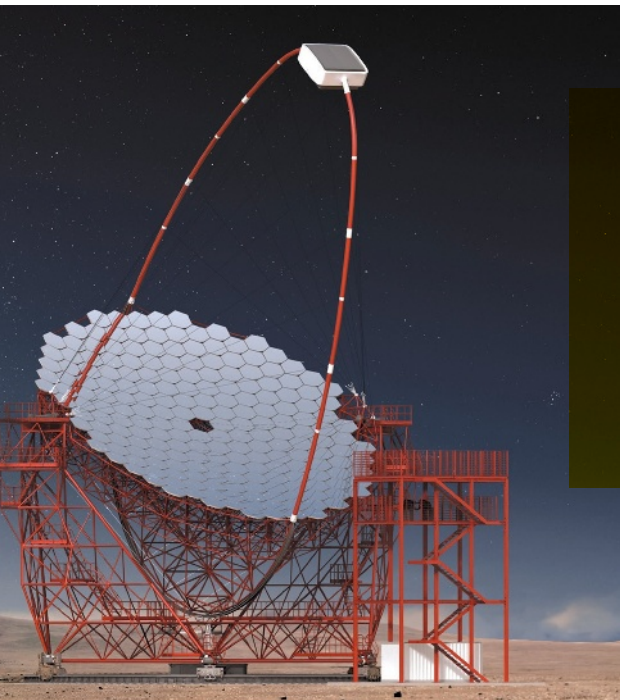




← Projet européen, l'observatoire CTA (*Cherenkov Telescope Array*) vise à déployer, au Chili (hémisphère sud) et aux îles Canaries (hémisphère nord), une centaine de télescopes sensibles aux rayons gamma produits par les particules de matière noire dans le halo de la Galaxie. Cette vue d'artiste traduit la diversité des équipements nécessaires : entre 8 mètres de haut pour 8 tonnes et 45 mètres pour 100 tonnes.

en 1964 comme conséquence d'une substance mystérieuse (le champ de Higgs) qui imprègne l'ensemble de l'Univers et confirmé en 2012. La particule de matière noire sera peut-être la prochaine grande découverte, attendue depuis quatre-vingts ans. L'histoire de la physique nous enseigne que, souvent, quand il s'agit de pénétrer les concepts les plus fondamentaux de la nature, il faut faire preuve d'audace dans les propositions et... de patience dans l'attente des réponses.

attribuées à la matière noire ont seulement à voir avec la gravité. La question surgit alors spontanément : au lieu de postuler l'existence d'une masse manquante, ne serait-ce pas la loi de la gravité qu'il faut changer ? Après tout, au XIX^e siècle, l'astronomie a déjà vécu un épisode comparable (voir l'encadré page ci-contre). La possibilité de repenser la gravitation a été considérée, depuis les années 1980, par une série de théories dites «MOND» (*modified newtonian dynamics*), qui réécrivent, sous différentes formes, les lois de Newton et d'Einstein dans les conditions propres des galaxies et des grandes structures. Pour le moment, aussi simples et suggestives soient-elles, MOND et ses consœurs n'ont pas encore réussi à expliquer toutes les manifestations attribuables à la matière noire à toutes les échelles. C'est pourquoi la communauté reste en grande majorité convaincue par l'idée de particules supplémentaires.

En vérité, physique des particules et cosmologie n'ont jamais été avares en hypothèses apparemment bizarres (quoique fondées sur des indices solides), mais qui se sont révélées exactes. Pensons aux neutrinos, inventés en 1930 par Wolfgang Pauli presque par désespoir et révélés en 1956. Pensons au cas du boson de Higgs, postulé

— L'auteur —

> **Marco Cirelli**
est physicien au Laboratoire de physique théorique et hautes énergies (LPTHE - CNRS & Sorbonne Université)

— À lire —

- > **M. Cirelli et al.**, *Dark matter*, à paraître dans arXiv, 2022.
- > **M. Cirelli et al.**, Voyager 1 electrons and positrons further constrain primordial black holes as dark matter, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 122, 2019.
- > **S. Profumo**, *An Introduction to Particle Dark Matter*, World Scientific, 2017.
- > **G. Bertone et al.**, *Particle Dark Matter: Observations, Models and Searches*, Cambridge University Press, 2010.
- > **D. Hooper**, *Dark Cosmos: In Search of Our Universe's Missing Mass and Energy*, Smithsonian Books, 2009.

Les cachotteries de l'énergie sombre

Philippe Brax

112



Depuis 1998, l'accélération de l'expansion de l'Univers reste inexpliquée, car rien dans le modèle standard ne permet de la comprendre. Faut-il miser sur une constante cosmologique ? Ou plutôt sur les effets d'une énergie sombre aux propriétés de caméléon ?



© shank_99/shutterstock.com et nana_totosol/shutterstock.com

Matière et lumière : dès les années 1930, Albert Einstein et Willem de Sitter ont posé sur ces deux piliers les bases de la cosmologie physique, l'une et l'autre se diluant à mesure que l'Univers s'étendait. En regardant vers le passé, Georges Lemaître avait postulé au même moment l'existence du Big Bang, la singularité initiale dont notre Univers semble issu. Plus tard, l'origine de la formation des éléments, comme les atomes, avait été parfaitement incluse dans ce cadre. Seule l'observation de la dynamique des étoiles lointaines avait commencé à bousculer ce bel ordonnancement, et à poser la question délicate de l'origine de la matière noire qui semble englober d'un halo chaque galaxie.

Dans ce contexte, autant dire que bien peu de scientifiques s'attendaient aux surprises de 1998. Cette année-là, deux équipes distinctes, mais utilisant le même marqueur céleste – la fin de vie d'un couple d'étoiles, les supernovæ de type Ia –, concluent dans le même sens : l'expansion de l'Univers s'accélère ; elle est plus rapide aujourd'hui qu'à l'origine. Depuis, physiciens, astronomes et astrophysiciens cherchent non seulement à en comprendre la cause, mais guettent aussi d'autres phénomènes dans lesquels le même mécanisme se manifesterait. C'est ainsi que la notion d'« énergie sombre » a émergé comme une réponse possible au calcul, sur la base des observations de 1998, qu'environ 70 % du contenu énergétique de l'Univers ne pouvait être constitué ni de matière ni de rayonnement. Adieu le diptyque « matière et lumière » !

L'énergie sombre serait un fluide uniforme distribué dans les moindres recoins de l'Univers. Elle est désormais traquée en utilisant toute la panoplie des observations et expériences que l'ingéniosité de la science peut déployer. Mais rien n'est encore venu éclairer notre lanterne.

UNE SURPRISE PAS SURPRENANTE

Si cette découverte fut une surprise observationnelle, la possibilité que l'expansion de l'Univers puisse accélérer n'était pas une nouveauté. C'est même un sujet qui fit débat il y a cent ans lorsque les physiciens commencèrent à s'intéresser à l'évolution temporelle de l'Univers en utilisant les toutes nouvelles lois de la gravitation qu'Einstein avait édictées en 1915 et réunies sous le nom de « relativité générale ». Dès 1919, de Sitter avait montré qu'un Univers vide, mais où existait une constante dite « cosmologique positive », serait en accélération éternelle. En d'autres termes, son taux d'expansion, qui mesure la façon dont deux galaxies s'éloignent l'une de l'autre au cours du temps, croîtrait indéfiniment : l'Univers semblerait lancé dans une course folle toujours plus rapide. Et tout ceci simplement à cause de la constante cosmologique.

Il faut se souvenir qu'Einstein avait introduit cet addenda à la relativité générale en 1917 pour une raison exactement opposée. En effet, selon sa conception très aristotélicienne, l'Univers possédait une géométrie sphérique, était composé de matière et était statique dans le temps. Pour qu'un tel Univers soit solution des