



3. POLLY (à gauche) est un clone transgénique. Le gène d'une protéine humaine, le facteur IX, a été ajouté à la cellule qui portait le patrimoine génétique de l'agneau, de sorte que Polly a le gène humain dans ses cellules. La brebis (à droite) qui a porté Polly est d'une race écossaise à tête noire.

proche qui va mourir? Si la question n'a pas encore de réponse, on sait que le clone ne serait pas considéré, par son entourage comme une personne par elle-même, mais seulement comme la copie de son «jumeau» génétique. Or l'être disparu ne serait pas reproduit, car une personne n'est pas uniquement déterminée par ses gènes. Le clone d'une personne extravertie aurait un comportement différent, un clone d'athlète n'aurait pas les mêmes performances sportives, un clone de vedette de cinéma, de chef d'entreprise ou de scientifique choisirait une carrière différente parce que les circonstances extérieures ne seraient pas reproduites.

Dans un couple où l'un des deux partenaires est stérile, le clonage permettrait la copie génétique de l'un ou de l'autre, mais quel serait le comportement des parents face à un enfant qui

serait la copie de l'un d'entre eux? D'autres méthodes étant disponibles pour le traitement des stérilités, les méthodes thérapeutiques classiques semblent plus appropriées. Je pense qu'aucune des justifications avancées pour le clonage de personnes vivantes n'est acceptable sur un plan éthique, car aucune ne prend en compte l'intérêt de l'enfant. De surcroît, les mêmes raisons me font m'opposer à tout clonage pour l'obtention d'embryons humains donneurs de tissus.

En revanche, je pense que le clonage visant à l'obtention de cellules en culture aura d'importantes applications médicales. Souvent, on se trompe en prévoyant les utilisations futures des nouvelles techniques, car les comportements changent et l'on découvre des applications qui n'étaient pas prévues. L'avenir le dira.

DES CAILLOUX DANS LES CHOSSES SÛRES

DIDIER NORDON

**Des cailloux
dans les choses sûres**



Didier Nordon épingle les scientifiques et les politiques qui extraient de la science plus qu'elle ne dit. Nul doute que chacun reconnaîtra dans ces piques... le défaut de son condisciple.

144 pages - 70 F

Code 1897

**POUR LA
SCIENCE**
DIFFUSION BELIN

Bon de commande en p. 98

Ian WILMUT travaille à l'Institut Roslin, à Midlothian, près d'Édimbourg, en Écosse.

K.H.S. CAMPBELL, P. LOI, P.J. OTAEGUI et I. WILMUT, *Cell Cycle Co-ordination in Embryo Cloning by Nuclear Transfer*, in *Reviews of Reproduction*, vol. 1, n° 1, pp. 40-46, janvier 1996.

K.H.S. CAMPBELL, J. McWHIR, W.A. RITCHIE et I. WILMUT, *Sheep Cloned by Nuclear Transfer from a Cultured Cell Line*, in *Nature*, vol. 385, pp. 810-813, 27 février 1997.

Marie A. DIBERARDINO, *Genomic Potential of Differentiated Cells*, Columbia University Press, 1997.

E. SCHNIEKE et al., *Human Factor IX Transgenic Sheep Produced by Transfer of Nuclei from Transfected Fetal Fibroblasts*, in *Science*, vol. 278, pp. 2130-2133, 19 décembre 1997.

L.M. HOUEBINE, *Les animaux transgéniques*, Technique et Documentation, Éditions médicales internationales, Collection Génie génétique, 1998.

A. KAHN et F. PAPILLON, *Copies conformes : le clonage en question*, Éditions NIL, 1998.

Les amas de galaxies

PATRICK HENRY • ULRICH BRIEL • HANS BÖHRINGER

Les gigantesques amas de galaxies et de gaz sont les structures liées par la gravitation les plus massives de l'Univers. Ils se sont assemblés lentement, pendant des milliards d'années. Cette concentration touche peut-être à sa fin.

Dans la nuit du 15 avril 1779, de son observatoire parisien, Charles Messier observait la comète de 1779 qui, au cours de ses pérégrinations dans le Système solaire, passait devant les constellations de la Vierge et de la Chevelure de Bérénice. Messier était un si grand spécialiste des comètes que Louis XV l'avait surnommé «le furet des comètes» ; cette nuit-là, il marqua l'histoire de l'astronomie, parce qu'il aperçut trois taches diffuses aux allures de comètes et qui, pourtant, n'avaient pas bougé par rapport aux nuits précédentes. Pour être sûr de ne pas les confondre avec les comètes lors d'une traque ultérieure, il les ajouta à sa liste d'«imposteurs». C'était des galaxies.

Plus tard, il observa qu'une petite région située entre les constellations de la Vierge et de la Chevelure de Bérénice contenait 13 des 109 taches fixes diffuses que Pierre Méchain et lui avaient identifiées. Ces taches, aujourd'hui nommées objets de Messier, sont bien connues des astronomes : par exemple, M31 (le 31^e objet du catalogue de Messier) est la galaxie spirale d'Andromède.

Cette découverte, comme bien d'autres, était fortuite : alors qu'il ne les cherchait pas, Messier venait de découvrir l'amas de galaxies de la Chevelure de Bérénice, le premier exemple des structures les plus massives de l'Univers. Les amas sont des groupes de galaxies, tout comme les galaxies sont des groupes d'étoiles.

Dans l'organigramme des structures cosmiques, ils occupent le siège de vice-président, un cran sous l'Univers lui-même. Les amas sont plus massifs par rapport aux humains que les humains ne le sont par rapport aux particules subatomiques.

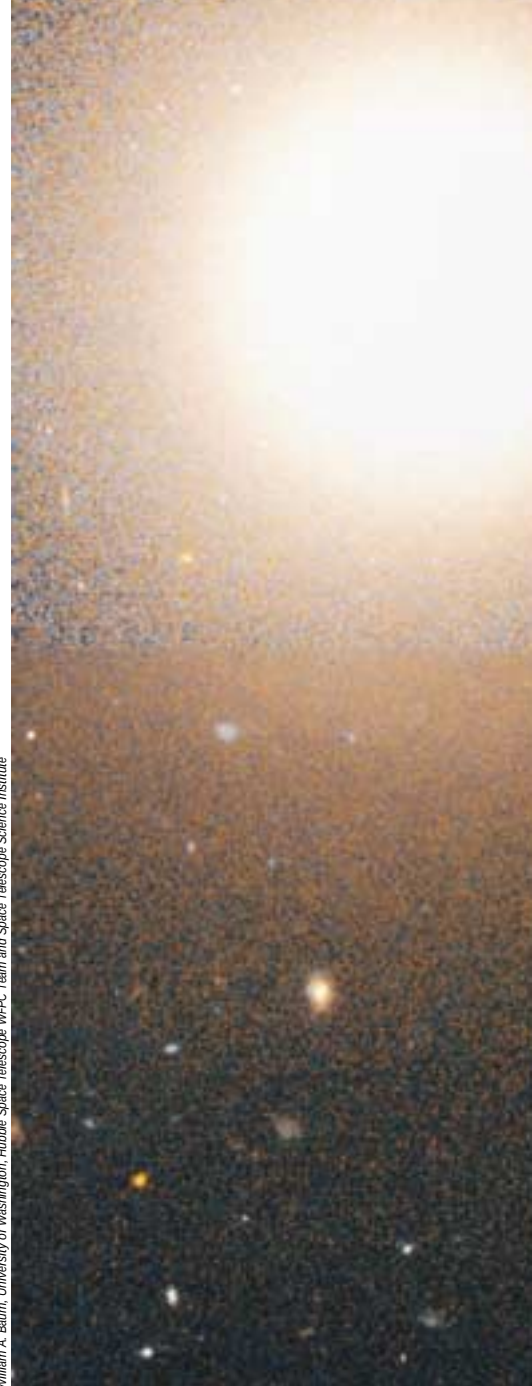
À bien des égards, l'étude des amas est la meilleure façon d'appréhender l'Univers dans son ensemble : constitués d'étoiles et de galaxies de tous les âges et de tous les types, les amas sont des échantillons représentatifs du matériau cosmique, y compris de la matière sombre, invisible, mais dont l'influence gravitationnelle est primordiale. De surcroît, comme les amas résultent de l'action de la gravitation à très grande échelle, leur structure et leur évolution sont liées à la structure et à l'évolution de l'Univers lui-même. Ainsi, l'étude des amas aide à répondre à trois questions importantes de la cosmologie : quelle est la composition de l'Univers ? Comment est-il organisé ? Quel sera son destin ?

Quelques années après les observations de Messier, William Herschel et sa sœur Caroline commencèrent à examiner les objets de Messier de leur jardin, en Angleterre. Intrigués, ils décidèrent d'en chercher d'autres à l'aide de meilleurs télescopes que celui de leur prédécesseur. Ils découvrirent alors plus de 2 000 taches diffuses, dont 300 dans l'amas de la Vierge. Herschel et son fils John remarquèrent que ces objets – que l'on sait aujourd'hui

être des galaxies – étaient groupés dans le ciel. Pourquoi ?

Au milieu des années 1930, une autre question apparut lorsque les astronomes Fritz Zwicky et Sinclair Smith mesurèrent les vitesses des galaxies de l'amas de la Vierge et de l'amas de la Chevelure de Bérénice. Tout comme les planètes tournent autour du centre de gravité du Système solaire, les galaxies tournent autour du centre de gravité de leur amas. Toutefois, les galaxies tournent si vite que leur masse totale visible ne suffit pas à les conserver groupées en amas, par leur attraction gravitationnelle. Autrement dit, pour expliquer ce qu'ils voyaient, les astronomes devaient supposer que les amas étaient 100 fois plus massifs

William A. Baum, University of Washington, Hubble Space Telescope WPC Team and Space Telescope Science Institute





1. DEUX GALAXIES BRILLANTES, l'une elliptique (*en haut, à gauche*) et l'autre spirale (*en haut, à droite*) apparaissent dans l'amas de la Chevelure de Bérénice sur cet assemblage d'images prises par le télescope spatial *Hubble*, en 1994. Cet amas est l'un des premiers amas de galaxies identifié par les astronomes. La plupart des autres taches de l'image sont des galaxies plus lointaines encore.

que la masse représentée par les galaxies visibles. Les astronomes en déduisirent que les amas étaient composés essentiellement de matière sombre, une matière invisible, mais massive. Quelle est exactement cette matière ?

Aujourd'hui encore, la nature de la matière sombre et la répartition hétérogène des galaxies confondent les astronomes. Le problème a même été aggravé, au milieu des années 1960, après la découverte du fond diffus cosmologique : ce rayonnement, qui indique la structure de l'Univers quelques milliers d'années après le Big Bang, est remarquablement uniforme. Comment un Univers très uniforme s'est-il transformé en un Univers hétérogène tel que nous le voyons ? Les astronomes

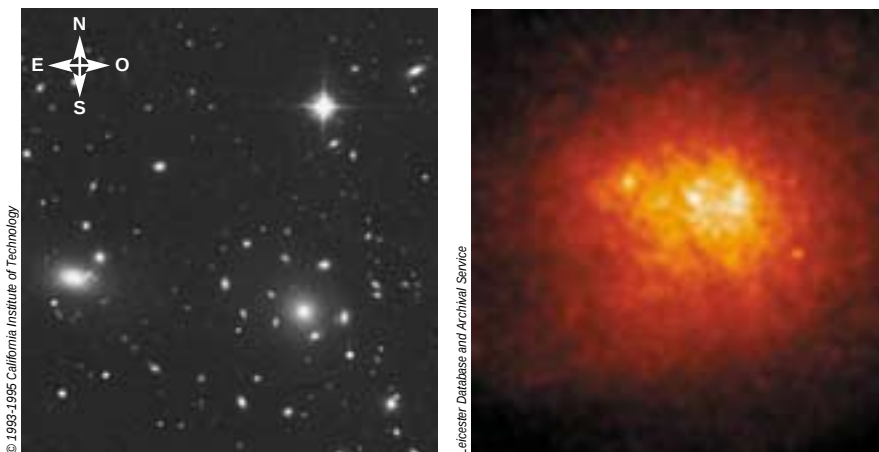
imaginent que de minuscules hétérogénéités initiales ont grossi jusqu'à devenir les galaxies que nous connaissons aujourd'hui, mais les détails de cette croissance sont encore discutés. Pour ce qui concerne la matière sombre, les astronomes en savent un peu plus qu'à l'époque de Zwicky, mais ils ignorent toujours la nature de la majeure partie de l'Univers.

La lumière de la matière sombre

Aiguillonnés par les questions ouvertes, les astronomes ont intensifié la recherche d'amas de galaxies au cours des 40 dernières années. On en connaît aujourd'hui 10 000 environ. En 1950,

en recensant les galaxies sur des photographies du ciel boréal prises à l'aide du télescope du mont Palomar, en Californie, l'astronome américain George Abell dressa la première liste des amas. Au début des années 1970, les astronomes pensaient avoir compris les propriétés fondamentales des amas : ils étaient constitués de galaxies en mouvement, liées entre elles par beaucoup de matière sombre. Ces objets étaient stables et immuables.

Puis en 1970, le satellite *Uhuru* («liberté» en swahili, en l'honneur de son lancement au Kenya) commença à observer le rayonnement X des amas, jusqu'alors quasi inaccessible aux astronomes. En pointant *Uhuru* vers les amas de la Vierge et de la Chevelure



2. L'AMAS DE LA CHEVELURE DE BÉRÉNICE paraît bien différent selon qu'il est observé en lumière visible (à gauche) ou en rayons X (à droite). En lumière visible, ce n'est qu'un simple ensemble de galaxies, mais le rayonnement X révèle que c'est une gigantesque boule de gaz chaud de presque cinq millions d'années-lumière de diamètre.

de Bérénice, les astronomes découvrirent que les amas ne se composent pas seulement de galaxies, mais aussi des quantités considérables de gaz situé entre les galaxies. Trop ténu pour être observable en lumière visible, le gaz est si chaud – plus de 25 millions de degrés – qu'il émet des torrents de rayonnement X (les électrons des atomes ionisés par le chauffage émettent du rayonnement X lorsqu'ils sont freinés par les interactions avec les autres particules).

Ce gaz constitue 20 pour cent de la matière sombre : sa masse totale est supérieure à la masse de toutes les galaxies mises ensemble (sur la masse totale d'un amas, les galaxies représentent moins de cinq pour cent de la masse, le gaz intergalactique entre 10 et 30 pour cent, le reste étant de nature inconnue). Le terme «amas de galaxies»

est donc mal choisi : ces objets sont des ballons de gaz où les galaxies sont immergées, comme des pépins dans une pastèque.

Depuis 1970, le rayonnement X des amas a été beaucoup étudié, notamment par des satellites tels que ROSAT, ASCA (acronyme d'*Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics*, soit «satellite avancé pour la cosmologie et l'astrophysique») ou l'Observatoire X Einstein. Le satellite ROSAT a été le premier instrument à prendre des images du ciel entier dans le domaine X. Bien adapté à l'observation de grands objets diffus comme les amas, il observe ces régions en grand détail depuis 1990 et vient d'arrêter sa mission à la fin 1998, en raison d'une panne.

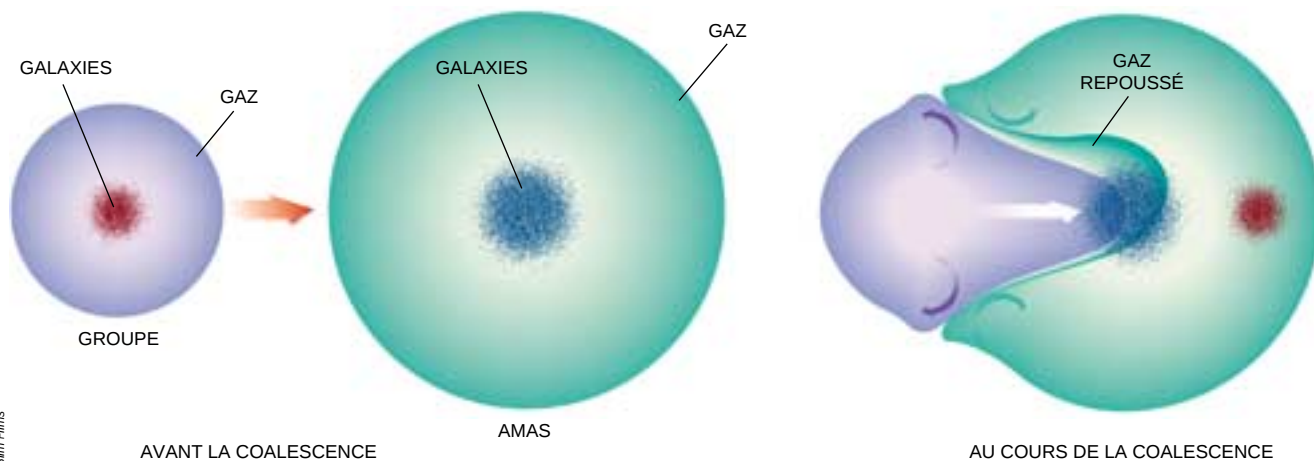
L'image X de l'amas de la Chevelure de Bérénice est assez régulière, avec

quelques blocs (voir la figure 2). Ces blocs semblent être des groupes de galaxies, des sortes de mini-amas. Un bloc, au Sud-Ouest, se dirige vers la partie principale de l'amas, qui comprend d'autres groupes. En revanche, l'amas de la Vierge semble moins homogène. Les régions de forte émission X sont des galaxies plutôt que des poches de gaz (voir la figure 5). Seule la région la plus centrale est ronde et régulière.

L'analyse de ces images X indique une formation des amas par fusion de groupes de galaxies plus petits. Les blocs visibles au centre de l'amas de la Chevelure de Bérénice sont vraisemblablement des groupes de galaxies en cours d'assimilation. L'amas de la Vierge semble être moins évolué : il attire encore la matière environnante ; si cette attraction se poursuit au même rythme, il ressemblera à l'amas de la Chevelure de Bérénice dans quelques milliards d'années. Ainsi les amas ne sont probablement pas immuables : ils avalent et digèrent la matière avoisinante.

Prendre la température

Après que les astronomes eurent obtenu les premières bonnes images en rayons X, au début des années 1980, ils cherchèrent à établir des cartes de la température du gaz dans les amas. Toutefois, ces mesures nécessitent un enregistrement des rayonnements X à toutes les longueurs d'onde et en chaque point des amas. Les premières cartes thermométriques d'amas, qui indiquent la température du gaz dans les différentes régions des amas, n'ont été obtenues qu'en 1994.



3. EN ABSORBANT LES GROUPES DE GALAXIES AVOISINANTS, les amas atteignent des tailles colossales. Attiré par la gravité, un groupe fonce dans l'amas, repoussant le gaz. Les galaxies elles-mêmes traversent l'amas facilement : les galaxies du groupe et celles de l'amas sont très éloignées les unes des autres, de

sorte qu'elles interagissent peu, et le gaz ténu ne s'oppose pas à leur progression. Finalement, les galaxies et le gaz des deux amas se mélangent, formant un amas plus gros. Ce dernier attire d'autres groupes jusqu'à épuisement des groupes de galaxies situés à proximité.

Ces cartes ont montré que la formation des amas est un mécanisme violent. Les images de l'amas Abell 2256, par exemple, indiquent que l'émission X présente deux pics d'émission (voir la figure 4). Le pic occidental est légèrement écrasé, suggérant qu'un groupe ayant foncé dans l'amas principal a balayé de la matière comme un chasse-neige. Une carte thermométrique corrobore cette interprétation. Le pic occidental est plus froid : sa température est caractéristique du gaz dans un groupe de galaxies. Comme les groupes sont plus petits que les amas, les forces gravitationnelles en leur sein sont plus faibles ; par conséquent, la vitesse des molécules du gaz – c'est-à-dire leur température – est inférieure (les groupes sont environ 50 000 milliards de fois plus massifs que le Soleil et leur température atteint dix millions de degrés. Les amas, eux, ont une masse 300 000 milliards de fois supérieure à celle du Soleil, et une température de 60 millions de degrés (l'amas le plus massif connu est cinq fois plus lourd que les amas moyens et près de trois fois plus chaud).

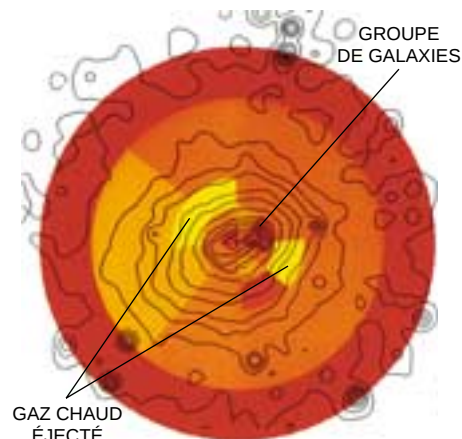
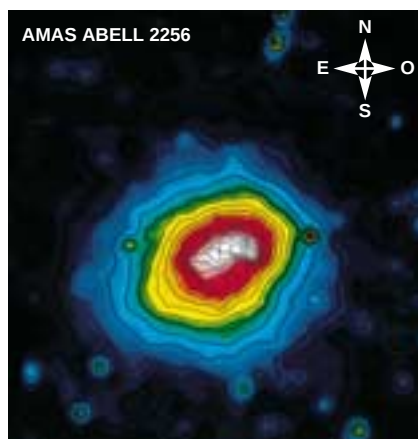
Dans l'amas Abell 2256, deux régions chaudes apparaissent le long d'une ligne perpendiculaire au mouvement présumé du groupe. La chaleur semble être engendrée lorsque de la matière éjectée du groupe s'écrase dans le gaz de l'amas principal. Ces observations s'accordent avec les simulations numériques de fusion de groupes. Le groupe devrait pénétrer au centre de l'amas en quelques centaines de millions d'années. Abell 2256 évolue donc encore.

Les dernières étapes d'une fusion se manifestent dans un autre amas, Abell 754. Cet amas a deux particularités : d'abord, les images de cet amas en lumière visible révèlent deux blocs séparés de galaxies ; ensuite, les observations X font apparaître une barre d'où s'échappe le gaz chaud de l'amas. L'un des groupes de galaxies se trouve dans la région de la barre, et l'autre en bordure de la région très chaude, à l'Ouest.

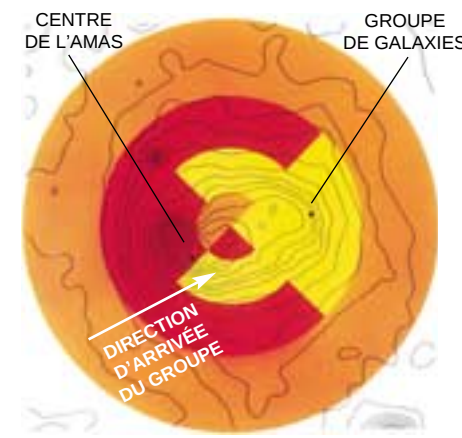
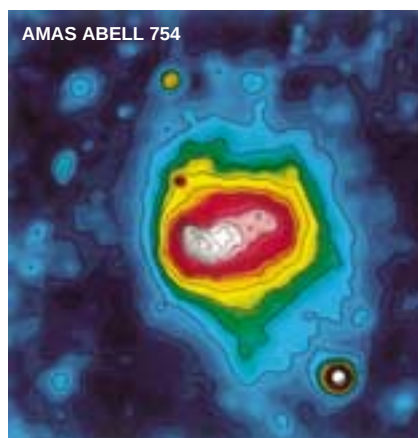
Pourquoi cette structure ? Supposons que l'on gonfle un ballon avec de l'eau et quelques cailloux, puis qu'on le lance dans une piscine. Le ballon représente les groupes qui fusionnent ; l'eau représente le gaz ; les cailloux, les galaxies ; la piscine, l'amas principal. Lorsque le ballon heurte l'eau de

la piscine, il se déchire. Son eau reste en surface et ne se mélange que très lentement, mais les cailloux s'enfoncent dans la piscine. Un processus similaire s'est apparemment déroulé dans

Abell 754. Le gaz du groupe absorbé a soudainement été bloqué par le gaz de l'amas, tandis que les galaxies du groupe ont traversé l'amas jusqu'à son extrémité opposée.



4. TROIS AMAS DE GALAXIES à divers stades de leur évolution. À gauche, les images obtenues par détection des rayons X et, à droite, les cartes des températures. Le premier amas, Abell 2256, absorbe un petit groupe de galaxies, qui est identifié par sa température relativement basse. Sur les cartes, le rouge est comparativement froid, l'orange tiède et le jaune chaud.

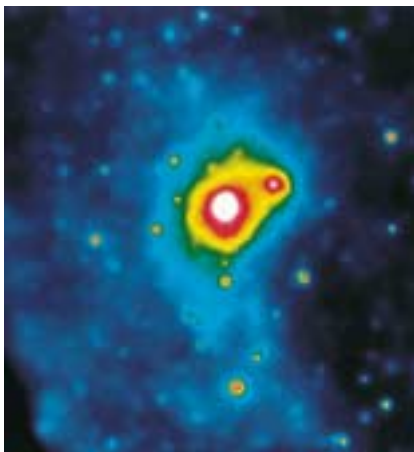
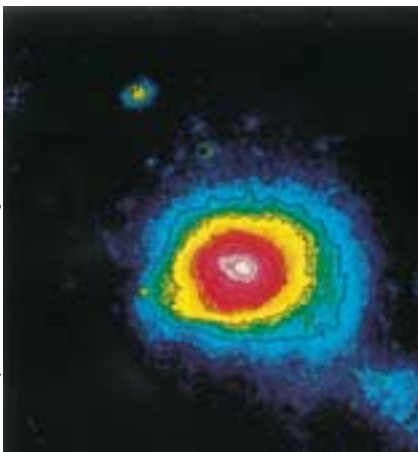


Le deuxième amas, Abell 754, absorbe également un groupe de galaxies, mais plusieurs centaines de millions d'années se sont déjà écoulées depuis le début de la rencontre. Le groupe absorbé est vraisemblablement entré par le Sud-Est (en bas à gauche), parce que l'amas est allongé dans cette direction. Les galaxies du groupe se sont séparées de leur gaz et ont traversé l'amas.



Pour l'amas Abell 1795, plusieurs milliards d'années ont passé depuis son dernier repas. Son image aux rayons X et sa carte de température ont une allure analogue. Au cœur de l'amas se trouve une région froide, une zone de gaz dense qui a rayonné l'essentiel de sa chaleur.

J. Patrick Henry, Ulrich G. Briel et Hans Böhringer



5. LES IMAGES EN RAYONS X des amas de la Chevelure de Bérénice (à gauche) et de la Vierge (à droite) montrent le gaz intergalactique chaud qui domine la partie lumineuse de ces structures. Le gaz est plus régulièrement réparti dans la Chevelure de Bérénice que dans l'amas de la Vierge. Ce dernier est vraisemblablement à une étape antérieure de son évolution.

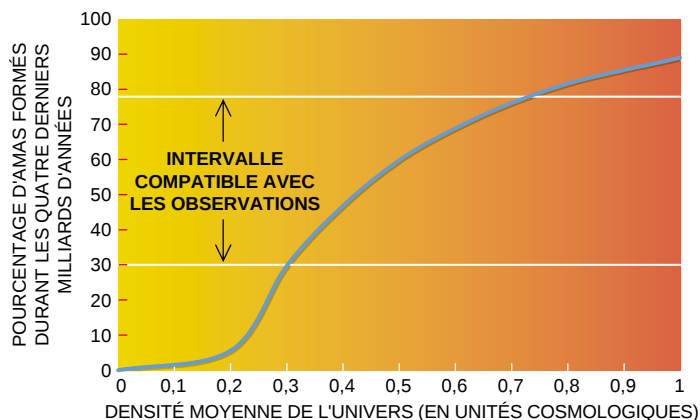
De l'évolution des amas à l'évolution cosmique

L'expansion de l'Univers a commencé lors du Big Bang, il y a environ 15 milliards d'années. Depuis cette époque, tous les corps qui ne sont pas liés les uns aux autres par la gravité ou par une autre force s'écartent. Toutefois, l'expansion cosmique se poursuivra-t-elle indéfiniment, ou la gravité de toute la matière de l'Univers suffira-t-elle pour l'arrêter? La réponse à cette question est difficile, car elle dépend du recensement minutieux de toute la matière de l'Univers, tâche ô combien délicate, notamment parce qu'une grande partie de cette matière est invisible.

Un recensement fondé sur l'étude de l'évolution des amas de galaxies est aujourd'hui possible. Au fil du temps, les amas croissent par coalescence, jusqu'à épuisement de la matière à leur «portée gravitationnelle». Plus il y a de matière dans l'Univers, plus ils croissent vite et plus ils deviennent gros (voir la figure). Si l'Univers possède suffisamment de matière pour s'immobiliser, moins de dix pour cent des

amas massifs présents aujourd'hui existaient voici quatre milliards d'années – et de nouveaux amas devraient encore naître et croître aujourd'hui. En revanche, si l'Univers ne contient qu'un quart de la masse nécessaire pour arrêter son expansion (ce qui correspond aux estimations actuelles), tous les amas massifs étaient déjà formés il y a quatre milliards d'années, et aucune croissance n'a eu lieu depuis.

L'observation de la vitesse d'évolution des amas favorise la seconde hypothèse : aujourd'hui, la plupart des amas ne grossissent plus. Ainsi, l'Univers poursuivra indéfiniment son expansion (sauf s'il existe de la matière aux propriétés physiques exotiques, telle une répulsion gravitationnelle qui varie au cours du temps). D'autres mesures récentes de l'expansion cosmique, fondées sur l'observation des supernovae lointaines et sur d'autres indicateurs, corroborent cette conclusion. Bien que le dossier ne soit pas clos, l'Univers semble ouvert.



Slim Films

Un troisième amas, Abell 1795, est à une étape encore ultérieure, plusieurs milliards d'années après une fusion. Cet amas est parfaitement régulier, et sa température quasi uniforme : l'amas a assimilé tous ses groupes et a atteint un état d'équilibre. On n'observe qu'une seule région de température particulière : au centre, la température est inférieure. Pourquoi? Parce que le gaz au centre est plus dense, et qu'un gaz dense émet des rayons X avec un meilleur rendement qu'un gaz ténu : lorsque le gaz est plus dense, il y a plus d'interactions, donc plus de freinage des électrons. Or, c'est du freinage que résulte le rayonnement X. Ainsi, si rien ne vient perturber ce gaz dense pendant deux ou trois milliards d'années, il rayonne la majeure partie de son énergie initiale et se refroidit.

Lorsque le gaz se refroidit, d'importantes quantités de matériau tiède s'accumulent – suffisamment pour former une nouvelle galaxie. Où est donc passée toute cette matière? Malgré les recherches, on n'a pas trouvé les poches de gaz tièdes qui se seraient formées et qui, moins denses, tomberaient vers le centre de l'amas. Pourtant, les cartes thermométriques révèlent que l'amas est en train de se refroidir (le centre est plus froid). La perte de chaleur a-t-elle commencé trop récemment pour que les zones tièdes soient visibles? La collision de groupes de galaxies empêche-t-elle la concentration du gaz refroidi en un point? Ces flots de refroidissement constituent un autre mystère non résolu.

Les structures grossissent

Ces trois amas d'Abell correspondent probablement à des stades par lesquels passent tous les amas lors de leur croissance. De temps à autre, des groupes de galaxies se joignent aux amas ; chaque groupe apporte du gaz chaud, des galaxies brillantes et de la matière sombre. La masse supplémentaire engendre des forces gravitationnelles plus intenses, qui chauffent le gaz et accélèrent les galaxies. La plupart des astronomes pensent que presque toutes les structures cosmiques ont grossi ainsi, par coalescence. Les amas d'étoiles ont fusionné pour former les galaxies, qui s'assemblent pour créer les amas de galaxies. Dans l'avenir, les amas fusionneront à leur tour pour construire des structures encore plus grandes. L'expansion de l'Univers

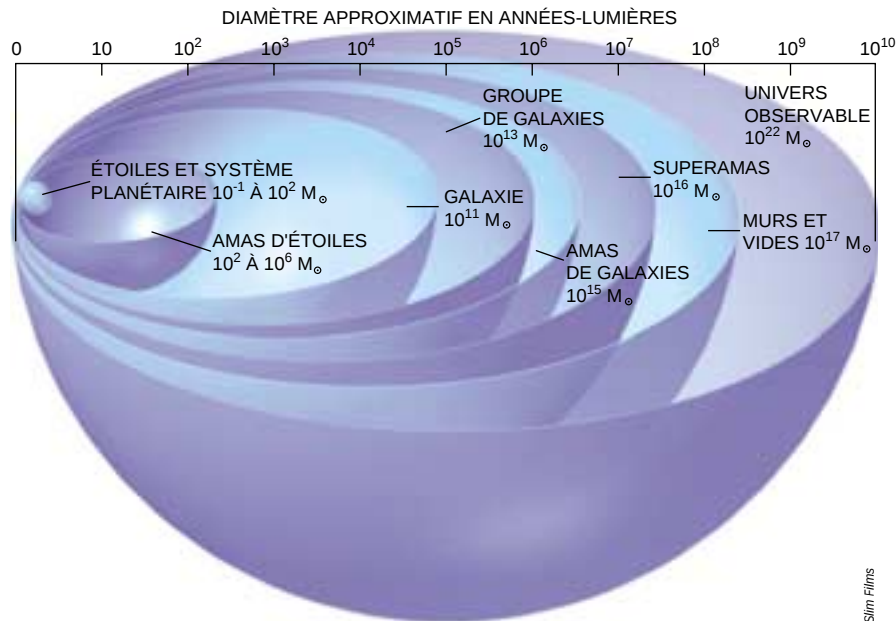
limite néanmoins cette croissance : les amas trop séparés ne fusionnent plus. Peut-être l'Univers approche-t-il cette limite.

À l'échelle de l'Univers, les amas cités jusqu'ici sont relativement proches. Les astronomes qui étudient l'évolution des amas à partir de quelques amas que nous observons sont comme des médecins qui exploreraient la croissance humaine à partir d'une seule photographie d'une foule. Avec un peu d'attention, on classe les personnes selon leur âge, et l'on déduit, qu'en général, les gens grandissent en vieillissant.

On pourrait aussi étudier la croissance humaine en examinant un ensemble de photographies, chacune ne contenant que des gens d'une classe d'âge, comme une photographie de classe d'école primaire, de lycée ou d'université. De même, les astronomes peuvent observer les amas à des distances de plus en plus grandes, qui correspondent à des époques de plus en plus reculées de l'histoire de l'Univers. Ainsi, on assemble des «photos de classe» d'amas dont les âges diffèrent. Grâce à cette approche, les astronomes travaillent sur un échantillon complet d'amas, plutôt que sur quelques amas individuels. En contrepartie, les amas jeunes étant très lointains (jusqu'à 20 fois plus que les amas précités), leur étude détaillée est hors de portée et l'on doit se contenter de leurs propriétés moyennes.

L'un de nous (P. Henry) a appliqué cette méthode aux observations du satellite X ASCA. Il a découvert que les amas lointains, plus jeunes, sont plus froids que les amas plus proches, plus vieux. Avec le temps, les amas s'échauffent et deviennent plus massifs, preuve supplémentaire de la pertinence du modèle de croissance à partir de petites structures. Forts de ces observations, les chercheurs ont estimé la vitesse moyenne d'évolution des amas dans l'Univers. À partir de cette mesure, liée à l'évolution globale de l'Univers et à la nature de la matière sombre, les astronomes déduisent que l'expansion initiale de l'Univers ne s'arrêtera jamais (voir l'encadré de la page 48).

De nouvelles observations dans le domaine X identifieront peut-être le reste de la matière sombre dans les amas. D'ici la fin de l'an 2000, trois satellites X seront lancés : le satellite européen XMM (pour *X-ray Multi-mirror Mission*, soit «mission multi-miroir



6. LA HIÉRARCHIE DES STRUCTURES COSMIQUES s'étend des étoiles et des planètes à l'Univers tout entier. Les objets les plus grands qui sont maintenus par la gravitation sont les amas de galaxies, dont les masses atteignent 10^{15} fois la masse du Soleil (notée $M_{\odot}$). Il existe un niveau supérieur d'organisation, celui des superamas et des murailles (des murs de galaxies), mais ces structures ne sont pas liées par la gravitation. À des échelles plus grandes encore, l'Univers serait dépourvu de traits marqués. Les astronomes pensent que la plupart de ces structures se forment par agglomération progressive d'entités plus petites.

pour le rayonnement X»), le satellite américain AXAF (pour *Advanced X-Ray Astrophysics Facility*, soit «observatoire avancé pour l'astrophysique du rayonnement X») et le satellite japonais ASTRO-E.

D'autres observations, notamment dans l'ultraviolet lointain, complèteront ces études. L'ultraviolet lointain est un rayonnement électromagnétique d'énergie légèrement inférieure à celle du rayonnement X. Comme il est fortement absorbé par les gaz et les poussières de notre Galaxie, les astronomes pensaient que la plupart des amas ne seraient pas visibles à ces longueurs d'onde. Récemment, Richard Lieu, de l'Université d'Alabama, à Huntsville, Stuart Bowyer, de l'Université de Berkeley, et leurs collègues ont étudié cinq amas au moyen du satellite EUVE (acronyme d'*Extreme Ultra Violet Explorer*, soit «explorateur dans l'ultraviolet lointain», lancé en 1992).

Ils ont découvert que ces amas brillent beaucoup dans l'ultraviolet lointain. Cette découverte était aussi inattendue que la première détection des amas dans le domaine X, au début des années 1970. Bien qu'une partie de ce rayonnement provienne du même gaz qui engendre les rayons X, certains amas semblent contenir une autre source de ces rayonnements. Cette découverte récente reste encore inexpliquée.

S'agit-il d'une autre composante de la matière sombre? L'une des tâches des nouveaux satellites X sera l'identification de cette composante.

Les astronomes qui observent ces amas se sentent proches de Messier, qui s'efforçait d'apercevoir des taches lumineuses dans la constellation de la Vierge, sans connaître leur nature. Malgré les perfectionnements techniques, les amas restent bien mystérieux. Comme nous avons été aidés par nos prédécesseurs, nous plantons des jalons pour nos successeurs.

Patrick HENRY enseigne l'astronomie à l'Université d'Hawaii. Ulrich BRIEL et Hans BÖHRINGER travaillent à l'Institut Max Planck, à Garching (Allemagne).

Craig L. SARAZIN, *X-ray Emission from Clusters of Galaxies*, Cambridge University Press, 1988.

Clusters and Superclusters of Galaxies, sous la direction de A.C. Fabian, Kluwer Academic Publishers, 1992.

Florence DURRET, *Clusters of Galaxies*, Diderot Multimédia, 1994.

Jack O. BURNS, *Stormy Weather in Galaxy Clusters*, in *Science*, vol. 280, pp. 400-404, avril 1998.

Joshua N. WINN, *An X-rated View of the Sky*, in *Mercury*, vol. 27, n° 1, pp. 12-16, janvier / février 1998.

La lutte contre le

MARC GARNICK • WILLIAM FAIR

L'amélioration des diagnostics et des traitements augmente la durée et la qualité de la vie des hommes atteints d'un cancer de la prostate.

En France, le cancer de la prostate tue plus de 9 000 hommes chaque année ; c'est la seconde cause de mortalité par cancer (pour les hommes), après le cancer du poumon. On dépiste chaque année plus de 35 000 nouveaux cas pour notre pays. Plusieurs équipes continuent à chercher de nouvelles voies thérapeutiques contre cette maladie qui frappe surtout les hommes de plus de 65 ans. Nous ne prétendons pas disposer d'une solution idéale pour chaque malade, mais plusieurs découvertes récentes ont fait naître des espoirs.

Les cancérologues savent que les cancers de la prostate peuvent être guéris quand ils sont dépistés au stade microscopique. Pour dépister ces cancers à ce stade, on ne dispose que d'un seul test : la mesure de la concentration sanguine de l'antigène prostatique spécifique (PSA), une protéine libérée par les cellules de la prostate. Cette protéine est sécrétée par les cellules prostatiques, normales ou malignes, mais, en cas de prolifération tumorale, la concentration augmente. Des concentrations du PSA élevées indiquent qu'une tumeur prostatique existe, même si elle n'est pas décelable cliniquement. L'autre test de dépistage, le toucher rectal, ne révèle que des tumeurs palpables : pour pratiquer cet examen, le médecin insère l'index dans le rectum du patient et palpe la prostate à travers la paroi rectale, à la recherche de zones indurées ou de nodules.

Ce geste s'impose encore, car le dosage du PSA n'est pas spécifique : 25 pour cent des hommes ayant un cancer de la prostate ont une concentration du PSA normale (on admet généralement que la normale est inférieure ou égale à quatre nanogrammes par millilitre de sang). Inversement, plus de la moitié des hommes qui ont

des concentrations du PSA supérieures à la normale n'ont pas de cancer.

Avant de poursuivre, nous devons reconnaître que le dosage du PSA pour le dépistage systématique du cancer de la prostate a été et reste controversé. Beaucoup de médecins, surtout en Europe, doutent de la nécessité du dépistage des cancers microscopiques, qui se développent quand une cellule prostatique normale échappe aux contrôles habituels de prolifération et de migration : ces tumeurs microscopiques ont souvent une croissance trop lente pour devenir symptomatiques et diminuer l'espérance de vie. Les médecins risquent de faire plus de mal que de bien en effectuant des dosages systématiques du PSA et des examens de surveillance (échographies ou biopsies) quand la concentration du PSA est élevée, et en exposant leurs patients aux effets secondaires néfastes des traitements.

Au contraire, comme d'autres médecins, nous pensons que le dosage du PSA révèle des tumeurs qui risquent vraiment de diminuer l'espérance de vie. Aujourd'hui, on ne sait pas distinguer les tumeurs microscopiques qui seront mortelles de celles qui ne le seront pas. Si l'on prive de traitement des hommes porteurs de telles tumeurs, on en condamne inévitablement certains.

Améliorer le dépistage

L'absence de spécificité du dosage du PSA gêne même ceux qui le prônent. Pour mieux séparer les personnes qui ont un cancer et celles qui n'en ont pas, on utilise parfois des tables des concentrations du PSA, dont la limite supérieure augmente avec l'âge (voir la figure 3). En effet, on sait que les hommes ont des concentrations du PSA qui augmentent avec l'âge, même en

l'absence de tumeur. Le seuil de normalité devrait être abaissé pour les hommes de 40 à 60 ans, dont les tumeurs prostatiques sont plus agressives. Chez les hommes de plus de 60 ans, ces tables de variations avec l'âge devraient éviter des examens inutiles. Toutefois, certains médecins s'interrogent : l'augmentation des seuils en fonction de l'âge ne risque-t-elle pas d'entraîner un sous-dépistage des tumeurs chez les plus âgés ?

Quand on dispose de deux ou de plusieurs dosages successifs du PSA pour une même personne, la modification du PSA, d'une année sur l'autre, nommée *vélocité* du PSA, aide au diagnostic, même si le PSA est dans les limites de la normale : quand l'augmentation dépasse 0,75 nanogramme

1. DES IMPLANTS RADIOACTIFS (en rouge) ont été introduits dans la prostate pour y détruire une tumeur. Cette méthode, nommée curiethérapie, donnait naguère des résultats décevants, car les grains radioactifs étaient souvent mal répartis : certaines zones de la tumeur n'étaient pas détruites. Aujourd'hui, des techniques de repérage et d'échographie assurent une répartition uniforme des grains et semblent donner de meilleurs résultats.