

Microlentille

Une lentille gravitationnelle détectée dans la direction du Petit Nuage de Magellan.

Depuis les années 1930, des mesures de la masse des galaxies et des amas de galaxies ont montré que la plus grande partie de cette masse n'émettait pas de lumière. Seuls ses effets gravitationnels sur des corps lumineux trahissent sa présence. Cette matière sombre, située dans le halo des galaxies, serait constituée de matière exotique, des particules dont la nature reste à découvrir, et de matière ordinaire, sous la forme de petites étoiles non lumineuses, de naines brunes, de petites étoiles à neutrons, de trous noirs ou encore de nuages de gaz et de poussières.

Comment détecter la matière sombre ordinaire, alors qu'elle n'émet pas de lumière ? Par un effet de lentille gravitationnelle : comme une lentille optique, un objet massif dévie la lumière. Ainsi, lorsqu'un tel objet traverse la ligne de visée entre un observateur et une étoile lointaine, les rayons lumineux de l'étoile sont temporairement focalisés : on détecte une amplification de la lumière reçue, dont la durée augmente avec la masse de l'objet sombre et décroît avec la vitesse de passage de l'objet dans la ligne de visée. Cette durée dépend aussi de la distance. Comme l'effet n'apparaît que si l'alignement entre l'étoile lointaine et l'objet massif est parfait, la probabilité d'observer une telle amplification est faible.

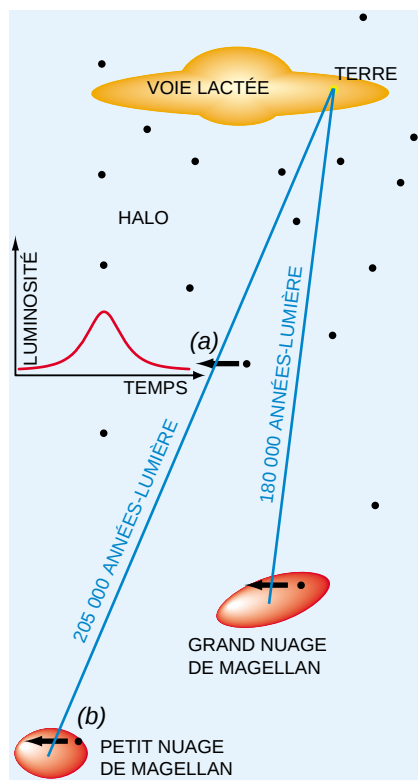
Depuis six ans, pour sonder le halo de notre Galaxie, la Voie lactée, plusieurs équipes surveillent quelques millions d'étoiles de deux galaxies voisines, le Grand Nuage de Magellan, situé à 180 000 années-lumière du Soleil, et le Petit Nuage de Magellan, situé à 205 000 années-lumière, en espérant que les objets massifs du halo passeront devant ces étoiles.

Deux expériences ont étudié le Grand Nuage de Magellan. La première, qui recherchait les objets de masse 1 000 à dix millions de fois inférieure à la masse du Soleil, n'a trouvé aucune lentille. La seconde, qui recherchait les objets plus massifs, détecta huit microlentilles, toutes avec des durées d'amplification inférieures à une semaine. En combinant ces résultats avec ceux d'autres équipes, on estima que moins de 20 pour cent de la matière du halo est sous la forme de naines brunes, des astres trop légers pour briller comme les étoiles. Les résultats sont éga-

lement compatibles avec un halo peuplé pour la moitié de sa masse d'objets sombres d'environ 0,5 masse solaire. Pour l'instant, on ignore la nature d'objets invisibles d'une telle masse.

En juin 1997, nous avons, en même temps que l'équipe MACHO, décelé la première lentille gravitationnelle dans la direction du Petit Nuage de Magellan. La durée d'amplification est plus de deux fois supérieure à celles qui étaient mesurées dans le Grand Nuage. De quel objet s'agit-il ? Si la lentille d'où résulte l'amplification de luminosité est située dans le halo de notre Galaxie, sa masse serait comprise entre deux et trois masses solaires. Un objet invisible d'une telle masse ne pourrait être qu'un trou noir ou une étoile à neutrons. En revanche, si la lentille qui a créé cette amplification appartient au Petit Nuage de Magellan. La longue durée de l'amplification résulterait de la faible vitesse relative de la lentille par rapport à l'étoile source. La lentille serait alors une étoile ordinaire d'environ un dixième de la masse du Soleil.

Seules des mesures supplémentaires et une comparaison statistique entre la direction du Grand et du Petit Nuage per-



Notre Galaxie est baignée dans un halo de matière en mouvement. Lorsque des condensats sombres (points noirs) passent devant des étoiles lointaines, comme celles de galaxies voisines, leur lumière est concentrée et on mesure une amplification momentanée. Dans la direction du Petit Nuage de Magellan, on a détecté une telle amplification, mais on ignore encore l'emplacement de l'objet sombre : dans le halo (a) ou dans cette petite galaxie (b) ?

BRÈVES

3,14159.....0123456789...

Le mathématicien Luitzen Brouwer n'admettait pas les propositions qu'aucune méthode ne permet de prouver ou d'infirmer. Comme on ne pouvait alors déterminer la présence de la suite 0123456789 dans la suite des décimales de π , il excluait la proposition : «La suite 0123456789 est présente dans les décimales de π .» La question a été résolue par Y. Kanada et D. Takabashi : la suite 0123456789 arrive à la 17 387 594 880 ième décimale de π .

L'eau sur la Lune rebondit

Fin 1996, la sonde *Clementine* découvrait de la glace dans un cratère du pôle Sud lunaire. Quelques mois plus tard, des observations au radiotélescope d'Arecibo infirmaient ce résultat. Aujourd'hui, nouveau rebondissement : la sonde *Lunar Prospector*, en orbite autour de la Lune depuis janvier 1998, annonce la découverte de glace, non seulement dans des cratères du pôle Sud, mais aussi au pôle Nord. Les mesures du spectromètre à neutrons indiquent que sa quantité totale est comprise entre 10 et 300 millions de tonnes.



De longues batteries

Le succès des téléphones portables est limité par leur faible autonomie : quelques heures avec des batteries au cadmium-nickel. Dotés de piles à combustible (alimentées au méthanol, par exemple), ces appareils pourraient fonctionner pendant plus de quatre mois sans interruption.

Planète rouge

La dizaine de planètes extrasolaires que l'on a découvertes ces dernières années étaient toutes autour d'étoiles jeunes. Toutefois des astronomes hollandais ont observé un disque de poussières, analogue à celui que l'on observe autour de ces étoiles, autour d'une étoile riche en oxygène, et donc déjà évoluée. La composition du disque, riche en molécules qui contiennent de l'oxygène, dont du dioxyde de carbone et des silicates cristallins, suggère que des planètes s'y forment. Même les vieilles étoiles ont des enfants...

Suite page 22

Des clones partout

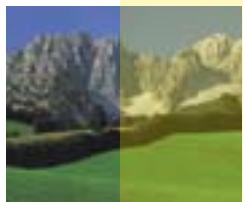
Alors même que l'INRA annonce le clonage de bovins, des associations préconisent le clonage de personnages célèbres. Un groupe d'Américains voudrait cloner Elvis Presley, et des chrétiens préconisent le clonage de Jésus à partir de cellules prélevées sur le suaire de Turin.

Palindrome

John Baxter, qui a étudié le cri de plus de 800 animaux, affirme que 12 pour cent de ces cris sont «palindromiques» : le son inversé temporellement est identique au son émis. Selon lui, il s'agirait d'un avantage adaptatif, car ces cris symétriques sont plus faciles à retenir. De même, a-t-il observé, le cri de Tarzan serait un palindrome.

Plus frais au fond

Des météorologues de l'Université de Grenoble ont collaboré avec des océanographes du Havre afin d'explorer le gradient thermique de l'atmosphère.



L'équipe de Grenoble s'est placée en altitude et a utilisé des tuyaux de diverses longueurs (entre 100 mètres et deux kilomètres) pour aspirer des échantillons d'air qui étaient tous analysés en un même site. Le résultat est sans appel : au ras de l'océan comme au fond des vallées, les couches basses de l'atmosphère sont plus froides.

Football sur l'Internet

Les lents débits de transmission sur le réseau Internet y empêchent les retransmissions dans de bonnes conditions. Aussi, une société israélienne a mis au point un système qui permettra aux fans de suivre les matchs de leur équipe de football préférée. Un radar suivra l'évolution des joueurs aux maillots desquels un transpondeur de la taille d'une carte de crédit sera cousu. Un ordinateur, qui sait ainsi où se trouve chaque joueur, crée une modélisation tridimensionnelle du jeu.

Rideaux d'air

Un rideau d'air, mis au point par le Centre scientifique et technique du bâtiment, arrête les écoulements de fumée et de polluants. Pour ce faire, la vitesse du jet est ajustée en fonction de la différence de pression à contrer et de la hauteur du couloir. Ces rideaux serviraient également pour isoler les guichets de péage des autoroutes.

Suite page 24

mettront de trancher entre ces deux hypothèses. La détection d'amplifications de durées similaires en direction du Grand Nuage de Magellan montrera que les caractéristiques des lentilles sont indépendantes de la direction, et l'on pourra conclure que le halo contient des objets massifs, tels des étoiles à neutrons ou des trous noirs de quelques

masses solaires. En revanche, si les lentilles appartiennent aux Nuages de Magellan, les durées d'amplification mesurées devraient être inférieures dans la direction du Grand Nuage, puisque celui-ci étant le plus massif, les étoiles s'y déplacent plus rapidement.

E. AUBOURG, N. PALANQUE et M. SPIRO
CEA-Saclay, collaboration EROS

Les insectes, indics d'un genre nouveau ?

Les insectes révéleraient l'état des milieux... s'ils étaient plus étudiés.

Biodiversité est un maître mot : elle est menacée, à l'échelle mondiale, par la disparition des forêts tropicales, l'accroissement de la population et l'urbanisation, l'agriculture et l'élevage intensifs, la pollution, etc. La prise de conscience des enjeux liés à la biodiversité a conduit de nombreux pays à protéger certains territoires ou certaines espèces. Une telle protection présente de considérables difficultés politiques, économiques, juridiques, techniques ou scientifiques.

Certaines d'entre elles trouvent rarement écho dans les médias. Avant de protéger un territoire ou une espèce, il faut diagnostiquer son intérêt. Et là, les choses se corsent dès que l'on sort du cas des forêts tropicales – dont la richesse biologique est évidente – ou de celui d'espèces rares et spectaculaires (tigres,

pandas, baleines et autres gros mammifères ou oiseaux).

En particulier, la plupart des inventaires de flore et de faune que l'on a réalisés pour évaluer la biodiversité et la qualité biologique d'un milieu naturel font peu ou prou l'impasse sur les insectes (et les invertébrés en général). Pourtant avec quelque 900 000 espèces décrites – et sans doute des millions encore inconnues –, les insectes représentent de loin le groupe le plus important du vivant. Ce paradoxe était la toile de fond d'un colloque organisé par l'AIDEC (Association internationale des entretiens écologiques) et l'UEF (Union de l'entomologie française).

Comment expliquer la part aujourd'hui insuffisante des insectes dans la gestion de l'environnement ? Une difficulté essentielle tient à l'énorme diversité de ce groupe. Pour la France seule, on connaît environ 36 000 espèces. Or, «à part quelques espèces facilement reconnaissables, l'identification précise d'un spécimen nécessite le recours à un spécialiste», rappelle l'entomologiste Lucien Leseigneur. Sachant que même un spécialiste ne peut connaître en détails plus de quelques centaines d'espèces, qu'il s'agit souvent des mêmes



M. Mashaal

Pour estimer la qualité écologique d'un milieu aquatique, on établit l'inventaire d'insectes exigeants vis-à-vis de leur habitat, notamment certaines libellules (ici une femelle de l'espèce *Cordulia aenea*).

groupes (coléoptères, papillons, insectes vecteurs de maladies, etc.), que l'entomologie est depuis longtemps délaissée par les organismes de recherche, on devine la pénurie d'experts auxquels les instances environnementales voudraient faire appel. «Les entomologistes professionnels sont peu nombreux et ne sont pas très disponibles, et les amateurs [quelques milliers en France] sont vite surchargés», résume L. Leseigneur.

S'ajoutent des problèmes d'ordre scientifique. Prendre en compte les insectes dans l'évaluation écologique d'un milieu, d'accord, mais lesquels ? Faut-il dénombrer uniquement les espèces rares ? Celles qui sont sensibles à la pollution ? Choisir des représentants de tous les groupes d'insectes ? Se limiter au genre ou à la famille, comme le préconise Philippe Richoux (Université de Lyon I), ce qui allégerait le travail d'identification ?

Malgré les nombreuses questions en suspens, des listes d'insectes bio-indicateurs existent, pour les zones humides et les forêts notamment ; d'autres types de milieux pourraient suivre. Par exemple, la présence de certaines guêpes parasites d'insectes nuisibles pourrait être mesurée pour jauger la santé des oliveraies du Midi, comme le montrent des travaux d'André Panis (INRA, Antibes). Toutefois, les connaissances – et donc les listes d'espèces indicatrices de la qualité d'un milieu – sont encore lacunaires. Pour améliorer la situation, il faut, selon Jean-Claude Lefeuvre, écologue au Muséum de Paris, que les entomologistes français «s'organisent et s'insèrent dans les programmes de recherche pluridisciplinaires sur les écosystèmes».

La balle n'est pas seulement dans le camp des entomologistes. Pour ces derniers, une gestion «écologiquement cor-

recte» des milieux (naturels ou non) demande que les acteurs de l'environnement – y compris les forestiers, les agriculteurs, les aménageurs en tous genres – soient conscients de l'importance du rôle des petites bêtes. Malgré quelques progrès, les entomologistes pensent qu'il y a encore fort à faire.

Les enjeux dépassent le cadre de la seule biodiversité. L'exemple de l'Australie est symptomatique : l'introduction, à la fin du XVIII^e siècle, des vaches et des chevaux y a provoqué une catastrophe. Pourquoi ? Parce que les insectes bousiers autochtones sont adaptés aux bouses de kangourous, pas à celles de vaches... Résultat : les bouses, privées de recycleurs, ont recouvert les prairies. En 1978, on estimait la perte associée de pâturages à un million d'hectares par an !

Maurice MASHAAL

Attracteurs d'onde

Dans un milieu stratifié avec un fond incliné, les ondes s'organisent le long de trajectoires fermées.

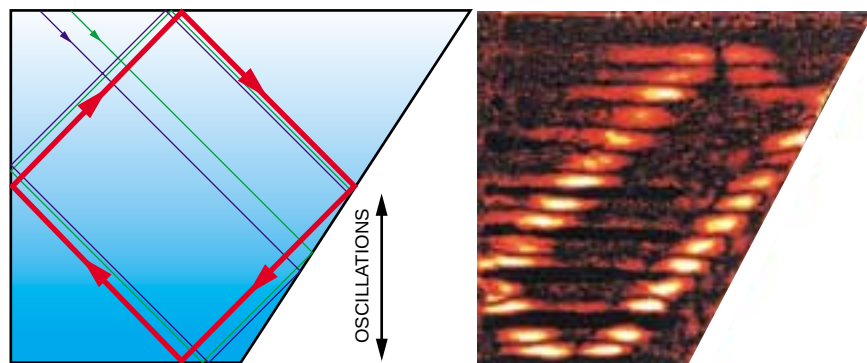
Si la houle agite la surface de l'océan, des ondes dites internes se propagent également sous la surface en raison des variations verticales de la densité de l'eau. Elles pourraient circuler en boucle : dans une cuve avec une paroi inclinée, où les ondes sont excitées par des vibrations, nous observons que les réflexions de ces ondes leur font suivre des trajectoires qui se rapprochent de circuits déterminés, nommés attracteurs.

Les ondes internes sont connues dans l'atmosphère, où elles sont engendrées par le passage des masses d'air sur les reliefs : parfois les nuages se condensent dans les zones d'ascendance et révèlent les crêtes de ces ondes. Ces ondes résultent des variations de densité : comme la densité diminue avec l'altitude, une petite quantité d'air poussée vers le haut a tendance à redescendre, car sa densité est supérieure à celle de la zone où elle arrive ; inversement, une petite quantité d'air poussée vers le bas subit une poussée d'Archimède qui la fait remonter. Toutefois ces rappels engendrent des oscillations, à une fréquence caractéristique de la variation de densité, de la même façon que l'oscillation d'une masse accrochée à un ressort est caractéristique de sa raideur.

Si la masse oscille sur un plan incliné, la fréquence d'oscillation est réduite ; de même, une onde interne a une fréquence réduite quand elle se propage obliquement. Pour une variation de densité donnée, l'angle de propagation dépend uniquement de la fréquence.

Si l'océan ou l'atmosphère semblent des espaces infinis, un bras de mer ou un lac sont des milieux de densité variable (en raison des variations de température ou de salinité), où les ondes sont confinées par réflexion entre la surface et le fond. Généralement, le confinement d'ondes engendre un système d'ondes stationnaires : une corde de violon vibre à une fréquence fondamentale et aux fréquences multiples de cette fréquence fondamentale. En effet, le milieu n'oscille efficacement qu'à des fréquences précises, parce que les ondes résultant des réflexions successives n'interfèrent de façon constructive qu'à ces modes propres d'oscillation.

Lorsque des ondes internes se propagent dans un milieu où la densité varie, à l'intérieur d'une cuve avec une paroi inclinée, cette organisation en modes propres disparaît au profit d'une organisation différente qui résulte des propriétés particulières de réflexion. En effet, la fréquence des ondes qui se réfléchissent sur une paroi fixe est inchangée au cours de la réflexion ; comme l'angle de propagation des ondes internes par rapport à la verticale dépend de la fréquence, cet angle reste donc inchangé ; l'angle de réflexion est alors différent de l'angle d'incidence, et les ondes forment des structures complexes, organisées autour d'un attracteur, un circuit géométrique sur lequel les ondes se focalisent par ré-



Des ondes internes se propagent dans de l'eau salée quand on fait osciller verticalement une cuve où la densité augmente avec la profondeur. La direction de propagation dépend de la fréquence des oscillations : dans le schéma (à gauche), les oscillations excitent uniquement les ondes qui se propagent avec un angle de 45 degrés par rapport à la verticale. Ainsi, deux ondes qui suivent des trajectoires différentes se rapprochent et parcourent l'attracteur (en rouge). Dans les expériences, la fluorescence d'un colorant excité par un laser (à droite) révèle l'attracteur.