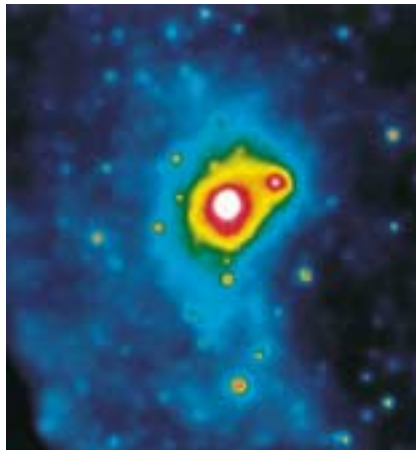
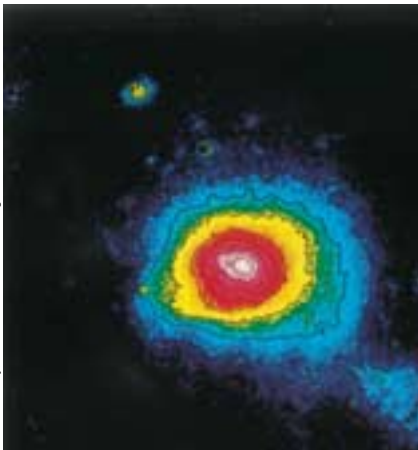




5. LES IMAGES EN RAYONS X des amas de la Chevelure de Bérénice (à gauche) et de la Vierge (à droite) montrent le gaz intergalactique chaud qui domine la partie lumineuse de ces structures. Le gaz est plus régulièrement réparti dans la Chevelure de Bérénice que dans l'amas de la Vierge. Ce dernier est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

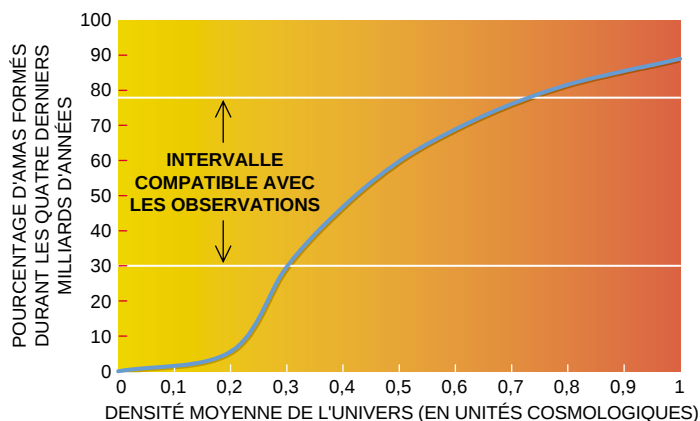
De l'évolution des amas à l'évolution cosmique

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.



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