la matière ordinaire, dite « baryonique », cachée, faite majoritairement d'hydrogène, donc essentiellement de protons et de neutrons [4]. Depuis tout ce temps, les astronomes ont fini par se convaincre que les continents lumineux que l'on distingue sont répartis dans un disque aplati. Cette distribution aplatie de matière baryonique visible ne serait que la partie émergée d'un cocon sphérique cinq fois plus grand fait d'une matière noire qui exerce une influence gravitationnelle sur la matière ordinaire, mais qui n'interagit pas électromagnétiquement.

Le problème est que l'on ignore tout de sa nature. Cette matière noire semble être une nouvelle forme de matière jamais fabriquée ou détectée en laboratoire ou dans les accélérateurs de particules [5]. En fait, pour réconcilier théorie et observation, les cosmologistes doivent soit changer le contenu matériel de l'univers avec la matière noire, soit changer les lois de la gravitation elle-même. Ces deux options semblent *a priori* également recevables. Toutefois, l'hypothèse d'une forme inconnue de matière demeure, de loin, la plus simple et la plus conservatrice.

On a supposé une supersymétrie dès le début de l'univers et le neutralino s'est avéré le candidat attractif pour la matière noire. Le but principal de la théorie de la supersymétrie, qui est une extension du modèle standard de la physique des particules, est de permettre un pas vers l'unification de l'interaction forte et de l'interaction électrofaible. Elle introduit une unification entre fermions et bosons. Si la nature est supersymétrique, la

mer de particules quantiques contient tous les types de particules qui existent dans la nature, y compris les superpartenaires. Tout comme les neutrinos, les particules superpartenaires auraient été créées en grand nombre dans l'univers primitif, alors que les forces électromagnétiques, fortes et faibles auraient eu la même force à une seule température très élevée. À mesure que l'univers se dilatait et se refroidissait, ces types de particules se désintégraient toutes en particules plus légères, à l'exception du neutralino [6]. La plus stable et la plus légère des particules superpartenaires, le neutralino, d'environ 10 à 10000 GeV, est le principal candidat à particules massives à interaction faible (WIMP) à la matière noire [7]. Pour l'observation directe, des expériences spéciales telles que la recherche cryogénique de matière noire (CDMS) ou le LHC (Large Hadron Collider) cherchent à détecter les rares impacts des WIMP dans les détecteurs terrestres. Pour l'observation indirecte, les télescopes à rayons gamma et à neutrinos ont recherché des preuves de l'annihilation des neutralinos dans les régions à forte densité de matière noire comme le centre galactique ou solaire. Pour le moment, toutes les tentatives pour détecter des wimps ont échoué. Le fait est que la théorie de la supersymétrie n'est pas validée. D'autres pistes intéressent les expérimentateurs, comme les axions ou les neutrinos stériles.

Dans l'article *What Connects Dark Matter and Black Holes* [8] nous avons proposé une autre piste que nous poursuivons dans ce papier. L'idée est que la matière noire serait constituée de substances provenant de trous noirs, notamment les neutrinos stériles associés à une charge magnétique. Ces neutrinos n'auraient pas été créés lors du big bang comme les particules supersymétriques qui auraient supposément été créés dans des proportions identiques aux particules ordinaires lors des premières microsecondes du big bang pour évoluer à part depuis. La surprise est qu'ils proviendraient de l'intérieur des trous noirs, des trous noirs primordiaux jusqu'aux trous noirs présents. On connaît trois espèces de neutrinos dans l'univers : il suffirait qu'une quatrième existe, qu'elle se soit concentrée en halo jusqu'à immerger totalement les galaxies pour expliquer leur rotation accélérée et résoudre d'un coup le problème de la matière noire. Ces neutrinos à charge magnétique seraient des particules magnétiquement neutres qui n'interagiraient que rarement avec la matière ordinaire, sauf par le biais de la gravitation et éventuellement par l'interactions de la force électromagnétique (via les champs magnétiques) et la faible [9].

Certains neutrinos stériles à charge magnétique peuvent avoir presque aucune masse, comme le neutrino standard, ou ils peuvent être incroyablement lourds. Ils peuvent être lents et se rassembler en touffes denses, ou ils peuvent voyager à presque la vitesse de la lumière dans un nuage de matière plus ou moins uniformément réparti. Les neutrinos stériles à charge magnétique lents peuvent se comporter comme de la matière noire froide

tandis que ceux qui sont suffisamment légers pour se déplacer à des vitesses légèrement inférieures à la vitesse de la lumière sont considérés comme de la matière noire chaude. Ensemble, les neutrinos stériles à charge magnétique froids et chaud peuvent constituer la majeure partie de la masse manquante de notre univers. Section 2 révèle l'inversion des quatre lois de Maxwell appliquées au vide qui permet de permuter la charge électrique en charge magnétique. Nous avons effectué le même exercice avec les quatre lois écrites sous une forme différente dans un article précédent [8]. Ce renversement survient suite au franchissement de la matière et de l'énergie lumineuse de l'horizon des événements du trou noir. Il y a alors blackout, le « code 137.03 » est violé, la charge  $e$  est transformée en charge  $g$ , la réalité devient inaccessible par la lumière et des monopoles magnétiques sont générés. Section 3 montre que la matière noire est constituée de neutrinos associés à la charge magnétique qui proviennent des trous noirs. Le fond diffus cosmologique indique une matière noire non baryonique dès le début de l'univers. De tout temps, y compris le nôtre, les trous noirs actifs auraient produit des neutrinos à charge magnétique. Ces neutrinos auraient proliféré avec les trous noirs intermédiaires qui seraient le chaînon manquant entre les trous noirs stellaires et les trous noirs supermassifs au cœur de presque toutes les galaxies. Section 4 décrit différentes façons qui permettent l'émission de neutrinos associés à la charge magnétique vers l'extérieur : effet Hawking, rayonnement thermique, effet tunnel. Des fluctuations sont occasionnées après l'absorption de la matière par le trou noir. Les forces quantiques se comportent comme si elles surpassent la force gravitationnelle et déclenchent des sorties de particules. Section 5 insiste sur l'importance des champs magnétiques par rapport à la protection et à la distribution de la matière visible et invisible. L'énergie des champs magnétiques des étoiles ou des pulsars agit sur les halos autour des objets célestes. Les halos forment un plasma protecteur. L'énergie transmise aux neutrinos par les vents de champs magnétiques peut atteindre un niveau de résultat capable de conduire à des lueurs détectables. Section 6 aborde finalement certaines des conséquences qui découlent de ce modèle de neutrinos magnétiques stériles.

## **2 Notre théorie pour la matière noire implique l'inversion des lois de Maxwell : on trouve la charge magnétique (pôle)**

### **2,1 Violation du « code 137 »**

On sait que la plus petite charge électrique existe expérimentalement [8]. Avec une condition quantique purement électronique, on obtient la valeur  $e$  (en système CGS) donnée approximativement par

$$\hbar c/e^2 = 137,0359 \quad (1)$$

En jargon formaliste, la constante de couplage observée  $e$ , – l’amplitude d’émission ou d’absorption d’un photon réel par un électron réel –, est un nombre énigmatique dont la valeur expérimentale tourne autour de **-0,08542455**. La majorité des physiciens retiennent plutôt l’inverse de son carré  $[(-0,08542455)^2]^{-1}$ , environ **137,03597** avec une incertitude de l’ordre de 2 sur le dernier chiffre. Ce nombre, que nous appellerons « code 137 », est un nombre magique et lumineux donné à l’homme par la Nature [10]

$$\frac{ke^2}{\hbar c} = \frac{ee}{4\pi\epsilon\hbar c} = 7,297354118 \times 10^{-3} = \frac{1}{137,03597} \quad (2)$$

Paul Dirac démontra dans un article en 1931 que l’existence des monopôles magnétiques était compatible avec les équations de Maxwell dans l’hypothèse de la quantification de la charge électrique [11]. Sa théorie établit une connexion entre la charge élémentaire électrique (celle de l’électron) et l’hypothétique charge élémentaire magnétique. Elle montra une symétrie entre l’électricité et le magnétisme, qui est encore aujourd’hui tout à fait étrangère aux conceptions établies.

Cependant, sa théorie s’avéra, lorsqu’elle fut élaborée, établir une connexion entre la plus petite charge électrique et le plus petit pôle magnétique, soit l’équation

$$\hbar c/(eg) = 2. \quad (3)$$

( $g$  : quantum de pôle magnétique, correspondant à la charge  $e$ ).

Au lieu de trouver une condition quantique purement électronique, telle que (1), Dirac trouva une réciprocité entre électricité et magnétisme, une connexion entre le quantum de pôle magnétique et la charge électronique. Sa théorie aurait pour effet de créer un monopôle magnétique. Il y aurait une symétrie entre le pôle et la charge.

Si les charges et les pôles sont si semblables, pourquoi la nature ne nous a-t-elle pas fourni des pôles? (On n’a pas vu de pôles malgré des recherches minutieuses). Cependant, si des pôles sont trouvés, ils doivent avoir des charges beaucoup plus grandes que les charges électriques unitaires présentes sur des particules élémentaires telles que l’électron. Donc, cet univers ne peut pas être complètement symétrique entre le pôle et la charge au niveau microscopique [12].

Et si l’univers était construit de telle sorte qu’il n’y ait pas de charge électrique mais uniquement des pôles magnétiques n’ayant pas la même valeur de force de pôle que la force de charge fondamentale, de sorte que le membre de gauche des équations (1) ou (3) ne corresponde plus à la valeur expérimentale 137 ou à la valeur théorique 2, nous pensons que nous serions dans un noir total qui aurait l’allure d’une matière noire.

En substituant une charge électrique élémentaire dans l'expression  $e^2$  par  $g$  la force élémentaire du pôle magnétique, le code 137 est violé et on peut anticiper obtenir un nombre où le noir fait place à la lumière.

$$\frac{keg}{hc} = \frac{eg}{4\pi\epsilon\hbar c} \neq 7,297354118 \times 10^{-3} \neq \frac{1}{137,03597} \quad (4)$$

On peut imaginer que les éléments qui constituent cette matière noire seraient composés d'éléments chargés magnétiquement, avec l'électricité et le champ électrique considérés comme une conséquence relativiste du champ magnétique, ce qui implique l'inversion des lois de Maxwell.

## 2,2 Inversion des lois de Maxwell

La dissymétrie expérimentale des équations de Maxwell par rapport à la dualité électrique-magnétique est liée au fait que le champ électrique est généré par les charges usuelles qui lui donnent une divergence non nulle mais le champ magnétique est toujours de divergence nulle à cause de l'absence de charge ponctuelle correspondante. Expérimentalement, la seule source du champ magnétique provient de l'existence d'un courant électrique, c'est-à-dire un mouvement de charges électriques.

Nous affichons maintenant les équations de Maxwell telles qu'elles sont appliquées à l'espace libre, c'est-à-dire en l'absence de tout matériau diélectrique ou magnétique [13]. Les quatre équations fondamentales de l'électromagnétisme sont

$$\oint E \cdot dA = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (5)$$

$$\oint B \cdot dA = 0 \quad (6)$$

$$\oint E \cdot ds = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (7)$$

$$\oint B \cdot ds = \mu_0 I + \epsilon_0 \mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad (8)$$

[ $E$  : champ électrique ;  $B$  : champ magnétique ;  $A$  : surface fermée ;  $e$  : charge électrique ( $e = Q = q$ ) ;  $g$  : charge magnétique ;  $\Phi_B$  : flux magnétique ;  $\Phi_E$  : flux électrique ;  $\epsilon_0$  : permittivité de l'espace ;  $\mu_0$  : perméabilité de l'espace ;  $I$  : courant de conduction]

La première forme de la loi de Gauss (Eq. 5) relie le champ électrique aux charges électriques. Pour le champ électrostatique, dont les lignes commencent et finissent sur des charges, il est équivalent à la loi de Colomb. Cependant, Eq. 5 est une déclaration plus

générale : le flux électrique total à travers toute surface fermée est égal à la charge nette à l'intérieur de cette surface divisée par  $\epsilon_0$ . Cette loi relie un champ électrique à la distribution de charge qui le crée ; elle s'applique également aux champs électriques induits dont les lignes sont des boucles fermées.

L'équation (6), qui peut être considérée comme la loi de Gauss en magnétisme, indique que le flux magnétique net à travers une surface fermée est nul. C'est-à-dire que le nombre de lignes de champ magnétique qui entrent dans un volume fermé doit être égal au nombre qui sort de ce volume. Cela implique que les lignes de champ magnétique ne peuvent ni commencer ni se terminer à aucun moment. S'ils le faisaient, cela signifierait que des monopôles magnétiques isolés existaient à ces points. Le fait que des monopôles magnétiques isolés n'aient pas été observés dans la nature peut être considéré comme une confirmation de l'équation (6).

L'équation 7 est la loi d'induction de Faraday, qui décrit la création d'un champ électrique par un flux magnétique changeant. Cette loi stipule que le champ électromagnétique, qui est l'intégrale de la ligne du champ électrique autour de tout chemin fermé, est égale à la vitesse de changement du flux magnétique à travers toute surface délimitée par ce chemin. Une conséquence de la loi de Faraday est le courant induit dans une boucle conductrice placée dans un champ magnétique variant dans le temps. Le signe négatif du membre droit signifie que le champ électrique induit est dans le sens opposé de celui de l'intégrale. Selon la loi d'Ampère-Maxwell, un champ magnétique est produit par un courant de conduction  $I$  et peut également être associé à un flux électrique changeant.

L'équation 8, généralement appelée loi Ampère-Maxwell, est la forme généralisée de la loi d'Ampère, qui décrit la création d'un champ magnétique par un champ électrique et des courants électriques. L'intégrale de la ligne du champ magnétique autour de tout chemin fermé est la somme de  $\mu_0$  fois le courant net passant par ce chemin et de  $\epsilon_0\mu_0$  fois le taux de variation du flux électrique à travers toute surface limitée par ce chemin. Le signe positif signifie que le champ magnétique est dans le même sens que celui de l'intégrale [14].

En supposant qu'il existe une charge magnétique (pôle) et un courant magnétique mais pas d'équivalent électrique correspondant, les équations seraient asymétriques étant entièrement soumises à la charge magnétique. Les équations de Maxwell deviennent alors:

$$\oint B \cdot dA = \frac{g}{\epsilon_0} \quad (9)$$

$$\oint E \cdot dA = 0 \quad (10)$$

$$\oint B \cdot ds = -\frac{d\Phi_E}{dt} \quad (11)$$

$$\oint E \cdot ds = \mu_0 I + \epsilon_0 \mu_0 \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (12)$$

Les équations sont encore asymétriques mais en n'étant plus assujetties à la charge électrique. Les équations (10) et (11) semblent manquer quelque chose sur leurs côtés droits. Pour voir exactement ce qu'ils manquent, nous devons expliquer la signification de  $\nabla \cdot E$ , également appelé divergence de  $E$  ou simplement de  $\text{div}E$ . Soit  $V$  un volume entouré par une surface  $S$  dans l'espace.  $\nabla \cdot E$  intégré sur le volume  $V$  donne  $4\pi$  fois la quantité totale de charge électrique  $e$  contenue dans  $V$ . De même,  $\nabla \cdot E$  évalué au point  $\times$  donne  $4\pi$  fois la densité de charge électrique à  $\times$ . Par conséquent, l'équation (10) indique qu'il n'y a pas de charge électrique en aucun point de l'espace. En gros, les charges en mouvement sont équivalentes aux courants. Mais parce que les équations inversées de Maxwell ci-dessus supposent qu'il n'y a pas de charge électrique dans la matière noire, il n'y a pas de courant électrique  $J_e$  sur le côté droit de l'équation (11). Les équations (9) et (12) semblent avoir gagné quelque chose sur leurs côtés droits. Cela signifie que  $\nabla \cdot B$  intégré sur le volume  $V$  entouré par une surface  $S$  dans l'espace donne  $4\pi$  fois la quantité totale de charge magnétique  $g$  contenue dans  $V$ . De même,  $\nabla \cdot B$  évalué au point  $\times$  donne  $4\pi$  fois la densité de charge magnétique. De ce fait, l'équation (9) indique qu'il existe une charge magnétique à n'importe quel point de l'espace.

Parce que les équations Maxwell ci-dessus supposent qu'il existe une charge magnétique, il existe un courant magnétique  $J_g$  sur le côté droit de l'équation (12). Par conséquent, l'absence de charge électrique et la présence de charge magnétique inversent l'asymétrie.

En fait, la charge électrique deviendrait une charge magnétique, ce qui donnerait lieu à un renversement d'attribution, si bien qu'il faudrait considérer l'électricité comme un phénomène secondaire dont l'existence dépend du flux d'un courant magnétique. Le renversement, outre la noirceur provoquée, ferait en quelque sorte qu'il y aurait des pôles magnétiques libres alors qu'il n'y aurait plus de charges électriques libres. Les monopôles magnétiques échangeraient des « photons noirs ».

Note : Ces lois "inversées" de Maxwell ne doivent pas être considérées dans un sens absolu, comme si la nature de la matière noire devait être conforme avec précision à ces lois. Ce n'est qu'est un schéma simpliste de la réalité, une sorte d'approximation, une image. En tant que tel, il correspond à la réalité, même s'il ne s'identifie pas à la réalité.

Ayant les lois de Maxwell « inversées », nous devons nous attendre à la conservation des « charges magnétiques ». Effectivement, s'il y a des charges magnétiques, généralement

appelées pôles, ces pôles fourniraient une source de champ magnétique tout comme une charge électrique fournit une source de champ électrique. Les pôles magnétiques auraient des propriétés analogues à celles des charges électriques. Chaque pôle émettrait  $4\pi g$  lignes de champ magnétique  $B$ , où  $g$  est la force du pôle (correspondant à la charge  $e$ ). Si les charges et les pôles étaient similaires et symétriques en principe, nous pourrions avoir un univers composé de protons, qui n'ont pas de charge électrique mais qui ont une force de pôle magnétique unitaire, et des électrons sans charge mais avec une force de pôle magnétique opposée.

Nous pourrions observer que la charge magnétique est conservée ; la charge nette, ou la quantité de pôle positif moins la quantité de pôle négatif, sera conservée. Comme la charge électrique est conservée, la charge nette, ou la quantité de charge positive moins la quantité de charge négative, sera conservée dans un système isolé

Cependant, s'il existe des monopôles, et les théories unifiées modernes des particules élémentaires suggèrent que des monopôles très lourds peuvent exister, ils doivent avoir des charges beaucoup plus importantes que les charges électriques trouvées sur les particules élémentaires telles que l'électron. Cet univers ne peut donc pas être complètement symétrique entre pôle et charge au niveau microscopique.

### **2,3 Force magnétoélectrique**

L'inversion que nous venons de présenter montre qu'il y aurait une force magnétoélectrique (ME) noire avec une onde photonique noire, de même qu'il y a une force électromagnétique (EM) avec une onde photonique. La théorie de Dirac fait en sorte que le monopôle magnétique peut coexister de pair avec une charge électrique dans la matière ordinaire. Les lois de Maxwell ne sont pas inversées, elles sont complétées de façon à obtenir une parfaite symétrie :  $E \neq 0$ ,  $B \neq 0$ . Selon notre hypothèse de l'inversion des lois de Maxwell, la charge magnétique remplacerait la charge électrique :  $E = 0$ ,  $B \neq 0$ . Il y aurait qu'une charge magnétique, celle-ci ayant évincée la charge électrique.

Nous suggérons l'existence d'une charge électrique (monopôle électrique connu) dans la matière ordinaire et une charge magnétique (monopôle magnétique léger non officiellement reconnu) dans la matière noire. Sauf rares exceptions, il n'y a pas coexistence des deux charges dans la matière ordinaire ou dans la matière noire. Il n'y aurait pas de monopôle électrique dans la matière noire tout comme il n'y aurait apparemment pas de monopôle magnétique dans la matière ordinaire.

### **2,4 Neutrino stérile « à charge magnétique »**

Pour percer le mystère de la matière noire, nous pensons qu'elle est un électromagnétisme différent, une *magnétoélectrologie*, avec nécessité de qualifier de « nouvelle force » cette variante. Et qu'elle est aussi une nouvelle particule : le neutrino stérile associé avec une charge magnétique.

Les physiciens connaissent trois types de neutrinos. Depuis les années 1970, beaucoup de chercheurs supposent qu'il existerait un quatrième type, un neutrino « stérile », beaucoup plus lourd, mais qui interagirait encore moins que les autres avec la matière ordinaire. Sa masse est inconnue et pourrait prendre n'importe quelle valeur entre moins d' $1 \text{ eV}$  et  $10^{15} \text{ GeV}$ . C'est un neutrino à chiralité droite ou bien un antineutrino à chiralité gauche qui peut s'ajouter au modèle standard et peut prendre part aux phénomènes tels que le mélange des neutrinos.

Si ce neutrino stérile existe, nous conjecturons en plus l'existence d'un cinquième type de neutrinos : un neutrino stérile lié à une charge magnétique, qui appartiendrait à la matière noire et qui serait un monopôle magnétique. Le terme *neutrino magnétique ( $\nu_g$ ) stérile* est utilisé pour le distinguer du *neutrino stérile*. Ce sont deux types hypothétiques de neutrino qui n'interagissent via aucune des interactions fondamentales du modèle standard de la physique des particules, hormis la gravité. Mais tandis que le neutrino stérile est électriquement neutre vis-à-vis la charge  $e$ , et ne la remet pas en question, le neutrino stérile magnétique provient de la permutation de la charge électrique en charge magnétique. Ce *neutrino stérile* dépendrait d'une charge magnétique  $g$  qui serait indétectable puisqu'elle n'est pas un multiple entier de la charge électrique classique. D'après notre conjecture, la matière noire serait constituée d'invisibles neutrinos magnétiques stériles qui fourmillent dans l'univers et exercent un peu partout une attraction gravitationnelle [8].

### **3 Matière noire constituée de neutrinos magnétiques stériles provenant des trous noirs primordiaux et classiques**

#### **3,1 Le fond diffus cosmologique atteste une matière noire non baryonique dès le début de l'univers**

Grâce aux observations astronomiques, les astrophysiciens en sont venus à écarter la piste baryonique pour la matière noire et à conclure que l'univers est rempli d'une substance inconnue fondamentalement différente de tout ce que les astronomes ont observé avec leurs télescopes, ou mesuré dans leurs laboratoires. Pour comprendre, il faut remonter aux débuts de l'univers, quand il était rempli d'un plasma très chaud de noyaux atomiques et d'électrons. Les photons étaient piégés, car ils interagissaient en permanence avec les particules chargées du plasma. Puis vers 380000 ans, la température, qui diminuait avec l'expansion de l'univers, est devenue assez basse pour que les noyaux et les électrons se combinent en atomes neutres. Les photons ont alors pu se propager et

constituer un rayonnement encore détectable aujourd'hui et riche d'informations sur l'univers primordial, le fond diffus cosmologique. Bien que la température associée à ce rayonnement soit globalement homogène sur l'ensemble du ciel, les satellites *WMAP* et *Planck* ont détecté de petites fluctuations thermiques, d'amplitude relative atteignant  $10^{-5}$ . Elles correspondent à des zones plus ou moins denses dans le plasma primordial. Les zones de surdensité ont attiré de plus en plus de matière au cours du temps et ont donné naissance aux grandes structures, les amas et les galaxies.

Cependant, vu la faiblesse des fluctuations initiales, et si l'on ne prend en compte que la matière baryonique, l'effet d'accumulation n'a pas été assez fort et rapide pour produire les grandes structures observées aujourd'hui. On sait, grâce à la nucléosynthèse primordiale, que la densité de la matière baryonique atteint au maximum 5% de la densité critique théorique qui ferait que l'univers serait globalement euclidien (plat), comme le suggèrent les observations. Il faut donc ajouter au plasma primordial une matière noire non baryonique [15].

### **3,2 La matière noire serait constituée de neutrinos stériles associés à la charge magnétique issue des trous noirs**

Nous avons imaginé un ingrédient non baryonique qui n'interagit pas avec la matière ordinaire autrement que par ses effets gravitationnels, mais qui contribue à augmenter l'efficacité de formation des grandes structures : les neutrinos stériles à charge magnétique. Ceux-ci proviendraient des trous noirs, autant des trous noirs jeunes, y compris ceux qui naissent encore aujourd'hui, que des trous noirs plus anciens et des trous noirs très anciens, dit primordiaux. Cependant, les trous noirs confirmés, soit les trous noirs stellaires et les trous noirs supermassifs, seraient insuffisants pour fournir tous ces neutrinos magnétiques stériles nécessaires pour combler la masse manquante [16]. Il faut faire appel aux trous noirs primordiaux : les trous noirs d'Hawking apparus dans la première seconde de l'univers, et les trous noirs massifs intermédiaires apparus entre environ 50 jours et 380 000 ans, après la nucléosynthèse primordiale qui accoucha les premiers noyaux d'atomes. Notons que par époque primordiale, nous ne parlons pas seulement ici de la première seconde d'âge qui a uni les grandes interactions, mais aussi de l'époque primordiale qui a suivi la nucléosynthèse primordiale. Pendant les premières dizaines de milliers d'années, avant la recombinaison, l'univers est encore très jeune, se trouve toujours dans un état de très grande énergie et de température, et est encore soumis à la gravité quantique.

### **3,3 Raisonnement cosmologique à partir des particules et des fluctuations**

Avant la recombinaison, la matière ionisée était liée au rayonnement. Le rayonnement peut être considéré sous l'aspect d'un ensemble de particules, ou d'un gaz de photons. Or, ces photons sont constamment en collision avec les électrons libres de la matière

ionisée. Par l'intermédiaire de ces rencontres, on peut dire qu'ils sont couplés. Cela signifie que tout ce qui peut se passer pour le rayonnement se passera aussi pour les électrons. D'autre part, comme les électrons sont chargés électriquement d'une façon négative, ils attirent aussi les noyaux qui, eux, sont chargés positivement – ce n'est pas un couplage aussi fort que si chaque électron était relié à un noyau à l'intérieur d'un atome, mais il y a quand même un couplage. Rien ne peut arriver à la matière sans que cela arrive aussi au rayonnement, et réciproquement. Si, par exemple, une multiplication de fluctuations pousse les photons à se concentrer dans une certaine région de l'univers, les électrons sont obligés de suivre le rayonnement

Des concentrations anormales de matière engendrent des trous noirs. Ceux-ci sont soumis au principe de contraction : pour que le trou noir contracte il faut qu'il perde de l'énergie gravitationnelle et, pour qu'il puisse la perdre, il faut que celle-ci soit évacuée. Il n'y a plus de lumière pour s'opposer à la contraction puisque par inversion des lois de l'électromagnétisme la charge électrique s'est transformée en charge magnétique, créant ainsi des neutrinos associés avec la charge magnétique. Ce sont ces derniers qui s'échapperont sans subir aucune interaction. Leur présence se traduira alors seulement par ce qu'ils emportent avec eux, une bonne quantité d'énergie et d'impulsion qui échappe à l'observation.

Ces neutrinos à charge magnétique augmentent la masse de l'univers. La formation des trous noirs est gouvernée par la gravitation, qui est une interaction due à la masse. Plus il y a de masse dans l'univers, plus la concentration des fluctuations est rapide. Ces neutrinos pourraient accentuer ces fluctuations. Ainsi les particules manquantes proviendraient des trous noirs eux-mêmes qui rejettent une matière invisible et indétectable, les neutrinos stériles à charge magnétique, véritables monopôles magnétiques.

Le fait que cette masse cachée soit stérile peut représenter un certain avantage. Même si, à l'époque de la recombinaison, il y avait des concentrations de cette composante massive, celles-ci n'auraient pas nécessairement laissé de traces sur le rayonnement, contrairement à la matière ordinaire qui était couplé au rayonnement. La masse manquante ou la « masse noire » a très bien pu être sujette à des fluctuations importantes à l'époque de la recombinaison sans que cela entraîne les fluctuations correspondantes sur le rayonnement, d'où l'on tire que cela ne contredit pas les observations dont on dispose du rayonnement cosmologique, dans lequel on ne voit pas ces fluctuations. Le problème d'observation serait de la sorte résolu, ainsi que celui de la nature de cette masse [17].

### **3,4 Les mini trous noirs nés moins d'une seconde après le Big Bang se seraient vite évaporés, laissant une gerbe de lumière et de neutrinos magnétiques stériles**

En 1967, Yakov Zeldovich imagina que de petits trous noirs ont pu se former dans l'univers primordial. La densité était telle que de petites régions ont pu s'effondrer sur elles-mêmes en trous noirs sans passer par le stade étoile. La taille de ces trous noirs primordiaux est limitée par la causalité : dans les premiers instants du cosmos, des points trop distants n'ont pas eu le temps d'interagir; ils ne peuvent donc être inclus dans l'effondrement d'une même région. Ainsi, un trou noir formé quelque  $10^{-21}$  seconde après le big bang aurait un rayon d'à peine un milliardième de millimètre et une masse maximale de l'ordre de  $10^{14}$  kilogrammes. S. Hawking découvrit que les trous noirs s'évaporent. Le mécanisme qu'il proposa conjugue mécanique quantique et gravitation. La température augmente à mesure que le trou noir perd de la masse, et donc de l'énergie. Lorsque le trou noir a perdu la quasi-totalité de sa masse, l'évaporation s'emballe et l'objet disparaît dans une dernière bouffée de particules énergétiques [18].

Nous prétendons qu'ils auraient évacué majoritairement des neutrinos stériles à charge magnétique avant de disparaître dans le plasma primordial.

Dans les années 1990, des théoriciens ont alors pensé à des micro-trous noirs formés dans la première seconde de l'univers, de l'ordre du nanomètre, mais pesant un centième de la masse de la Lune, sauf que leur évaporation aurait été détectée par les satellites gamma dans les années 2000 [16].

Eux aussi auraient pu disparaître en évacuant des neutrinos magnétique stériles.

Ils ont également pensé à la formation de milliards de trous noirs massif primordiaux, seulement on n'a pas vu leur influence sur le mouvement des étoiles.

### **3.5 Formation des trous noirs massifs intermédiaires**

Dans cet univers dominé par la physique des particules purent au tout début se créer des fluctuations qui auraient les caractéristiques nécessaires pour jouer le rôle de fluctuations pré-trous noirs intermédiaires. Les trous noirs primordiaux intermédiaires seraient nés après la nucléosynthèse nucléaire primordiale, entre quelques semaines après le big bang et 380 000 ans. C'est à cette époque, considérée à tort comme non événementielle par la cosmologie actuelle, que seraient nés ces objets monstrueux de taille entre 100 et 1 million de masses solaires. D'immenses nuages de gaz, au lieu de se fragmenter pour fabriquer des étoiles, se seraient transformés directement en trou noir, dans des circonstances spécifiques, qui auraient fait retomber tout le gaz vers le centre et l'auraient entraîné dans un disque en rotation.

Les réactions nucléaires des gaz condensés à l'intérieur des trous noirs sont encore tellement énergétiques qu'un énorme flux de neutrinos magnétiques stériles est soufflé hors du trou noir en surpassant sa force de gravitation.

Les fluctuations, perdirent un peu de force avec l'expansion, et devinrent ensuite des fluctuations pré-galactiques. Dans de vastes nuages de gaz du jeune univers, dont les propriétés étaient différentes d'aujourd'hui, seraient nés des étoiles extrêmement massives et peu métalliques (pauvres en éléments chimiques autres que l'hydrogène et l'hélium). En s'effondrant sur eux-mêmes une fois leur carburant épuisé, ces astres n'éjectaient que très peu de matière et pouvaient donner naissance à des trous noirs de masse intermédiaire. On peut aussi supposer que ces étoiles peuvent fusionner et créer une étoile supermassive qui s'effondre en un trou noir de plusieurs dizaines de milliers de masses solaires.

Ces trous noirs agiraient comme des graines pour la formation des premières galaxies et quasars. Leur existence est soupçonnée au centre des galaxies naines et des amas globulaires d'étoiles. L'accrétion de matière ainsi que l'absorption de trous noirs moins massifs leur permettraient d'atteindre rapidement les caractéristiques des trous noirs supermassifs [19]. Ceux-ci pèsent des millions, voire des milliards, de masses solaires. On les trouve au centre des quasars et des galaxies massives moins d'un milliard d'années après le Big Bang : ils ont pu acquérir une masse aussi gigantesque en un temps si court que grâce aux trous noirs intermédiaires formés très tôt dans l'histoire de l'univers. Ainsi, les trous noirs primordiaux intermédiaires pourraient être le chaînon manquant entre les trous noirs classiques de masse stellaire et les trous noirs supermassifs [20, 21].

La matière noire serait constituée de neutrinos magnétiques indétectables émanant de tous les trous noirs.

### **3,6 Trous noirs primordiaux intermédiaires liés à la matière noire et à la formation des galaxies**

Les neutrinos magnétiques stériles issus des trous noirs formeraient donc une partie relativement grande de la matière noire. Des astronomes pensent que la matière noire serait principalement constituée de trous noirs primordiaux intermédiaires, ce qui est autre chose. Selon eux, les amas de trous noirs primordiaux pourraient régler le problème dit des galaxies naines, à savoir le manque apparent de petites galaxies satellites qui devraient théoriquement se former autour des galaxies massives telles que la Voie lactée. Leurs simulations prédisent l'existence de nombreux minihalos de matière noire en orbite autour des galaxies massives. Chacun de ces minihalos devrait abriter une galaxie naine, et il devrait y en avoir des centaines entourant la Voie lactée. Or les astronomes ont trouvé beaucoup moins de galaxies naines que prévu. Les simulations de formation des galaxies prédisent également une population de galaxies de taille intermédiaire, entre les naines et les massives. De tels objets seraient assez gros pour former facilement des étoiles et seraient aisément visibles. Pourtant, ils n'ont pas été trouvés par les astronomes qui fouillent les environs de la Voie lactée. Des explications sont donnée : elles seraient

bien présentes, mais difficiles à détecter car trop peu lumineuses; ou les simulations surestimeraient le nombre de ces galaxies naines, car elles ne reproduiraient pas correctement l'influence de la matière ordinaire sur la formation des galaxies naines; on prédit qu'on en détectera des milliers supplémentaires en orbite autour de la Voie Lactée à l'aide de caméras ultra-sensible à grand champ [21].

**Notre explication est que cette matière noire indétectable est composée de neutrinos magnétiques stériles issus des trous noirs.** Des nuages chauds d'hydrogène ont formé des trous noirs intermédiaires qui ont soufflé vers l'extérieur des neutrinos à charge magnétique. Notre interprétation pour les galaxies manquantes, autant naines qu'intermédiaires, est que les trous noirs primordiaux massifs présents au cœur des galaxies de taille naine ou intermédiaire bloqueraient la formation des étoiles en raison de l'accrétion du gaz, et éjecteraient des astres formés ainsi que des neutrinos stériles à charge magnétique. C'est pourquoi ces galaxies demeurent invisibles pour la plupart des relevés.

## **4 Comment les neutrinos magnétiques stériles sont évaporés des trous noirs**

### **4,1 Effet Hawking**

En 1974, Stephen Hawking a supposé que les trous noirs ne sont pas complètement noirs mais rayonnent avec une température bien définie. La découverte de Hawking a révélé des liens conceptuels profonds entre la gravité, la théorie quantique et la thermodynamique. La conclusion de Hawking était que les trous noirs émettaient en fait quelque chose. Ils rayonnent, plutôt que d'être complètement « noirs », et ce faisant, ils perdent progressivement de la masse. Ainsi, un trou noir isolé dans l'espace « s'évaporera » en fait. Les idées de Hawking sur « l'évaporation des trous noirs » ont été une percée majeure dans notre compréhension de la nature [22].

### **4,2 Notre conception**

Néanmoins, si nous avons l'impression que les lois de la physique des trous noirs sont désormais fondamentalement toutes « connues » et que le travail d'un physicien théoricien consiste uniquement à expliquer les phénomènes observés en fonction de ces lois connues, nous nous trompons largement. Le fait que la relativité générale cesse pour être relayée par la physique quantique et que les lois de conservation du baryon et du lepton sont violées signifie que les lois de la physique actuellement connues n'ont qu'une portée limitée de validité.

Nous supposons que la création de particules quantiques se produit non seulement à l'extérieur du trou noir, mais aussi à l'intérieur, près de l'horizon des événements. Qu'y

a-t-il à l'intérieur d'un trou noir ? Le théorème de singularité nous assure qu'une sorte de singularité d'espace-temps se trouvera à l'intérieur d'un trou noir. Pour le type de trou noir formé par l'effondrement sphérique, cette singularité de l'espace-temps englobe tout en ce sens que tout observateur qui pénètre dans le trou noir y sera entraîné. Cela doit-il être le cas pour tous les types de trous noirs ? La réponse est non. A l'intérieur d'un corps s'effondrant dans un trou noir, on pourrait s'attendre par la suite à observer la création de particules.

Notre but est, d'abord, de montrer trois méthodes d'émission de particules de l'intérieur du trou noir vers l'extérieur et, ensuite, d'affirmer que ces particules forment de la matière noire. Notre investigation théorique du processus d'émission des particules suggère le **trou noir comme un corps noir** qui émet des particules avec un spectre caractéristique qui ne dépend que de sa température, **l'effet Hawking** (la création de particules quantiques à l'intérieur et à l'extérieur de l'horizon des événements), et **l'effet tunnel quantique**. À première vue, les théoriciens ne seront pas tous d'accord, voyant des antinomies, optant catégoriquement pour le rayonnement thermique du corps noir, ou pour le rayonnement Hawking, ou pour l'effet tunnel quantique. Nous pensons cependant que ces différentes versions ne s'excluent pas mutuellement [23].

#### **4,3 Rayonnement thermique des corps noirs et des trous noirs**

Lorsque Hawking a découvert la création de particules thermiques près d'un trou noir, il a constaté qu'à des moments tardifs, le taux d'« émission » de particules sur de grandes distances ne tombe pas à zéro, mais s'approche plutôt d'un taux stable et non nul. Plus surprenant encore, ce flux de particules constant a précisément le caractère d'émission thermique. Par émission thermique, nous entendons ce qui suit : si un corps ordinaire est maintenu dans un équilibre thermodynamique exact à la température  $T^0$ , il émettra des particules avec un spectre caractéristique qui ne dépend que de sa température et non de la nature détaillée du corps. Un tel corps en équilibre exact est appelé corps noir. Ce processus d'émission thermique du corps noir est d'un caractère complètement différent du processus de création spontanée de particules à proximité d'un trou noir.

En principe, les particules sont émises par un corps noir parfait et lorsque la température est extrêmement élevée (supérieure à un milliard de degrés centigrades) l'émission de particules massives sera importante et on observera toutes les espèces de particules massives. Un corps noir parfait à des températures inférieures à un milliard de degrés émettrait les particules peu massives, tel le neutrino, ce qui peut être le cas pour le trou noir formé par l'effondrement gravitationnel d'une étoile ou par l'effondrement d'un amas d'étoiles. Lorsque la température est extrêmement basse (quelques degrés centigrades), on n'observera que des photons, c'est-à-dire un rayonnement

électromagnétique et, vraisemblablement, le « graviton » ou « quantum du champ gravitationnel » [23].

L'image photonique du rayonnement nous permet de comprendre facilement les propriétés qualitatives essentielles du corps noir. Premièrement, les principes de la mécanique statistique nous disent que l'énergie typique des photons est proportionnelle à la température ( $E = KT^0$ ), tandis que la règle d'Einstein nous dit que la longueur d'onde de tout photon est inversement proportionnelle à l'énergie des photons ( $\lambda E = hc$ ). Par conséquent, en réunissant ces deux règles, la longueur d'onde des photons dans le rayonnement du corps noir est inversement proportionnelle à la température ( $\lambda KT^0 = hc$ ). En termes quantitatifs, la longueur d'onde typique à proximité de laquelle la majeure partie de l'énergie du rayonnement du corps noir est concentrée est de 0,29 centimètre à une température de 1 degré Kelvin  $1^0K(1K - 273.15 = -272.1C^0)$ , et proportionnellement moins à des températures plus élevées [24].

#### 4,4 Selon la théorie de la relation

Nous avons vu précédemment dans l'article *L'équation de l'Univers* [25] que l'équation de base de la théorie de la Relation se réduit à

$$ke^2 = M_{VP}^2 t_0 c. \quad (13)$$

[ $ke^2$  est la force électrostatique entre la charge au carré de deux protons dans un même noyau. La valeur de la constante de Coulomb  $k$  est  $1/4\pi\epsilon_0 = 8,9875 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{coul}^2$ . La valeur de la constante  $\epsilon_0$  appelée permittivité du vide est  $8,8542 \times 10^{-12} \text{ coul}^2/\text{Nm}^2$ . Le terme  $M_{VP}^2$  représente la masse au carré de deux protons dans un même noyau soumise à la force gravitationnelle.  $M_{VP}$  est la masse relativisée du proton :  $M_{op}/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ . Le terme  $t_0$  représente le temps universel « irréversible » de l'univers en expansion qui s'écoule à la vitesse de la lumière.]

Cette équation peut aussi s'écrire

$$(ke^2 = M_{VP}^2 t_0 c = M_{VP}^2 2GM^0/c^2 = M_{VP}^2 h/m_0 c = M_{VP}^2 hc/KT^0; \quad ke^2/M_{VP}^2 = hc/KT^0), \quad (14)$$

$$\text{d'où } T^0 = M_{VP}^2 hc/ke^2 K \quad (15)$$

La température  $T^0$  est proportionnelle à la masse gravitationnelle quantique ( $M_{VP}^2$ ) ainsi qu'à la masse-énergie du photon  $m_0$  ( $KT^0 = m_0 c^2$ ).

Précisons que dans ce modèle, la vitesse des protons relativisés est identifiée avec la vitesse évaluée de la récession des galaxies et qu'elle détermine toutes les autres variables. Nous avons trouvé raisonnable d'adopter la vitesse  $2/3c$ . Comme celle-ci est

tributaire des données des observations astronomiques qui ne cessent d'évoluer, on ajustera la vitesse en conséquence.

$$ke^2 = [M_{op}/(1 - v^2/c^2)^{1/2}]^2 hc/KT^o \quad (16)$$

$$2,3 \times 10^{-28} \text{ kg m}^3 \text{ s}^{-2} = (2,2439 \times 10^{-27} \text{ kg})^2 hc/KT^o$$

$$T^o = [(2,2439 \times 10^{-27} \text{ kg})^2 hc/K] \div 2,3 \times 10^{-28} \text{ kg m}^3 \text{ s}^{-2} = \sim 1,3\text{K} \quad (17)$$

En considérant  $\pi$

$$T^o = [(2,2439 \times 10^{-27} \text{ kg})^2 hc\pi/K] \div 2,3 \times 10^{-28} \text{ kg m}^3 \text{ s}^{-2} = \sim 4,2\text{K}$$

D'autre part, si on met  $ke^2 = M_{VP}^2 t_0 c = M_{VP}^2 2GM^o/c^2$ , on obtient

$$ke^2 c^2 / 2G = M_{VP}^2 M^o \quad (18)$$

$$(ke^2 / M_{VP}^2 = 2GM^o / c^2; ke^2 c^2 = 2GM_{VP}^2 M^o)$$

Nous voyons que  $M_{VP}^2$  se transforme en  $M^o$ , et vice versa : la masse gravitationnelle quantique est inversement proportionnelle à la masse gravitationnelle classique. Cette dernière est la masse du trou noir, dans l'expression  $2GM^o/c^2$  du rayon de Schwarzschild.

Selon nous, il y a plus qu'une simple coïncidence entre l'émission thermique d'Hawking du trou noir et le rayonnement thermique du corps noir, il y a une correspondance déterminante, voire une loi fondamentale et profonde de la nature : la température s'élève lorsque le corps noir ou le trou noir émettent des radiations. Le trou noir doit être considéré comme un corps noir.

#### **4,5 Rayonnement thermique de Hawking : création spontanée de particules près du trou noir**

L'évaporation du trou noir est basée sur des processus de mécanique quantique exotiques se produisant près de minis trous noirs provoquant la création spontanée de particules. S.W. Hawking a suggéré que de petits trous noirs pourraient avoir été créés à l'époque de l'univers jeune par des fluctuations de densité, c'est-à-dire par les variations de densité d'un endroit à l'autre, que crée le mouvement chaotique et turbulent de la matière et du rayonnement. Selon sa théorie, chaque trou noir perd de la masse jusqu'au moment où, atteignant la masse de Planck, il disparaît dans une gerbe de rayonnement (... fluctuation du vide). Mais ce processus concerne aussi bien les trous noirs stellaires que les mini trous noirs. En fait, il a découvert que lorsque la mécanique quantique entre en jeu, tous les trous noirs cessent d'être parfaitement noir et rayonnent des quantités minimes d'énergie.

La théorie quantique des champs indique la création de particules près d'un trou noir en rotation. Les calculs montrent que des paires de particules (c'est-à-dire une particule et son antiparticule) seront créées spontanément dans le champ gravitationnel fort à l'extérieur d'un trou noir en rotation. Toutes les espèces de particules seront créées (paires électron-positon, paires neutrino-antineutrino, paires de photons, etc.), mais plus la particule est massive, moins elle sera produite copieusement. Cet effet de création de particules quantiques ne devait se produire que pour tous les trous noirs en rotation. Pour l'effondrement vers un trou noir de Schwarzschild, on s'attendait à ce qu'aucune création de particule ne se produise tard après l'effondrement. Cependant, Hawking a trouvé la création de particules thermiques près d'un trou noir non rotatif. Avec suffisamment de temps, ils libéreraient, sous forme de rayonnement, toute la matière et l'énergie qu'ils avaient avalée. Les trous noirs de masse stellaire prendraient  $10^{66}$  ans à s'évaporer. Les trous supermassifs, restes de quasars morts depuis longtemps, prendraient encore plus de temps – plus de  $10^{90}$  ans pour les plus grands découverts dans les noyaux galactiques.

Le paramètre  $R_S$ , dit rayon de Schwarzschild, d'un corps de masse  $M$  est défini par  $R_S = 2GM/c^2$ . La limite d'un trou noir est appelée l'horizon des événements. Par définition, une fois que l'on franchit l'horizon des événements et que l'on pénètre dans un trou noir, on ne peut plus jamais remonter dans la partie éloignée de l'espace-temps où le champ gravitationnel est faible. D'un autre côté, un observateur qui reste à l'extérieur du trou noir ne peut jamais rien voir de ce qui se passe à l'intérieur du trou noir. Le théorème de la singularité garantit qu'une sorte de singularité spatio-temporelle se trouvera à l'intérieur d'un trou noir, mais ce n'est pas tout ce qui entre dans le trou noir qui doit aller dans la singularité. En gros, il y a une quantité vraiment infinie d'espace-temps contenu dans le trou noir et, même si de nos jours le processus d'évaporation de Hawking n'est important que pour les trous noirs microscopiques, il s'avère que dans un univers en perpétuelle expansion même les plus grands trous seraient éventuellement affectés [22].

Une conséquence du processus de formation et d'évaporation des trous noirs est qu'il viole apparemment les lois de conservation des baryons qui énonce que dans tout processus, le nombre total de baryons moins le nombre total d'antibaryons ne peut pas être changé (même chose pour les leptons). Une autre conséquence est que dans la dernière étape du processus d'évaporation, les arguments dimensionnels indiquent que la relativité générale s'effondre et doit être remplacée par une théorie quantique de la gravitation.

La création de particules à proximité d'un trou noir se traduit par un flux de particules s'échappant sur de grandes distances. La température  $T^o$  de l'émission thermique est inversement proportionnelle à la masse  $M^o$  du trou noir. On suppose que les particules

obéissent aux principes de la théorie quantique, mais le champ gravitationnel qui provoque la création des particules est considéré comme une entité classique (c'est-à-dire non quantique) décrite par la théorie de la relativité générale. C'est ainsi qu'à proximité immédiate de l'horizon des événements, l'«émission» d'un trou noir de Schwarzschild de masse  $M^0$  se révèle être identique en tous points à l'émission thermique d'un corps noir parfait à une température  $T^0$  au-dessus du zéro absolu donné par

$$T^0 = hc^3/2GM^0K \quad (19)$$

$$(t_0c = 2GM^0/c^2 = h/m_0c = hc/KT^0 ; 2GM^0/c^2 = hc/KT^0; T^0 = hc^3/2GM^0K)$$

La température  $T^0$  de l'émission thermique est inversement proportionnelle à la masse  $M^0$  du trou noir. Trouvons la température pour la masse de Planck (Masse de Planck :  $(hc/G)^{1/2} = 5,4 \times 10^{-8}kg$ ).

$$T^0 = hc^3/2GK 5,4 \times 10^{-8} = \sim 1,8 \times 10^{32}K. \quad (20)$$

On constate que la masse  $M$  diminue lorsque la température augmente. Ce qui est en parfait accord avec la théorie de la Relation. En supposant que la masse de l'univers soit environ  $1,55 \times 10^{52}kg$ , la température sera près de 2,7K.

$$T^0 = hc^3/(2GK 1,55 \times 10^{52}kg)/2,3069 \times 10^{-28} = \sim 2,7K. \quad (21)$$

Notons que dans ce dernier cas, nous divisons par  $ke^2 = 2,3069 \times 10^{-28}$  alors que nous ne le faisons pas pour le premier cas. Cela s'explique dans la théorie de la Relation du fait que nous avons deux échelles d'ordres de valeur pour la même équation. Dans le premier cas, il y a  $10^{60}$  entre la masse de Planck et la masse actuelle de l'univers. Dans le deuxième cas, qui concerne le rayonnement, il y a  $10^{120}$  (valeur de la constante cosmologique) entre la « masse » du photon qui s'est étirée de  $10^{60}$  à partir de la valeur de Planck pour s'établir à  $10^{-68}kg$  ( $t_0c = 2GM^0/c^2 = h/mc ; m = \sim 10^{-68}kg$ ) alors que dans l'autre direction mais pour le même temps la masse de Planck s'est « gonflée » de  $10^{60}$  pour devenir la masse actuelle de l'univers ( $\sim 10^{52}kg$ ), d'où une différence de l'ordre de  $10^{120}$  entre le rayonnement et la matière actuelle [23].

#### 4,6 Effet tunnel quantique

En mécanique quantique il apparaît que des phénomènes interdits par les lois de la physique classique, tels que l'évasion d'une particule hors d'un trou noir, ont une chance de se produire. Cette chance est faible, certes, mais néanmoins réelle. Le mécanisme responsable de cette évasion porte le nom d'*effet tunnel* ; il permet à une particule de franchir une barrière « classique ». Par barrière « classique » nous entendons ce qui

constituerait un obstacle infranchissable si seules les lois de la physique classique étaient en jeu.

Tout comme une étoile à neutrons peut se désintégrer spontanément et devenir un trou noir, de même tout morceau de matière-énergie à l'intérieur du trou noir peut connaître une évolution semblable, franchir une barrière de potentiel grâce à l'effet tunnel quantique, et ainsi perdre de la masse sous forme d'une énergie noire. Mais bien que cette matière noire n'ait pas suffisamment d'énergie pour sauter par-dessus la margelle du puits de potentiel que constitue l'horizon des événements et se retrouver hors du trou noir, elle peut se faufiler à travers la barrière au moyen de l'effet tunnel.

Le point important c'est qu'en toute hypothèse le trou noir qui provient de l'effondrement de la matière ordinaire (naine blanche, étoile à neutrons avec ou sans l'intervention de la gravité) jusqu'à l'état de trou noir, peut transformer la matière ordinaire en matière noire, à cause de la charge magnétique issue d'un renversement des lois de Maxwell, puis l'évacuer hors du trou noir par l'effet tunnel quantique [26].

## **5 Le neutrino magnétique stérile interagit avec le magnétisme et la force faible**

### **5,1 Le neutrino stérile à charge magnétique reçoit de l'énergie des champs magnétiques des étoiles ou des pulsars**

Des champs magnétiques ont été détectés presque partout dans l'univers : planètes, étoiles, galaxies, et les plus grandes toiles peuvent couvrir des amas de galaxies. Bien que ces lignes de champ magnétique galactique ne soient qu'un milliardième de la puissance d'un aimant de réfrigérateur typique, elles compensent largement cette lacune avec leur grande taille.

La galaxie de la Voie lactée a son propre champ magnétique. Il est des milliers de fois plus faible par rapport à la Terre. Dans une étoile en rotation ou un disque d'accrétion (capture gravitationnelle de masse), les électrons et les ions ont tendance à se déplacer à des vitesses différentes et sur des trajectoires différentes. Cela entraîne une séparation des charges électriques et l'apparition d'un champ électrique. Selon la loi de l'induction, un champ électrique engendre un champ magnétique. Le milieu interstellaire accueillant de la matière des étoiles, grâce aux vents stellaires ou aux explosions de supernovæ, acquerrait ainsi un champ magnétique. Il est possible que ces champs stellaires injectés puissent être amplifiés par une nouvelle « dynamo » (champ magnétique faible amplifié par le transfert d'une partie de l'énergie mécanique d'un gaz en rotation) et finisse par ressembler à un champ galactique. Lorsqu'une galaxie expulse le gaz interstellaire, le milieu intergalactique pourrait êtreensemencé par ces champs magnétiques avec une

dynamo jouant le rôle d'amplificateur pour amener leur intensité à celle qu'on observe dans les amas de galaxies. Les astronomes ont découvert que les intensités des champs magnétiques à proximité des trous noirs supermassifs au centre de ces galaxies peuvent être aussi fortes que leurs champs gravitationnels intenses. En général, les forces magnétiques ne sont importantes que si la densité d'énergie dans le champ magnétique est du même ordre de grandeur que l'énergie interne du gaz. En fait, les disques d'accrétion entourant les trous noirs engendreraient des champs magnétiques capables d'expulser de la matière du voisinage pour former des sorties très énergétiques appelées «jets». Ces derniers emporteraient aussi des champs magnétiques vers les galaxies environnantes et l'espace intergalactique [27].

Il semble y avoir une relation entre la distribution des champs magnétiques provenant de la matière baryonique et celle de la matière noire. Or une telle corrélation peut permettre de détecter dans le cosmos la trace de cette matière noire au-delà de sa seule présence gravitationnelle. L'idée est de supposer que les champs magnétiques, même s'ils sont distribués de façon diffuse, comporte des zones suffisamment intenses pour que des particules de matière noire puissent parfois interagir par la force faible [28]. En postulant que la matière noire est composée d'un neutrino à charge magnétique positive (pôle +) et d'un neutrino à charge magnétique négative (pôle -), alors une collision entre deux de ces neutrinos produit une paire de photons ou bien une autre paire particule-antiparticule, par exemple un électron et un positon. Dans le premier cas, l'objectif est de chercher un excès de photons. Or comme les particules de matière noire sont sans doute dotées d'une vitesse faible, on s'attend que leur annihilation mutuelle donne naissance à des photons situés dans une bande d'énergie relativement étroite. C'est à la recherche d'une sorte de raie d'émission plus ou moins marquée que se consacrent de nombreux astrophysiciens, mais là encore, la difficulté est d'extraire un signal de matière noire du « bruit » de haute énergie produit par des processus astrophysiques bien plus conventionnels.

À l'échelle galactique, beaucoup de chercheurs pensent que les rayons X proviennent de sources conventionnelles telles des éléments ionisés, tandis que les rayons gamma proviennent plutôt de sources plus ordinaires, telles que des **pulsars**. Sans nous hasarder à affirmer que la piste des neutrinos magnétiques stériles est la seule bonne voie, nous lui accordons autant de crédit, sinon plus, que la piste des pulsars ou celle des processus atomiques faisant intervenir du phosphore, du soufre ou du chlore fortement ionisés.

En périphérie de la Voie Lactée, il existe des « galaxies naines ultradiffuses ». Autrement dit, des galaxies de très petite taille et très pauvres en étoiles, comme Eridamus 11. Il y aurait dans ces galaxies naines mille fois plus de matière noire que de matière visible qui constitue le gaz et les étoiles. Si cette matière noire est faite de neutrinos magnétiques stériles, ils doivent de temps à autre être plongés dans un **champ magnétique provenant**

**des étoiles.** Les charges magnétiques des neutrinos reçoivent alors de l'énergie cinétique de ces champs magnétiques, ce qui amène tôt ou tard à l'annihilation de ces particules et à l'apparition d'une lueur de rayons X.

Dans ce cas-ci, un processus d'amplification dynamo des champs magnétiques peut être à l'œuvre : au début de 2020, le XMM-Newton de l'ESA a découvert du gaz brûlant dans le halo de la Voie Lactée : le gaz qui se cache dans le halo atteint des températures beaucoup plus chaudes que ce que l'on pensait auparavant et a une composition chimique différente de celle prévue. Le halo de la Voie lactée (et de n'importe quelle galaxie) contiendrait non pas un mais trois composants différents de gaz chaud, le plus chaud d'entre eux étant un facteur dix plus chaud que ce que l'on pensait auparavant.

De faibles lueurs de rayons gamma ont été détectés au cœur de la Voie Lactée ou en provenance du centre des amas de galaxies. Ce qui laisse supposer des neutrinos à charge magnétique qui possèdent une masse faible (de l'ordre du KeV). Un neutrino magnétique peut se désintégrer spontanément. La rencontre de la matière noire avec un champ magnétique pourrait en outre accentuer cette désintégration. Tout comme elle pourrait engendrer des collisions neutrinos-antineutrinos.

La lumière que produit l'annihilation de la matière noire est composée de photons ultra-énergétiques, les rayons gamma, dont l'énergie est comparable à la masse des particules de matière noire. Une lueur plus grande de rayons gamma au cœur de la Voie Lactée pourrait émaner des neutrinos magnétiques stériles de masse plus forte de la matière noire. Dans le cas de l'hypothèse des WIMPs, cette masse est comprise entre environ dix et dix mille fois la masse d'un proton, ce qui correspond à une énergie entre 10 GeV et 10 TeV.

Même si le taux d'annihilation dans l'univers est très faible en moyenne, certaines *annihilations résiduelles* pourraient se produire dans des régions de l'univers affichant une surdensité, à l'instar des halos galactiques. Des astrophysiciens ont suggéré que le rayonnement produit par l'annihilation de la matière noire pouvait être observé avec des télescopes à rayon gamma, ce qui est un moyen indirect de prouver l'existence de la matière noire. Cette dernière est plus grande dans les amas de galaxies, principalement dans la partie centrale de l'amas. Dans ces amas, il y a plus d'étoiles, et certainement plus de trous noirs [19].

Nous supposons que ces trous noirs ont émis des neutrinos magnétiques stériles qui forment cette matière noire dominante.
---

Les astrophysiciens ont observé que c'est à proximité d'objets célestes massifs - naines blanches, étoiles à neutrons, supernova, quasar, **pulsar**— que les halos de matière noire

sont presque inexistants. Néanmoins, en raison de la charge magnétique des neutrinos stériles, on pourrait s'attendre à une **concentration de halos** autour de ces objets célestes qui ont une densité élevée et un champ magnétique puissant. Comme ce n'est pas le cas, on pourrait voir un danger mortel pour la thèse de la charge magnétique associée aux neutrinos stériles. Cet argument est spécieux parce que quelle que soit la nature des particules sombres, leurs nuages de faible densité sont immédiatement absorbés par la gigantesque attraction gravitationnelle de ces objets célestes ultra massifs. Et si nous faisons temporairement abstraction de l'attraction gravitationnelle, la charge magnétique des neutrinos stériles n'obligerait-elle pas obliger la matière noire à se concentrer autour de ces objets magnétiques ? Certainement pas, parce que le champ magnétique  $B$  de l'étoile, s'étendant sur la distance  $L$  du halo, transférerait la fraction  $gBL$  de son énergie totale aux neutrinos magnétiques stériles relativement au repos. Ces derniers gagneraient une énergie cinétique considérable et s'écarteraient dans un sens ou dans l'autre. Ainsi, la charge magnétique des neutrinos stériles ne pourrait pas forcer la matière noire à façonner un halo autour d'un objet magnétique dense comme une étoile à neutrons, un pulsar ou un magnétar, et c'est ce qui est trouvé,

## **5,2 Le neutrino magnétique stérile lié à la protection et à la distribution de la matière visible et invisible**

1) La forme du champ gravitationnel de la Galaxie, reliée à la distribution de la matière visible et invisible, est plutôt sphérique. Or la matière visible de la Voie Lactée, y compris le gaz d'hydrogène moléculaire, est répartie dans un disque aplati. La matière ordinaire ne peut donc pas conférer au potentiel gravitationnel de la Galaxie sa sphéricité. L'hypothèse de la matière noire s'impose donc, non seulement en ce qui concerne la sphéricité du potentiel gravitationnel de la Voie Lactée, mais aussi pour expliquer la dynamique des galaxies et des structures à plus grande échelle.

Cette distribution supposée de matière noire fonctionne pour un bon nombre de galaxies spirales. Les simulations numériques de formation des galaxies et de leur halo de matière noire montrent que ce dernier présente une densité sphérique et inversement proportionnelle à la distance  $r$  au centre de la galaxie, c'est-à-dire un profil de densité en  $1/r$ . En toute rigueur, la densité ne devient pas infinie au centre : elle est remplacée par un petit cœur de densité constante. En supposant ce halo de matière noire doté d'un petit cœur et d'un profil en  $1/r$ , on obtient le bon profil de vitesse du gaz dans certaines galaxies.

Nous pouvons imaginer que le halo de matière noire, qui est un composant hypothétique d'une galaxie qui enveloppe le disque galactique et s'étend bien au-delà des limites visibles de la galaxie, forme une sorte de ceinture protectrice à l'instar des ceintures Van Allen. On peut penser que les neutrinos associés à un pôle magnétique positif et les

neutrinos associés à un pôle magnétique négatif qui constituent la matière noire se sont polarisés pour modeler un champ magnétique noir autour de la galaxie. Des vents de matière noire, composés de neutrinos magnétiques stériles, arrivent des autres galaxies. De tels vents sont des plasmas. Lorsque ces vents ionisés plus ou moins chauds traversent le halo, ils ne sont autres que des pôles magnétiques, positifs et négatifs, coupant des lignes de force. Ils sont donc capables de produire de l'électricité noire. En piégeant les vents de matière noire, le champ magnétique noir dévie ces monopôles magnétiques énergétiques et protège l'atmosphère gazeuse de la galaxie de la destruction. On peut aussi anticiper des vents qui passent à travers le halo et ajoutent de l'énergie qui accélère les neutrinos non polarisés près de la galaxie. Lorsque ces particules à charge magnétique interagissent avec les gaz d'hydrogène qui enveloppent la galaxie, elles transmettent leur énergie et font briller les gaz.

2) Mais cette distribution de matière noire ne fonctionne pas pour un grand nombre de galaxies, notamment celles dites à faible brillance de surface. Les astrophysiciens ont remarqué, depuis le début du siècle, une corrélation entre la taille du cœur de densité constante de matière noire nécessaire pour obtenir la bonne dynamique de rotation du gaz et la taille du disque de matière baryonique. En d'autres termes, plus la galaxie est diffuse et étendue, plus son cœur de densité constante de matière noire est lui-même étendu. Il semble donc y avoir une relation directe entre la distribution de la matière ordinaire et celle de la matière noire. Or une corrélation aussi forte est difficile à expliquer si la matière noire et la matière baryonique n'interagissent que par la gravitation ou d'autres forces très faibles.

Pour expliquer la corrélation entre le cœur de la matière noire et la distribution de la matière ordinaire, il faut un couplage entre ces deux composantes de la matière. Dans le cadre de notre modèle sur les neutrinos magnétiques stériles, ces derniers pourraient être sensibles aux champs magnétiques ordinaires. Ces galaxies sont très diffuses et très peu d'étoiles s'y forment ; le gaz y prédomine, des gaz chauds, tel l'hydrogène moléculaire ( $H_2$ ), difficiles à observer [15].

Selon nous, ces gaz peuvent renfermer beaucoup de poussière ferromagnétique qui peuvent interagir avec les neutrinos magnétiques stériles de la matière noire. Nous supposons que, dans les galaxies à faible brillance de surface, l'aspect magnétique des baryons et l'aspect magnétique des neutrinos stériles issus des trous noirs s'attirent, se harponnent et échangent de l'énergie.

C'est ce genre d'interaction, ou de cramponnement (agrippement), à l'échelle cosmologique, non prévu par les simulations de formation galactique, qui explique la relation directe entre la répartition de la matière ordinaire et celle de la matière noire. Une

forte corrélation devient facile à expliquer si la matière baryonique et la matière noire interagissent avec la force magnétique noire, et non seulement par la gravitation ou d'autres forces faibles.

3) Mais pour comprendre la relation entre les champs magnétiques et les neutrinos stériles à charge magnétique, revenons dans les années 1940, au moment où des savants (H. Alvin, F. Hoyle, Bondy & Gold, etc.) comprirent que les forces électromagnétiques devaient avoir joué un rôle important dans la formation des systèmes astronomiques. Avant que fut prouvé l'existence d'un champ magnétique dans les galaxies, l'astronome soviétique V. Dombrovski et son collègue américain W.A. Hiltner observèrent indépendamment un phénomène curieux : la lumière d'une étoile, passant par le rayon visuel, c'est-à-dire suivant la ligne qui va de l'astre à l'œil d'un observateur, s'avérait polarisée, et cela d'autant plus que le rayon de lumière rencontrait plus de matière sombre sur son chemin. Les astrophysiciens se demandèrent pourquoi en est-il ainsi. Qu'importe que la matière sombre retienne la lumière, ne doit-elle pas simplement l'affaiblir au lieu de la polariser ? La seule explication que purent concevoir les spécialistes était que la matière sombre consistait peut-être en une accumulation de grains de poussière ferromagnétique. Sous l'effet du champ magnétique, les grains de poussière polarisaient la lumière [29].

Notre explication est que la matière noire consiste en une accumulation de neutrinos magnétiques stériles effilés comme de minuscules aiguilles. Sous l'effet du champ magnétique, les neutrinos s'orientent pareillement dans l'espace et polarisent la lumière.

### **5,3 Lueurs des rayons gamma dans le noir : matière noire ou pulsars**

En 2009, Dan Hooper, théoricien du Laboratoire national des accélérateurs de Fermi (Fermilab) à Batavia, Illinois et sa collègue Lisa Goodenough ont découvert la lueur inexpliquée des rayons gamma tout en étudiant les données du télescope spatial à rayons gamma Fermi de la NASA. Un excès de rayons gamma à une énergie de 130 GeV dans la direction du centre galactique. Une explication difficile à trouver dans le cadre de modèles astrophysiques classiques, mais qui fait écho à des modèles de physique des particules dits « modèles supersymétriques ». Ils ont immédiatement suggéré que cette lueur qui enveloppe le cœur de la galaxie pourrait être une preuve de matière noire [30]. L'idée inverse est d'attribuer une origine astrophysique à ces photons de haute énergie et de présupposer qu'ils proviendraient d'un ensemble de sources individualisées comme les pulsars. En 2015, Tracy Slatyer, astrophysicienne des particules au Massachusetts Institute of Technology (MIT) à Cambridge, et ses collègues ont semblé démontrer que tout l'excès du centre galactique pourrait provenir d'une population de pulsars trop faibles pour que Fermi puisse les résoudre individuellement, ce qui eut l'effet de refroidir l'intérêt pour la matière noire. Toutefois, en 2019, Slatyer et postdoc MIT Rebecca Leane

ont trouvé un problème avec les différents modèles spatiaux ou modèles utilisés pour soustraire les autres contributions au flux de rayons gamma, ravivant l'espoir d'un vrai signal de matière noire [31].

Distinguer entre matière noire ou matière ordinaire nécessite de pouvoir cartographier un éventuel excès de photons de haute énergie avec une bonne résolution angulaire, mais malheureusement les télescopes qui pourraient convenir comptent parmi les plus myopes qui soient. Des théoriciens des particules disent que l'excès du centre galactique restera probablement trop ambigu pour être analysé de manière décisive.

Néanmoins, plus récemment, on a observé des rayons de l'ordre du keV qui implique des particules plus légères. Ce résultat a été obtenu dans une bande d'énergie jusque-là assez peu explorée, dans le domaine du kiloelectronvolt. Entre 2014 et 2016, plusieurs équipes d'astrophysiciens ont observé en provenance du centre des amas de galaxies une raie spectrale de rayons X (gamma) à l'énergie d'environ 3,5 keV. Ces excès d'énergie ont été détectés par plusieurs télescope X, l'europpéen *XMM-Newton* puis le japonais *Hitomi*. Cette raie spectrale précise ne correspond à rien de connu et semble bien réelle, c'est-à-dire statistiquement significative. Selon Kevork Abazajian, un physicien américain qui travaille à l'université de Californie, la seule hypothèse restante pour expliquer l'existence de ces photons semblant provenir de là où il y a le plus de matière noire, est qu'ils proviendraient de la désintégration de neutrinos **stériles**. Il considère que toute la matière noire est constituée de tels neutrinos stériles de 7 keV, Comme ils sont un peu lourds, ils se désintégreraient en produisant des neutrinos « normaux » et des photons. Il a démontré dans un article par quel mécanisme des neutrinos stériles de 7 keV peuvent être produits et être à l'origine des raies gamma inconnues observées à 3,5 keV, une énergie qui serait la moitié de leur masse.

Dessert *et al.* ont testé l'hypothèse d'une ligne d'émission de rayons X astronomique non identifiée, interprétée comme étant causée par la désintégration d'une particule de matière noire, à l'aide d'observations du télescope spatial XMM-Newton (mission de rayons multiples à rayons X). En analysant les régions de ciel blanc avec un temps d'exposition total d'environ un an, ils n'ont trouvé aucune preuve de la ligne prévue, ce qui exclue l'interprétation de la matière noire précédemment proposée [32].

#### **5,4 Hypothèses académiques**

Dans la présente section, nous ne résistons pas à la tentation de traiter des équations spécifiques de production possible de rayons gamma, à la fois interstellaires et intergalactiques, à partir de l'annihilation cosmique des neutrinos-antineutrinos. Ces équations sont d'autant plus hautement spéculatives qu'elles proviennent de neutrinos

magnétiques stériles. Néanmoins, elles sont justifiées par l'importance de la quête de preuves de l'existence de la matière noire et de sources des rayons-gamma [33].

Les rayons gamma subissent une absorption négligeable dans la plupart des cas d'intérêt astrophysique et ils voyagent en lignes droites à partir de leurs sources. En cela, ils diffèrent des rayons cosmiques qui, étant des particules chargées, voient leurs mouvements continuellement modifiés par les interactions avec les champs magnétiques cosmiques. Par conséquent, on peut en apprendre beaucoup sur les sources et les interactions des rayons cosmiques en étudiant la distribution spatiale et énergétique des rayons  $\gamma$  qu'ils produisent.

### **Production de rayons gamma à partir de l'annihilation de neutrino-antineutrino cosmique.**

Les neutrinos et les antineutrinos peuvent interagir magnétoélectriquement et ainsi s'annihiler pour produire des rayons gamma (rayons  $\gamma$ ). Cette annihilation peut se produire des manières suivantes.

1— Un antineutrino libre peut s'annihiler avec un neutrino libre pour produire, le plus souvent, deux rayons  $\gamma$  :

$$\bar{\nu}_g + \nu_g \rightarrow \gamma + \gamma \quad (22)$$

2 –Un neutrino et un antineutrino de faible énergie peuvent d'abord se combiner pour former un système de type positronium, constitué d'un neutrino et d'un antineutrino liés ensemble en un atome exotique et instable que nous appellerons « antineutrinium » (que nous désignerons par le symbole  $\dot{\nu}$ ). Le système peut alors s'annihiler en deux, trois rayons  $\gamma$  ou plus ( $\zeta$  est le nombre de rayons  $\gamma$ ) :

$$\bar{\nu}_g + \nu_g \rightarrow \dot{\nu}_g \rightarrow \zeta\gamma \quad (23)$$

### **Absorption des rayons gamma par interaction avec la matière noire**

Il existe deux types d'interactions à considérer ici. Le premier implique la conversion d'un rayon  $\gamma$  en une paire neutrino-antineutrino dans le champ magnétostatique d'une particule magnétique chargée ou d'un neutrino stérile à charge magnétique. Si nous désignons un tel champ de charge par le symbole MCC, une telle interaction peut être symboliquement écrite comme

$$\gamma + MCC \rightarrow \bar{\nu}_g + \nu_g + MCC \quad (24)$$

L'interaction de conversion, ou production de paires comme on l'appelle habituellement, a une section efficace qui implique un facteur supplémentaire de la constante de structure

fine,  $\alpha = g^2/hc$  ( $g$  est une charge magnétique), car elle implique une interaction intermédiaire avec un champ magnétostatique.

Le deuxième type de processus d'absorption des rayons  $\gamma$  dans la matière est l'interaction de diffusion

$$\gamma + \nu_g \rightarrow \gamma + \nu_g \quad (25)$$

La diffusion Compton n'élimine pas le rayon  $\gamma$  en soi, mais entraînera selon toute probabilité le transfert d'une partie de l'énergie du rayon  $\gamma$  vers le neutrino, absorbant ainsi l'énergie du rayon  $\gamma$ . Pour le rayon  $\gamma$  d'énergie  $E_\gamma \ll mc^2$ , la quasi-totalité de l'énergie du rayon  $\gamma$  est absorbée, et alors on peut considérer que le rayon  $\gamma$  a «disparu». L'idéal serait de définir une «section efficace d'absorption»  $\sigma_a$ , telle que

$$\sigma_a = (\Delta E_\gamma/E_\gamma)\sigma_c \quad (26)$$

où  $\Delta E_\gamma$  est la quantité moyenne d'énergie transférée du rayon  $\gamma$  au neutrino.

Dans le cas de l'annihilation  $\bar{\nu}_g - \nu_g$  à haute énergie, les réactions de la forme

$$\bar{\nu}_g + \nu_g \rightarrow \text{bosons} \rightarrow \text{photons} + \gamma \quad (27)$$

peut être envisagée, ainsi que l'annihilation des types

$$\bar{\nu}_g + \nu_g \rightarrow \bar{\nu}_g + \nu_g + \gamma. \quad (28)$$

## 6 Conclusion

L'existence ou la non-existence de matière noire dans l'univers est une question d'importance dans les domaines de la cosmologie et de la physique des particules. Depuis que l'existence de grandes quantités de matière noire dans l'univers a été proposée afin de rendre compte de la condensation de la matière en galaxies, les physiciens ont trouvé de plus en plus de preuves qu'elle est réelle, mais pas un seul signe de la substance elle-même. Omniprésente à travers le cosmos et insaisissable, elle a résisté à toute tentative de détection, que ce soit celles des astronomes ou des physiciens des particules. Loin d'abandonner, ils essaient beaucoup de choses jusqu'à ce qu'ils trouvent quelque chose qui fonctionne, en ayant à l'esprit que les résultats négatifs sont tout aussi importants que les résultats positifs. Depuis une quarantaine d'années, la plupart s'accordent sur le fait que l'essentiel de la masse manquante ne se trouve pas sous forme condensée (Macho).

L'idée communément admise depuis est qu'une grande partie de la masse noire est constituée d'une substance non baryonique. À cet égard, nous avons proposé pour la matière noire l'existence d'une grande quantité de neutrinos et d'antineutrinos associés à la charge magnétique. Et comme l'existence de ce type de neutrino magnétique stérile est inexplicable dans l'état actuel de nos connaissances, nous avons modifié les lois de l'électromagnétisme connu pour expliquer la métamorphose de la charge électrique en charge magnétique dans le trou noir. Selon notre modèle, ces neutrinos proviendraient des trous noirs : ce ne sont pas les trous noirs qui constituent la matière noire mais essentiellement les neutrinos à charge magnétique engendrés par ces trous noirs [8].

Ce modèle peut-il être prouvé scientifiquement ? Nous n'aurions pas tort de craindre que la recherche sur cette question puisse s'égarer avec le foisonnement déroutant des autres modèles, réclamant de nombreuses années de travail futile, tout en cherchant quelque chose qui peut, *a priori*, être indétectable. Ce qui rejoindrait la problématique de l'éther (énergie du vide), ou l'impasse théorique impliquée par les variables cachées qui doivent rester à jamais inobservables au sein d'une théorie relativiste. Cependant, nous croyons que le statut de la matière noire constituée de neutrinos magnétiques serait mieux évalué si on le comparait aux quarks en physique des particules qui ne peuvent pas non plus être observés directement, en raison de leur confinement. Rêvons que la physique mettra en évidence plusieurs prédictions qui découlent de l'existence des neutrinos magnétiques et seront inexplicables dans toute théorie qui ne fait pas cette hypothèse.

## Références

- [1] Dobrescu, B., Lincoln, D., *Pour la science*, Hors-série no 97, p. 26 (2017).
- [2] NASA, *WMAP Produces New Results* (2015).
- [3] Bagdoo, Russell, *LES COURBES DE ROTATION DES GALAXIES TRACÉES PAR LA THÉORIE DE LA RELATION* (2012).  
<http://vixra.org/abs/1304.0087>  
<https://www.academia.edu/5539792>
- [4] Ikonikoff, R., Rey, B., *L'Univers caché*, Science & Vie. No. 1224, 60-81 (2019).
- [5] Riazuelo, A., *Pour la Science*, Dossier, No. 71, 66 (2011).
- [6] Hooper, Dan, *Dark Cosmos in Search of our Universe Missing Mass and Energy*, Smithsonian Books, 75-79, 95-99 (2006).
- [7] Martin, S.P., *A Supersymmetry Primer*, 95-114, 144 (2016)  
[arXiv:hep-ph/9709356v7](https://arxiv.org/abs/hep-ph/9709356v7)      doi: [10.1142/9789812839657\\_0001](https://doi.org/10.1142/9789812839657_0001)
- [8] Bagdoo, Russell, *What Connects Dark Matter and Black Holes?* Journal of Modern Physics, **11**, 168-195 (2020).  
<https://doi.org/10.4236/jmp.2020.112011>
- [9] Hooper, Dan, *Dark Cosmos in Search of our Universe Missing Mass and Energy*, Smithsonian Books, 75-79, 95-99 (2006).

- [10] Feynman, Richard, *Lumière et matière*, InterÉditions, 171 (1987).
- [11] Dirac, Paul A.M., *Quantised Singularities in the Electromagnetic Field*, Proceedings of the Royal Society of London. Series A 133, 60, p. 9 (1931).
- [12] Adair, R. K., *The Great Design*, Oxford University Press, New York, 247 Note 2 (1987).
- [13] Serway, Raymond A., *Électricité et magnétisme*, Les Éditions HRW ltée, 248, 249 (1986).
- [14] Benson, Harris, *University Physics*, John Wiley & Sons, Inc, 681, 682 (1991).
- [15] Benoît Famaey, *La matière noire*, Pour la Science, Hors-Série, No **106**, 3, 46-49 (2020).
- [16] Fontez, M., Ikonicoff, R., Grousson, M., Rey, B., *Science & Vie*, No. 1204, 40-56 (2018).
- [17] Lachièze-Rey, M., *Chaos et Cosmos*, Le Mail, 62-68 (1986).
- [18] Barrau, A., Gorecki, A., *Pour la Science*, Dossier, No. 71, 30-36 (2011).
- [19] Bertone, G., *Le mystère de la matière noire*, Dunod, 100-102, 148-9, 160-163 (2013).
- [20] Muezca, Mar, *Ciel&Espace*, No 570, 53-56 (2020).
- [21] Bellido, J.G., Clesse, S., *La piste des trous noirs*, Pour la Science, Hors-Série, No **106**, 64-71 (2020).
- [22] Begelman, M., Rees, M., *Gravity's fatal attraction*, Scientific American Library, 223-225 (1998).
- [23] Wald, M. Robert, *Space, Time, and Gravity*, The University of Chicago Press, 86-89, 127, 130-139 (1992).
- [24] Weinberg, Steven, *Les trois premières minutes de l'univers*, Éditions du Seuil, Points, 78 (1978).
- [25] Bagdoo, R. (2019) The Equation of the Universe (According to the Theory of Relation). *Journal of Modern Physics*, 10, 310-343.  
<https://doi.org/10.4236/jmp.2019.103022>
- [26] Islam, Jamal N., *Le destin ultime de l'univers*, Cambridge University Press 104, 109, 113-117 (1983).
- [27] Zweibel, E., *Recherche*, Hors-Série avril, 10, 90-93 (1998).
- [28] Riazuelo, Alain, *La grande quête inachevée*, Pour la Science, Hors-Série, No **106**, 54 (2020).
- [29] Tomoline, A., *La Cosmogonie récréative*, Éditions de Moscou, 220, 221 (1975).
- [30] Goodenough, L., Hooper, D. *Possible Evidence For Dark Matter Annihilation In The Inner Milky Way From The Fermi Gamma Ray Space Telescope* (2009).  
arXiv.org > hep-ph > arXiv:0910.2998
- [31] Cho, A., doi:10.1126/science.aba1956 (2019).
- [32] Dessert, Christopher, Rodd, Nicholas L., Safdi, Benjamin R., *Science*, Vol. 367, Issue 6485, pp. 1465-1467 (2020). DOI: 10.1126/science.aaw3772
- [33] Stecker, F.W., *Cosmic Gamma Rays*, NASA, 3, 41, 47, 77-81 (1971).