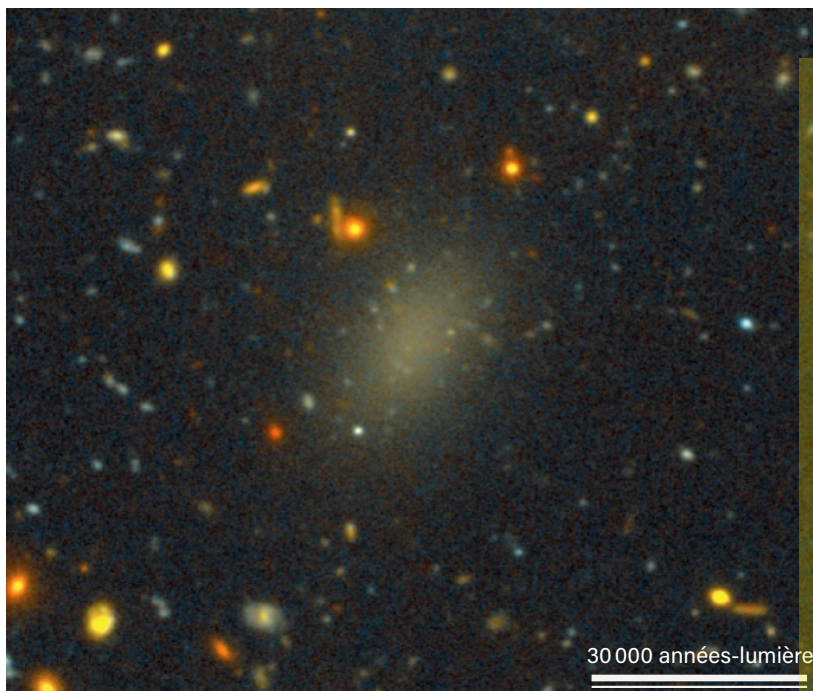




Dans RMonD, par construction, l'importance de certains termes dépendant du champ scalaire varie en fonction de l'échelle considérée. Aux échelles cosmologiques, le champ scalaire mime l'effet de la matière noire. Le modèle reproduit Λ CDM et le spectre du fond diffus cosmologique. À l'échelle des galaxies, on retrouve Mond et la bonne description de la dynamique de ces systèmes. Constantinos Skordis et Tom Złośnik ont montré que leur modèle se comporte effectivement de façon satisfaisante à ces deux échelles cruciales.

De façon générale, les spécialistes s'accordent sur la prochaine étape. « Un verrou conceptuel a clairement été levé ici pour les modèles de gravité modifiée à la Mond, note Julien Masbou, il sera intéressant de voir comment ce modèle se comporte aux échelles intermédiaires, dans les amas de galaxies. » Les collisions d'amas, comme le Bullet Cluster, où l'on observe une séparation physique entre la matière conventionnelle et la masse, sera encore un autre test, note Pierre Brun, chercheur du CEA, à Saclay.

« Le modèle a été construit pour reproduire à grande échelle le spectre du fond diffus cosmologique et Mond dans les galaxies, insiste Benoît Famaey. Il n'a pas du tout été calibré sur les amas de galaxies, où ses prédictions seront un véritable test. Il est possible que les différents effets dans la dynamique du champ scalaire se superposent pour donner quelque chose qui fonctionne, mais l'inverse est aussi envisageable. »

En septembre 2021, Jonathan Freundlich, Benoît Famaey et leurs collègues de l'université de Strasbourg ont étudié un type

La galaxie ultra-diffuse Dragonfly 44 a été observée dans l'amas de Coma, en 2011, par l'équipe de Pieter van Dokkum, de l'université Yale, aux États-Unis. Dans le cadre du modèle Λ CDM, sa dynamique implique qu'elle serait dominée à plus de 95 % par de la matière noire. Jonathan Freundlich et ses collègues viennent de montrer qu'il est possible de la décrire dans le cadre du modèle de gravité modifiée Mond, si on suppose qu'elle est loin du centre de l'amas ou si le champ externe de l'amas est « écranté ».

particulier de galaxies dans l'amas de Coma. Ces galaxies sont dites « ultradiffuses », car elles présentent une densité de matière ordinaire très faible (voir ci-contre). Mais pour expliquer les mouvements stellaires observés en leur sein, elles devraient être extrêmement riches en matière noire, souvent à plus de 95%. Ces chercheurs ont montré qu'il est possible de reproduire leur dynamique avec Mond. Mais pour cela, il faut faire comme si elles n'étaient pas dans l'amas. En effet, si on prend en compte le « champ externe » dû à l'ensemble de l'amas, l'accord avec les observations est largement perdu. « Cela pourrait être précisément lié au fait que Mond ne fonctionne pas dans les amas, note Benoît Famaey. En revanche, à cette échelle, RMonD pourrait être dans un régime dominé par le champ scalaire et se comporter comme la matière noire. Et l'effet du champ externe serait comme « écranté » dans les amas. » Il reste à simuler RMonD dans un amas de galaxies.

D'autres observations permettraient encore de tester RMonD. Ses auteurs indiquent par exemple que cette gravité modifiée laisserait une signature particulière dans le fond diffus cosmologique sous la forme de « modes B » de polarisation. Le rayonnement issu de l'Univers primordial serait polarisé d'une certaine façon rappelant la structure d'un champ magnétique (souvent noté avec la lettre B). Ces modes de polarisation, aussi prévus par certains modèles d'inflation (une période dans l'Univers âgé d'une fraction de seconde où celui-ci a connu une phase d'expansion exponentielle), font déjà l'objet de programmes d'observation ; c'est le cas des expériences *Polarbear* ou *South Pole Telescope*, toutes les deux situées en Antarctique, ou encore du satellite japonais *LiteBIRD* (prévu pour 2027). Il reste cependant à préciser la signature de RMonD et si celle-ci sera assez importante pour être à la portée de la sensibilité des différentes expériences.

Pour l'instant, RMonD est une construction *ad hoc*. Il contient notamment deux nouveaux champs et cinq paramètres libres. Il faut donc voir comment les physiciens parviendront à intégrer ces éléments dans une théorie plus fondamentale pour en fournir une justification physique. Il sera aussi nécessaire d'en affiner les prédictions pour comprendre comment le comparer à Λ CDM dans différentes observations de l'Univers.

Le résultat de Constantinos Skordis et Tom Złośnik est important dans la discussion sur la nature de la matière noire ou de la gravité modifiée. Il ouvre une porte que les spécialistes ont longtemps pensée infranchissable. RMonD n'est probablement pas la réponse définitive, mais ce modèle servira de référence pour de nouvelles explorations. ■