

# Illuminer les côtés

La nature de l'Univers reste mystérieuse... Pourtant, les proportions ordinaire, perdue dans un Univers sombre, correspond à moins de 4%  
La matière noire et l'énergie noire jouent un rôle primordial dans la

La matière noire serait composée de particules inconnues formant un halo autour des galaxies, courbant les rayons lumineux lors de leur passage à travers les amas galactiques et jouant un rôle crucial dans la formation des grandes structures de l'Univers. L'énergie noire, responsable de l'accélération de l'expansion de l'Univers, pourrait être la manifestation de l'énergie contenue dans le vide ou être un fluide cosmologique en évolution lente. Les théoriciens et les expérimentateurs, au CEA comme dans le monde entier, dialoguent depuis plusieurs décennies pour résoudre ces mystères et éclairer les côtés sombres de notre univers.

**Marco Cirelli** : Pierre, mon ami expérimentateur, que comptez vous faire pour détecter ces particules nouvelles qui constituent la matière noire ?

**Pierre Brun** : Attends, Marco, mon ami théoricien, avant de nous envoyer chercher une nouvelle particule, n'y auraient-ils pas d'autres possibilités ?

**MC** : Il semble que non. Il avait été proposé que le phénomène soit dû à de la matière normale soumise à une loi de Newton modifiée, mais ceci ne peut pas expliquer certaines observations comme celles faites lors de collisions d'amas de galaxies ou l'existence des grandes structures de l'Univers qui se forment grâce à une importante quantité de matière lourde.

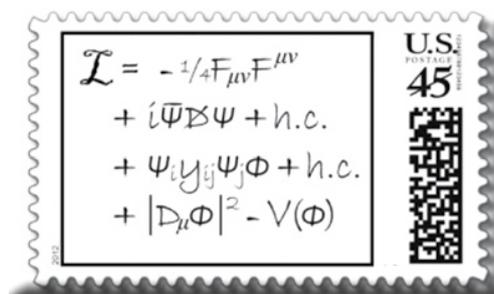
A l'échelle des galaxies, on pensait que cela pouvait aussi être dû à des objets compacts comme des planètes ou des trous noirs...

**PB** : Oui ! Mais certaines expériences comme Eros, dont l'Irfu faisait partie, ont montré, dans les années 90, que ces objets sont en trop petit nombre. C'est donc pour cela que vous avez inventé des nouvelles particules aux noms aussi bizarres que « neutralinos » ou « photons de Kaluza-Klein » ?

**MC** : Exactement. Ces particules ont leur origine en physique des particules dans des théories plus vastes, telles que la supersymétrie ou les modèles de Kaluza-Klein. Dans ce dernier cas, il existe de nouvelles dimensions de l'espace, renfermées en boucles microscopiques où quelques particules ordinaires, par exemple les photons, peuvent aller se cacher : l'énergie de ces particules cachées apparaîtrait à nos yeux comme une masse supplémentaire, ce qui a été proposé en 1999 par des chercheurs de l'IPHT. Il y a aussi des propositions moins audacieuses, tel que le modèle dit minimal, aussi avancé par l'IPHT, qui trouve une origine à la matière noire en n'ajoutant qu'une seule particule au modèle standard. Seule l'expérience dira si l'une de ces théories est la bonne. Que comptez-vous faire pour cela ?

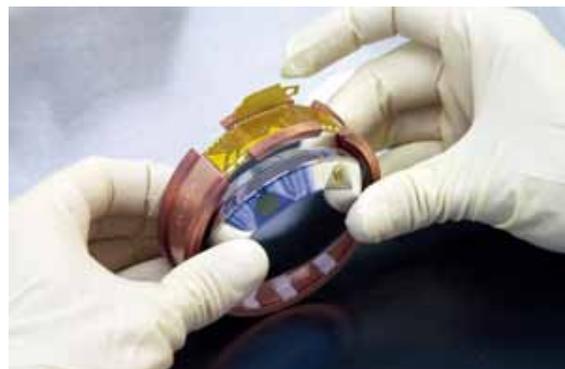
**PB** : Les prochaines années sont prometteuses. Une combinaison de différentes techniques expérimentales est nécessaire et l'Irfu s'est investi à fond dans ce

problème. Un grand espoir repose sur la production de matière noire par le *Large Hadron Collider* (LHC), l'accélérateur de protons du Cern, à Genève.



Le modèle standard de la physique des particules est si élégant et compact qu'il tient sur un timbre. Pourtant, il ne rend pas compte de la matière noire et de l'énergie noire.

Une autre perspective concerne la détection des produits issus de collisions de deux particules de matière noire dans notre galaxie. Différentes expériences pourraient détecter ces produits finaux : les télescopes à neutrinos, les télescopes à rayons gamma et les détecteurs de particules chargées embarqués sur des satellites. Un troisième axe compte sur les expériences souterraines comme Edelweiss visant à détecter un phénomène particulièrement rare : la collision d'une particule de matière noire avec un détecteur très sensible. Pour ce qui est de la matière noire, nos expériences prennent des données. Puisque tu nous dis qu'elle existe, on finira par en voir des traces !



Les cristaux de germanium d'Edelweiss, thermomètres parmi les plus sensibles au monde, pourraient permettre d'observer des particules de matière noire, les wimps.



Collision de deux amas de galaxies

En observant en rayons X ces deux amas de galaxies en collision, on détermine la distribution de la matière ordinaire, essentiellement du gaz interstellaire réchauffé (en rouge).

Mais les mesures de lentilles gravitationnelles montrent une grande quantité de matière non lumineuse (en bleu) avec des propriétés différentes : il s'agit de matière noire.

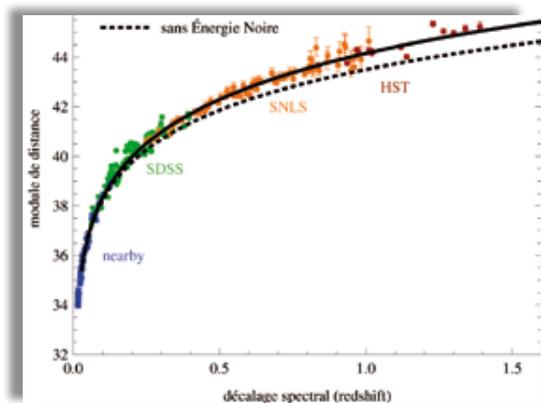
# sombres de l'Univers

Par Pierre Brun (Irfu) et Marco Cirelli (IPhT)

de ses constituants sont bien connues. Quel paradoxe ! La matière du total composé de 23 % de matière noire et de 73 % d'énergie noire. structure et l'évolution de l'Univers.

**MC** : On l'espère bien ! Les premiers résultats de vos expériences permettent déjà d'exclure certains de nos modèles théoriques. Cela prouve que les observations sont très sensibles.

**PB** : Pour ce qui est de l'énergie noire par contre, la situation est plus floue. En 1998, des observations d'explosions d'étoiles lointaines ont montré que l'Univers n'est pas juste en train de s'étendre, mais que son expansion s'accélère ! Comment expliquer cela alors que la matière présente dans l'Univers devrait le pousser à se contracter puisque les masses s'attirent ?



La luminosité apparente (mesurée sur Terre) de supernovas lointaines est plus faible que prévue compte tenu de leur distance car l'expansion de l'Univers a accéléré entretemps. Les données s'expliquent en ajoutant une composante d'énergie noire. Cette découverte a valu le prix Nobel à S. Perlmutter, A. Riess et B. Schmidt, en 2011.

**MC** : Ceci ne peut s'expliquer qu'en rajoutant une sorte d'énergie à pression négative qui surgit du vide et repousse l'espace même. C'est ce qu'on appelle « énergie noire ».

**PB** : Ce n'est pas la première fois que vous associez une énergie au vide, n'est-ce pas ?

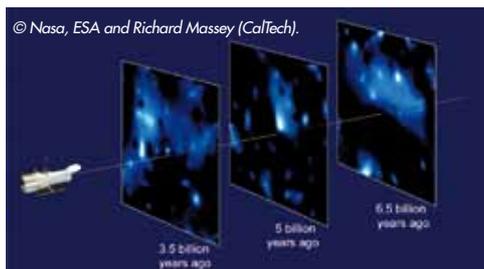
**MC** : Einstein, au début du XX<sup>e</sup> siècle, introduisit une constante cosmologique pour compenser l'expansion de l'Univers, expansion prévue par les équations de la relativité générale. Il put ainsi obtenir un Univers statique. Cette constante peut s'interpréter comme une énergie du vide, présente dans tout l'Univers. Après l'observation effective de l'expansion de l'Univers par Hubble, Einstein lui-même rejeta l'idée d'Univers statique comme « sa plus grande erreur ». Les résultats de 1998, constatant que cette expansion s'accélère, ont entraîné l'introduction d'une énergie du vide dite énergie noire, susceptible d'expliquer la dynamique de l'Univers.

**PB** : Et donc cela revient sur le tapis ! Mais quelle est l'origine de cette énergie ?

La physique des particules prévoit bien une énergie du vide, due à l'ébullition quantique du vide, mais la

prédiction quantitative de sa valeur tombe 120 ordres de grandeur au delà de la valeur mesurée. Embarrassant ! Certains scientifiques ont proposé que cela ne soit pas une énergie propre au vide mais un champ scalaire, une « quintessence », qui imprégnerait l'espace et qui serait en évolution très lente. Certains à l'IPhT sont allés plus loin en imaginant que ce champ ait des propriétés qui changent selon son environnement. D'où son nom de champ "caméléon". Tu le vois, nous sommes un peu dans le flou, il nous faudrait de nouvelles observations.

**PB** : Tout cela est bien mystérieux. En tout cas, pour l'énergie noire, nous comptons bien mesurer de plus en plus précisément sa densité et ses propriétés. Les expériences auxquelles l'Irfu participe sont bien placées pour cela. Les télescopes au sol mesurent les supernovas et comptent les galaxies pour en déduire des informations sur les propriétés de cette énergie noire. De l'espace, le satellite Planck publiera bientôt ses résultats. Dans le futur, nous espérons beaucoup apprendre des données d'Euclid, expérience dans laquelle l'Irfu est un acteur de premier rang. Par exemple, l'accélération pourrait être une illusion due à une modification de la gravité à grande échelle, que l'on verra sur la croissance des structures.



La mission spatiale Euclid cartographiera l'Univers lointain.

**MC** : Travaillons et attendons alors. Nous vivons tout de même dans une conjoncture intéressante : nous sommes conscients de notre ignorance de façon très quantitative !

**PB** : Oui, ça invite à l'humilité tout en étant très excitant. Espérons que nous verrons bientôt clair afin d'illuminer les côtés sombres de l'Univers.

Pierre Brun, à droite, chercheur en physique des astroparticules, est spécialisé dans la recherche de matière noire et de nouveaux phénomènes, en particulier avec les télescopes Hess.

Marco Cirelli, chercheur CNRS en astroparticules affecté à l'IPhT, travaille sur les aspects théoriques et phénoménologiques liés à la matière noire.

