

En plus des recherches de matière noire que nous venons de décrire, et qui conviennent à la fois pour trouver des wimps et de la matière noire complexe, certaines approches visent plus spécifiquement le secteur sombre complexe. Celles-ci ciblent en particulier le photon sombre qui, dans certains modèles, peut spontanément se transformer en photon ordinaire et se retransformer en photon sombre en vertu des lois de la physique quantique. Or le photon ordinaire est détectable.

De plus, si le photon sombre a une masse non nulle (le terme de « photon » est alors un peu abusif puisqu'un photon n'a *a priori* pas de masse), le photon ordinaire produit peut avoir assez d'énergie pour créer une paire constituée d'un électron et de son homologue d'antimatière, le positron, ou une paire muon-antimuon (le muon étant un cousin, plus lourd, de l'électron).

Partant de ce scénario, plusieurs collaborations expérimentales, dont une à laquelle participe l'un de nous (Don Lincoln), étudient la production de paires électron-positron ou muon-antimuon dans des accélérateurs de particules. Si des photons sombres existent et interviennent dans le processus, les caractéristiques des paires seront altérées. Des études de ce genre sont en cours au LHC et dans d'autres accélérateurs, tel le projet *KLOE-2*, en Italie, les expériences *HPS* et *BaBar*, aux États-Unis.

Le Fermilab, près de Chicago, offre une autre piste intéressante. Les physiciens y produisent actuellement des faisceaux intenses de neutrinos dirigés vers des détecteurs lointains. Les neutrinos sont des particules très légères, qui interagissent avec les électrons des détecteurs par l'interaction faible (en échangeant un boson *W*). Il est possible de calculer la probabilité d'interaction selon ce processus. Mais, si les photons sombres existent, les neutrinos interagissent aussi avec les électrons du détecteur en échangeant un photon sombre. Et cela modifie les probabilités d'interaction. Il serait possible de mesurer ces interactions neutrino-électron dans les détecteurs *MiniBooNE*, *MINOS* ou *NOvA* du Fermilab.

Enfin, les scientifiques recherchent des indices astrophysiques de l'interaction de la matière noire dans des situations telles que les collisions de galaxies. Quand la matière noire d'une galaxie heurte celle d'une autre galaxie, les particules devraient se repousser en échangeant des photons

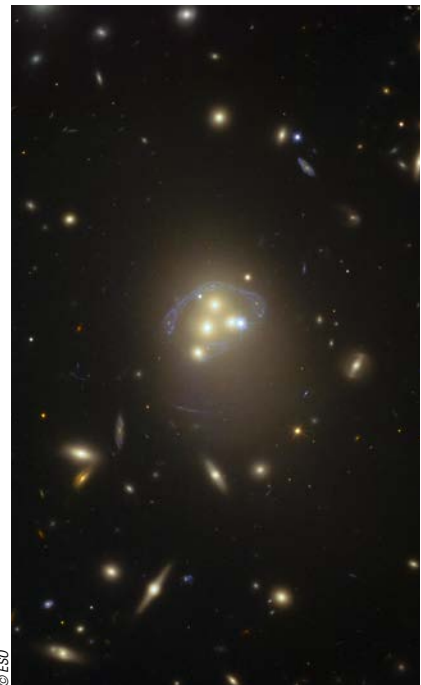
sombres. Plusieurs études de collisions de galaxies n'ont pas permis de trouver d'indices de ce phénomène, mais, en 2015, l'observation de l'amas Abell 3827, particulièrement proche de la Terre et bien orienté, a suggéré un tel motif. C'est un premier indice en faveur d'une matière noire complexe, mais des observations complémentaires de ces galaxies et d'autres seront nécessaires pour le confirmer.

Nous sommes indiscutablement confrontés à une énigme profonde. À grande échelle, de nombreuses observations s'expliquent par la présence de matière noire, sous une forme ou sous une autre. L'échec de la détection directe de matière noire souligne l'urgence qu'il y a à identifier la nature de la matière noire. Là où les modèles de wimps ont du mal à expliquer cette non-détection, les modèles complexes s'en accommodent plus naturellement, dans la mesure où ils reposent sur un nombre plus grand de paramètres à ajuster.

Épicycles du XXI^e siècle ?

On pourrait adresser une critique à cette approche : on se donne beaucoup de mal à maintenir en vie l'hypothèse de la matière noire. La situation est-elle analogue à celle des épicycles, quand les astronomes du XVI^e siècle tentaient à tout prix de sauver le géocentrisme en ajoutant une série constante d'ajustements à une théorie fatalement défectueuse ? Ce n'est pas notre avis : la matière noire explique remarquablement bien de nombreuses énigmes astronomiques, et il n'y a *a priori* pas de raison pour que la matière noire soit aussi simple que dans le modèle des wimps – le plus répandu car le plus simple à étudier.

Par ailleurs, les modèles de matière noire complexe apportent des solutions à certaines difficultés théoriques des wimps. Par exemple, dans les simulations numériques de formation des galaxies, les modèles de wimps prévoient des halos ayant une densité très élevée au centre, ce qui ne s'accorde pas avec les observations. Les modèles de matière noire complexe aplanissent, eux, la distribution au centre. Il y a donc plus d'un intérêt à explorer ces modèles complexes. En outre, tant que nous ne trouverons pas la solution au mystère de la composition du cosmos, nous devons être ouverts à la multitude d'explications possibles. ■



LES QUATRE GALAXIES au sein de l'amas Abell 3827 sont entrées simultanément en collision. Les halos de matière noire ne devraient pas être perturbés par cette rencontre si la matière noire n'interagit pas avec elle-même autrement que par la force gravitationnelle. Or une équipe d'astrophysiciens aurait trouvé des signes d'une telle interaction. Des indices à confirmer.

■ BIBLIOGRAPHIE

K. Freese, *The cosmic cocktail : Three parts dark matter*, Princeton University Press, 2014.

JiJi Fan *et al.*, *Dark-disk universe*, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 110(21), article 211302, 2013.

J. Feng et M. Trodden, *Matière noire, un univers caché*, *Pour la Science*, n° 399, janvier 2011.

D. E. Kaplan *et al.*, *Atomic dark matter*, *JCAP*, vol. 2010(5), article 21, 2010.

L. Ackerman *et al.*, *Dark matter and dark radiation*, *Phys. Rev. D*, vol. 79(2), article 023519, 2009.