

La supersymétrie, une théorie en crise ?

Joseph Lykken et Maria Spiropulu

Les théories supersymétriques promettent une meilleure compréhension du monde des particules élémentaires. Mais aucun indice de supersymétrie n'est apparu dans les expériences récentes réalisées au CERN. Cette idée séduisante risque-t-elle d'être abandonnée ?

Ce matin de l'été 2012, à l'aube, nous en étions déjà à notre troisième expresso quand la liaison vidéo a été établie. Nous pouvions entamer une de nos réunions régulières de l'équipe *Razor*, nous à l'Institut de technologie de Californie et nos collègues au CERN, à Genève. Le groupe est constitué de physiciens chargés d'analyser certaines données du LHC (*Large Hadron Collider*, ou Grand collisionneur de hadrons). L'équipe s'intéresse plus particulièrement aux résultats de collisions de protons de haute énergie au cœur de l'expérience CMS (Solenioïde compact à muons, voir la figure 1), à la recherche d'événements dits exotiques qui apporteraient les premières preuves de la supersymétrie. Cette théorie de la matière développée il y a près de 45 ans est censée résoudre certains problèmes fondamentaux du modèle standard de la physique des particules et expliquer la nature de la mystérieuse matière noire de l'Univers. Or malgré des décennies de recherche, aucune preuve expérimentale de la supersymétrie n'est apparue à ce jour.

Au CERN, Maurizio Pierini, le chef de l'équipe *Razor*, montrait un graphique de nouvelles données ; à neuf fuseaux horaires de distance, nous pouvions voir les sourcils froncés de tous les membres présents dans la salle : il y avait une anomalie. « Quelqu'un devrait examiner cet événement », déclara M. Pierini. En quelques minutes, nous avions tous deux récupéré sur un ordinateur portable tout l'enregistrement de cette collision.

1. LE DÉTECTEUR CMS, au grand collisionneur de hadrons (LHC) du CERN, entamera une nouvelle campagne de recherche de preuves de l'existence de la supersymétrie à partir de 2015.

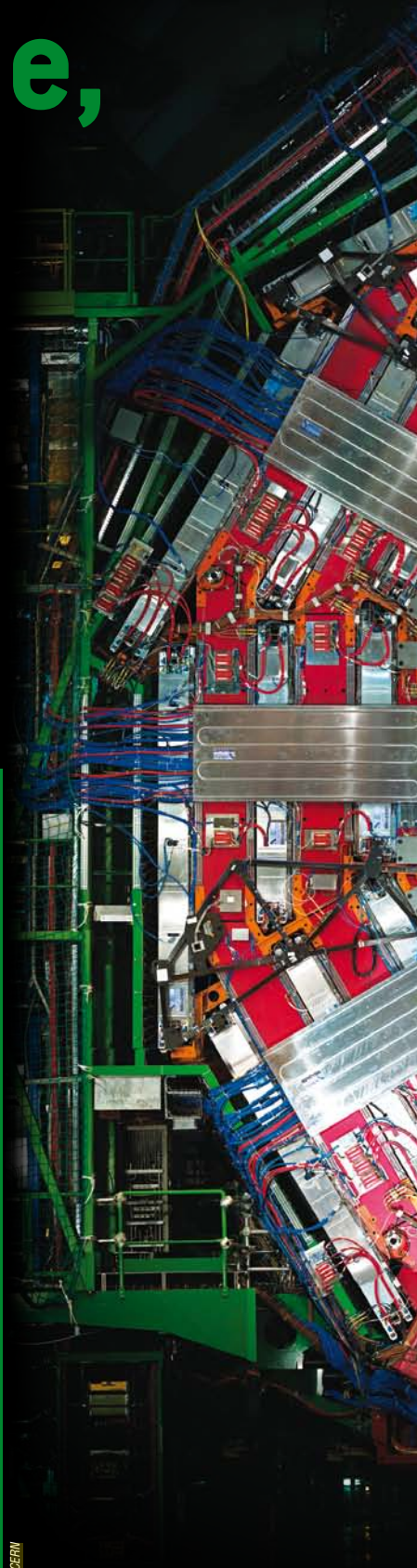
L'ESSENTIEL

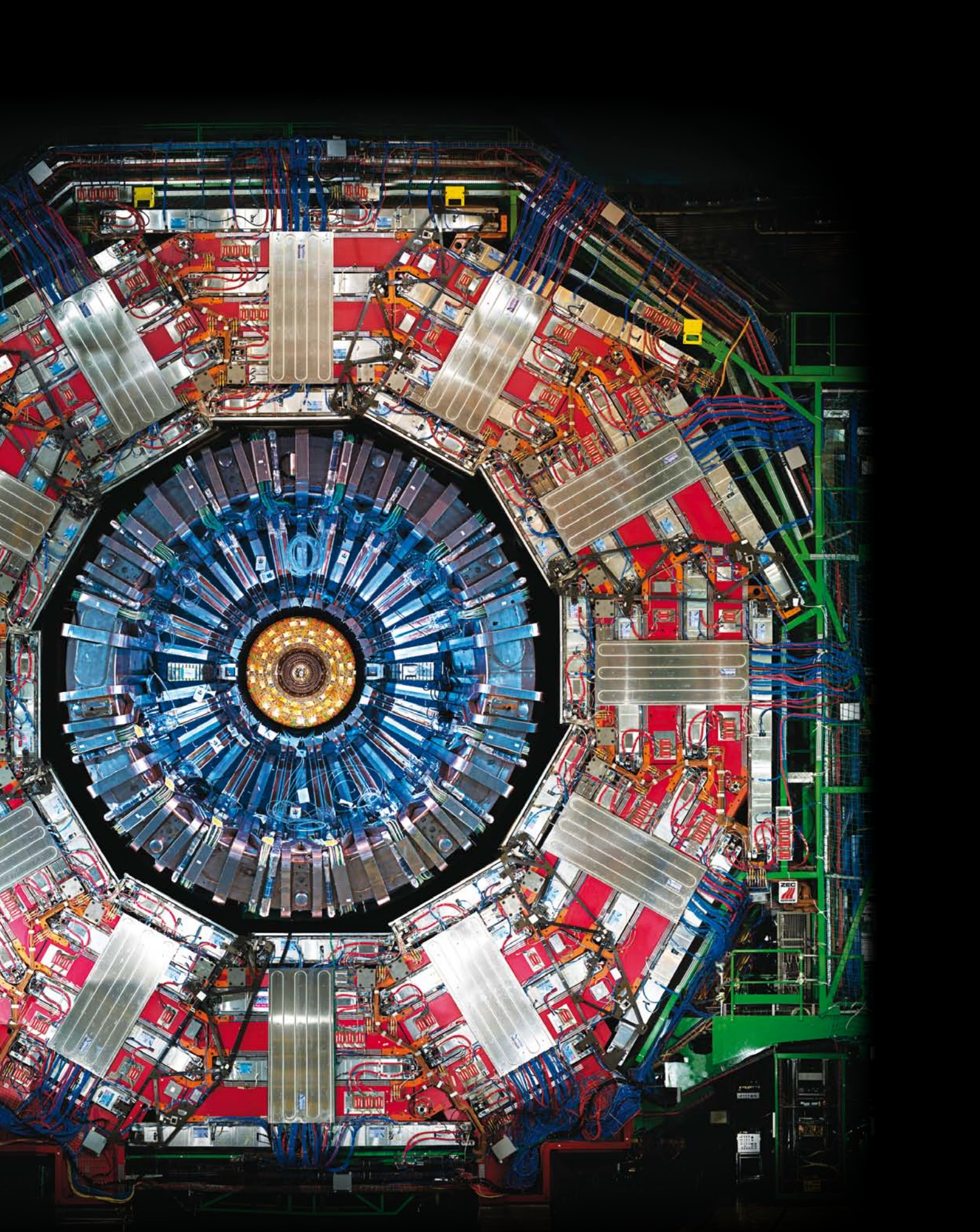
■ Les théories de la supersymétrie postulent qu'à chaque espèce de particule correspond un « superpartenaire » de masse élevée.

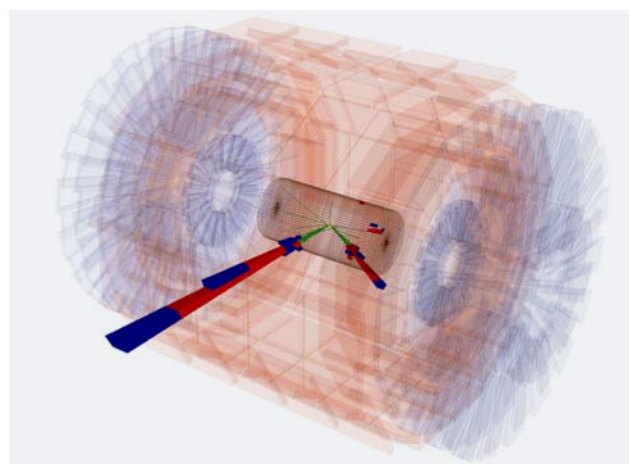
■ La supersymétrie résout certains problèmes inhérents au modèle standard de la physique des particules.

■ La nature de la matière noire reste inconnue, mais la supersymétrie suggère des candidats.

■ Les expériences au LHC, le grand collisionneur de protons du CERN, n'ont pas révélé jusqu'ici d'indices de supersymétrie. Les théoriciens envisagent des alternatives.







CERN/CMS

2. L'AUGMENTATION DE L'ÉNERGIE DES COLLISIONS permettra à l'expérience CMS (à gauche) de rechercher des particules supersymétriques plus massives. Un signal positif de supersymétrie pourrait ressembler à cette fausse alerte enregistrée en 2012 (à droite) : deux jets de particules (rouge et bleu) partent vers le bas, ce qui suggère que des superpartenaires, invisibles pour le détecteur, s'échappent vers le haut.

La supersymétrie est une solution efficace et mathématiquement élégante pour expliquer des tracas qui tourmentent les physiciens depuis longtemps. Cette théorie apporte des réponses à toute une série de questions importantes. Pourquoi les particules ont-elles ces masses-là ? Pourquoi les forces ont-elles ces intensités-là ? En d'autres termes : pourquoi l'Univers est-il tel qu'il est ? De plus, la supersymétrie prévoit l'existence de particules nouvelles, des « superpartenaires » de celles qu'on connaît, et jusqu'ici non observées. Ces particules pourraient constituer la matière noire, qui représente 85 pour cent de la matière de l'Univers et qui se manifeste uniquement par des effets gravitationnels.

Pour de nombreux physiciens des particules, la théorie de la supersymétrie est nécessairement vraie, tant elle est convaincante. Ils espèrent que le LHC découvrira ces superpartenaires, ce qui prouverait sa validité.

Quand nous avons téléchargé les données de la collision mentionnée plus haut, nous avons immédiatement pensé y voir un signal de la supersymétrie. Deux jets de particules partaient du centre du détecteur, vers le bas. Des particules invisibles pour les détecteurs étaient-elles parties vers le haut, peut-être des superpartenaires ? Mais l'analyse détaillée des différents signaux nous a rapidement fait supposer un mauvais fonctionnement du détecteur (voir la figure 2). Et en effet, c'était bien là l'explication.

Les résultats de la première campagne de fonctionnement du LHC ont exclu presque toutes les versions les mieux étudiées de la supersymétrie, celles où les superpartenaires

sont plutôt légers. Pour l'instant, ces résultats négatifs n'ont pas provoqué une crise à grande échelle de la physique des particules, mais plutôt une inquiétude généralisée. Le LHC entamera sa prochaine campagne au début de 2015, avec des collisions à des énergies plus élevées (14 téraélectronvolts), ce qui permettra aux chercheurs des expériences ATLAS et CMS de débusquer (s'ils existent) des superpartenaires plus lourds que dans les modèles précédents. Si, à la fin de cette campagne, la supersymétrie se dérobe toujours, la physique fondamentale se trouvera à la croisée des chemins : abandonner les travaux de toute une génération faute de preuves, ou persévérer dans la même voie en espérant qu'un collisionneur plus puissant révélera un jour des particules liées à la supersymétrie.

La supersymétrie, hypothèse nécessaire

L'histoire des sciences a connu de longues quêtes couronnées de succès – ne serait-ce que la découverte récente, au LHC, du boson de Higgs, particule qui s'est fait attendre près de 40 ans. Mais pour le moment, la plupart des théoriciens des particules s'impatientent, tandis qu'au LHC on se prépare à tester les fondations de l'édifice théorique qu'ils ont mis un demi-siècle à bâtir.

Nous disposons en physique subatomique d'une théorie prédictive très efficace, le modèle standard, qui décrit les particules et leurs interactions. Dans ce modèle, qui est une théorie quantique des champs (fondée sur la physique quantique et la théorie de

la relativité restreinte d'Einstein), la matière est constituée d'un type de particules, les fermions (du nom du physicien italien Enrico Fermi). Ces particules de matière interagissent *via* l'échange d'une autre variété de particules, les bosons (du nom du physicien indien Satyendranath Bose).

Le modèle standard décrit fort bien ce qui se passe au niveau subatomique. Il a été testé depuis les années 1970 sans présenter de faille. Mais les ennuis commencent quand on s'interroge sur l'origine des caractéristiques du modèle standard. Par exemple, ce modèle stipule qu'il existe trois types différents de leptons (des fermions) : l'électron, le muon et le tau. Pourquoi trois ? Pourquoi pas deux, ou quatre, ou quinze ? Le modèle standard ne l'explique pas. De même, on peut se demander pourquoi l'électron a une masse d'une telle valeur et pas une autre. Par exemple, pourquoi est-il plus léger que le boson de Higgs ? Sur ce sujet encore, le modèle standard ne dit rien.

Les physiciens théoriciens réfléchissent beaucoup à ces questions. Ils construisent des modèles plus fondamentaux dont le modèle standard serait la manifestation à basse énergie. Ces théories sont censées expliquer comment le modèle standard fonctionne et ce qui détermine les valeurs de ses paramètres. La théorie des cordes, par exemple, est l'une des voies explorées parmi bien d'autres.

Cependant, tous ces modèles plus fondamentaux impliquent l'existence de nouvelles particules hypothétiques. Celles-ci pourraient avoir une masse extrêmement élevée, d'où la difficulté à les créer dans les expériences. Cela expliquerait pourquoi on