

Comment la matière noire naît des trous noirs

Russell Bagdoo
rbagdoo@gmail.com

Dans ce papier, nous discutons de la possibilité que les trous noirs puissent indirectement et directement produire la matière noire. Ainsi que la possibilité que les étoiles à neutrons et d'hypothétiques étoiles à quarks et étoiles à bosons puissent aussi en produire. Nous conjecturons que, tout comme les jets relativistes émis par le rayonnement des régions associées aux trous noirs de grande masse permettent la création de galaxies, les jets latéraux de ce même rayonnement permettent la création de matière noire dans les régions entourant le trou noir. Nous réfutons la théorie Λ CDM, dont la constante cosmologique disproportionnée conduit à la « catastrophe du vide ». Nous soutenons que la matière noire est apparue après le big bang et que la production des premiers grumeaux de l'univers aurait été entamée avec la matière ordinaire. En passant par la physique quantique, nous explorons la nature de la matière noire et présumons que la matière noire et la matière ordinaire ont l'hydrogène comme identité profonde. Lors d'une transition de phase quantique, l'hydrogène moléculaire deviendrait analogue à une paire de Cooper dont les dibaryons se conduisent comme des bosons. Toutes les particules de la matière à une certaine température seuil se mettent en phase pour constituer une onde macroscopique cohérente de matière noire qui a les caractéristiques d'un soliton. Lorsque la croûte de matière ordinaire des étoiles hyper-condensées – la pression de dégénérescence de la mécanique quantique – dépasse la gravité, le soliton est repoussé dans l'espace par « supradiffusion ». Enfin, nous montrons que dans de nombreux cas, un trou noir peut se dissoudre en totalité ou en partie dans la matière noire. Nous émettons l'hypothèse qu'il y aurait une ou plusieurs autres censures entre l'horizon des événements et la censure cosmique. La surface piégée de l'une de ces censures pré-Planck entraînerait une transition de phase quantique marquant un changement d'état vers la matière noire. Ce mur pré-Planck déclencherait une extension spatiale du trou noir dans l'espace sous la forme d'une « onde macroscopique de matière noire ».

Mots clé : matière noire, AGN, rétroaction, rétroaction latérale, changement d'état, transition de phase quantique, onde quantique macroscopique de matière noire, Q-Balls solitons, dibaryons, supradiffusion.

1 Introduction

Dans ce travail, nous nous concentrons sur la matière noire qui pourrait provenir indirectement ou directement des trous noirs, ainsi que des étoiles hyper-condensées en passe de devenir des trous noirs, telles que l'étoile à neutrons, l'étoile à quarks et l'étoile à bosons. Nous nous opposons également au modèle Λ -CDM selon lequel la matière noire aurait été formée dès les premiers instants de l'univers.

L'article est structuré comme suit : la section 2 montre comment la matière noire provient indirectement du trou noir. En nous basant sur la théorie de la rétroaction des noyaux galactiques actifs (AGN) qui permet d'enflammer les galaxies, nous en déduisons qu'une « rétroaction latérale » est également possible pour former de la matière noire. Nous démontrons l'efficacité du couplage cinétique des écoulements latéraux et présentons des formules déjà testées pour la rétroaction AGN qui peuvent être appliquées à la rétroaction latérale. Dans la section 3, nous nous demandons alors qu'elle pourrait être la nature de la matière noire. En passant par la physique quantique, nous trouvons que le rapport entre matière ordinaire et matière noire conduit au phénomène de transition de phase, conséquence du « condensat de Bose-Einstein ». La matière noire ne serait jamais qu'un changement d'état qui irait jusqu'à mettre presque à nu les quarks des hadrons. À une certaine température seuil toutes les particules de la matière se mettent en phase pour constituer une onde macroscopique géante qui a les caractéristiques d'un soliton: on aurait ainsi une onde macroscopique cohérente de matière noire. Dans la section 4, nous examinons les étoiles **hyper-condensées** en voie de devenir des trous noirs : l'étoile à neutrons, les étoiles hypothétiques à quarks et les étoiles à bosons. La compression de la matière baryonique au cœur de ces étoiles **transformerait l'état de la matière ordinaire en matière noire par des transitions de phase quantiques**. La matière noire serait composée **d'ondes de matière noire (silitons) pilotées par des dibaryons obéissant à la statistique quantique bosonique**. Sous des conditions de pression et température seuil, la croûte de matière ordinaire constituant la pression de

dégénérescence instable de la mécanique quantique l'emporte sur la gravité. Un phénomène de « **supradiffusion** » propage les ondes de matière noire dans l'espace. Dans la section 5, nous soutenons que la matière noire est apparue après le big bang et que la production des premiers grumeaux de l'univers aurait été entamée avec la matière ordinaire. Nous réfutons la théorie Λ CDM avec sa constante cosmologique qui débouche sur la « catastrophe du vide ». Nous pensons que la matière noire et la matière ordinaire ont l'hydrogène comme identité profonde. Avec la transition de phase quantique, l'hydrogène moléculaire devient analogue à une paire de Cooper dont les fermions se conduisent comme des bosons. Dans la section 6, nous expliquons comment un trou noir devient directement de la matière noire. Nous montrons que dans de nombreux cas, le trou noir peut se dissoudre en tout ou en partie dans la matière noire. **Nous formulons qu'il y aurait une autre censure entre l'horizon des événements et la censure cosmique. La surface piégée de cette censure *pré-Planck* se traduirait par une transition de phase quantique qui marquerait un changement d'état vers la matière noire.** Ce mur pré-Planck déclencherait une extension spatiale du trou noir dans l'espace sous la forme d'une « bulle sombre de matière molle » ou d'une « onde macroscopique de matière noire ». Nous résumons et concluons dans la section 7.

2 Comment la matière noire provient indirectement du trou noir

L'objectif de cette section est de présenter un modèle dans lequel les trous noirs s'agissent comme catalyseurs dans le processus de formation de matière noire. L'émission non stellaire d'un noyau galactique actif (AGN) résulterait de l'accrétion de matière par un trou noir supermassif au centre de sa galaxie hôte.

Selon notre scénario, les trous noirs, par leur intense activité d'accrétion, et les nuages énergétiques qu'ils émettent de la sphère des photons (force centrifuge aidante), entrent en collision avec le gaz qui se dirige vers le trou noir, favorisant ainsi une nouvelle transition de phase qui déclenche la naissance de la matière noire. **Nous appelons « rétroaction latérale » ce flux d'énergie issu de la sphère photonique autour de l'horizon des événements.**

Notre scénario s'inscrit dans la suite logique de l'article de Joseph Silk, *et al.* daté février 2024 dans *Astrophysical Journal Letters* [1] qui laisse entendre que les jets énergétiques d'un noyau galactique peut effectuer une production de galaxies.

Depuis les années 1980, on a postulé que les AGN joueraient un rôle important dans l'évolution des galaxies. Au cours des 2 dernières décennies, on a assisté à une explosion de travaux tentant de relier les écoulements induits par les AGN à la formation des galaxies [2].

2,1 Rétroaction des AGN

On a observé qu'une partie de la matière absorbée par le trou noir est éjectée sur son axe de rotation à des vitesses presque égales à celles de la lumière. Ces jets relativistes peuvent traverser des distances faramineuses [3]. Les plus puissants émanent des trous noirs supermassifs. L'article de Joseph Silk relate qu'ils ont examiné les premières galaxies observées par JWST, antérieures à GN-z11 [4, 5]. Selon leur modèle, les AGN agiraient comme des catalyseurs dans le processus de création stellaire. Dans ce scénario, les trous noirs, par leur intense activité d'accrétion et les jets énergétiques qu'ils émettent, compriment le gaz environnant, favorisant ainsi la condensation de la matière et déclenchant la naissance d'étoiles. On appelle rétroaction active, cette sortie de l'énergie d'un noyau galactique pour effectuer une production de galaxies. Elle peut allumer les étoiles (rétroaction « positive »), mais elle peut aussi en empêcher la production lorsque la masse du trou noir est aussi massive que la masse de la galaxie ou lorsque l'énergie du jet chauffe les gaz froids et les disperse [6].

C'est au cours de la période 1998-2000 que la rétroaction des AGN et le rôle des flux sortants induits par les AGN dans l'évolution des galaxies ont pris un véritable essor dans la littérature. Cela a été initié par une série de trois articles fondateurs qui ont confirmé les suggestions antérieures selon lesquelles les masses des trous noirs sont étroitement corrélées avec les luminosités, les dispersions de vitesse et les masses stellaires des renflements de leurs galaxies hôtes [7, 8, 9]. À partir de Silk & Rees en 1998 [10, 11], des modèles analytiques ont utilisé des arguments simples pour montrer que si seulement quelques pour cent de la luminosité d'un quasar est exploité pour entraîner un vent, ils pourraient créer un flux sortant à l'échelle de la galaxie et établir les

relations d'échelle entre la masse du trou noir et les propriétés du renflement hôte [10, 12]. Par conséquent, les AGN sont devenus une explication populaire pour « l'excès d'énergie » observé dans les amas de galaxies. Le réchauffement constant du gaz chaud autour des galaxies est parfois qualifié de « mode de maintenance » de la rétroaction des AGN [6] et dispose désormais de preuves convaincantes grâce aux cavités à rayons X observées associées aux jets radio et lobes. Plus de vingt-cinq ans plus tard, le rôle de la rétroaction AGN dans la définition de ces relations d'échelle demeure [13, 14].

2,2 Rétroaction latérale (ou comment est formée la matière noire)

Pour notre part, **nous pensons que l'énorme quantité de lumière des régions avoisinantes des AGN peut aussi influencer la création et l'évolution de la matière noire.** Avec un couplage mécanique efficace entre les nuages d'énergie et de particules chargées qui traversent la ligne extérieure de la sphère photonique, et la poussière et le gaz avec lesquels ils entrent en collision dans la zone d'accrétion. Supposons qu'un trou noir en rotation se soit formé par coalescence d'un milliard de masses solaires. Le trou noir sera entouré d'un disque d'accrétion constitué de matière aspirée par le trou noir, et tombant en spirale vers celui-ci. La matière du disque d'accrétion se trouve à très haute température et ionisée, formant un plasma associé un champ magnétique. Des champs électriques et magnétiques, des courants électriques, etc. forment des différences de potentiel monstrueux de l'ordre de 10^{20} près du AGN. La dynamique de la matière tombant vers le trou noir veut que les particules accélérées par ces différences de potentiel entrent en collision avec les photons de la sphère des photons. Cette dernière est un halo entre l'horizon des événements - la frontière dont on ne revient pas lorsqu'on la traverse - et le disque d'accrétion [2].

2,3 Efficacité du couplage cinétique des flux *latéraux* sortants

Il est crucial de considérer comment l'énergie contenue dans un vent nucléaire **issue de la sphère des photons** est communiquée au **disque d'accrétion d'un trou noir** pour former un flux sortant à **petite** échelle.

Lorsqu'il entre en collision avec le milieu d'accrétion, le vent décélère par un « choc inverse » - **une partie de l'énergie retourne à la sphère des photons pour être du « flux sortant à grande échelle » que sont les jets relativistes - tout en provoquant un flux sortant « secondaire », à petite échelle,**

composé de matériaux de matière ordinaire et de matière atomique ordinaire choqués, ectomisés, désatomisés, devenus matière noire et balayés.

Le flux sortant à petite échelle composé de matière noire est dit « entraîné par l'énergie » **tant qu'une partie de l'énergie éolienne nucléaire d'origine conserve une forme cinétique. Une grande partie a été** utilisée pour travailler contre le potentiel gravitationnel, la pression ambiante, la pression dynamique du gaz entrant **et, particulièrement, son énergie thermique élevée a servi à transformer la matière atomique ordinaire en matière désatomisée noire.** Par conséquent, nous devrions nous attendre à ce que les puissances cinétiques totales de l'écoulement sortant soient inférieures au taux d'injection d'énergie totale de sorte que $\dot{E}_{kin} < \varepsilon_f L_{AGN}$. En effet, Veilleux, *et al.* [15], qui détectent un vent à petite échelle et un écoulement moléculaire à grande échelle dans le même système, estiment que $\lesssim 0.1$ de la puissance cinétique du vent à petite échelle est transférée à l'écoulement moléculaire.

2,4 Formules pour une rétroaction latérale

En utilisant l'article de Harrison [16] comme point de départ, nous montrons quelques formules établies au cours des sept dernières décennies sur la luminosité, l'écoulement, les jets énergétiques et la rétroaction des AGN qui initient la naissance des étoiles. **L'importance de cet exercice est qu'elles peuvent également être utilisées pour démontrer les écoulements et la rétroaction latérale de la sphère de photons vers la zone d'accrétion.**

2,4,1 Luminosité de l'AGN. « Dans les années 1950 et 1960, il a été établi qu'une source d'énergie massive et puissante était nécessaire pour expliquer les luminosités exceptionnelles générées par une classe d'objets extragalactiques désormais connus sous le nom de noyaux galactiques actifs (AGN) [17, 18, 19]. L'idée dominante était l'accrétion de matière sur des trous noirs résidant dans les noyaux des galaxies [20], qui croissent à un taux de M_{BH} et ont des luminosités bolométriques de,

$$L_{AGN} = \frac{\eta_r}{(1-\eta_r)} M_{BH} c^2. \quad (1)$$

L'efficacité de conversion masse-énergie très élevée inférée de $\eta_r \approx 0.1$ [21, 22] et les masses élevées des trous noirs (c.-à-d. des millions à des milliards

de celle du Soleil) impliquent que sur la durée de vie d'un trou noir typique, l'énergie nette émise dépasse largement l'énergie de liaison de leurs galaxies hôtes [6]. On a rapidement compris que l'énorme quantité d'énergie des AGN pouvait influencer l'évolution des galaxies. Avec un couplage mécanique efficace (via les jets de particules chargées observés dans certains AGN) ou radiatif, il est devenu clair qu'ils pouvaient chauffer le gaz dans et autour des galaxies [23, 24] ».

2,4,2 Flux sortant. « Afin de déduire le **rôle des flux sortants dans la rétroaction des AGN**, les observateurs tentent de plus en plus de mesurer des propriétés telles que les taux de flux sortants de masse, $\dot{M}_{out}$, les puissances cinétiques,

$$\dot{E}_{kin} = \frac{\dot{M}_{out}}{2} (v_{out}^2 + A\sigma_{out}^2) \quad (2)$$

et les taux d'impulsion,

$$\dot{P} = \dot{M}_{out} v_{out} \quad (3)$$

Ici, v_{out} est la vitesse de sortie et A est une constante qui détermine la contribution (incertaine) de la dispersion de vitesse au sein du flux sortant, σ_{out} à la puissance cinétique [25]. »

2,4,3 Taux d'écoulement de la masse (débits de masse). « Les taux de sortie de masse sont généralement calculés selon la formule suivante :

$$\dot{M}_{out} = B \frac{M_{out} v_{out}}{r_{out}} \quad (4)$$

où r_{out} est le rayon de sortie et M_{out} est la masse impliquée dans la sortie. La constante B tient compte des hypothèses sur la géométrie et du fait qu'un taux de sortie de masse instantané ou moyen dans le temps est cité, avec $B = 1$ ou $B = 3$ généralement supposé (voir la discussion dans [26]). Dans ce qui suit, nous discutons des quantités de sortie « brutes » de v_{out} , r_{out} et M_{out} . L'équation 4 est une méthode de base utilisée par de nombreux articles

d'observation pour étudier les galaxies de plusieurs époques. D'autres approches sont également explorées [27, 28, 29, 30] ».

2,4,4 Masses de sortie (masses d'écoulement). « La détermination de la masse dans une phase gazeuse particulière est très difficile. Pour les écoulements à raies d'émission chaudes, une approche courante consiste à déterminer la masse de gaz à partir de la luminosité de la raie d'émission associée à l'écoulement ($L_{el,out}$) et de la densité électronique (n_e) [31] suivant,

$$M_{out} = C \frac{L_{el,out}}{n_e}. \quad (5)$$

Ici, M_{out} est la masse totale de gaz impliquée dans l'écoulement et dans le cas de calculs basés sur l'hypothèse d'une couche conservatrice de masse à un rayon particulier, cela représente la masse totale dans un volume sphérique ou conique de rayon r avec une densité de gaz constante dans tout le volume. C'est une valeur adoptée qui dépend de la raie d'émission utilisée et des hypothèses correspondantes. Idéalement, les raies de recombinaison de l'hydrogène (par exemple, $H\beta$ ou $H\alpha$) doivent être utilisées car elles sont relativement insensibles à l'état d'ionisation et aux abondances élémentaires dans l'écoulement. Cependant, C dépend toujours de la température [31] et pour les AGN de type 1, il est difficile d'éliminer la contribution de la région de raie large aux profils de raies d'émission. La raie brillante $[O\ III]\lambda 5007$ est parfois utilisée comme alternative, mais la valeur de C est très incertaine, dépendant également de l'état d'ionisation et de l'abondance d'oxygène du gaz [32]. La valeur de $L_{el,out}$ peut également être incertaine au facteur de quelques niveaux, ou plus, lorsque les flux sortants sont difficiles à isoler dans les spectres et/ou lorsque le niveau d'extinction n'est pas contraint [33, 34]. La plus grande source d'incertitude pour les masses de flux sortants ionisés chauds est probablement la densité électronique n_e ».

2,5 Attente théorique pour une rétroaction latérale des AGN

Dans une première tentative de suivi de la rétroaction des AGN dans une simulation hydrodynamique d'une fusion de galaxies, di Matteo, *et al.* [35] ont laissé des trous noirs, modélisés comme des particules de puits, injecter de l'énergie thermique dans leur voisinage en continu à un taux $\dot{E}_{feed}$, proportionnel à leur taux d'accrétion, selon

$$\dot{E}_{feed} = \varepsilon_f \eta_r M_{BH} c^2. \quad (6)$$

Le produit $\varepsilon_f \eta_r$ définit l'efficacité avec laquelle l'énergie de masse au repos accrétée est transférée dans les éléments de résolution du gaz environnant en raison de la rétroaction des AGN.

Un terme $(1 - \eta_r)^{-1}$ dans l'équation 6 est négligé dans cette étude et dans d'autres ; cependant, pour $\eta_r = 0.1$, ignorer ce terme a un effet négligeable (voir l'équation 1). L'efficacité de rétroaction ε_f , un paramètre libre, détermine la fraction de la luminosité bolométrique des AGN qui se couple au gaz à proximité du trou noir. Di Matteo, *et al.* ont calibré ε_f à la valeur requise pour reproduire la normalisation du $M_{BH} - \sigma$ local. Cela a donné $\varepsilon_f = 5\%$, une efficacité de rétroaction qui est depuis devenue une valeur de référence dans les études théoriques et observationnelles de la rétroaction des AGN.

Étant donné que les échelles pertinentes pour l'accrétion des trous noirs et l'éjection des vents d'AGN ne sont pas résolues dans les simulations de formation des galaxies, la manière dont les modèles de rétroaction AGN sous-réseau se rapportent à un mécanisme moteur physique fondamental n'est souvent pas claire.

Selon nous, le produit $\varepsilon_f \eta_r$ définit l'efficacité avec laquelle l'énergie de masse au repos provenant de la sphère des photons est transférée dans les éléments de résolution du gaz de la zone d'accrétion en raison de la rétroaction latérale des AGN.

Dans certains cas, les modèles théoriques fondamentaux motivent des efficacités de rétroaction de $\varepsilon_f = 5\%$. **Ces modèles théoriques pourraient s'appliquer à la rétroaction latérale, c.-à-d. l'éjection des vents d'AGN sur les gaz et poussière du disque d'accrétion. En s'appuyant sur King [12], nous pouvons considérer un vent rapide lancé latéralement (non éjecté sur l'axe de rotation du trou noir) depuis la sphère des photons du trou noir** avec une masse M_w et une vitesse v_w , c.-à-d. avec une puissance cinétique $\dot{E}_w = (1/2)\dot{M}_w v_w^2$. En supposant que l'énergie contenue dans ce

vent nucléaire est entièrement cinétique et qu'elle est entraînée par diffusion Thomson [36], c.-à-d. $\dot{M}_w v_w \approx L/c$, il s'ensuit que,

$$\varepsilon_f = 0.05 \left(\frac{n_r}{0.1} \right)^{-1} \left(\frac{v_w}{0.1c} \right)^2. \quad (7)$$

Des rendements d'environ $\sim 5\%$ peuvent donc survenir naturellement **si la rétroaction latérale se fait via la collision entre la zone d'accrétion et un vent intérieur venant de la sphère des photons** avec une vitesse d'environ $\sim 0.1c$, comme c'est le cas pour les écoulements ultrarapides observés et les vents à large absorption [12]. Cependant, la forte mise à l'échelle $\varepsilon_f \propto v_w^2$, implique qu'un vent intérieur plus lent, éventuellement entraîné à l'échelle du tore poussiéreux avec $v_w = 1000 \text{ km s}^{-1}$ [37], ne peut produire que des efficacités de $\varepsilon_f = 0.006\%$.

2,5,1 Obscurcissement des galaxies massives selon Silk. « Pour les galaxies massives, Silk, J., *et al.* [1] ont constaté qu'à des décalages vers le rouge élevés, le refroidissement des vents QSO ($\sim 3000 \text{ km s}^{-1}$) se produit au-dessus de $z \sim 6$ pour des densités de colonne de gaz de la galaxie hôte $\lesssim 10^{23} \text{ cm}^{-2}$. Cette plage caractérise la transition vers une rétroaction induite par l'impulsion lorsque z augmente. De telles densités de colonnes moléculaires sont déduites de la théorie et des observations et indiquent que ce n'est pas le tore « classique » qui obscurcit l'AGN, mais le milieu interstellaire de la galaxie lui-même [38]. L'obscurcissement minimum le long de la ligne de visée pour la transition des flux sortants induits par l'impulsion aux flux sortants induits par l'énergie est

$$N_{cool} \approx 10^{23} \text{ cm}^{-2} \left(\frac{v_s}{3000 \text{ km s}^{-1}} \right)^2, \quad (8)$$

où v_s est la vitesse de sortie de rétroaction. Même les galaxies hôtes obscurcissantes d'épaisseur Compton sans détection de rayons X peuvent bien dépasser cette colonne de refroidissement de plus d'un ordre de grandeur. Tous ces objets à décalage vers le rouge élevé devraient avoir des vents et des sorties refroidis, entraînés par l'impulsion. Pour la gamme pertinente de colonnes de refroidissement $N_{cool} \approx 10^{23} \text{ cm}^{-2}$, avec des profondeurs Compton de $0.1 - 1.0$, l'AGN sera obscurci. Alors que cette simple estimation

suppose un écoulement sphérique, des arguments géométriques suggèrent que dans le cas plus général des écoulements dirigés, les AGN à z élevé sont toujours enfouis ou obscurcis le long de l'écoulement entraîné par l'impulsion de refroidissement. Dans ce cas, vu de côté, on ne verrait pas la vitesse de sortie complète. Les effets observables pourraient inclure la turbulence, l'émission de raies étroites et la poussière ».

3 Sur la nature de la matière noire

D'emblée nous nous inscrivons en faux contre le modèle actuel Lambda Cold Dark Matter (Λ CDM) de la cosmologie standard selon lequel l'univers depuis le début est essentiellement constitué de matière noire accompagnée d'un gaz de matière ordinaire. La présence d'une matière noire omniprésente dès le début de l'univers est un apriorisme qui ne repose sur aucune théorie, expérience, observation ou mesure. Aux yeux de nombreux scientifiques d'aujourd'hui, l'introduction d'une matière noire qui envahissait l'univers à l'origine est aussi raisonnable que l'« éther lumineux » avant le vingtième siècle qui constituait la mer universelle dans laquelle se propagent les ondes électromagnétiques. Avec l'« éther noir » on peut faire dire tout sur la cosmologie du début. Le cadre théorique sous-jacent de la conjecture Λ CDM repose sur la calibration standard luminosité-distance étendue aux supernovæ (ce qui reste à confirmer) qui laisse penser que l'univers subirait une accélération de son expansion. Elle serait la conséquence d'une constante cosmologique positive, d'une énergie du vide en l'absence de matière, fabuleusement supérieure à tout ce que l'on tire des observations [39, 40].

Selon nous, la matière noire est née graduellement bien après le début de l'univers et les galaxies n'ont pas attendues après elle pendant plus d'un milliard d'années pour se former. Nous avons évoqué plus haut l'idée que les trous noirs supermassifs, avec une masse comprise entre une centaine et un million de fois la masse du Soleil, pouvaient se comporter comme **d'intenses accélérateurs de création, en matérialisant et accroissant la densité de matière noire alentour**. Nous avons montré que le choc entre l'énergie issue des flux latéraux de la sphère de photons et le gaz et la poussière du disque d'accrétion surchauffe la matière ordinaire. Dans cette atmosphère infernale, où les particules accélérées entrent en collision avec les bosons, où les photons accélérés rencontrent d'autres photons, on pourrait penser que des paires

particule-antiparticule se créeraient et se matérialiseraient constamment, via l'équivalence énergie-masse $E = mc^2$.

Pourrait-il en être autrement ? Nous pensons que la suppression de tout ce qui est atomique de la matière ordinaire par la chaleur démesurée, en conserve que les parties par essence différentes des atomes familiers. Cette « débaryonisation » pourrait permettre à travers les jets qu'elle déclenche « d'entrevoir » les quarks et les gluons. Ce sont des particules non individuelles liées par une charge colorée affaiblie à courte distance. Nous pensons qu'il y a un rapport fondamental entre la rétraction latérale provoquant une surchauffe et la rétroaction, cette sortie sous forme de jet de l'énergie d'un trou noir pour effectuer une production de galaxies. **Le trou noir serait à l'origine autant de la matière noire que des galaxies.**

Mais de quoi est constituée cette matière noire ?

Dans la section 2, nous avons conjecturé que l'origine de la matière noire était due à la rétraction latérale des trous noirs. Pour en découvrir la nature en rapport avec les trous noirs, il semble inévitable de passer par la physique quantique. Le développement de la physique nucléaire et des technologies a montré que les particules élémentaires sont transformables. Toutes les particules sont constituées d'énergie et représentent les différentes formes que doit emprunter l'énergie pour devenir de la matière [41]. Les trous noirs de masse intermédiaire pourraient se comporter dans la pratique comme des **accélérateurs de création de matière noire** et modifient fortement la répartition de la matière noire dans leur voisinage.

En 1818, Fresnel mit en évidence que la lumière était une onde. Il imagina l'éther comme support universel pour se propager. Einstein déclara que l'éther n'existait pas après les échecs des expériences pour vérifier que la vitesse de la lumière obéit à la loi galiléenne de composition des vitesses. Aujourd'hui, selon les cosmologistes, plus de 80% de la matière est sous une forme non baryonique. Ils pensent que la matière noire emplit le cosmos, perturbe le mouvement des galaxies, incurve la lumière sur son trajet. Les expériences pour en préciser la nature et les propriétés ont échoué. Ils avouent n'avoir aucune idée précise de la forme sous laquelle elle se trouve.

3,1 La matière noire ne serait pas si noire que cela.

Supposons que la matière noire, de densité plus faible que la matière baryonique, soit chassée vers les périphéries par la force centrifuge du trou noir en rotation, et qu'elle se trouve entre le disque d'accrétion formé de matière tombant vers le trou noir et le vide dit absolu [2]. Que verrions-nous d'une telle matière noire plongée dans le vide ? Émettrait-elle un quelconque rayonnement ? Suivant les idées classiques de la relativité générale, elle subirait des effets gravitationnels attirant la matière ordinaire et tournerait avec le disque d'accrétion dans le cas d'un trou noir en rotation. La matière noire, pas plus que le trou noir, ne produit aucun rayonnement selon la théorie de la relativité générale. Le verdict de cette dernière est clair mais ne prend pas en compte la mécanique quantique pour qui le *vide* ne peut jamais être complètement vide. Si l'on observe une petite région du vide, la position est connue avec précision et, par suite des relations d'incertitude de Heisenberg, la vitesse (ou l'impulsion) doit être incertaine. Cela signifie qu'il y a des *fluctuations du vide* sous la forme de particules animées de grande vitesse. D'après les calculs de Stephen Hawking [42], certaines des particules constituant les fluctuations du vide tombent dans le trou, alors que d'autres s'échappent sous forme de rayonnement. En fait, un trou noir émet du rayonnement électromagnétique (et donc de la lumière) exactement comme n'importe quel corps émet de la lumière quand on le chauffe. On peut ainsi parler de la température d'un trou noir. Mais n'en sera-t-il pas de même pour la matière noire entre le trou noir et le vide soumis au champ gravitationnel toujours intense de ce trou noir ? En lui attribuant une température bien définie, on pourrait aussi construire une théorie cohérente de la matière noire dans le cadre de la thermodynamique et de la mécanique statistique. Comme n'importe quel corps à cette température, elle devrait émettre des photons de haute énergie (rayons gamma) ou des neutrinos.

Outre les trous noirs (de masse stellaire, de masse intermédiaire, supermassifs), d'autres objets stellaires peuvent, en principe, interagir avec la matière noire. Si la densité de matière noire est assez élevée, comme au centre des halos galactiques, voire dans les mini-halos primordiaux où les premières étoiles se sont formées, la possibilité existe que le taux de création des particules de matière noire s'accroisse dans la périphérie des étoiles au point d'injecter, au cœur des étoiles situées dans ces environnements extrêmes, assez d'énergie pour modifier leur structure et leur évolution [41].

3,2 Superposition d'états

La physique quantique permet aussi d'imaginer l'existence des *superpositions d'états* : si un système possède plusieurs états quantiques possibles, il peut non seulement se trouver dans l'un d'eux, mais il peut également se trouver dans un état hybride à partir de ces états de base, une « superposition cohérente » de ces états. **On peut citer le cas d'un atome se trouvant dans la superposition d'un état noir et d'un état brillant.** Les progrès expérimentaux ont permis au milieu des années 1980 l'observation de la fluorescence d'un atome unique : on a observé qu'un ion unique piégé évolue aléatoirement entre des périodes où il est invisible et des périodes où il fluoresce intensément. Sous l'effet d'un laser de couplage, l'ion est dans une superposition linéaire de deux états, brillant et noir. Si on l'éclaire par un laser sonde auxiliaire, l'ion dans l'état brillant diffuse de nombreux photons détectables, alors que dans l'état noir aucun photon du laser annexe n'est diffusé. Un tel comportement a été observé avec des objets microscopiques (électrons, photons, atomes, molécules, ou mésoscopiques (courants électriques dans les nanocircuits) [43].

Rien ne l'interdit *a priori* avec des objets macroscopiques dans le formalisme quantique [44]. Les supraconducteurs et superfluides sont des systèmes qui, bien que macroscopiques, ont un comportement quantique. Si l'on observe un comportement quantique avec des objets de plus en plus gros, où se situe la frontière ? Schrödinger en a donné une illustration amusante sous la forme du chat qui pourrait être à la fois mort et vivant, deux états incompatibles. Pourquoi dans le monde réel de la matière, n'est-on pas en train d'observer la superposition cohérente des états de la matière noire et de la matière baryonique brillante ? Pourquoi 25% de la densité critique de la matière de l'univers ne serait-elle pas l'état de la matière noire non baryonique ? De là peut être l'idée de supersymétrie qui associe à chaque boson un fermion et vice versa.

Les physiciens invoquent la « décohérence quantique » pour expliquer l'impossibilité d'une superposition d'états d'objets macroscopiques. La décohérence doit se manifester dès qu'un système quantique interagit avec le monde extérieur. **Prenons l'exemple d'un AGN dont les jets sont braqués vers des régions noires, considérées matière noire (et non des gaz d'hydrogène ou d'hélium). Si les jets sont assez puissants ne pourraient-**

ils pas provoquer une incohérence quantique ? La matière se mettrait alors à briller comme une matière ordinaire. (Ne pas confondre avec l'allumage d'étoiles par des gaz chauffés par les jets).

Cependant, aucune des nombreuses solutions proposées à l'heure actuelle ne fournit d'explication satisfaisante à l'intégralité des observations. Cette anomalie nous force à revoir notre approche de la cosmologie et de la physique. Notre piste nous conduit aux particules constituées de matière ordinaire (ou matière baryonique), mais qui ne seraient pas visibles (quarks). Le rapport suggéré entre matière ordinaire et matière noire ressemble au phénomène de transition de phase.

3,3 Transitions de phase

La cosmologie des premiers instants après le big bang fournit un cadre pour comprendre comment, grâce aux changements de phase, l'intensité et l'influence des trois forces sur la matière ont commencé à diverger. Les physiciens pensent qu'entre le temps de Planck et le centième de seconde après le big bang l'univers se serait comporté d'une manière semblable, traversant au moins deux transitions de phase. Aux températures supérieures à 10^{28} degrés Kelvin (K), les trois forces non gravitationnelles apparaissent comme une seule force, présentant le plus haut degré de symétrie possible. Lorsque la température est descendue au-dessous de 10^{28} K, la symétrie entre les forces aux plus hautes températures a été brisée avec le refroidissement de l'expansion. La force forte s'est séparée. Les forces faible et électromagnétique sont restées liées, l'univers s'est refroidi jusqu'à 10^{15} K – environ cent millions de fois la température au cœur du Soleil – lorsqu'il a subi la seconde transition de phase : les forces faible et électromagnétique se sont détachées de leur union précédente plus symétrique. Ces deux transitions de phase sont à l'origine des trois interactions non gravitationnelles qui se sont cristallisées de manière différente [45].

Et à l'autre extrémité, l'univers en expansion et en refroidissement est actuellement à une température de $2,7^0$ K ($-270,45^{\circ}\text{C}$). À une température très basse on assiste aussi à une transition de phase pour la supraconduction et la superfluidité. La supraconductivité, c.-à-d. la disparition de la résistivité électrique de certains conducteurs, survient à des températures proches du zéro absolu ($-273,15^{\circ}\text{C}$), et la superfluidité de l'hélium liquide, c.-à-d. le saut

brusque de l'hélium gazeux à l'hélium liquide et la disparition de sa viscosité, se déclenche en dessous de la température critique d'environ $2,18^{\circ}$ K (soit $-270,97^{\circ}\text{C}$). Tout comme pour l'effet photo-électrique, le laser, le transistor, etc., la mécanique quantique permet de comprendre ces propriétés exotiques de la matière : ce sont des **conséquences du condensat de Bose-Einstein, la condensation de toutes les particules en une seule onde de matière géante** [46, 43].

Entre ces deux extrémités, la transition de phase désigne les changements parmi les états fondamentaux de la matière : solide, liquide et gazeux et, dans de rares cas, plasma. Ces phénomènes relèvent de l'ordinaire. Par exemple, l'eau peut se présenter sous forme solide, liquide et gazeuse. L'eau qui se transforme en glace entraîne une réduction de la symétrie de rotation et l'eau qui se transforme en vapeur possède encore plus de symétries. Bien que les transitions de phase de l'eau induisent des changements abrupts de la symétrie, les transformations des phases de l'eau de l'une en l'autre sont les transitions de phase d'une même substance. La matière ordinaire et la matière noire représenteraient deux phases de la même substance. Dans cet exemple simple de transition de l'eau, H_2O est un gaz si on part au-dessus de cent degrés Celsius. Sous cette forme, le système possède plus de symétries que l'eau puisque les molécules libérées ne sont plus collées les unes aux autres. En abaissant la température au-dessous de cent degrés, la symétrie est réduite et on assiste à une transition de phase du gaz au liquide. Lorsque l'on passe à zéro degré Celsius, la transition de phase eau liquide à eau solide induit une diminution abrupte de la symétrie [45].

3,4 Changement d'état

La matière noire ne serait jamais qu'un **changement d'état** et, lorsque l'onde macroscopique est constituée à une certaine **température seuil excessive** (point λ), toutes les particules de la matière considérée vont se mettre en phase sur une même onde et constituer **une phase cohérente**. Tandis que, dans une matière ordinaire, on verrait la chaleur produite *diffuser* de proche en proche, et l'élévation de température s'uniformiser peu à peu en gommant les variations de la source, au contraire dans le « nucléon supradiffusé », on voit se propager une onde qui transporte sans les atténuer, les variations périodiques de la source. En somme, la chaleur, qui n'était que désordre, devient elle-même organisée. Alors que, d'ordinaire, elle diffuse, et se répand

comme une vapeur qu'on souffle, elle se propage ici d'une manière ondulatoire, comme un son [43]. En fait, cela ressemble à un **soliton** qui est une onde solitaire qui se comporte comme une « particule », en ce sens qu'après la collision avec un autre soliton, l'amplitude, la forme et la vitesse sont conservées. C'est une « onde de translation » (une onde de gravité qui se propage dans la direction du courant) localisée résultant d'un équilibre entre effets non linéaires (système dans lequel la variation de la sortie n'est pas proportionnelle à celle de l'entrée) et dispersifs [47, 48].

3,5 Rupture de symétrie et appariement

Nous constatons que lorsqu'il y a une compression et une chaleur excessives des hadrons, cela ressemble aux transitions de phase de l'univers primitif, chaud et dense. Et lorsqu'il y a une compression et un refroidissement excessifs des hadrons, cela ressemble aux transitions de phase de l'univers froid actuel. Dans les deux cas il y a des températures seuil accompagnées d'une rupture de symétrie. On peut imaginer que lorsqu'il y a rupture de symétrie à une température seuil, le quark et l'antiquark vont dans la même direction, à la manière de l'état de paire de Cooper responsable de la supraconductivité. Un électron dans un métal est repoussé par les autres électrons en raison de leurs charges similaires, mais il est attiré par les ions positifs, de telle manière que d'autres électrons seront également attirés. Il y a appariement lorsque l'interaction entre électrons due aux ions déplacés surpasse la répulsion électronique. La charge électrique des électrons est en même temps écrantée par les ions positifs, ce qui diminue leur force effective ressentie à distance [49]. Dans le cas d'une compression et chaleur excessives des hadrons qui ressemble aux transitions de phase de l'univers primitif, on peut expliquer de façon analogue **l'appariement** du trio de quarks au point λ : le quark est lié aux autres quarks en raison de leur charges de couleur différentes qui changent constamment, mais il est attiré par les **antiquarks virtuels** constituant le vide quantique du nucléon. Ces antiquarks tendent à s'agglutiner autour d'un quark de la couleur appropriée ; un quark rouge attire ainsi un nuage d'antiquarks antirouges. Cela provoque une « polarisation » du vide, c.-à-d. un déplacement net de la charge colorée qui crée autour du quark une sorte d'écran. Le résultat devrait être, comme dans le cas de l'électromagnétisme, une neutralisation partielle de la charge de « couleur » qui diminue la charge de « couleur » du quark central. Mais la contribution supplémentaire des gluons renverse la donne : les gluons virtuels du vide sont

colorés et répondent à la présence d'un quark. **Il se trouve que le manteau de gluons se comporte à l'inverse du manteau de quarks, et renforce la charge de « couleur » du quark central au lieu de la neutraliser.** Les gluons virtuels s'opposent donc aux quarks virtuels, et le calcul indique que les gluons l'emportent et que **la charge de « couleur » d'un quark est *augmentée* par le vide et non diminuée.** Le résultat net est que la charge effective de couleur augmente avec la distance au lieu de diminuer. Ce qui explique pourquoi l'appariement des quarks tient avec le temps [50]. Et aussi pourquoi on aurait une onde macroscopique de matière noire.

3,6 Discussion : onde quantique macroscopique de matière noire

La matière noire observée en tant qu'une résultante de comportements collectifs ne peut que soulever des interrogations qui mettent en évidence des aspects qui réclament une théorie plus évoluée [43], comme par exemple, une liberté absolue qui outrepasserait la liberté asymptotique. La liberté asymptotique est le concept selon lequel les charges de couleur effectives, qui gouvernent la puissance de l'interaction forte, deviennent plus petites à courte distance. Supposons qu'un ensemble de quarks non loin de la liberté asymptotique (c.-à-d. avec une valeur finie faible de la charge colorée lorsque la distance à un quark se rapproche de zéro) est davantage réchauffé, ne pourrait-on pas raisonnablement s'attendre à ce que ces quarks deviennent de plus en plus libres, sans résistance aucune et se comportent comme des quarks libres dans la matière ordinaire ? Il ne semble pas y avoir de quarks libres dans la matière ordinaire. L'idée est que lorsque la distance jusqu'à un quark se rapproche de plus en plus de zéro, la charge de couleur effective au plus profond de son nuage se rapproche de plus en plus de zéro, mais n'y parvient jamais.

Comment peut-on prétendre qu'il y a un appariement durable des quarks alors que les quarks et les gluons isolés ne sont jamais observés ? Même si les quarks et les gluons isolés ne sont jamais observés, les expérimentateurs ont pu les voir à travers les flux qu'ils induisent. Ce sont des jets observés comme produits de collisions à haute énergie dans les accélérateurs. Des faisceaux d'électrons et de positons, circulant dans des directions opposées, ont été accélérés par la machine LEP jusqu'à atteindre des énergies énormes. Les deux faisceaux se sont croisés en quelques points, où des collisions se sont produites. Le Grand collisionneur de hadrons (LHC), qui utilise des protons

au lieu d'électrons et de positons, a fonctionné à des énergies plus élevées. La comparaison entre les prédictions théoriques et les résultats expérimentaux de centaines de millions de collisions a été faite avec précision et de manière détaillée. La liberté asymptotique leur a permis d'interpréter les jets comme la manifestation visible des quarks, antiquarks et gluons sous-jacents [51].

À courte distance, la force entre quarks est donc abolie, ce qui est le contraire de ce qui se passe dans l'électromagnétisme. Mais une charge de couleur nulle signifie une liberté complète approchée mathématiquement de manière asymptotique, ce qui signifie que lorsque la distance à un quark se rapproche de zéro, la charge de couleur effective au plus profond de son nuage se rapproche de zéro, mais n'y parvient jamais. C'est le comportement requis pour expliquer l'esclavage des quarks. Et qui pourrait expliquer la stabilité de l'onde macroscopique de matière noire.

4 Étoile à neutrons, étoile à quarks et étoile à bosons

La compression extrême de la matière baryonique au cœur des étoiles hypercondensées **transformerait l'état de la matière ordinaire en matière noire grâce à des transitions de phase quantiques. À une température seuil, avant de s'effondrer dans le trou noir, une coalescence aurait lieu** : les atomes de paires de fermions obéiraient alors aux mêmes statistiques quantiques que les photons et les paires d'électrons. Les gluons reliant les deux baryons d'un **dibaryon** seraient renforcés par des gluons virtuels. La matière noire serait composée de quarks quasi libres toujours soumis au principe de Confinement. La transformation de l'état baryonique à l'état bosonique réduit l'énergie de Fermi du système, le rendant très instable dans des conditions de pression et de température élevées. À un moment donné, la croûte de matière ordinaire constituant la pression de dégénérescence de la mécanique quantique devient une **supradiffusion** et l'emporte sur la gravité. Et la matière noire nouvellement formée serait supradiffusée dans l'espace sous la forme d'un **soliton**.

4,1 Étoile à neutrons

Une étoile peut devenir une naine blanche lorsque ses électrons constitutifs dégénèrent. Lorsque les électrons sont regroupés, le principe d'exclusion force la plupart d'entre eux à une vitesse élevée. Ce mouvement engendre une

pression dégénérée capable de maintenir une étoile contre l'effondrement gravitationnel [52].

En tenant compte de formules quantiques, l'énergie cinétique moyenne par électron est $(h^2 N^{2/3})/m_e R^2$. À cette énergie répulsive s'oppose l'énergie gravitationnelle par noyau, $(G N m_H^2)/R$. L'équilibre est réalisé lorsque les deux énergies sont égales

$$(h^2 N^{2/3})/m_e R^2 = (G N m_H^2)/R. \quad (9)$$

(m_e : masse de l'électron; N : nombre de noyaux atomiques; m_H : masse du proton ; R : rayon de l'étoile; M : masse de l'étoile)

De cette formule découle la formule pour calculer la taille d'une naine blanche

$$R = h^2/[G m_e m_H^2 (M/m_H)^{1/3}]. \quad (10)$$

Sachant qu'une naine blanche a environ la masse du Soleil ($2 \times 10^{30} \text{ kg}$), on trouve une valeur de son rayon de l'ordre de 6 000 kilomètres, c.-à-d. la dimension de la Terre.

Une étoile à neutrons est analogue à une naine blanche, dans laquelle la pression dégénérée entre les neutrons, plutôt que celle des électrons, fournit la force qui s'oppose à la gravité. L'équilibre d'une **étoile à neutrons** obéit formellement aux mêmes lois, à ceci près que le degré de compacité est tel que nous n'avons plus affaire qu'à des neutrons de masse m_H . Il suffit de remplacer m_e (masse de l'électron) par m_H , dans la formule (10), pour obtenir le rayon d'un tel objet.

$$R = h^2/[G m_H m_H^2 (M/m_H)^{1/3}]. \quad (11)$$

On trouve une valeur un millier de fois plus faible, de l'ordre d'environ 2 kilomètres ou à peine un peu plus. La masse par unité de volume est, elle, un *milliard* de fois plus grande, de l'ordre de la densité du proton lui-même. La densité moyenne du noyau atomique est $\rho = M/V \simeq 2 \times 10^{14} \text{ g/cm}^3$, ce qui représente 10^{38} nucléons/ cm^3 [53].

Les étoiles à neutrons semblent stables, autant que l'atome d'hydrogène. Mais sommes-nous parvenus à un état de condensation maximale ? Il semble que non pour la relativité générale. Selon les standards normaux de cette dernière, la pression dégénérée ne pourrait se poursuivre indéfiniment et ferait place à un effondrement gravitationnel que plus rien ne pourrait arrêter et qui, déchirant, en quelque sorte, l'étoffe de l'espace-temps, créerait un « bord temporel », c.-à-d. une singularité, frontière où l'espace-temps cesse d'exister. **La mécanique quantique a-t-elle été vraiment vaincue ? Nous pensons qu'elle a le dernier mot dans certains cas. Nous avançons que la matière baryonique pourrait se transformer en matière noire dans les étoiles à neutrons.** Suite à l'instabilité créée par l'énergie de mouvement des neutrons à vitesse relativiste, une phase de transition quantique se produirait. L'énergie cinétique relierait les hadrons deux à deux et les doterait d'un comportement de boson. Avant que des protons et neutrons de l'étoile à neutrons se transforment en plasma quarks-gluons, des baryons de ces couches de matière ordinaire s'apparieraient pour se transformer en onde de matière noire.

Ainsi, le comportement de boson des fermions assemblés fait que le rayon de répulsion quantique qui s'oppose à la gravitation devient une onde dirigée vers l'extérieur. Comme si le rayon augmentait. Une énergie noire (ne pas confondre avec l'énergie noire de la constante cosmologique) croît ensuite tandis que le rayon gravitationnel cesse de décroître vers l'effondrement fatal. L'énergie de la gravitation se transforme pour alimenter cette supradiffusion.

La conclusion est qu'un fait nouveau peut intervenir avant qu'un point de bascule entraîne la chute de l'étoile sur elle-même. Lorsque la température et la pression atteignent une valeur seuil, une transition de phase se produirait qui transforme deux baryons (fermions) en un dibaryon (six quarks) [54] ayant les propriétés d'un boson. Une température « critique » induit un changement d'état de la matière qui devient une *onde quantique macroscopique de matière "noire"*. Entre alors en jeu en quelque sorte une « **dispersion de Bose-Einstein** » (inverse d'un condensat de Bose-Einstein) [55] qui aurait l'effet d'une explosion noire supradiffusant une onde de matière noire dans une espèce de bulle.

4,1,1 Discussion : comment les étoiles à neutrons se transforment en matière noire

Pour concevoir cette onde quantique macroscopique de matière noire, il faut considérer qu'au niveau quantique, une même réalité peut présenter, au travers de phénomènes différents, des aspects contradictoires et complémentaires. L'être quantique est un être hybride, mi-corpuscule mi-onde — un « corpusonde ». Il n'est ni une onde ni un corpuscule, mais il peut être impliqué dans des phénomènes ondulatoires et dans des phénomènes corpusculaires, et c'est au travers de la complémentarité de ces deux catégories de phénomènes que peut se dessiner l'objectivité quantique. Encore faut-il pour y parvenir disposer d'outils théoriques, de concepts opératoires. Cette **dualité onde-corpuscule** a amené Louis de Broglie à associer à un faisceau d'électrons une onde, dite onde de de Broglie, avec les relations simples :

$$\lambda = h/p \quad (12)$$

$$v = E/h \quad (13)$$

C'est l'analogie entre les interférences observées avec un faisceau d'impulsion $\vec{p}$ et d'énergie cinétique $\vec{E}$, et celles observées avec une onde plane électromagnétique de longueur d'onde λ et de fréquence v , qui a conduit à cette fonction d'onde.

Suivant Hawking [42], un trou noir émet du rayonnement électromagnétique et a une température d'un trou noir. N'en sera-t-il pas de même pour la matière noire entre le trou noir et le vide soumis au champ gravitationnel de ce trou noir ? Ne pourrait-on pas ainsi construire une théorie de la matière noire dans le cadre de la thermodynamique et de la mécanique statistique ? On pourrait imaginer une onde quantique de matière noire représentée par un nombre complexe dépendant du temps t et de la position $\vec{r}$, en analogie avec une onde électromagnétique :

$$\psi \propto e^{-i(Et - \vec{p} \cdot \vec{r})/h} \quad (14)$$

(Faisceau d'impulsion $\vec{p}$ et d'énergie cinétique $\vec{E}$)

De même qu'en électromagnétisme il faut sommer les amplitudes (ce qui entraîne des interférences) puis prendre le module carré pour avoir la densité d'énergie. Ces fonctions d'ondes, complexes, sont des amplitudes de probabilité. Pour un phénomène pouvant se produire par plusieurs voies

indiscernables, l'amplitude de probabilité totale sera la somme des diverses amplitudes, et la probabilité sera le module carré de l'amplitude totale [46].

4,1,2 Vu sous l'angle de l'onde, ce phénomène se produit en l'absence de toute force : il n'est pas causé par les interactions entre particules, comme la transition de phase de l'eau à la vapeur ou à la glace. Ainsi, si on augmente la température des nucléons, leur agitation augmentant, les longueurs d'onde associées au mouvement vont diminuer et les nucléons entreront en collision et seront déviés. Mais en même temps, la charge de couleur s'affaiblit, les longueurs d'onde associées aux quarks vont s'allonger et les quarks pourront se diffracter les uns sur les autres. Alors, ils pourront se traverser mutuellement, sans se gêner les uns les autres, et ils poursuivront leur route sans avoir subi de choc véritable. Il peut s'ensuivre qu'au-dessus d'une certaine température, on pourrait constater une brusque « chute de résistance », qui résulte des propriétés ondulatoires de la matière [49].

Ainsi, on aurait donc au-delà de la liberté asymptotique des quarks **une onde quantique de matière noire**, au lieu d'une anarchie. **Une fraction importante des quarks se répand dans une onde quantique globale. Cette transition de phase est due à l'indiscernabilité des quarks qui sont susceptibles de se superposer pour constituer une onde macroscopique de matière noire.**

Cette onde macroscopique de matière noire constitue un système en interaction très faible avec la matière ordinaire. Malgré cela il peut posséder des comportements dynamiques : **il peut présenter des oscillations dans le noir ou des comportements temporels plus complexes, ou encore être dans un état stationnaire, c.-à-d. invariant au cours du temps.** Considérons l'exemple d'un avion dont on a asservi la trajectoire à l'aide d'un pilote automatique : tant que l'asservissement fonctionne, l'avion est dans un état stationnaire dues aux fluctuations atmosphériques qui sont corrigées en permanence par l'asservissement. Ce mécanisme de régulation est un phénomène non linéaire. On conçoit que l'état stationnaire ainsi obtenu, qui présente une frontière vis-à-vis l'atmosphère, peut aussi décrire la limite entre la matière noire et la matière ordinaire [43].

4,1,3 Vue de la physique des particules, les quarks sont des fermions qui ont un spin de $1/2$. Pour un état de baryon de spin $3/2$ (Ω^-) dans une direction donnée, les trois quarks de même saveur doivent être dans le même état : projection du spin dans cette direction égale à $1/2$. Une telle configuration est interdite par le principe d'exclusion de Pauli : deux fermions (et encore moins trois fermions) ne peuvent être dans le même état quantique. Pour résoudre ce paradoxe on a introduit une symétrie interne de couleur. Chaque saveur de quark existe en trois couleurs. Les trois quarks qui constituent le baryon de spin $3/2$ dans une direction donnée sont identiques du point de vue de la saveur et du spin, mais ils diffèrent par leurs couleurs.

On imagine que des quarks qui n'obéissent pas au principe d'exclusion de Pauli, bien que de spin $1/2$, sont « des para-fermions ». Ils conservent leurs caractères exotiques, charge fractionnaire, confinement, couleur, **mais ils diffèrent par leurs directions (spins)**. En fait, c'est lors de la transition de la matière ordinaire en matière noire que des paires de fermions forment des bosons de spin entier [46].

Des scientifiques avancent que la matière noire, serait constituée d'hexaquarks [56, 57], une particule qui comprend six quarks ou antiquarks de n'importe quelle saveur. Six quarks ainsi assemblés pourraient produire une particule dotée d'une charge de couleur nulle. Par exemple, l'hexaquark pourrait contenir six quarks qui proviendraient de deux baryons très fortement liés (un dibaryon), ou trois quarks et trois antiquarks [58]. Selon le modèle standard de la physique des particules, les dibaryons seraient stables une fois formés. En 2014, un dibaryon potentiel a été détecté au Centre de recherche de Jülich, d'une énergie d'environ 2 380 MeV, résultat qui confirme des observations de 2011[59, 60]. Cette particule, qui a existé durant 10^{-2} secondes, a été nommée « $d^*(2380)$ » [61]. On pense que cette particule est composée de trois quarks up et de trois quarks down. Elle a été proposée comme constituant de la matière noire [62, 63, 64].

Il existe une théorie selon laquelle des particules étranges telles que les hyperons [65, 66] et les dibaryons [67, 68] pourraient se former à l'intérieur d'une étoile à neutrons, modifiant son rapport masse/rayon d'une manière qui pourrait être détectable. En conséquence, les mesures des étoiles à neutrons pourraient établir des contraintes sur les propriétés possibles des dibaryons

[69]. Certains pourraient penser qu'une grande partie des neutrons d'une étoile à neutrons pourrait se transformer en hypérons et fusionner en dibaryons au début de son effondrement en trou noir. Ces dibaryons se dissoudraient rapidement dans le plasma quark-gluon pendant l'effondrement.

Selon nos vues, ces dibaryons passeraient plutôt dans un état de matière noire, au lieu de se dissoudre dans un plasma quark-gluon. Le système des particules discernables aurait atteint une pression et une température de dégénérescence qui rendrait les particules indiscernables, c.-à-d. qu'elles obéiraient apparemment aux effets des statistiques de Fermi ou de Bose. À cette température de dégénérescence, les hadrons s'assemblent en dibaryon, ou forment ce qui ressemble à des molécules d'hydrogène. Cet appariement de deux baryons en un dibaryon, ou de trois quarks et trois antiquarks en un hexaquark, formerait un boson, auquel le principe d'exclusion de Pauli ne s'applique pas, permettant l'existence d'une population occupant le même état [70]. Ces bosons noirs de spin entier (0, 1) correspondent à un champ scalaire dont la valeur moyenne n'est pas nulle dans le vide. Ce champ est responsable de l'anti-écranage : lorsque la distance à un quark se rapproche de zéro, la charge de couleur effective au plus profond de son nuage se rapproche de plus en plus de zéro, mais n'y parvient jamais. La liberté asymptotique devient une forme de « polarisation du vide », dans laquelle l'espace vide fait écran à une charge imposée. Cette grille provoque une action correctrice en sens contraire des particules virtuelles. Un subtil effet de rétroaction.

La tendance pour toutes les paires de fermions d'un corps à se diffuser dans le même état quantique fondamental est responsable des propriétés particulières de **supradiffusion**. Ce terme peut se traduire par une répulsion à des distances petites ou moyennes, par expansion-diffusion qui conduirait la substance du quasi-trou noir vers un type voisin de l'univers plat.

4,2 Étoile à quarks

4,2,1 La matière quasi-chromodynamique qui se transforme en matière noire dans les étoiles à quarks

D'après des considérations théoriques générales, l'intérieur d'une étoile à neutrons devrait avoir une croûte solide et un noyau liquide, voire un superfluide, pratiquement dépourvu de viscosité. La pression exercée par la «

matière nucléaire » à des densités avoisinant 10^{14} grammes par centimètre cube n'est pas connue avec précision. Au cœur même, où la densité peut atteindre plusieurs fois 10^{14} grammes par centimètre cube, la nature de la matière est encore plus incertaine. Il est possible que le mélange de particules élémentaires du cœur d'une étoile à neutrons se condense en « pépites de quarks » – un solide composé de fragments de protons et de neutrons émiétés. Ces pépites de quarks suggèrent la transition d'une étoile à neutrons en une étoile à quarks, composée principalement de quarks. Une étoile à quarks serait analogue à une étoile à neutrons, dans laquelle la pression dégénérée entre les quarks, plutôt que celle des neutrons, fournit la force qui s'oppose à la gravité [52].

4,2,2 Les étoiles à quarks et la matière chromodynamique

En 1965, les physiciens soviétiques D. Ivanenko et D. Kurdgelaidze [71] montrent qu'à l'intérieur d'une étoile à neutrons, si la pression est suffisamment élevée, les neutrons dégénérés peuvent alors s'effondrer en libérant leurs quarks. Une telle matière composée de quarks libres est appelée « **matière chromodynamique** ».

En effet, au centre d'une étoile à neutrons, les conditions de pression et température sont si extrêmes que les neutrons sont confinés les uns contre les autres. En vertu du principe d'exclusion de Pauli, il arrive un moment où les neutrons ne peuvent se rapprocher davantage ; une pression de dégénérescence apparaît alors et s'oppose à la contraction gravitationnelle de l'étoile. Si la masse de l'étoile à neutrons augmente encore, l'équilibre est rompu, la gravité surpasse la pression de dégénérescence et théoriquement, les neutrons, composés de quarks up et down, pourraient s'effondrer et fusionner en libérant leurs quarks. Le cœur de l'étoile deviendrait alors un liquide dégénéré de quarks déconfinés, qui se comporterait comme un liquide de Fermi. **On aurait alors une étoile à quark hybride, composée à la fois de neutrons et de quarks.** Une telle étoile se situerait à mi-chemin entre l'étoile à neutrons et le trou noir, tant sur le plan de la masse que sur le plan de la densité. La matière chromodynamique possède alors une énergie de Fermi (énergie du plus haut état quantique occupé) très élevée, la rendant fortement instable [72].

Que peut-il se passer alors ? Présentement deux options s'offrent. Nous en proposons une troisième.

La première option considère qu'une étoile à quarks n'ayant donc qu'une durée de vie extrêmement brève se dissocierait presque instantanément lors d'une transition de phase chaotique et s'effondrerait en trou noir dans les règles de la relativité générale.

La deuxième considère que la matière chromodynamique pourrait exister de manière stable sous de fortes pressions et températures, comme celles régnant au centre d'une étoile à neutrons. D'où l'idée des **quarks strange et des étoiles étranges**. En 1971, le physicien Arnold Bodmer démontre que la matière nucléaire peut s'effondrer en matière étrange stable [73]. En 1984, Edward Witten en fait lui aussi la démonstration en ajoutant que cette stabilité peut s'obtenir sous une pression critique nulle [74]. Cette hypothèse connue sous le nom « hypothèse de Bodmer–Witten » autorise l'existence d'« étoiles étranges » stables. Witten a démontré qu'elles pourraient s'être formées dans les premiers instants de l'univers, juste avant que le plasma quarks-gluons ne se transforme pour donner les premiers protons et neutrons. Des zones du plasma quarks-gluons auraient pu s'effondrer pour former des étoiles à quarks qui se seraient rapidement transformées en étoiles étranges stables ; celles-ci existeraient théoriquement encore aujourd'hui. En 1994, Fridolin Weber, *et al.* [75] montrent que lors de la transition de phase des neutrons dégénérés en quarks dégénérés, les quarks strange apparaissent pour former un nouvel état stable de matière. La transformation de quarks up et down en quarks strange permet de diminuer l'énergie de Fermi du système, et de le rendre plus stable sous des conditions de pression et température basses. La probabilité de détecter des étoiles à quarks est très faible, en raison de leurs similitudes avec les étoiles à neutrons et de leur instabilité. En 2025, bien que l'on recense certaines possibles candidates, aucune étoile étrange n'a encore été identifiée avec certitude.

La matière chromodynamique est encore peu comprise, et la transition de phase entre la matière neutronique et la matière chromodynamique n'est pas bien connue. Les scientifiques arrivent à recréer le plasma quarks-gluons au LHC, mais uniquement à des températures de l'ordre de 10^{12} K, entraînant sa désintégration quasi-immédiate. Les conditions régnant au cœur d'une étoile à neutrons, c.-à-d. une très haute pression et une température en dessus des 10^{12} K, ne peuvent être recréées artificiellement.

4,2,3 La matière ordinaire qui se transforme en matière noire dans les étoiles à quarks

Nous soumettons une troisième option, celle de la matière baryonique qui se transforme en matière noire dans les étoiles à quarks. Une étoile à neutrons est constituée de plusieurs couches, chacune ayant une composition différente, tandis qu'une étoile à quarks serait constituée de matière chromodynamique (quarks libres), entourée par une croûte extérieure de matière ordinaire.

Ne pourrait-on pas considérer que se produirait à une température seuil, préalablement à un effondrement vers le trou noir et juste avant que les derniers protons et neutrons ne se désagrègent pour se transformer en un plasma quarks-gluons, une transition de phase de l'état normal à l'état de matière noire [44]. Il y aurait alors une sorte de coalescence : les atomes des fermions, composés de deux protons, deux neutrons et deux électrons, dès lors obéiraient à la même statistique quantique que les photons et les paires d'électrons (paire de Cooper). Les gluons qui relient les deux baryons d'un dibaryon seraient renforcés par les gluons virtuels. (À notre avis, ceux-ci font partie de la couche « chromogluonique » qui relie le monde matériel). La matière noire serait en quelque sorte une quasi-matière chromodynamique (quarks non libres) encore soumis au principe de Confinement.

Notons qu'un indice possible pour déceler l'existence possible de bosons piégés à l'intérieur des étoiles à quarks ou des étoiles à neutrons ayant encore une stabilité serait le décalage de fréquence et la présence de nouveaux modes dans le spectre vibratoire des étoiles.

Les lignes de champ de la chromodynamique quantique sont brusquement expulsées de leur cadre. Cette transition de phase serait une sorte de « **dispersion** » à rebours du condensat de Bose-Einstein [43, 55], en raison du réchauffement de quarks au-dessus de la température convenue de liberté asymptotique. La croûte de matière ordinaire (neutrons surtout) qui constituerait la pression de dégénérescence de la mécanique quantique devient une **supradiffusion** et l'emporte sur la gravité.

Et cette matière noire nouvellement formée serait supradiffusée sous forme de soliton. Un soliton est un paquet d'ondes localisé non linéaire, auto-renforçant

et stable. Il conserve sa forme tout en se propageant librement à vitesse constante et la retrouve même après des collisions avec d'autres paquets d'ondes localisés. Sa stabilité peut être attribuée à une annulation équilibrée des effets non linéaires et dispersifs dans le milieu [47, 76].

4,3 Étoile à bosons

Un cas d'intérêt astrophysique est l'existence possible de matière noire bosonique dans une étoile qui conserve ses caractéristiques de stabilité, après que la composante fermionique de l'étoile se soit transformée en composante bosonique. Ce type de modèle fait référence à l'étoile à bosons qui a suscité l'intérêt dans la littérature spécialisée ces dernières décennies [77- 80]. On peut aussi avoir une étoile mixte à fermions et bosons avec une composante bosonique dominante [81].

La mission astrométrique GAIA a rapporté ces dernières années la découverte d'une étoile semblable au Soleil en orbite rapprochée autour d'un objet sombre, avec un demi-grand axe et une période de 1,4 UA et 187,8 jours respectivement. Si l'objet central était un système d'objets compacts baryoniques non lumineux, tels que des étoiles à neutrons, il serait probablement instable. En revanche, le scénario d'un trou noir central requiert un niveau de réglage fin déraisonnable dans les mécanismes évolutifs habituels. Deux astronomes suggèrent que si l'objet sombre central est un amas stable de particules bosoniques de spin-0, ou spin-1, ce trou noir serait en fait une étoile dite « bosonique » ou un amas de matière noire [82].

En fait, les étoiles à bosons sont des configurations de solitons localisés stables dont le champ scalaire complexe s'est couplé à la gravité. Dans le cas le plus simple, ces étoiles possèdent une symétrie sphérique et peuvent apparaître avec une symétrie $U(1)$ globale, sous forme de blocs de condensat scalaire gravitationnellement liés. Il existe aussi des étoiles à bosons axialement symétriques en rotation, possédant un moment angulaire non nul, et diverses configurations stationnaires multipolaires non triviales sans symétrie continue.

Nous pensons que pour toutes les étoiles hyper-condensées la compression extrême de la matière baryonique au cœur de ces étoiles aurait joué un rôle similaire au froid pour obtenir un condensat de Bose-Einstein qui entraîne la

condensation de toutes les particules en une seule onde de matière géante. **Les étoiles en voie de devenir des trous noirs transformeraient l'état de matière ordinaire en matière noire par des transitions de phase quantiques.** L'étoile à bosons ferait partie de la suite logique de la transformation de la matière baryonique en matière bosonique, comme ce fut le cas pour l'étoile à neutrons et l'étoile à quarks. Elles pourraient toutes perdre leur pression de dégénérescence et être supradiffusées dans l'espace sous forme de matière noire.

La supradiffusion signifie ni la dispersion ni la dissipation puisque ce sont des solitons qui seraient diffusés. Nous proposons que des solitons non topologiques — les « Q-balls » — puissent se former dans l'étoile à neutrons, l'étoile à quarks et l'étoile à bosons. Plus précisément, nous suggérons que des Q-balls provenant d'un champ scalaire complexe mêlées avec des hexaquarks peuvent former naturellement de la matière noire et devenir la matière noire froide par supradiffusion aux échelles cosmologiques. Nous aurions une matière noire sous forme de soliton non topologique [83, 84], avec une symétrie globale conservée mais sans charge topologique conservée [85].

4,3,1 Fausses occurrences des Q-balls primitives

Il a été théorisé que la matière noire pourrait être constituée de Q-balls [86, 87] et qu'elles pourraient jouer un rôle dans la baryogénèse, c.-à-d. l'origine de la matière qui remplit l'univers [88, 89]. On suggère dans les théories des champs supersymétriques [90]), qu'elles pourraient avoir été créées dans l'univers primitif. On a émis l'hypothèse que l'univers primitif avait de nombreuses masses d'énergie constituées de Q-balls qui auraient éclaté en émettant plus de particules de matière que de particules d'antimatière et expliquant ainsi pourquoi la matière prédomine dans l'univers visible [91].

Des chercheurs ont établi que dans le cadre du modèle Λ CDM des Q-balls composites peuvent se former à l'époque radiative et entraîner celle-ci vers l'époque matérielle de l'univers [92]. Ils ont montré que l'interaction entre le champ scalaire complexe et le rayonnement est sans importance dans le bruit de fond Friedmann–Robertson–Walker (FRW). Ils ont obtenu deux conditions pour la formation des Q-balls dans l'univers primordial. Ensuite, ils ont également montré que leur formation à l'époque radiative est robuste en tenant compte des corrections thermiques. Ils ont calculé leur densité numérique à

l'époque dominée par la matière et son taux de formation. À partir de l'égalité matière-rayonnement, ils obtiennent également une masse de 1 eV, bien inférieure à la masse de l'électron [93–95]. Le modèle Q-ball décrit dans leur article suggère qu'elles se forment spécifiquement pendant l'époque dominée par le rayonnement par un mécanisme de solitosynthèse, que leur taux de formation et leur densité numérique dépendent de la charge U(1) globale Q, que les Q-balls très légères peuvent former la phase superfluide de la matière noire à l'échelle galactique par la formation de condensats de Bose-Einstein. D'après eux, les Q-balls millichargées de masse inférieure à 1 eV formées dans l'univers primitif au cours de l'époque dominée par les radiations seraient des candidates à la matière noire responsables de la structure précoce à l'échelle cosmologique.

À notre avis, il est inacceptable que des Q-balls formées spécifiquement pendant l'époque radiative par un mécanisme de solitosynthèse puissent demeurer stables et subsister. Tout d'abord, parce que nous ne croyons pas au modèle lambda-CDM qui sous-tend le Modèle standard de la cosmologie ; nous croyons à un autre modèle cosmologique du Big Bang, comme nous l'avons déjà dit. Ensuite, même si le modèle Λ CDM est possible, il contient un défaut physique dans le domaine gravitationnel. Il est paramétré par la constante cosmologique Λ associée à l'énergie noire. L'étude de la distance de luminosité des supernovas de type Ia implique l'accélération de l'expansion de l'univers et l'existence d'énergie noire.

Or, les Q-balls formées pendant l'époque dominée par le rayonnement par un mécanisme de solitosynthèse sont des bosons. Ces bosons noirs ont une énergie-masse qui est attirée par l'irrésistible gravitation répulsive qui accélère l'expansion de l'univers. Si l'énergie noire a un effet répulsif sur l'expansion de l'univers, les Q-balls ne peuvent qu'être entraînées avec elle. Il n'est donc pas cohérent qu'elles restent stables à côté de la nucléosynthèse et de la production de la matière baryonique ordinaire.

Nous estimons que l'amas de matière noire des étoiles à bosons ne provient pas d'une matière noire qui se serait formée au tout début de l'univers – par baryogénèse, supersymétrie, Q-balls éclatées –, et ne procéderait pas d'un paradigme avec une matière noire constituée de tout un « secteur noir » de particules cachées. Nous optons plutôt pour une matière noire née progressivement après le début de l'univers. **Les étoiles de population III,**

environ 400 millions d'années après le Big Bang, en voie de disparaître en trous noirs, auraient été d'excessifs agents de création de matière noire.

5 Deux formes de matière, une profonde identité : l'hydrogène

Avant de prétendre que la matière ordinaire et de la matière noire aient l'hydrogène comme profonde identité, il semble indispensable de refuser la prétendue matière noire primitive qui aurait existé dès le big bang. Cette idée a été forgée gratuitement pour parfaire un accord souhaité entre la théorie Λ CDM et l'observation des structures des galaxies. La cosmologie actuelle semble s'accommoder d'une théorie se satisfaisant d'une multiplication arbitraire de paramètres bricolés n'importe comment pourvu que le tout « colle » à peu près.

Comme nous l'avons dit à la Section 3, la théorie Λ CDM est erronée. En premier lieu, à cause de la constante cosmologique Λ d'Einstein que certains physiciens croient avoir réhabilitée en lui attribuant une valeur environ 10^{120} plus grande. Selon eux, la densité d'énergie du vide, déduite de la théorie quantique des champs, vaut environ 10^{120} fois la densité de la matière-énergie de l'univers actuel, ce qui correspond à 10^{121} *protons/m³* environ. La valeur de la densité d'énergie du vide serait insensible à l'expansion de l'espace et maintiendrait une valeur constante tout au long de celle-ci. Elle constituerait une énergie noire qui, appliquée par leur grande imagination à une constante cosmologique répulsive dans les équations d'Einstein, posséderait actuellement une densité d'énergie du vide 10^{120} plus grande que ce qu'indiquent les observations astrophysiques. Cette catastrophe du vide est l'inacceptable acceptée [39, 96].

Nous ne croyons pas que la matière noire soit apparue dès le big bang. D'observations en déductions théoriques, les physiciens ont progressivement été convaincus de l'omniprésence de la matière noire dans toutes les régions de l'univers, et qu'elle joue un rôle crucial dans la structuration en galaxies et amas de galaxies. Mais aucune observation ou théorie ne justifie d'emblée son existence. Nous rejetons l'idée que son insensibilité (dans les limites de nos connaissances actuelles) à toutes les interactions avec la matière ordinaire ainsi qu'avec les photons lui aurait permis d'entamer, « de manière cachée »,

la structuration de l'univers, et ce bien avant que la matière ordinaire n'ait eu la possibilité de le faire.

Nous pensons au contraire que la structuration de l'univers aurait été entamée avec la matière ordinaire bien avant que la matière noire n'ait eu la possibilité de le faire.

Considérons des situations qui laissent supposer une matière noire originelle. L'étude fine des courbes de rotation des galaxies spirales par les spécialistes laisse entrevoir la possibilité d'un lien mystérieux entre les étoiles visibles et la matière noire [97, 98]. **Le fait est que le maximum du tracé des courbes de rotation dû aux étoiles atteint un pic et se stabilise dessus comme sur un plateau. Or le niveau de ce plateau est aussi une conséquence du halo de matière noire. Ce qui laisse entendre qu'il y a une sorte de conjuration entre ces deux formes de matière.**

On retrouve également une corrélation étroite entre la forme de la courbe de rotation et la luminosité de la galaxie : les galaxies les plus lumineuses semblent avoir beaucoup moins de matière noire. Par contre, pour les galaxies peu lumineuses, c'est le contraire : la contribution du halo domine et l'essentiel du mouvement paraît dû à la matière noire. Comme si, en définitive, la matière noire venait s'accumuler dans les endroits désertés par la matière lumineuse, et vice-versa.

Pour expliquer l'équilibre observé entre matière sombre et lumineuse (puisque l'une se forme au détriment de l'autre) et régler le problème de la masse cachée au sein des galaxies, une équipe d'astronomes a émis à la fin du vingtième siècle ce scénario :

- 1) Les galaxies seraient composées essentiellement de gaz d'hydrogène. Ce gaz se condenserait en étoiles, pour former des galaxies très lumineuses, dans lesquelles il resterait peu de gaz et donc peu de matière noire.
- 2) Mais dans d'autres cas, le mécanisme de formation d'étoiles serait peu efficace, le gaz serait sous forme diffuse et la galaxie se retrouverait avec très peu d'étoiles.
- 3) Dans les situations intermédiaires, une partie du gaz se condenserait en étoiles, tandis que le reste resterait sous forme de vaste halo.

Voici notre interprétation :

- 1) Nous sommes d'accord pour dire que le gaz d'hydrogène se condenserait en étoiles, pour former des galaxies très lumineuses, dans lesquelles il resterait peu de gaz et donc peu de matière noire.
- 2) Dans d'autres cas où le gaz serait sous forme diffuse et que la galaxie se retrouverait avec très peu d'étoiles, **ce n'est pas parce que le mécanisme de formation d'étoiles aurait été peu efficace mais au contraire parce qu'il aurait été trop efficace. Il aurait rapidement fabriqué les premières étoiles qui auraient vite disparues en étoiles hyper-condensées ou en trous noirs qui auraient fabriqué et émis de la matière noire.** Il n'y avait pas au départ une matière noire originelle.
- 3) Dans les situations intermédiaires, une partie du gaz se condenserait en étoiles, tandis que le reste resterait sous forme de vaste halo [97]. Mais cette matière noire n'émanerait pas du début de l'univers.

Si le scénario apparemment cohérent proposé par les physiciens nous a semblé spécieux c'est essentiellement parce qu'il laisse supposer une matière noire originelle. Selon la théorie de la relation [99, 100], si la matière noire s'accumule dans des endroits où il n'y a pas de matière lumineuse, c'est parce que cette matière noire provient de la dissolution des trous noirs formés à partir des premières étoiles.

Bien que ces premières étoiles n'aient jamais été observées, certains modèles les décrivent comme étant bien plus massives et lumineuses que les astres actuels. En outre, leur source d'énergie pourrait avoir été très différente. Les étoiles classiques ne sont constituées que de matière ordinaire et leur énergie provient de la fusion de noyaux atomiques. En revanche, la vie des premières étoiles aurait été liée à la matière ordinaire accompagnée de champs magnétiques [40]. Cette composante de l'univers, ignorée par la cosmologie, a probablement joué un rôle actif dans la naissance des premières étoiles. *Elle a permis, par des effets gravitationnels, d'accumuler de gigantesques quantités de gaz pour former les étoiles [41].* **Les premières étoiles – celles entre 100 et 140 fois la masse du Soleil, ainsi que celles de plus de 260 masses solaires – achèveront leur évolution en trous noirs** (celles de masse intermédiaire se termineront par une explosion de supernova). **Aussi surprenant que cela puisse paraître, les trous noirs des premières étoiles se comportent comme d'intenses producteurs de**

matière noire. À mesure qu'ils se dissolvent, la matière noire éjectée forme des halos aux côtés de la matière lumineuse. Ce n'est que plus tard que la matière noire accumulée se condense avec l'hydrogène gazeux en étoiles, formant ainsi des galaxies très lumineuses.

Si les galaxies sont composées essentiellement d'hydrogène, et que les phases évolutives « hydrogène-étoile-trou noir-matière noire » en font partie, il y a de fortes chances que l'état de la matière noire ait l'hydrogène comme identité profonde.

5,1 Quelle forme prendrait l'hydrogène qui compose la matière noire ? Il ne peut pas être sous forme atomique, car l'hydrogène atomique (H) émet un rayonnement caractéristique de 21 cm de longueur d'onde, détectable avec un radiotélescope. Il n'est pas non plus sous forme d'hydrogène ionisé, car ce gaz très chaud émet un rayonnement X qui est, lui aussi, détecté par les télescopes spatiaux. Ce qui a permis de constater que si ce gaz est très abondant entre les galaxies, il y en a en revanche très peu au sein même de ces galaxies. Cet hydrogène ne peut pas être sous forme compacte (trous noirs, boules de glace, etc.) puisque les programmes Macho et Eros ont contredit cette hypothèse. Il reste l'hydrogène moléculaire (H_2), c.-à-d. l'association de deux atomes d'hydrogène au sein d'un duo. L'hydrogène moléculaire dégage peu de rayonnement à des longueurs d'onde détectable. Les astronomes arrivent difficilement à estimer son abondance.

Selon nous, il y a cette autre possibilité décrite plus haut. Avec la transition de phase quantique, l'hydrogène moléculaire devient plus que l'association de deux atomes d'hydrogène au sein d'un duo, de la même façon que les atomes d'oxygène se regroupent par paires pour former l'oxygène que nous respirons. C'est plutôt l'analogue d'une paire de Cooper qui est un complexe de deux fermions dans un système de Fermi dégénéré. Les paires de Cooper diffèrent des molécules diatomiques en ce qu'elles se chevauchent fortement et sont automatiquement condensées en Bose [101].

6 Comment un trou noir devient directement de la matière noire

Comme mentionné précédemment, les sources de rayonnement très puissantes trouvées au centre de certaines galaxies, ainsi que les quasars, sont associées à des trous noirs de masse élevée. Le rayonnement n'est pas émis par le trou lui-même, mais par les régions environnantes. Ce sont les jets relativistes de ces rayons qui permettent la création de galaxies, et ce sont les jets latéraux qui permettraient la création de matière noire. Nous avons vu comment les étoiles à neutrons, et même les étoiles à quarks et à bosons, peuvent parfois se transformer en matière noire. Nous montrons ici que, dans de nombreuses situations, le trou noir peut se dissoudre totalement ou partiellement en matière noire.

Un trou noir est une région de l'espace-temps qui ne peut pas être vue par des observateurs distants car la lumière est piégée par un fort champ gravitationnel. La limite de cette région est appelée « horizon des événements », car elle sépare les événements (c.-à-d. ceux à l'intérieur du trou) qui ne peuvent pas être vus des événements à l'extérieur du trou qui peuvent l'être. Des trous noirs peuvent se former, par exemple, à la suite de l'effondrement gravitationnel d'une étoile massive. À mesure que l'étoile se rétrécit dans un horizon d'événements, elle s'effondre sans aucune limite connue, laissant l'espace environnant vide. D'où le terme « trou ». Les trous noirs sphériques (sans charge électrique) sont appelés trous noirs de Schwarzschild. Les trous rotatifs ne sont pas sphériques : ils sont appelés trous noirs de Kerr [70]. Les trous noirs sont restés pendant plus d'un siècle une pure vue de l'esprit jusqu'à ce que le 10 avril 2019, l'équipe de l'Event Horizon Telescope (EHT) dévoile pour la première fois la « photo » d'un trou noir supermassif, celui niché au centre de la galaxie M87 [102]. Pendant longtemps on a dit qu'en principe le trou noir ne pouvait rien émettre. Selon Hawking [42], les radiations peuvent provenir de l'intérieur des portes de l'enfer. Même si la dissolution d'un trou noir devait apparaître comme une chimère, cela ne devrait pas empêcher les recherches théoriques. Un bon point de départ serait de rappeler comment les substances à l'intérieur d'un corps soumis à une haute pression de tous côtés peuvent être transformées en de nouvelles substances aux propriétés différentes.

Lorsque les chercheurs ont compressé le phosphore jaune, celui-ci s'est transformé en une substance noire dotée de nouvelles propriétés physiques, d'un éclat métallique et de la capacité de conduire le courant électrique avec

une facilité inconnue du phosphore. Or, l'analyse chimique a montré que cette substance noire était composée des mêmes atomes que le phosphore jaune. La compression avait donc produit un nouveau phosphore noir. Lorsque les scientifiques ont comprimé la glace, ils ont découvert que la glace familière n'est qu'une des sept variétés. Une autre, obtenue sous haute pression, fond même à des températures négatives, tandis qu'une troisième, obtenue sous une pression de 40 000 atmosphères, ne fond même pas dans l'eau bouillante. Paradoxalement, à côté de la glace froide, il y a aussi de la glace chaude. Les chercheurs savent depuis longtemps que le diamant et le charbon, bien que si dissemblables en apparence et en propriétés, sont en fait constitués du même matériau : le carbone. La nature utilise les mêmes atomes de carbone pour fabriquer le graphite, qui est noir et friable, et le diamant, qui est transparent et le plus dur de tous les matériaux. Deux substances, un matériau.

Une période fertile en surprise a commencé lorsque les chercheurs ont découvert que, soumis à une haute pression, l'étain gris, un semi-conducteur, se transformait en étain blanc, un métal ! Et lorsque le même phénomène se produisit avec le tellure, il devint évident que cette transformation n'était pas due au hasard, mais obéissait à une loi encore inconnue. Soumis à de fortes pressions, une série de métaux se comportèrent de manière plus qu'étrange. Certains d'entre eux devinrent soudain aussi fragiles que le verre, ou aussi mous que le caoutchouc, tandis que d'autres acquéraient, au contraire, la dureté du diamant. Sous une pression de 100 000 atmosphères, le potassium et le rubidium, par exemple, furent réduits, le premier au tiers, ou presque, et le second à la moitié de son volume initial. Dans des conditions ordinaires, le césium est des centaines de fois plus malléable que le diamant, et un morceau de ce métal peut subir une réduction de volume 300 fois supérieure à celle d'un diamant de mêmes dimensions. Mais sous une pression de 30 000 atmosphères, le césium acquiert soudainement une dureté telle qu'à cet égard il cède très peu au diamant, tandis que sa malléabilité devient des milliers de fois moindre. Sous une pression de 100 000 atmosphères, le baryum se contracte plus facilement, mais n'est pas beaucoup plus malléable que le diamant : il se contracte au maximum environ dix fois. Plus la pression est élevée, plus les substances se contractent, plus leurs atomes se resserrent, et plus les phénomènes inattendus sont observés. Comment se fait-il, se demandaient les chercheurs, que la pression rapproche les unes des autres les substances les plus dissemblables, qu'elle transforme les semi-conducteurs en

métaux mous et confère aux métaux mous la dureté du diamant ? En réfléchissant à l'énigme des explosions souterraines qui engendrent les pierres précieuses, les savants sont parvenus à une curieuse conclusion : les diamants se sont peut-être formés à partir de carbone dissous dans de la kimberlite (roche volcanique) fondue. Il est fort possible que sous l'effet de la température élevée et d'une très haute pression, le carbone se soit cristallisé sous forme de diamants.

Pour tirer les choses au clair, les savants radiographièrent les substances étudiées. Les rayons X ont convaincu les chercheurs que la haute pression était capable de rapprocher violemment les atomes de matière. Ils pourraient être comprimés au point de faire disparaître entre eux tous les espaces libres. On n'a pas réussi à obtenir de tels résultats sur la Terre. Pareilles conditions n'existent que dans les étoiles hyper-condensées : naine blanches et étoiles à neutrons. Auxquelles s'ajoutent les hypothétiques étoiles à quarks et à bosons, ainsi que les étoiles à hypérons (baryons autres que le proton et le neutron), si elles existent. Une naine blanche (ou étoile à électrons) a environ la masse du Soleil et un rayon de dimension de la Terre. Le rayon d'une étoile à neutrons est de quelques kilomètres tandis que sa masse par unité de volume est de l'ordre de grandeur de la densité du proton. Alors que pour les naines blanches, les vitesses entre les électrons sont de plus en plus grandes, et ne représentent qu'une fraction de la vitesse de la lumière, dans le cas des étoiles à neutrons, cette vitesse est du même ordre de grandeur que celle de la lumière. À mesure que l'étoile se contracte, en essayant de maintenir l'équilibre entre la force répulsive des neutrons et les forces attractives, les forces d'origine quantique augmentent : les neutrons acquièrent une plus grande énergie cinétique. Mais l'énergie du mouvement signifie aussi la masse, donc l'énergie cinétique supplémentaire, destinée à arrêter la contraction, va au contraire l'accélérer, car elle pèse plus lourd. Rien ne pouvant stopper le mouvement amorcé, l'étoile s'effondre vers la singularité du trou noir où les concepts usuels d'espace, de temps et de matière ne sont plus valables [103, 53].

Quelle est la nature de l'intérieur d'un trou noir avant qu'il n'atteigne la singularité ? *A priori*, les ordres de grandeur de l'échelle de Planck devraient déterminer la singularité apparaissant aux bords de l'espace-temps. À la longueur fondamentale de $\simeq 10^{-35}$ m, les effets quantiques doivent être pris

en compte dans l'interaction gravitationnelle (gravité quantique). De nombreuses études ont tenté de concilier la théorie d'Einstein avec la théorie quantique, dont celles de la théorie des supercordes, qui établissent à cette distance une structure de l'espace-temps qui aurait 10 et 11 dimensions (sinon plus) et non 4. **Mais bien avant d'atteindre cette longueur de Planck, on ne peut exclure des transitions de phase quantiques bien plus « grandes » que la limite de Planck. Elles agiraient comme des « amortisseurs » dans la chute relativiste. Chacune d'entre elles pourrait former une barrière « pré-Planck » et correspondre à la censure cosmique du trou noir conjecturée par Penrose [104].**

La censure cosmique repose sur l'hypothèse selon laquelle les singularités nues n'apparaissent jamais ; essentiellement, la singularité elle-même ne peut pas être vue de l'extérieur. Ce serait une sorte de surface piégée entre l'horizon des événements et la singularité. Probablement à la longueur de Planck $L_P = \simeq 10^{-35} \text{ m}$. **Nous supposons qu'il existe une ou plusieurs autres censures entre l'horizon des événements et la censure cosmique.** Atteignant, par exemple, 10^{-19} m . **La surface piégée de cette censure *pré-Planck* pourrait se traduire par une transition de phase quantique et par le *principe de Confinement*.** Selon ce dernier, les quarks (ou les antiquarks) n'existent pas en tant que particules individuelles. Seuls les plans de corps mésons (quark-antiquark) et baryons (trois quarks) sont autorisés.

La transition de phase quantique marquerait un changement d'état vers la matière noire. Ce mur pré-Planck déclencherait une extension spatiale du trou noir dans l'espace sous la forme d'une « bulle sombre de matière molle » ou d'une « onde macroscopique de matière noire ». Mais comment expliquer cette brèche alors que vu de l'intérieur, un trou noir est entouré par une barrière d'énergie insurmontable ? Il existe en mécanique quantique un processus, conséquence des relations d'incertitude de Heisenberg, permettant que la densité de probabilité d'un objet quantique au-delà de la barrière soit non nulle. On a ainsi un moyen d'expliquer la diffusion de la matière noire du trou noir dans l'espace. Ce phénomène de supradiffusion se produit dans certains trous noirs à très basse température, quand les quarks et les gluons tendent à se séparer mais n'y arrivent pas à cause du principe de Confinement, quand la gravité des hexaquarks tombe presque à zéro et que le trou noir se dissout dans l'espace.

En théorie, lorsque les hadrons d'un trou noir de Schwarzschild sont soumis à une pression et une température froide (le froid contribue à la compression) causées par l'énorme gravité, ils atteignent une température critique à laquelle une transition de phase continue se produit. Cette température est appelée température de dégénérescence parce que pour un système donné de particules discernables, c'est la température caractéristique où elles deviennent indiscernables, en dessous de laquelle les effets des statistiques de Fermi ou de Bose auxquelles elles obéissent deviennent apparents. À des températures bien supérieures à la température de dégénérescence, l'indiscernabilité a peu d'effet [70].

Les hadrons d'un trou noir de Kerr ont accumulé de l'énergie cinétique dans leur « chute ». Ils sont très proches les uns des autres. Il y a coalescence. À l'instant du choc contre le mur pré-Planckien, ils perdent brutalement l'énergie cinétique acquise durant leur chute, par exemple en émettant un rayon gamma. N'ayant plus d'énergie pour se séparer, ils restent alors liés. La cohésion de deux baryons liés s'exprime par leur énergie de liaison [105]. L'énergie perdue au moment de leur assemblage n'a pas empêché l'énergie de mouvement d'augmenter à ce niveau critique où une phase de transition quantique peut se produire : une commutation s'opère d'un système de fermions à un système de bosons. Des assemblages de fermions, dans lesquels le spin combiné est un entier, se comportent comme des bosons, comme pour la paire de Cooper.

La force forte (interaction) est la force dominante qui agit entre les hadrons, mais la force inter-hadrons est un vestige de la force plus puissante qui agit entre les quarks qui composent les hadrons. Cette force est transmise par l'échange de gluons. Selon la théorie de la chromodynamique quantique (QCD), les quarks ont une charge électrique qui est une fraction de l'électron et une petite masse. Les gluons ont zéro masse. Ils se meuvent très rapidement et portent l'énergie qui s'accumule. La masse est $m = E/c^2$ comme produit de l'énergie pure. Les tensions provoquées par la collision avec le mur étirent l'espace entre les quarks en libérant de l'énergie, ce qui augmente la charge colorée. Parallèlement, le choc provoque des oscillations et des distorsions au sein de l'hadron, ce qui entraîne une rupture spontanée de symétrie. L'état symétrique et les symétries sous-jacentes de la dynamique qui peuvent exister

deviennent instables et le système échange alors une stabilité précaire contre une asymétrie qui serait en définitive un changement d'état. La matière baryonique devient une matière noire. La supradiffusion s'ensuit.

On pourrait aussi lancer en des termes plus radicaux que dans certain cas cette matière noire qui se répand dans l'espace provient d'un trou noir spontanément brisé. Ce n'est ni un fracassement sur une barrière censoriale, ni une radiation à travers l'horizon des événements (vers l'extérieur), ni proprement une explosion : mais une dissolution. Spectacle contre-intuitif, proche de la folie quantique. Car les trous noirs sont incapables de subsister lorsqu'ils ne sont plus liés par la pression de dégénérescence, la gravité, la symétrie. Alors ils se dissolvent, d'autant plus facilement qu'ils ont été très comprimés.

7 Résumé et conclusion

Dans cet article, nous avons exploré quelques aspects de la façon dont la matière noire pourrait provenir indirectement ou directement des trous noirs. Dans la section 2, nous avons conjecturé que les trous noirs supermassifs agissent comme catalyseurs dans le processus de formation de matière noire. Notre scénario fait suite à l'article de Silk [1], qui suggère que les jets énergétiques d'un AGN peuvent produire des galaxies. C'est ce qu'on appelle la rétroaction positive active. Nous pensons que l'énorme quantité de lumière provenant des régions entourant les AGN peut également influencer la création et l'évolution de la matière noire. Nous désignons par le terme « rétroaction latérale » le flux d'énergie provenant de la sphère de photons (entre l'horizon des événements et la zone d'accrétion) qui est dévié de côté vers la zone d'accrétion. Une nouvelle transition de phase qui déclenche la naissance de la matière noire serait provoqué par un couplage mécanique efficace entre les nuages d'énergie et de particules chargées qui traversent la ligne extérieure de la sphère photonique, et la poussière et le gaz avec lesquels ils entrent en collision dans la zone d'accrétion. Nous avons ajouté des formules déjà testées pour la rétroaction AGN qui peuvent être appliquées à la rétroaction latérale. Dans la section 3, il est inévitable de passer par la physique quantique pour découvrir la nature de la matière noire en rapport avec les trous noirs. Les calculs de Hawking [42], démontrent qu'un trou noir possède une température et émet du rayonnement électromagnétique. Pourquoi n'en serait-il pas de

même pour la matière noire ? La physique quantique permet également d'imaginer l'existence des superpositions d'états : si un système possède plusieurs états quantiques possibles, il peut non seulement se trouver dans l'un d'eux, mais il peut aussi se trouver dans un état hybride à partir de ces états de base, une « superposition cohérente » de ces états [44]. Les supraconducteurs et superfluides sont des systèmes qui, bien que macroscopiques, présentent un comportement quantique. Notre piste nous conduit aux particules constituées de matière ordinaire, mais qui ne seraient pas visibles (quarks). Le rapport suggéré entre matière baryonique et matière noire ressemble au phénomène de transition de phase. Cela nous amène à dire que la matière noire ne serait jamais qu'un **changement d'état** et, **lorsque l'onde macroscopique se forme à une certaine température seuil excessive (point λ), toutes les particules de la matière considérée entrent en phase cohérente sur la même onde. Cela s'apparente à un soliton**, qui est une onde solitaire qui se propage sans se déformer dans un milieu non linéaire et dispersif. Dans la section 4, nous avons abordé les étoiles **hyper-condensées** en passe de devenir des trous noirs : l'étoile à neutrons, les hypothétiques étoile à quarks et étoile à bosons. La compression de la matière baryonique au cœur de ces étoiles aurait **changé par transitions de phase quantique l'état de la matière ordinaire en matière noire. Une coalescence se produirait à une température seuil, avant l'effondrement en trou noir**, et les paires de fermions se mettraient à obéir à la même statistique quantique que les photons. La matière noire serait composée de quarks quasi libres, encore soumis au principe de Confinement, qui formeraient des dibaryons. La transformation de l'état baryonique à l'état bosonique sous des conditions de hautes pression et température aurait rendu instable le système de ces étoiles. La pression de dégénérescence de la mécanique quantique l'emporterait sur la gravité. Il y aurait une **supradiffusion** : l'onde **macroscopique de** matière noire nouvellement formée se propagerait dans l'espace. On pourrait aussi dire que des dibaryons piloteraient des solitons. Dans la section 5, nous avons soutenu que la matière noire est apparue après le big bang et non dès le big bang. Nous avons avancé que la production des premiers grumeaux de l'univers aurait été entamée avec la matière ordinaire bien avant que la matière noire n'ait eu la possibilité de le faire. Nous avons réfuté la théorie Λ CDM avec sa constante cosmologique porteuse d'une énergie noire du vide supérieure à 120 ordres de grandeurs à la valeur observée. Nous avons déduit que l'état de la matière noire a l'hydrogène comme identité profonde. Avec la transition de phase

quantique, l'hydrogène moléculaire, qui est l'association de deux atomes d'hydrogène au sein d'un duo, devient analogue à une paire de Cooper dont les fermions se conduisent comme des bosons. Dans la section 6, nous avons exposé comment un trou noir devient directement de la matière noire. Nous avons montré que dans de nombreux cas, le trou noir peut se dissoudre en tout ou en partie dans la matière noire. **Nous avons formulé une autre censure entre l'horizon des événements et la censure cosmique. Supposément à $10^{-19} m$.** La surface piégée de cette censure *pré-Planck* se traduirait par une transition de phase quantique qui marquerait un changement d'état vers la matière noire. Ce mur pré-Planck déclencherait une extension spatiale du trou noir dans l'espace sous la forme d'une « bulle sombre de matière molle » ou d'une « onde macroscopique de matière noire ». La supradiffusion achèverait la transition.

Des physiciens ont émis l'hypothèse que l'espace à l'intérieur d'un trou noir, plutôt que d'être écrasé indéfiniment vers une « singularité », pourrait au contraire germer dans un tout nouvel univers, s'étendant presque à partir de rien vers un espace qui lui serait propre, tout à fait distinct et inaccessible de notre univers. Selon la cosmologie « inflationniste », notre propre univers pourrait en fait s'être formé de manière similaire [52]. La conjecture de la théorie de la Relation se veut plus mesurée : l'espace à l'intérieur d'un trou noir s'écraserait sur un mur « pré-Planck ». Une brisure spontanée de symétrie transformerait la substance en onde de matière noire. Cette dernière pourrait émerger dans notre propre univers, s'étendant dans une bulle d'espace qui lui serait propre, tout à fait distinct et coexistant avec le secteur baryonique de notre univers. Les « corpusondes » occupant une vallée de l'échelle énergétique se connecteraient par gravitation au secteur régulier de l'univers. Selon notre interprétation, une grande partie de la matière noire de notre univers pourrait en fait s'être formée au sein des trous noirs.

Notre point de vue sur la nature de la matière noire de notre monde peut être en substance comme suit :

Les trous noirs produisent indirectement et directement la matière noire.

Les étoiles hyper-condensées en produisent aussi.

La matière noire est apparue après le big bang et la production des premiers grumeaux de l'univers aurait été entamée avec la matière ordinaire.

La constante cosmologique disproportionnée de la théorie Λ CDM conduit à la « catastrophe du vide ».

La matière noire et la matière ordinaire ont l'hydrogène comme identité profonde. L'hydrogène moléculaire, lors d'une transition de phase quantique, deviendrait analogue à une paire de Cooper dont les dibaryons se conduisent comme des bosons.

Les particules de la matière sous haute pression et à une certaine température seuil se mettent en phase pour constituer une onde macroscopique cohérente de matière noire qui a les caractéristiques d'un soliton.

Lorsque la croûte de matière ordinaire des astres super-condensés, qui constitue la pression de dégénérescence de la mécanique quantique, surmonte la gravité, le soliton est répulsé dans l'espace par supradiffusion.

Dans de nombreux cas, le trou noir se dissout en totalité ou en partie en matière noire. Il existerait une censure *pré-Planck* entre l'horizon des événements et la censure cosmique de Planck à $\simeq 10^{-36} m$.

Ce mur pré-Planck déclencherait une extension spatiale du trou noir dans l'espace sous la forme d'une « onde macroscopique de matière noire ».

La supradiffusion continuerait d'envahir progressivement l'univers.

Tout ceci va à l'encontre de la théorie Λ CDM que nous réfutons pour les raisons suivantes :

Comme nous l'avons mentionné aux sections 3 et 5, c'est une prémisse sans fondement de croire que l'ensemble de la matière noire était présente dès les balbutiements de l'univers, tel que prôné par le scénario Λ CDM. Elle n'a pas participé aux réactions qui ont conduit à la production d'éléments primordiaux et 10,000 ans après le big bang, elle n'a pas été à l'origine des grandes structures. Les trous noirs provenant des premières étoiles auraient engendré la matière noire qui, par la suite aurait participé à la formation des galaxies. En ce qui concerne Lambda, disons que les spécialistes savent, grâce à l'analyse du rayonnement cosmologique fossile, que l'univers a globalement une géométrie plate. Ce qui signifie qu'il contient une densité d'énergie critique, c.-à-d. juste ce qu'il faut pour qu'il soit infini et ne s'effondre pas sur lui-même. Environ 5% de cette densité critique seraient de la matière sous une forme baryonique et 25% sous une forme non baryonique. L'étude des supernovæ par deux équipes différentes a révélé que les 70% restants de la densité critique seraient sous une forme d'énergie noire qui aurait pour effet d'accélérer l'expansion de l'univers. Or, l'étude des supernovæ ayant conduit

à la découverte de l'accélération est basée sur l'analyse de galaxies animées de mouvements individuels et collectifs encore inconnues mais n'ayant aucun rapport avec celles décrivant l'expansion à partir des équations de la relativité générale dans le cadre du modèle théorique homogène [106]. À plus d'une raison [107, 39], il fut incohérent d'établir un lien certain entre l'accélération de l'expansion et l'analyse des observations. Sans oublier la zizanie autour de l'expansion cosmique depuis des décennies. Plusieurs équipes de cosmologistes contre plusieurs autres ne s'accordent pas sur la valeur de H_0 qui représente le taux d'expansion actuel de l'univers. De nos jours, deux clans aux méthodes expérimentales distinctes se font face. Le premier annonce une valeur de **67,4 km/s/Mpc** – ce qui signifie qu'à chaque seconde, un cube d'espace de 1 mégaparsec de côté croît de 67,4 km. – suggère une expansion moins rapide, voire une décélération. Le second exhibe un résultat de **74,0 km/s/Mpc** qui presse l'accélération [108].

Concluons qu'une cosmologie différente s'impose avec un nouveau récit cosmique et, si possible, une nouvelle équation qui implique le champ électromagnétique [99, 100]. N'oublions pas que la relativité générale, qui décrit un univers peuplé de matière, laquelle, par sa présence, crée la gravitation, ignore tout de l'énergie. Ce que dit essentiellement cet article, c'est que la mécanique quantique peut intervenir, au cours de l'effondrement d'une étoile vers la singularité prédite par la relativité, pour transformer la matière classique en matière noire et la propager dans l'espace.

Références

- [1] Silk, J., et al. (2024) Which Came First: Supermassive Black Holes or Galaxies? Insights from JWST, The Astrophysical Journal Letters, Vol. 961, No 2, L39. DOI 10.3847/2041-8213/ad1bf0.
- [2] Ruelle, D. (1991) Hasard et chaos, Odile Jacob Points, 163, 168-170. ISBN 2-02-020933-0.
- [3] Detruy, M. (2020) Trous noirs, Ciel & Espace, no 570, p. 44, 45. Jets relativistes.
- [4] NASA Webb Mission Team (2024) Webb Unlocks Secrets of One of the Most Distant Galaxies Ever Seen, March 04.
<https://science.nasa.gov/missions/webb/webb-unlocks-secrets-of-one-of-the-most-distant-galaxies-ever-seen/>
- [5] Cooper, K. (2024) Space.com, The James Webb Space Telescope may

have found some of the very 1st stars, March 5.

<https://www.space.com/james-webb-space-telescope-universe-first-stars-black-hole-population-3>

- [6] Fabian, A. C. (2012) Observational Evidence of Active Galactic Nuclei Feedback. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 50, 455–489.
- [7] Magorrian, J., et al. (1998) The Demography of Massive Dark Objects in Galaxy Centers. *Astron. J.* 115, 2285–2305.
- [8] Gebhardt, K., et al. (2000) A Relationship between Nuclear Black Hole Mass and Galaxy Velocity Dispersion. *Astrophys. J. Lett.* 539, L13–L16.
- [9] Ferrarese, L., Merritt, D. A (2000) Fundamental Relation between Supermassive Black Holes and Their Host Galaxies. *Astrophys. J. Lett.* 539, L9–L12.
- [10] Silk, J., Rees, M. J. (1998) Quasars and galaxy formation. *Astron. Astrophys.* 331, L1–L4.
- [11] Haehnelt, M. G., Natarajan, P., Rees, M. J. (1998) High-redshift galaxies, their active nuclei and central black holes. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 300, 817–827.
- [12] King, A. (2003) Black Holes, Galaxy Formation, and the MBH - σ Relation. *Astrophys. J. Lett.* 596, L27–L29.
- [13] Peng, C. Y. (2007) How Mergers May Affect the Mass Scaling Relation between Gravitationally Bound Systems. *Astrophys. J.* 671, 1098–1107.
- [14] Anglés-Alcázar, D., Davé, R., Faucher-Giguère, C.-A., Özel, F., Hopkins, P. F. (2017) Gravitational torque-driven black hole growth and feedback in cosmological simulations. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 464, 2840–2853.
- [15] Veilleux, S., et al. (2017) Quasar Feedback in the Ultraluminous Infrared Galaxy F11119+3257: Connecting the Accretion Disk Wind with the Large-scale Molecular Outflow. *Astrophys. J.* 843, 18.
- [16] Harrison, C.M., et al. (2018) (ESO) (2018) AGN outflows and feedback twenty years on, *Nature Astronomy*, 2, 198–205. arXiv:1802.10306v1
- [17] Baade, W., Minkowski, R. (1954) Identification of the Radio Sources in Cassiopeia, Cygnus A, and Puppis A. *Astrophys. J.* 119, 206–214.
- [18] Burbidge, G. R. (1958) Nuclear Energy Generation and Dissipation in Galaxies. *PASP* 70, 83–89.
- [19] Matthews, T. A., Sandage, A. R. (1963) Optical Identification of 3C 48, 3C 196, and 3C 286 with Stellar Objects. *Astrophys. J.* 138, 30–56.

- [20] Rees, M. J. (1984) Black Hole Models for Active Galactic Nuclei. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 22, 471–506.
- [21] Soltan, A. (1982) Masses of quasars. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 200, 115–122.
- [22] Yu, Q., Tremaine, S. (2002) Observational constraints on growth of massive black holes. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 335, 965–976.
- [23] Binney, J., Tabor, G. (1995) Evolving Cooling Flows. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 276, 663–678.
- [24] Ciotti, L., Ostriker, J. P. (1997) Cooling Flows and Quasars: Different Aspects of the Same Phenomenon? I. Concepts. *Astrophys. J. Lett.* 487, L105–L108.
- [25] Rodríguez Zaurín, J., Tadhunter, C. N., Rose, M., Holt, J. (2013) The importance of warm, AGN-driven outflows in the nuclear regions of nearby ULIRGs. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 432, 138–166.
- [26] González-Alfonso, E., et al. (2017) Molecular Outflows in Local ULIRGs: Energetics from Multitransition OH Analysis. *Astrophys. J.* 836, 11.
- [27] Harrison, C. M., Alexander, D. M., Mullaney, J. R., Swinbank, A. M. (2014) Kiloparsec-scale outflows are prevalent among luminous AGN: outflows and feedback in the context of the overall AGN population. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 441, 3306–3347.
- [28] Liu, G., Zakamska, N. L., Greene, J. E., Nesvadba, N. P. H., Liu, X. (2013) Observations of feedback from radio-quiet quasars - II. Kinematics of ionized gas nebulae. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 436, 2576–2597.
- [29] Sun, A.-L., Greene, J. E., Zakamska, N. L. (2017) Sizes and Kinematics of Extended Narrow-line Regions in Luminous Obscured AGN Selected by Broadband Images. *Astrophys. J.* 835, 222.
- [30] Fiore, F., et al. (2017) AGN wind scaling relations and the co-evolution of black holes and galaxies. *Astron. Astrophys.* 601, A143.
- [31] Osterbrock, D. E., Ferland, G. J. (2006) *Astrophysics of gaseous nebulae and active galactic nuclei.*
- [32] Cano-Diaz, M., et al. (2012) Observational evidence of quasar feedback quenching star formation at high redshift. *Astron. Astrophys.* 537, L8.
- [33] Brusa, M., et al. (2015) X-shooter reveals powerful outflows in $z \sim 1.5$ X-ray selected obscured quasi-stellar objects. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 446, 2394–2417.

- [34] Rose, M., et al. (2018) Quantifying the AGN-driven outflows in ULIRGs (QUADROS) - I: VLT/Xshooter observations of nine nearby objects. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 474, 128–156.
- [35] Di Matteo, T., Springel, V., Hernquist, L. (2005) Energy input from quasars regulates the growth and activity of black holes and their host galaxies. *Nature* 433, 604–607.
- [36] King, A., Pounds, K. (2015) Powerful Outflows and Feedback from Active Galactic Nuclei. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 53, 115– 154
- [37] Roth, N., Kasen, D., Hopkins, P. F., Quataert, E. (2012) Threedimensional Radiative Transfer Calculations of Radiation Feedback from Massive Black Holes: Outflow of Mass from the Dusty “Torus”. *Astrophys. J.* 759, 36.
- [38] Gilli, R., et al. (2022) Supermassive black holes at high redshift are expected to be obscured by their massive host galaxies’ interstellar medium, *Astronomy&Astrophysics*, Vol. 666, A17, 21 pages. DOI <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202243708>
- [39] Bagdoo, R. (2023) Cosmological Inconstant, Supernovae 1a and Decelerating Expansion. *Journal of Modern Physics*, 14, 692-721. <https://doi.org/10.4236/jmp.2023.145040>
- [40] Bagdoo, R. (2024) ARCADE 2 Spatial Roar, What Theory of Relation Reveals. *Journal of Modern Physics*, 15, 690-719. <https://doi.org/10.4236/jmp.2024.155032>
- [41] Bertone, G. (2014) *Le mystère de la matière noire*, Dunod, Paris, p. 100, 160, 161, 166. ISBN 978-2-10-071020-1
- [42] Hawking, S. (1988) *Une brève histoire du temps*, Flammarion, 129-144. ISBN2-08-211182-2
- [43] Aspect, A., et al. (2004) *Demain, la physique*, Odile Jacob, 67, 128-129, 123-170. ISBN 2-7381-1458-X
- [44] Ortolí, S., Pharo, J.-P. (1984) *Le cantique des quantiques*, La Découverte, 79. ISBN 2-253-04389-3
- [45] Greene, B. (1999) *L’Univers élégant*, Gallimard folio essais, 545-547.
- [46] Cohen-Tannoudji, G., Spiro, M. (1986) *La matière-espace-temps*, Fayard Folio Essais, 76, 147-149, 230, 244.
- [47] Soliton, Wikipédia. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Soliton>
- [48] Zabusky, N.J., Porter, M.A. (2010) Soliton, *Scholarpedia*, 5(8):2068. Doi:10.4249/scholarpedia.2068, revision #186585
- [49] Lochak, G., Diner, S., Fargue, D. (1989) *L’objet quantique*,

- Flammarion, 67-79. ISBN 2-08-211178-4.
- [50] Davies, P. (1987) *Superforce*, Payot, 152-160.
 - [51] Wilczek, F. (2008) *The Lightness of Being*, Basic Books, 47-56
ISBN : 978-0-465-01895-6
 - [52] Begelman, M., Rees, M. (1998) Gravity's fatal attraction, *Scientific American Library*, 30, 43, 228.
 - [53] Magnan, C. (1988) *La Nature sans foi ni loi*, Belfond/sciences, 182, 183, 186-191. ISBN 2.7144.2122.9
 - [54] Hexaquark, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Hexaquark>.
 - [55] Condensat de Bose-Einstein, Wikipédia,
https://fr.wikipedia.org/wiki/Condensat_de_Bose-Einstein
 - [56] Sutter, P. (2020) Oddball sexaquark particles could be immortal, if they exist at all [archive], *LiveScience*, February 4th.
 - [57] Gohd, C. (2020) Did this newfound particle form the universe's dark matter? [archive], *Space.com*, March 20.
 - [58] Vijande, J. Valcarce, A., Richard, J.-M. (2011) Stability of hexaquarks In the string limit of confinement, *Physical Review D*, vol. 85, no 1, p. 014019. DOI 10.1103/PhysRevD.85.014019, Bibcode 2012PhRvD..85a4019V, arXiv 1111.5921.
 - [59] (2014) Exotic Particle Confirmed [archive], *Forschungszentrum Jülich* Ppress release July 23.
 - [60] Chirgwin, R. (2014) Massive news in the micro-world: a hexaquark particle [archive], *The Register*, June 10.
 - [61] Adlarson, P., et al. (2014) Evidence for a New Resonance from Polarized Neutron-Proton Scattering, *Physical Review Letters*, vol. 112, no 2, p. 202301 (DOI 10.1103/PhysRevLett.112.202301, Bibcode 2014PhRvL.112t2301A. arXiv 1402.6844)
 - [62] Bashkanov, M., Watts, D. P. (2020) A new possibility for light-quark dark matter, *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, vol.47, no 3, 03LT01. DOI 10.1088/1361-6471/ab67e8; arXiv:2001.08654v1
 - [63] Starr, M. (2020) Physicists Think We Might Have a New, Exciting Dark Matter Candidate [archive] », *Science Alert*, March 4.
 - [64] Adlarson, P., et al. (2014) Neutron-proton scattering in the context of the (2380) resonance, *Phys. Rev. C* 90, 035204.
 - [65] Jaffe, R.L. (1977) Perhaps a Stable Dihyperon (PDF), *Physical Review Letters*, 38 (5): 195–198. Bibcode:1977PhRvL..38..195J. DOI:10.1103/PhysRevLett.38.195. OSTI 1446298.

- [66] Ambartsumyan, V. A., Saakyan, G. S. (1960) The Degenerate Superdense Gas of Elementary Particles », Soviet Astronomy, vol. 37, p. 193. Bibcode 1960SvA.....4..187A, [archive].
- [67] Stotzer, R. W., et al. (1997) Search for H dibaryon in He-3 (K-, k+) Hn, Physical Review Letters, vol. 78, no 19, p. 3646–36490. DOI 10.1103/PhysRevLett.78.3646, Bibcode 1997PhRvL..78.3646S.
- [68] Alavi-Harati, A., et al. (2000) Search for the weak decay of a lightly bound H0 dibaryon », Physical Review Letters, vol. 84, no 12, p. 2593–2597 (PMID 11017277, DOI 10.1103/PhysRevLett.84.2593, Bibcode 2000PhRvL..84.2593A, arXiv hep-ex/9910030)
- [69] Kagiya, S., Nakamura, A., Omodaka, T. (1992) Compressible bag model and dibaryon stars », Zeitschrift für Physik C, vol. 56, no 4, p. 557–560. DOI 10.1007/BF01474728, Bibcode 1992ZPhyC..56..557K.
- [70] Davies, P. (1989) The New Physics, Cambridge University Press, 494-502. ISBN 0 521 43831 4
- [71] Ivanenko, D.D., Kurdgelaidze, D.F. (1970) Quark Stars, Soviet Physics Journal 13, 1015-1019. <https://doi.org/10.1007/BF00818558>.
- [72] Boisson, T. (2018) Qu'est-ce qu'une « étoile étrange » ? Trust my science, 20 mai. <https://trustmyscience.com/qu-est-ce-qu-une-etoile-etrange/>
- [73] Bodmer, A. R. (1971). "Collapsed Nuclei". Physical Review D. 4 (6): 1601–1606. Bibcode:1971PhRvD...4.1601B. doi:10.1103/PhysRevD.4.1601.
- [74] Witten, E. (1984). "Cosmic separation of phases". Physical Review D. 30 (2): 272–285. Bibcode:1984PhRvD..30..272W. doi:10.1103/PhysRevD.30.272.
- [75] Weber, F., Kettner, C., Glendenning, N. K (July 1994) Properties of Strange-Matter Stars, Presented at the International Conference Nuclei in the Cosmos, Gran Sasso.
- [76] Zabusky, N.J., Kruskal, M.D. (1965) Interaction of "Solitons" in a Collisionless Plasma and the Recurrence of Initial States, Phys. Rev. Lett.15, 240.
- [77] Liebling, S. L., Palenzuela, C (2012) Living Reviews in Relativity 15. <http://www.livingreviews.org/lrr-2012-6>.
- [78] Bernal, A., Barranco, J., Alic, D., Palenzuela, C. (2010) Multi-state Boson Stars, Phys. Rev. D81, 044031, 0908.2435.
- [79] Matos, T., Urena-Lopez, L. A. (2000) Quintessence and Scalar Dark

- Matter in the Universe, *Class.Quant.Grav.* 17, L75. astro-ph/0004332.
- [80] Arbey, A., Lesgourgues, J., Salati, P. (2001) Quintessential halos around Galaxies, *Phys. Rev. D* 64, 123528,
URL <http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevD.64.123528>
 - [81] Valdez-Alvarado, S., et al. (2013) Dynamical evolution of fermion-boson stars, *Phys. Rev. D* 87, 084040.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevD.87.084040>. arXiv:1210.2299v2
 - [82] Pombo, A. M., Saltas, I. D. (2023) A Sun-like star orbiting a boson star, arXiv:2304.09140v1. DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/stad2151>
 - [83] Manton N. S., Sutcliffe, P. (2004) Topological solitons, Cambridge University Press. DOI: 10.1017/CBO9780511617034
 - [84] Shnir, Y. M. (2018) Topological and Non-Topological Solitons in Scalar Field Theories. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781108555623>
 - [85] Shnir, Y. (2022) Boson Stars, *Lect.Notes Phys.* 1017 (2023) 347-362. DOI: 10.1007/978-3-031-31520-6_10. arXiv:2204.06374.
 - [86] Frieman, J. Gelmini, G., Gleiser, M. Kolb, E. (1988) Solitogenesis: Primordial Origin Of Nontopological Solitons, *Physical Review Letters*, 60 (21): 2101–2104. Bibcode:1988PhRvL..60.2101F.
 - [87] Kusenko, A., Shaposhnikov, M. (1998) Supersymmetric Q balls as dark matter, *Physics Letters B.* 418 (1–2): 46–54. arXiv:hep-ph/9709492.
 - [88] Dodelson, S., Widrow, L. (1990) Baryon Symmetric Baryogenesis, *Physical Review Letters.* 64 (4): 340–343. PMID 10041955.
 - [89] Enqvist, K., McDonald, J. (1998) Q-Balls and Baryogenesis in the MSSM, *Physics Letters B.* 425 (3–4): 309–321. arXiv:hep-ph/9711514
 - [90] Kusenko, A. (1997) Solitons in the supersymmetric extensions of the Standard Model, *Physics Letters B.* 405 (1–2): 108–113. arXiv:hep-ph/9704273.
 - [91] Ashley, H. (2021) Weird quantum objects known as Q balls could explain why we exist, livescience.com.
 - [92] Mandal, S., Shankaranarayanan, S. (2025) Can Q-balls describe cosmological and galactic dark matter?
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.00821>
 - [93] Dolgov, A. D., Dubovsky, S. L., Rubtsov, G. I., Tkachev, I. I. (2013) Constraints on millicharged particles from Planck data, *Phys. Rev. D* 88, 117701.
 - [94] Badertscher, A., et al. (2007) Improved limit on invisible decays of

- Positronium, Phys. Rev. D 75, 032004.
- [95] Gninenko, S. N., Krasnikov, N. V., Rubbia, A. (2007) Phys. Rev. D 75, 075014
 - [96] Gunzig, E. (2008) *QUE FAISIEZ-VOUS AVANT LE BIG-BANG ?* Odile Jacob, 163, 281-2. ISBN : 978-2-7381-2057-1
 - [97] Bouquet, A., Monnier, E. (2003) Matière sombre et énergie noire, Dunod, 123-127. ISBN 978-2-10-0506658-3
 - [98] Bagdoo, R. (2022). Galaxies Rotation Curves Traced Out by the Theory of Relation. European Journal of Applied Sciences, Vol. 10, No. 2, 1-14. DOI:10.14738/aivp.102.11906.
 - [99] 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>
 - [100] Bagdoo, R. (2019) The World in an Equation: A Reappraisal of the Lemaitre's Primeval Cosmic Rays. Journal of Modern Physics, 10, 922-952. <https://doi.org/10.4236/jmp.2019.108061>
 - [101] Leggett, A. J. (1980) Diatomic Molecules and Cooper Pairs, Lecture Notes in Physics, LNP, volume 115, DOI:10.1007/BFB0120125Corpus ID: 120032336
 - [102] Trou noir, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Trou_noir
 - [103] Radounskaïa, I. (1972) Idées folles, Édition MIR, Moscou, 183-192,
 - [104] Hawking, S., Penrose, R. (1997) La nature de l'espace et du temps, Gallimard, 59-62, 67, 69, 204. ISBN 2-07-074465-5
 - [105] Chelet, Y. (1961) L'énergie Nucléaire, Édition du Seuil, 83, 84, 124.
 - [106] Magnan, C. (2011) Le théorème du jardin, AMDS Édition, 267. ISBN 979-10-90238-02-2.
 - [107] Bagdoo, R. (2020) The Pioneer Effect: A New Physics with a New Principle. Journal of Modern Physics, 11, 616-647. <https://doi.org/10.4236/jmp.2020.115041>
 - [108] Langin, G. (2020) Zizanie autour de l'expansion cosmique, Ciel & Espace, Hors-série, sept/nov., HS 37, p. 45.