

Le magazine de l'astronomie Décembre 2006

CIEL&espace

CIEL & espace

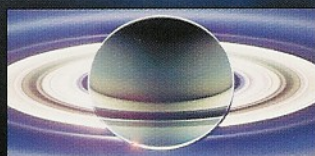
Écoutes



La menace du silence radio

MOND

Une nouvelle théorie de l'Univers



Saturne

Enquête sur l'origine des anneaux



Nasa

La science victime de la Lune ?



Observation

Les pointeurs laser controversés

N° 439 - DOM : 6,90 € - TOM : 15,00 XPF - BEL : 5,60 € - CH : 10 FS - AND : 4,90 € - CAN : 7,95 \$ - CAN - ESP : 5,00 € - GR : 5,00 € - ITAL : 5,90 € - LUX : 5,60 € - MAY : 7,30 € - PORT. CONT. : 5,00 € - SPM : 6,60 € - MAR : 28 MAD - TUN : 3,900 DTU

www.cieletespace.fr

M 01362 - 439 - F : 4,90 €



ÉDITO

TOUT UN MOND



Par Alain Cirou
directeur
de la rédaction de
Ciel & Espace

ET si, finalement, la matière noire n'existait pas ! Si cette masse hypothétique et invisible qui, avec l'autre fantôme de la cosmologie moderne, l'énergie noire, concerne quand même 95 % de l'Univers, n'était pas nécessaire pour que les galaxies tournent tranquillement sur elles-mêmes. Voilà l'idée la plus forte et la plus originale de "Mond", une théorie née il y a plus de vingt ans et qui retrouve aujourd'hui une vigueur remarquable. Imaginez qu'à grande distance la théorie de la gravité de Newton, la fameuse "constante de gravitation", ne soit plus tout à fait la même. Qu'au lieu de décroître comme le carré de la distance, la force d'attraction entre

deux corps diminue beaucoup moins rapidement. Alors nous explique dans son article l'astrophysicien Jean-Marc Bonnet Bidaud, "la recette fait miracle". Il n'est plus nécessaire de faire appel aux forces obscures (particules ou astres sombres) pour décrire le ciel tel que nous l'observons. Mieux encore, et c'est la cause du regain d'intérêt d'une partie de la communauté scientifique pour cette théorie alternative, elle serait aujourd'hui compatible avec la relativité générale d'Albert Einstein qui décrit le comportement à grande échelle de la matière et de l'espace-temps. Au prix de quelques ajouts...

Autant prévenir, et notre auteur ne le cache pas, cette théorie audacieuse est loin de faire l'unanimité dans la communauté des cosmologistes. Pour le moment, elle n'a pas fourni de preuves expérimentales de sa validité et si, demain, au Cern ou ailleurs, une particule de "matière noire" venait à être détectée, Mond serait immédiatement rangée aux oubliettes de l'histoire des idées. Mais c'est aussi sa force que d'oser questionner le dogme d'une gravitation supposée constante, quelle que soit la distance, et donc le temps. Sa folie peut-être, et il nous sera sûrement reproché de lui accorder une place aussi exposée qu'une couverture de magazine pour la présenter, mais elle est à coup sûr une parfaite illustration du mode de production de la science. Une idée originale ; de l'impertinence ; beaucoup de patience et un énorme travail de fond pour prétendre remplacer une vision consensuelle par de nouvelles "vérités". C'est pour les partisans de Mond la bataille qui leur reste à gagner.

**Plus besoin
de faire appel
aux forces
obscures pour
décrire le ciel
tel que nous
l'observons**

CIEL & espace

Revue mensuelle éditée par l'AFA, 17, rue Émile-Deutsch-de-la-Meurthe 75014 Paris.

Tél. : 01.45.89.81.44 - Fax : 01.45.65.08.95
Site internet : www.cieletespace.fr
CCP 18470 80 B Paris

Directeur de la publication :

le président de l'AFA, Olivier Las Vergnas

Directeur de la rédaction :

Alain Cirou, alain.cirou@cieletespace.fr

Rédacteur en chef :

Philippe Henarejos, p.henarejos@cieletespace.fr

Chefs de rubrique :

David Fossé, d.fosse@cieletespace.fr

Jean-François Hait, jf.hait@cieletespace.fr

Conseiller scientifique : Jean-Marc Bonnet-Bidaud

Rédacteurs :

Julien Bourdet, j.bourdet@cieletespace.fr

Jean-Luc Dauvergne, jl.dauvergne@cieletespace.fr

Émilie Martin, e.martin@cieletespace.fr

Ont collaboré à ce numéro :

Stéphane Fay et, Myriam Détruy

Secrétaire de rédaction :

Emmanuelle Lancel

Directeur artistique :

Olivier Hodasava, o.hodasava@cieletespace.fr

Assisté d'Emmanuel Delort, e.delort@cieletespace.fr

Service photo :

Franck Séguin, f.seguin@cieletespace.fr

Site internet :

Cyril Amérgé, c.amerge@cieletespace.fr

Directrice de la communication :

Valérie d'Auria, v.dauria@cieletespace.fr

Chargée de la publicité et du développement :

Hélène Comlan, h.comlan@cieletespace.fr

• ISSN n° 0373-9139 — CPPAP n° 1008 G 83672

Photogravure : Atelier André Michel (75)

Impression : Imaye Graphic, 53000 Laval

• **Publicités :** Parallax (2, 97 et 116) ; Maison de l'astronomie (4) ; La Martinière (6) ; L'Astronome (14) ; M42 Optic (18) ; Galileo (20 et 82) ; Kryos Astro (22) ; À ciel ouvert (24 et 106) ; La Croix (29) ; Médas (36) ; Unterlinden (45 et 102) ; Sci-Fi (52 et 115) ; Nature & Découvertes (57) ; Canal+ (65) ; Photo Service (71) ; La Recherche (86) ; Le Petit Futé (88) ; Équinoxe/Le Télescope (100).

→ **Service des ventes en kiosque**

VIP Diffusion Presse, n° vert : 08.00.51.49.74

→ **Abonnements et vente à distance**

Ciel & Espace

18-24, quai de la Marne, 75164 Paris Cedex 19

Tél. : 01.71.19.01.17

Mail : cieletespace@dipinfo.fr

→ **Abonnements-Canada et USA**

Express Mag Canada, 8155 rue Larrey, Anjou (QC) H1J 2L5

Express Mag USA, P.O. Box 2769, Plattsburgh, NY, USA, 12901-0239

Tél. : (514) 355-3333 - Sans frais : 1 800 363-1310

Fax : (514) 355-3332

Courriel : expsmag@expressmag.com

Internet : www.expressmag.com



Ciel & Espace est distribué par les NMPP. Dépôt légal à parution. Imprimé en France.

N° 439 | décembre 2006 | © 2006 AFA



Énergie so

Matière noire

MOND

Une nouvelle thé

Inflation

La théorie du big bang est face à un dilemme. Ses équations semblent parfaites, mais les "ingrédients" auxquels celles-ci font appel demeurent pour l'instant totalement hypothétiques... Ils ont pour nom "matière noire" et "énergie noire", et ne représenteraient pas moins de 95 % de l'Univers. Dans cette situation de "crise", une théorie, élaborée en 1983, revient sur le devant de la scène. Il s'agit de Mond, une modification de la gravitation imaginée par l'Israélien Mordehai Milgrom, qui élimine au moins une partie de ces ingrédients de nature inconnue. Même si elle doit encore être validée par des observations, sa résurrection symbolise le besoin, pour les cosmologistes, de trouver de nouvelles voies pour décrire l'Univers.

Dossier réalisé par
Jean-Marc Bonnet-Bidaud,
astrophysicien au CEA

L'Univers simplifié

Page 48

La matière noire reste introuvable

Page 50

Une mystérieuse énergie sombre complique le jeu

Page 54

orie de l'Univers

Les cosmologistes en quête d'alternatives

Page 56

CE SUJET VOUS INTÉRESSE ?

Retrouvez Philippe Henarejos, rédacteur en chef de

Ciel & Espace avec Christian Sotty

et Jean-Yves Casgha dans l'émission **MICROMÉGA** sur RFI (89 FM) le 2 décembre à 11 h 10 TU.



www.rfi.fr

Nasa/SDSC



J. Scheider

Les étoiles des galaxies spirales, comme ici M82, tournent trop vite par rapport au champ gravitationnel de toute la matière visible. C'est ainsi que les astronomes ont soupçonné l'existence d'une matière noire, invisible.

de très loin du point de vue théorique, Mond est désormais prise très au sérieux", note ainsi le physicien James Binney de l'université d'Oxford. Et si finalement, la matière noire n'existait pas ?

L'idée d'une telle matière est apparue en 1932, quand l'Américain Fritz Zwicky constate que la vitesse des galaxies dans les grands amas de galaxies est beaucoup trop forte. Si élevée, en fait, qu'en toute logique, les galaxies devraient s'échapper de ces amas. Pour les maintenir, il faut donc imaginer une source de gravitation plus puissante, une masse plus importante que la seule matière visible, d'où le concept de "matière noire".

L'Univers simplifié

Et si la matière noire n'existait pas ? Tel est le postulat de départ de la théorie Mond, qui tente de décrire l'Univers tel que nous l'observons. Après plus de vingt ans de gestation, force est de reconnaître qu'elle le fait avec succès.

"L n'y a aucun besoin de matière noire dans l'Univers" et si beaucoup d'experts continuent à y croire, c'est parce que "c'est leur gagne-pain, leur revendication à la célébrité. Ils ne changeront jamais d'avis". Depuis le début des années 1980, l'astrophysicien israélien Mordehai Milgrom n'en démord pas : l'Univers est bien tel qu'on le voit, c'est-à-dire constitué de grands espaces vides ponctués par des amas de galaxies. Et sans aucune masse invisible, la "matière noire" !

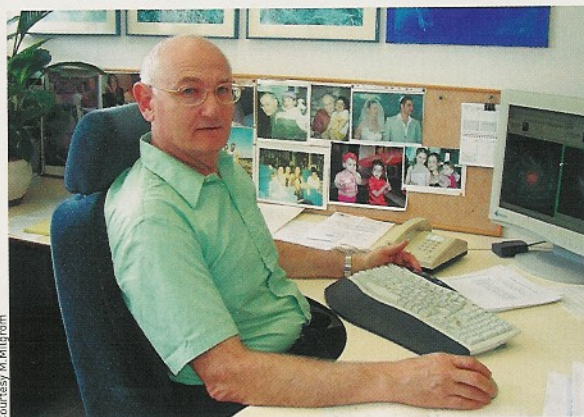
Cette conviction, il l'acquiert dès 1983 lorsqu'il découvre qu'une toute petite modification de la loi de la gravité de Newton suffit à résoudre l'un des problèmes fondamentaux de la cosmologie : la rotation trop rapide des étoiles et des galaxies. Si les vastes spirales scrutées par les grands télescopes tournent aussi vite, ce n'est pas parce qu'elles sont sous l'emprise d'une masse indétectable, mais bien parce que la loi de la gravitation universelle n'est pas celle que l'on croit ! D'un seul coup, grâce à sa théorie, qu'il baptise

Mond (pour Modified Newton Dynamics, ou Dynamique de Newton modifiée), il parvient à éliminer tout recours à la matière noire.

Bien que séduisante, Mond a connu une longue éclipse en raison de ses difficultés à expliquer certaines observations astronomiques. Mais aujourd'hui elle revient en force, et la floraison de publications récentes est là pour en témoigner. "Partie

Étoiles en excès de vitesse

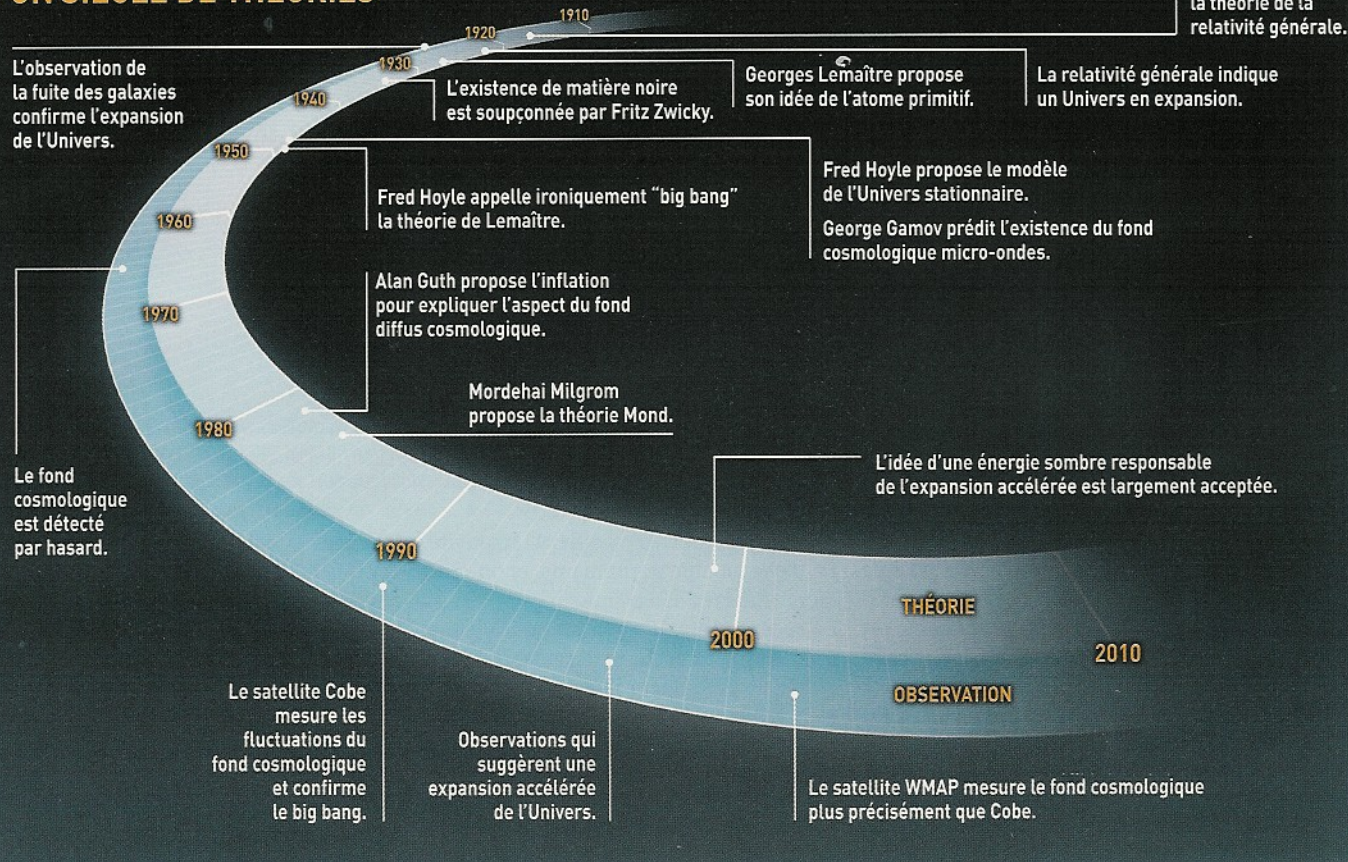
Le problème devient encore plus criant à partir de 1978. L'accumulation des observations révèle alors que le même "symptôme" affecte le mouvement des étoiles au sein d'une galaxie. Les centaines de milliards d'étoiles qui constituent le disque d'une galaxie ne sont pas immobiles. Comme dans un gigantesque carrousel, elles tournent autour du centre galactique. Ainsi, le Soleil met environ 250 millions d'années pour faire un tour complet de la Voie lactée. Or, ce que montrent les observations est surprenant : plus on s'éloigne du centre, plus les étoiles tournent vite. Avec la force centrifuge, elles devraient donc être éjectées, tout comme un objet posé sur un plateau tournant est projeté vers l'extérieur quand la rotation s'accélère. La seule force qui retient les étoiles est la gravité : elle agit comme un



Courtesy M. Milgrom

Pour résoudre le problème de la matière noire, dès 1983, l'Israélien Mordehai Milgrom pose une question essentielle : et si la variation de la gravitation en fonction de la distance était différente de ce que croyait Newton ? Car si c'est le cas, sa théorie, Mond, expliquerait efficacement l'Univers observable.

UN SIÈCLE DE THÉORIES



Petit glossaire de cosmologie

→ Énergie sombre

Force inconnue responsable d'une accélération de l'expansion de l'Univers depuis environ 5 milliards d'années. Son existence semble démontrée par la distance de certaines explosions d'étoiles, les supernovae. L'énergie sombre augmente avec le volume de l'Univers et, si son action perdure, elle sera responsable d'un éloignement de plus en plus rapide des galaxies.

→ Expansion

Mouvement d'ensemble de l'Univers qui conduit les galaxies et les amas de galaxies à s'éloigner les uns des autres depuis le big bang. Les astronomes l'ont

découvert à la fin des années 1920 grâce aux observations menées par l'Américain Edwin Hubble.

→ Fond diffus cosmologique

Rayonnement de fond de l'Univers, témoin de la première lumière. La carte de ce rayonnement nous renseigne sur la distribution de matière, il y a plus de 13 milliards d'années, avant la formation des étoiles et des galaxies.

→ Inflation

L'inflation est une période très brève d'expansion ultrarapide de l'Univers intervenue tout juste une minuscule fraction de seconde après le début de l'expansion. Cette hypothèse, introduite en

1980 par l'Américain Alan Guth, est nécessaire pour expliquer la géométrie et la très grande homogénéité de l'Univers dans des régions qui n'ont pu communiquer entre elles. À la source de cette fulgurante dilatation, une énorme "énergie sombre", qui pourrait être l'énergie du vide quantique.

→ Matière noire

Matière inconnue totalement différente de celle que nous connaissons, qui n'émet aucune lumière et n'interagit avec la matière des atomes que par la gravitation. Dans la théorie du big bang, son existence est indispensable pour expliquer la formation des galaxies.

→ Modèle de concordance

Version actuelle de la théorie du big bang combinant l'inflation, la matière noire et l'énergie noire afin d'expliquer l'émergence des galaxies et des étoiles, et la géométrie presque "plate" de l'Univers.

→ Théorie des cordes

Nouvelle théorie physique qui invente un concept inédit où les constituants des particules de matière ne sont pas des points mais des "cordes" ou des "membranes". Cette innovation donne l'espoir d'unifier dans une même description toutes les forces fondamentales.

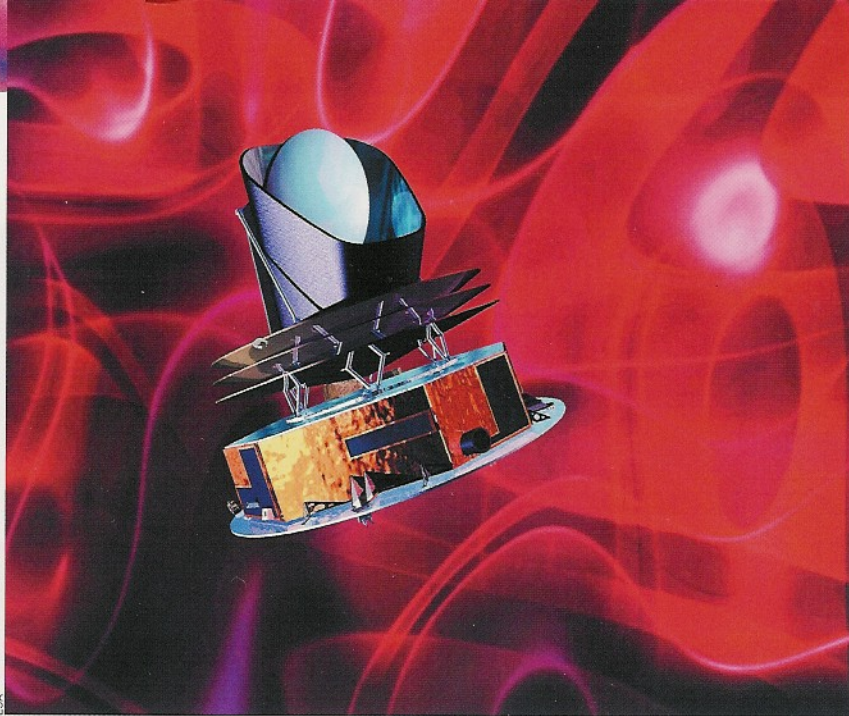
élastique qui se tend afin d'empêcher leur éjection. Plus la vitesse est élevée, plus l'élastique doit être fort pour résister. La gravité doit donc augmenter vers l'extérieur d'une galaxie. Or, selon Newton, la gravité augmente avec la masse. Conclusion : la masse d'une galaxie doit s'accroître à mesure que l'on s'éloigne de son centre. Problème : toutes les observations disent le contraire. Il y a de moins en moins de matière, gaz ou étoiles, visible vers l'extérieur d'une galaxie. L'écart avec la quantité attendue est énorme : plus de 90 % de la matière manquerait à l'appel. Là encore, la matière noire vient combler ce manque...

Les astronomes ont alors tenté de détecter cette mystérieuse composante clandestine. Mais, en presque trente ans, ils ont fait chou blanc ! (lire page 51) C'est cet échec qui a poussé Milgrom à s'interroger sur la validité même de la loi de la gravitation. D'autant que la gravitation est la moins bien connue des forces fondamentales. La fameuse "constante de gravitation", celle qui règle l'intensité de l'attraction entre deux corps, n'est en effet déterminée qu'à quelques pour cent près. Une véritable anomalie, comparé aux autres constantes de la physique, dont la précision est bien meilleure. De plus, la gravité est une force si faible qu'elle n'a pas encore pu être testée à très courte distance, ni aux très longues distances habituelles en astronomie.

Et si Newton s'était trompé ?

Milgrom s'est donc essayé audacieusement à faire une toute petite entorse à la sacro-sainte loi de Newton. Au lieu de laisser la force d'attraction entre deux corps décroître comme le carré de leur distance, il imagine qu'au-delà d'une certaine distance, la gravitation diminue beaucoup moins rapidement — seulement comme l'inverse de la distance. Surprise ! tout rentre alors dans l'ordre : les étoiles de la périphérie des galaxies tournent bien à la vitesse prescrite. La recette fait miracle. Mais ses détracteurs gardent un argument de poids. La véritable théorie de la gravitation est celle donnée par la relativité d'Einstein ; la loi de Newton n'en est qu'une simplification. Puisqu'on la

Isaac Newton (ci-contre), mais aussi Albert Einstein, dans leurs travaux sur la gravitation, ont-ils pris en compte tous les paramètres ? La théorie Mond suppose que non.



Grâce à son télescope de 1,5 m, le satellite Planck, de l'ESA, devrait à partir de l'été 2007, observer très précisément le rayonnement de fond cosmologique. De quoi vérifier Mond.

change, il faut aussi modifier la relativité. La tâche semble surhumaine, et on croit Mond enterrée sans rémission.

Le récent renouveau de la théorie vient d'un autre chercheur israélien, Jacob Bekenstein. Pendant plus de vingt ans, il tente d'insérer Mond dans la relativité... et trouve finalement la solution en 2004. Au prix d'une modification un peu plus complexe et de l'introduction de trois nouveaux paramètres, il montre que Mond reste en accord avec Einstein. Sa publication dans la *Physical Review* en octobre 2004 fait aujourd'hui référence, et sa démonstration n'a pas trouvé de contradicteurs. Dans la foulée, de plus en plus de scientifiques⁽¹⁾ considèrent maintenant Mond comme une théorie alternative viable, même si la majorité doute encore qu'elle puisse résoudre tous les problèmes. Le débat est très vif, mais il faut reconnaître que Mond a marqué des points.

Premier succès pour la gravité modifiée : elle parvient désormais à expliquer les

"mirages gravitationnels", c'est-à-dire le fait que la lumière soit déviée lorsqu'elle passe à proximité immédiate d'une galaxie massive. Jusqu'ici, la déviation mesurée était beaucoup trop importante par rapport à la masse visible de la galaxie, et il fallait invoquer une énorme quantité de matière noire. Mond en fait l'économie car, pour une masse plus faible, son attraction et donc sa déviation sont plus fortes.

Mond marque des points

Deuxième succès, encore plus emblématique : la nouvelle théorie peut reproduire assez fidèlement les inhomogénéités du fond diffus cosmologique mesurées par le satellite WMAP (voir p. 53). En mai 2005, l'équipe de Constantinos Skordis, de l'université d'Oxford, a calculé l'action de la "nouvelle gravité" sur les petites condensations produites 300 000 ans après le big bang. L'accord avec l'image de WMAP est presque parfait. Là aussi, en l'absence de Mond, pour produire ces inhomogénéités, il faut ajouter... la matière noire. Un prochain test est encore à venir. Pour l'instant, WMAP n'a pas pu mesurer les plus fins "grumeaux". Or, si la matière noire existe, ils devraient être de plus grande amplitude que ceux formés par Mond. Le satellite Planck, dont le lancement est prévu en 2007, devrait apporter son verdict.

En attendant, la nouvelle théorie tient toujours. "Mond a été testée avec succès dans un très grand nombre de cas et si l'idée de matière noire n'était pas aussi ancrée dans l'esprit des astronomes, il y aurait peu de doute aujourd'hui sur sa capacité à décrire l'Univers", affirme Riccardo Scarpa, de



L'Observatoire européen austral (ESO), qui a défendu Mond en 2005 au Portugal, lors d'un congrès intitulé "Première crise en cosmologie". De nos jours, le problème n'est plus de savoir si Mond marche, mais plutôt que Mond et la matière noire donnent deux conceptions différentes mais équivalentes des phénomènes cosmiques."

Sur une idée simple, une modification presque "cosmétique" de la gravitation, la théorie de Milgrom est donc devenue étonnamment productive. L'avenir dira si c'était l'idée du siècle. La détection directe d'une seule particule de matière noire signerait son arrêt de mort. Mais, à l'heure actuelle, les physiciens s'activent

pour déceler les conséquences infimes de la gravité modifiée dans le laboratoire grandeur nature qu'est le Système solaire. L'accélération anormale constatée pour la sonde Pioneer (voir C&E n° 438, p. 68) pourrait être l'un de ses effets. ■

(1) Robert Sanders de l'Institut Kapteyn de Groningen, S. McGaugh de l'université du Maryland, Riccardo Scarpa de l'ESO et James Binney d'Oxford.

La matière noire reste introuvable

LE RETOUR en force de la théorie Mond aujourd'hui tient en grande partie à un fait tenace : à ce jour, toutes les recherches directes de la matière noire ont échoué. Les astronomes ont tout d'abord voulu vérifier si une partie de cette masse invisible ne pouvait pas être tout simplement des étoiles lointaines tellement faibles qu'elles en devenaient indétectables. De grands programmes ont été lancés pour déceler ces astres obscurs grâce à la déviation (et l'amplification) de la lumière qu'ils pouvaient produire, mais le verdict est désormais définitif. Les résultats de l'expérience française Éros 2, publiés en juillet 2006, sont venus clore une polémique avec l'équipe concurrente américaine Machos. Alors que Machos maintenait une proportion possible de ces étoiles, Éros 2 n'a détecté aucun phénomène de déviation en surveillant plus de dix millions d'étoiles, limitant ainsi la proportion de petites étoiles dans le halo de la Galaxie à moins de 7%. Si la matière noire existe, il faut donc admettre qu'elle n'est pas "ordinaire" — sa nature diffère de celle de la matière connue. En dehors de la gravitation, elle n'interagit pas (ou

peu) avec celle-ci. Or les physiciens inventent sans cesse de nouvelles particules qui pourraient faire office de candidates. Baptisées Wimps (particules massives faiblement interactives), celles-ci n'ont pour l'instant jamais été observées.

La détection de nouvelles particules pourrait signer l'arrêt de mort de Mond

d'une mine du Minnesota (États-Unis), à 780 m de profondeur, veille une batterie de douze bolomètres, refroidis à 50 milli-degrés au-dessus du zéro absolu (50 mK). En France, c'est à Modane, dans le tunnel du Fréjus, sous 1700 m de roche que sont tapis les huit bolomètres de l'expérience Edelweiss 2⁽¹⁾. Mais pour le moment, ces pièges à particules exotiques n'ont attrapé aucune proie. Bien que les candidates soient très rares, les physiciens escomptaient tout de même plusieurs captures par an... Il est prévu de multiplier les chances en ajoutant des

Comment les détecter ? En disposant au fond de puits des bolomètres, qui ne sont autres que des thermomètres ultrasensibles capables de mesurer un très faible souffle d'énergie. Comme celui que dégagerait le passage d'une Wimp. Le reste est affaire de patience. Depuis 2003, au fond

détecteurs, 28 d'abord, puis peut-être 120, pour Edelweiss d'ici plusieurs années. Mais ces résultats négatifs exacerbent le débat. La matière noire existe-t-elle vraiment, et sous quelle forme ? Pourquoi ne voit-on pas de particules noires, planètes noires ou astres noirs ?

On attend beaucoup maintenant du LHC (Grand Collisionneur de hadrons), un accélérateur surpuissant, mis en service début 2007 à Genève. Il pourrait produire incidemment une de ces particules rares. Néanmoins, plus le temps avance, plus le doute s'installe... Et plus les théories alternatives à la matière noire, comme Mond, se renforcent. ■

(1) Mise en service en janvier 2006, elle succède à Edelweiss 1, débutée en 2002.

Les astronomes supposent l'existence de la matière noire en raison des mirages gravitationnels provoqués par des amas de galaxies (à gauche), mais elle leur échappe toujours. Les physiciens auront-ils plus de chance en saisissant le passage d'une Wimp grâce aux détecteurs placés sous les montagnes (ci-contre, les bolomètres d'Edelweiss) ?

