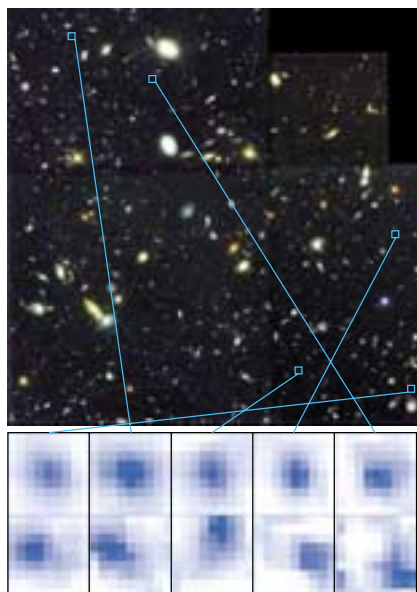




Cette image (en haut), obtenue après une semaine de temps de pause, recense des objets de faible luminosité. La vaste majorité des objets sont des galaxies très éloignées, mais cinq traces bleues ont bougé lorsque l'on compare cette image à une image analogue prise deux ans plus tard (sur la ligne supérieure, la position des objets en 1996, au-dessous, leur position deux ans plus tard). Ces objets sont des étoiles très faibles qui appartiennent vraisemblablement au halo de notre Galaxie.

limaille de fer selon les lignes de champ magnétique ou comme le verre cathédrale déforme les images. Ainsi, par une analyse statistique, les astronomes discriminent les deux effets.

En retranchant la déformation intrinsèque, les astronomes ont noté une déformation résultante qui s'explique par la présence de matière noire à très grande échelle. Sans la contribution dominante de cette matière, les grandes structures des amas et des superamas de galaxies ne dévierait pas suffisamment la lumière et on n'observerait pas tant de déformation des galaxies. Pour l'instant, l'effet a seulement été mis en évidence, mais, à terme, cette méthode donnera d'importants renseignements pour la cosmologie : d'une part, la quantité de matière noire modifie la dynamique de l'Univers dans son ensemble ; d'autre part, les mesures fondées sur cette technique permettront de déterminer la répartition de la matière noire à grande échelle, ainsi que la répartition de matière dans l'Univers, puisque la matière noire est la principale composante de l'Univers.

Si cette mesure indique la présence de matière noire à grande échelle, elle ne donne aucun renseignement sur sa nature. Dans notre Galaxie, les astronomes supposent depuis longtemps qu'une partie au moins de la matière noire serait constituée des restes des premières étoiles, situées

dans le halo qui entoure le disque de notre Galaxie. Une autre équipe d'astronomes s'est attelé à leur recherche.

Comme le fera le Soleil dans des milliards d'années, la plupart des étoiles terminent leur évolution après avoir épuisé leur combustible nucléaire. Les vestiges de ces étoiles, nommés naines blanches, se refroidissent et deviennent de moins en moins lumineux. Comment les repérer ? Grâce à leurs vitesses propres : les étoiles du halo, entraînées autour du centre de la Galaxie, ont des vitesses importantes, de sorte qu'on peut les voir bouger.

Pour déceler ces objets de faible luminosité, les astronomes ont comparé des photographies du ciel profond obtenues à deux ans d'intervalle par le télescope spatial *Hubble*. Ces photographies sont prises avec des temps de pose de l'ordre d'une semaine, de sorte que les objets très peu lumineux peuvent apparaître. En comparant ces images, les astronomes ont vu des objets qui ont bougé entre les deux prises de vue (voir la figure).

Intéressés par cette découverte, Rodrigo Ibata et ses collègues de l'Institut Max Planck de Heidelberg ont comparé de nombreuses plaques photographiques d'archives qui comportent des prises de vue réparties sur plusieurs dizaines d'années. Là encore, ils ont identifié trois objets, situés à 100 années-lumière qui s'étaient déplacés. En enregistrant leur spectre (ce qui n'était pas possible avec les objets vus par *Hubble*, trop peu lumineux), les astronomes ont montré que ces objets sont des naines blanches de couleur bleue qui ont atteint leur stade ultime d'évolution : elles se refroidissent depuis 12 milliards d'années, bien avant que notre Galaxie n'ait été totalement formée.

Cette population d'étoiles avait échappé aux astronomes qui pensaient que les vieilles naines blanches étaient rougies par l'âge : ils recherchaient des objets rouges. Or, les dernières théories d'évolution stellaire indiquent que les naines blanches âgées bleuissent, car elles produisent dans leur atmosphère de l'hydrogène moléculaire dont l'opacité modifie la couleur de l'étoile.

Si les échantillons découverts sont représentatifs d'une nouvelle population d'étoiles, cette dernière formerait une fraction notable de la matière noire de notre Galaxie, mais pas plus que 10 à 20 pour cent, et sans doute moins aux échelles des grandes structures mesurées par astigmatisme cosmique. L'astigmatisme cosmique confirme la présence de matière noire à grande échelle, mais la nature de près de 90 pour cent de la masse de l'Univers reste mystérieuse !

Christophe PICHON

Histoire en pièces

La monnaie raconte le passé économique de l'Arménie

Depuis l'antiquité, l'Arménie a été envahie, par les Romains, les Parthes, les Byzantins, les Arabes, les Turcs... Chacun a imposé sa monnaie, comme en témoignent les dizaines de milliers de pièces anciennes découvertes dans ce pays. En utilisant l'ensemble des informations sur les monnaies d'Arménie, des chercheurs ont reconstitué l'histoire économique de la région sur 17 siècles.

Georges Depeyrot, du Centre de recherches historiques de Paris, Anahit Mousheghian, de l'Institut d'histoire d'Erevan, et leurs collègues ont analysé les documents portant sur les monnaies découvertes en Arménie et sur celles des puissances qui l'ont occupée : ils ont consulté les articles scientifiques, les manuscrits non publiés et les archives des instituts de recherche et des musées de l'ex-Union soviétique. Puis, ils ont examiné les monnaies, ont relevé les indications qui y figuraient, les ont pesées, photographiées, ont déterminé leurs conditions de frappe et les ont rattachées à des types de monnaie déjà connus. Ils ont ainsi établi la chronologie des monnaies, les

quantités émises et cartographié la répartition des pièces découvertes. Les monnaies proviennent de trésors, constitués de centaines de pièces, ou sont des pièces isolées, retrouvées sur des sites archéologiques ou dans des champs.

À chaque conflit, le scénario se répétait : les habitants enfouissaient leurs trésors pour les protéger des pillages et ne les déterraient pas toujours, car beaucoup étaient exécutés par les soldats ennemis. Les envahisseurs récupéraient les pièces en circulation pour frapper leur propre monnaie, qui servait à payer les soldats et les commerçants. Ensuite ces pièces étaient disséminées sur les territoires voisins au rythme des échanges.

La monnaie apparaît pour la première fois dans la Grèce antique, au VII^e siècle avant notre ère, et, d'après G. Depeyrot, c'est au IV^e siècle avant notre ère que les premières monnaies à l'effigie d'Alexandre le Grand arrivent en Arménie. Les cartes des découvertes monétaires montrent que l'afflux de monnaie grecque cesse lorsque Alexandre le Grand meurt et que les Grecs quittent la région. Les pièces grecques sont remplacées par de grossières copies arméniennes et par les monnaies des empires voisins : l'Empire romain, à l'Ouest, et l'Empire parthe, à l'Est. Au I^{er} siècle avant notre ère, Tigrane II, roi d'Arménie, conquiert les territoires méridionaux entre ces deux empires, jusqu'à la Syrie et la Palestine. Les cartes de répartition des monnaies montrent que Tigrane ouvre

un atelier à Artashat, non loin d'Erevan, peu de temps après avoir conquis Antioche. Les drachmes à son effigie sont de bonne qualité : Tigrane a probablement utilisé les techniques de frappe des Grecs d'Antioche. Les numismates ont montré qu'un million de drachmes de Tigrane circulaient dans le territoire conquis.

En -66, les Romains conquièrent l'Arménie et imposent leur monnaie. Toutes les pièces d'or et d'argent de l'Empire romain sont alors fabriquées à Lyon. Les monnaies découvertes indiquent qu'entre l'an -2 et l'an 4, les Romains frappent leur monnaie dans un atelier qu'ils ont ouvert en Arménie. Ces pièces servent à payer les légions de soldats qui affrontent les Parthes. Après les victoires, chaque soldat reçoit une récompense d'environ 800 deniers, soit 3,2 kilogrammes d'argent. De telles quantités de monnaie auraient été trop lourdes à acheminer de Lyon jusqu'en Arménie et les convois auraient été trop souvent attaqués. Sur place, les Romains utilisaient l'argent récupéré lors de leurs pillages : les pièces parthes étaient fondues pour devenir des pièces romaines.

En Arménie et dans tout le Nord de l'Europe, les importantes concentrations de monnaie d'argent romaine datant du II^e siècle suggèrent que l'Arménie appartenait à la zone d'influence économique de l'Empire romain. Le commerce du fer, de l'ambre, des peaux, des esclaves, ainsi que l'enrôlement de mercenaires au service de Rome, approvisionnait l'Arménie en monnaie romaine.

Au III^e siècle, les Sassanides, d'origine iranienne, succèdent aux Parthes, à l'Est de l'Arménie, et repoussent les Romains jusqu'à Antioche. Les cartes de répartition des monnaies sassanides révèlent que cette dynastie avait ouvert un atelier monétaire à Duin, l'ancienne capitale de l'Arménie. Au VII^e siècle, les Byzantins, qui ont remplacé les Romains à l'Ouest de l'Arménie, occupent la région, mais les Arabes la conquièrent en 640. Ces derniers installent aussi un atelier monétaire en Arménie. Ils y frappent des dirhams d'argent, qui circulent de l'Arabie Saoudite à la Scandinavie.

Aux XI^e et XII^e siècles, l'Arménie utilise les pièces des pays voisins, la Géorgie et l'Azerbaïdjan, avant d'être dévastée, au début du XIII^e siècle, par les Mongols, lesquels ne connaissent pas la monnaie. Les monnaies géorgiennes et azerbaïdjanaises s'arrêtent de circuler respectivement en 1203 et 1223 : ces dates correspondent aux deux offensives par lesquelles les Mongols se rendent maîtres de la région. Ainsi, les numismates précisent une chronologie ignorée des historiens...



La monnaie d'argent à l'effigie de Tigrane II, roi d'Arménie (en haut à gauche, pièce du I^{er} siècle avant notre ère), circulait (points rouges sur la carte) dans tout le territoire qu'il avait conquis (délimité par les traits bleus). L'abondance des deniers d'argent romains datant du I^{er} siècle (dans les territoires hachurés) et du II^e siècle (dans les territoires en orangé), indique que, pendant ces périodes, un second atelier monétaire romain avait été ouvert en Arménie (le premier se trouvait à Lyon). À partir du III^e siècle, les Sassanides, qui avaient envahi l'Arménie, y frappèrent leur monnaie (en haut, à droite, pièce du VII^e siècle), puis, à partir de 640, les Arabes firent de même. Leurs dirhams (en bas à gauche, pièce du VIII^e siècle) circulèrent de la Scandinavie à l'Arabie saoudite (carrés marron sur la carte).

Thérapie génique : premier succès

Des «enfants bulle» ont reçu le gène qui leur manquait et mènent aujourd'hui une vie normale.

Sans système immunitaire efficace, l'organisme est incapable de riposter aux agents pathogènes, bactéries et virus. Les enfants qui naissent sans défenses doivent être protégés de l'environnement et isolés dans des chambres stériles. Leurs anomalies du système immunitaire sont généralement d'origine génétique : un gène essentiel au bon fonctionnement des défenses ne produit pas la protéine vitale qu'il devrait coder. Lorsqu'un seul gène, bien identifié, est en cause, on peut envisager une thérapie génique, un traitement consistant à remplacer le gène déficient par le gène normal. Les essais de thérapie génique avaient, jusqu'à présent, été décevants, mais l'équipe d'Alain Fisher, à l'Hôpital Necker-Enfants malades, a traité, par thérapie génique, deux enfants atteints d'un déficit immunitaire grave : un an après l'intervention, ils ont un système immunitaire fonctionnel.

Les enfants traités sont atteints d'un déficit immunitaire grave lié au chromosome X, nommé DICS-X. Dans cette maladie, qui touche un garçon sur 300 000 (seuls les garçons sont atteints), des éléments essentiels du système immunitaire, les lymphocytes T et les cellules tueuses NK, ne sont pas produits. Normalement, les cellules souches, présentes dans la moelle osseuse, se différencient pour donner tous les types de cellules du sang.

On a montré que la différenciation des cellules souches en lymphocytes T et en cellules NK n'a pas lieu parce que leurs cellules progénitrices sont dépourvues d'un récepteur clé de deux cytokines (des molécules essentielles du système immunitaire) : respectivement celui de l'in-

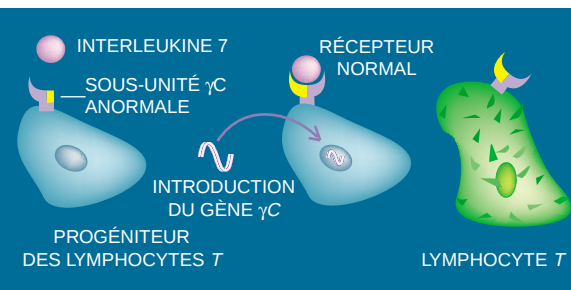
terleukine 7 et de l'interleukine 15. Une même sous-unité de ces deux récepteurs est codée par le gène, nommé γc . Les récepteurs anormaux de ces deux cytokines n'assurent pas la transmission des signaux de la différenciation des progéniteurs précoces des cellules sanguines, de leur multiplication et de leur survie.

Les enfants atteints de DICS-X doivent subir une greffe de moelle pour acquérir un système immunitaire fonctionnel. Toutefois, pour que la greffe ne soit pas rejetée, on doit impérativement trouver un donneur compatible avec le receveur.

Or, on avait montré que l'introduction du gène γc dans des cellules dépourvues de ce gène rétablit l'expression de la protéine γc , ainsi que la différenciation des lymphocytes T et des cellules tueuses. Comme Marina Cavazzano-Calvo et ses collègues de l'Hôpital Necker ne trouvaient pas de donneur compatible pour deux enfants de huit et onze mois atteints, ils ont décidé, après avoir obtenu toutes les autorisations nécessaires, et avec l'accord des parents, de pratiquer une thérapie génique. Ils ont prélevé de la moelle osseuse sur ces enfants, extrait les cellules progénitrices, et modifié le génome cellulaire en y introduisant le gène γc normal. Les cellules traitées ont été réinjectées aux enfants par voie intraveineuse. Comme les cellules souches et les cellules progénitrices ont une attirance naturelle pour la moelle, elles ont rapidement retrouvé leur site de prédilection.

Aujourd'hui, un an après l'intervention, la quantité de lymphocytes T et de cellules tueuses reste élevée et stable, comparable à celle des autres enfants du même âge. Les enfants vivent chez eux, sans traitement. Ils ont été vaccinés contre diverses maladies infantiles, et leur système immunitaire a réagi normalement en produisant des anticorps.

Toutefois, si l'on sait que le gène γc s'est bien intégré dans le génome des cellules précurseurs des lymphocytes T et des cellules tueuses, on ignore si les cellules modifiées étaient des précurseurs précoces ou tardifs : si les cellules traitées étaient des progéniteurs précoces, peut-être des cellules souches (les tout premiers progéniteurs), la production de lymphocytes T et de cellules tueuses devrait se prolonger. En revanche, plus les cellules modifiées étaient déjà différenciées, plus cette «mémoire immunitaire» sera brève. Enfin, les cellules ont été pourvues, au cours de l'évolution, de mécanismes qui «éteignent» l'expression des gènes rétroviraux qui auraient pu s'intégrer malencontreusement dans leur génome. On ignore si de tels mécanismes d'extinction qui seraient, ici, bien malvenus, risquent de se mettre en place.



Lorsque les cellules progénitrices des lymphocytes T sont dépourvues de la sous-unité γc , elles ne se différencient pas. Quand on introduit le gène γc normal, elles donnent des lymphocytes T fonctionnels.