

Malheureusement, une théorie complète de la gravitation massive reste encore à construire malgré les nombreux progrès depuis 2010.

Des enseignements peuvent être tirés de l'exemple précédent. D'abord, il est naturel qu'une théorie d'énergie sombre voie ses effets se transformer en une cinquième force dans le Système solaire. Pour éviter que cette théorie contredise ce qu'on sait du mouvement des objets orbitant dans le Système solaire, il est donc nécessaire que ses effets soient écrantés. De ce fait, l'énergie sombre peut jouer son rôle pleinement aux grandes échelles et être responsable de l'accélération de l'expansion de l'Univers tout en préservant les propriétés de la gravitation locale. Elle serait donc cachée dans notre environnement planétaire et solaire. Heureusement, il n'existe que quatre mécanismes d'écrantage, ce qui rend la physique de l'énergie sombre dans notre environnement relativement simple.

LE MÉCANISME DE CAMÉLÉON

En plus du mécanisme de Vainshtein, une autre façon possible d'écranter un champ d'énergie sombre est le «mécanisme de caméléon». Un caméléon serait un champ d'énergie sombre,

associé à des «particules caméléons» (toujours cette particularité de la physique quantique), qui s'adapte à son environnement en devenant très massif dans la matière très dense. Il agirait même d'autant moins qu'il est massif ; la portée de son action serait alors si faible qu'un caméléon interagirait très peu avec la matière environnante et ne créerait que très peu d'effet de cinquième force. La force due au caméléon, exercée par le Soleil sur la Terre, serait ainsi minuscule. Cependant, une petite cinquième force serait suffisante pour influencer la distribution des galaxies de l'Univers. Cet effet sera aussi recherché par l'expérience *Euclid*.

Mais est-ce que cela signifie que l'énergie sombre n'a aucun effet local sur Terre ? Pas forcément, car l'écrantage de l'énergie sombre n'est jamais parfait. En particulier pour les modèles de caméléons, car pour les modèles avec écrantage à la Vainshtein, la cinquième force est écrantée jusqu'aux échelles cosmologiques. En revanche, un caméléon se laisserait détecter dans certaines expériences de grande précision sur Terre ou en orbite terrestre. La force due à un caméléon est ainsi activement recherchée dans les expériences testant la gravitation à très courte distance, sous l'échelle du dixième de millimètre.

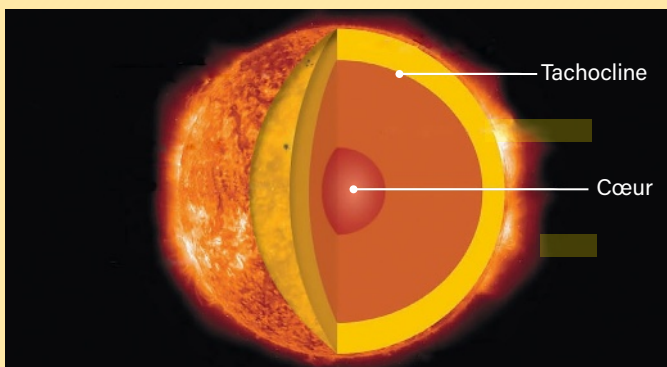
Cette force est aussi un des enjeux de l'expérience *Microscope*, du Centre national d'études spatiales (Cnes), dont le satellite orbitant à 700 kilomètres de la Terre donne corps à l'expérience de pensée de Galilée depuis la tour de Pise. Au lieu d'un marteau et d'une plume, ce sont deux cylindres concentriques de titane et de platine, à bord du satellite, dont les chutes vers la Terre sont comparées. La différence d'accélération de ces corps est mesurée avec une précision d'un centième de milliers de... milliards ! À ce niveau de précision, la force caméléonique pourrait apparaître malgré l'écrantage qu'elle subit de la Terre et du satellite lui-même. Les premiers

117



© Xenon collaboration

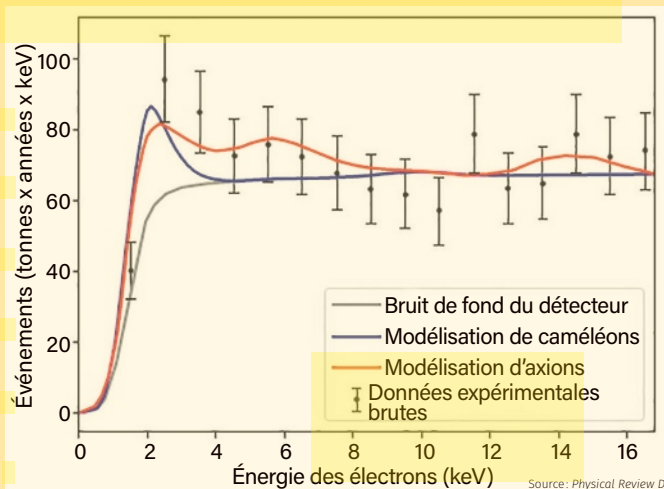
← L'expérience *Xenon1T* de détection de matière noire (ici, le détecteur avec ses tubes photomultiplicateurs) a été conduite entre 2016 et 2018 dans le laboratoire souterrain de Gran Sasso, en Italie.



Des caméléons dans le Soleil ?

Dans l'expérience *Xenon1T*, lorsqu'une particule venait percuter l'un des atomes de xénon enfermés dans le conteneur, cela déclenchait un signal lumineux ou la circulation d'électrons libres, lesquels étaient enregistrés en continu. La plupart des interactions ont eu lieu avec des particules connues. Alors que 232 événements de ce type étaient attendus, 53 de plus ont été détectés. Cet excès a laissé penser que le dispositif avait capté des particules inconnues de matière noire nommées « axions », possiblement émises au cœur du Soleil.

En réalité, des axions émis dans les parties denses du Soleil entraîneraient une perte d'énergie catastrophique pour la stabilité de l'étoile. En revanche, il pourrait s'agir de champs caméléons, émis dans la tachocline solaire, beaucoup moins dense que le cœur du Soleil et où règne un fort champ magnétique favorable. Sur le graphique ci-dessous, la modélisation de l'action de ces caméléons (courbe bleue) colle plutôt bien avec les anomalies dépitées par *Xenon1T* (barres verticales).



résultats n'ont pas mis en évidence le caméléon, mais les expériences satellitaires programmées après *Microscope* le pourront peut-être.

Une autre piste pour éclaircir le rôle de l'énergie sombre dans le Système solaire est venue d'une expérience en physique des particules. Depuis plusieurs décennies, le candidat le plus naturel pour décrire la matière noire, cette composante importante du contenu de l'Univers, est une particule très lourde. Sa masse serait plus d'une centaine de fois celle du proton et interagirait très faiblement avec la matière qui nous entoure. La Terre comme le reste de la Voie lactée devraient baigner dans un halo de matière noire composé de ces particules. Notre planète, dans son mouvement autour du Soleil, fendrait ce voile et il est probable qu'un détecteur bien calibré détecterait la collision entre un atome et l'une des particules de matière noire. Cette rencontre est très peu courante et son observation requiert d'enfourer ce détecteur et d'observer les possibles collisions pendant des années.

C'est ce qu'a fait l'expérience *Xenon1T* du laboratoire souterrain de Gran Sasso, en Italie. Dans un grand conteneur ont été placées 3,2 tonnes de xénon, un gaz rare en phase liquide. Une particule de matière noire peut ioniser le gaz et l'énergie des électrons récupérés peut être mesurée. Ainsi que cela a été publié en 2020, des électrons en excès ont été observés par rapport à ceux qui apparaissent naturellement dans le détecteur : 53 de plus que les 232 attendus. C'est trop pour être une simple fluctuation statistique avec une probabilité de plus de 99,5%.