

## Une des plus grandes énigmes de la cosmologie moderne.

Cela fait déjà quelques temps que nous entendons parler d'une mystérieuse et insaisissable énergie sombre, ou énergie noire (à ne pas confondre avec la matière noire), de nature totalement inconnue. Cette histoire d'énergie sombre a mis en effervescence la communauté des cosmologistes qui a été surprise par l'inattendue accélération de l'expansion de l'Univers. Ce sujet est devenu l'une des plus grandes énigmes de la cosmologie, et déclenche des débats passionnés. Pour ma part, j'ai pris connaissance de cette question au début de l'année 2000 alors qu'elle circulait encore sous la forme d'une simple rumeur. Certains scientifiques voyaient déjà dans cette énergie sombre une espèce de 5ème force qu'ils avaient alors baptisé « la quintessence ». Cette nouvelle force agissait comme une gravitation répulsive.

2) **Comment se manifeste la présence de la matière noire ?** Comme nous l'avons dit, il ne faut pas confondre énergie sombre et matière noire. Si l'énergie sombre semble responsable de l'accélération de l'expansion de l'Univers, la matière noire exercerait un étrange effet sur la rotation des galaxies. On peut calculer à partir de la quantité totale de matière visible dans une galaxie, la vitesse radiale d'une étoile et sa période. Les étoiles qui orbitent dans les zones extérieures d'une galaxie doivent en principe tourner moins vite que celles qui se trouvent près du centre de cette même galaxie. Dans notre système solaire par exemple, Pluton qui est très éloignée du Soleil, tourne moins vite que Mercure qui en est plus proche. Il s'agit, bien entendu, de la vitesse de révolution autour de notre Etoile. Si nous calculons, pour n'importe quelle galaxie, les vitesses que doivent avoir les étoiles situées en périphérie d'après la masse galactique visible, nous trouvons qu'elles sont très supérieures à celles attendues. Quand on sait que la vitesse d'un objet en orbite décroît avec la distance par rapport au centre du système, on ne peut que supposer l'existence d'une matière invisible qui serait présente dans tout le volume galactique et qui devrait avoir une masse très importante. Si Pluton tournait autour du Soleil à la même vitesse que la Terre, c'est-à-dire à 30 km par seconde ou 108 000 km/h, alors qu'elle en est 40 fois plus éloignée, il faudrait forcément en déduire qu'il existe « quelque chose » de massif qui se trouve quelque part près des géantes gazeuses (Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune). A l'échelle galactique, ce « quelque chose » s'appelle de la matière noire.

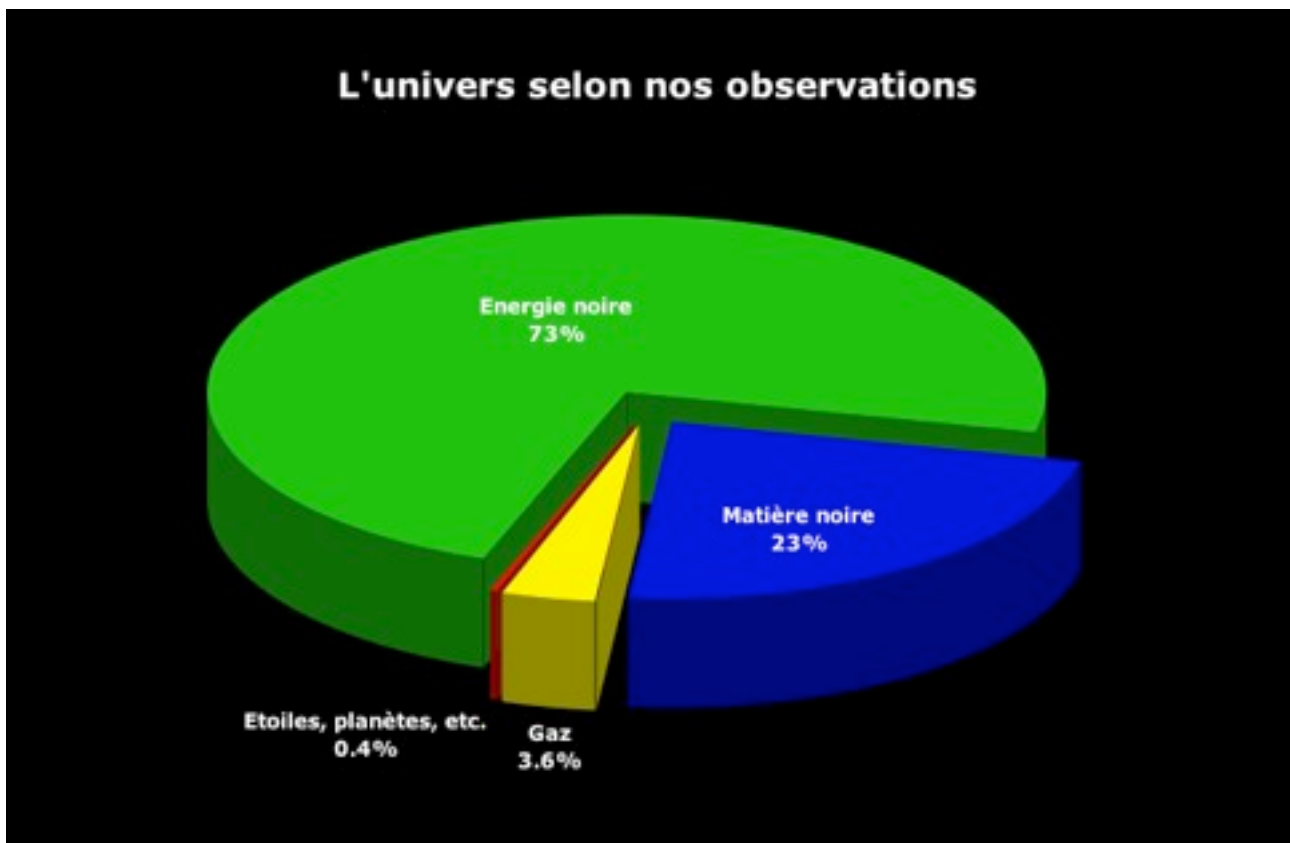


Ci-dessus : On peut calculer à partir de la quantité totale de matière visible dans une galaxie, la vitesse radiale d'une étoile et sa période. Les étoiles qui orbitent dans les zones extérieures d'une galaxie doivent en principe tourner moins vite que celles qui se trouvent près du centre de cette même galaxie. Si nous calculons, pour n'importe quelle galaxie, les vitesses que doivent avoir les étoiles situées en périphérie d'après la masse galactique visible, nous trouvons qu'elles sont très supérieures à celles attendues. Ce fait intriguait beaucoup les astronomes qui en déduire l'existence d'une mystérieuse matière noire.

3) Les « candidats » susceptibles d'expliquer la matière noire. L'imagination déborde, les idées fleurissent, les esprits s'enflamment, et une campagne de recherche est lancée pour trouver des « candidats » potentiels capables d'expliquer cette mystérieuse matière noire. Les astronomes ont alors évoqué les trous noirs et les « MACHO » (Massive Astrophysical Compact Halo Objects) pour tenter d'expliquer la présence de la matière noire dans les galaxies. Les « MACHO » sont des astres très peu lumineux du genre Trou noir ou Naine brune par exemple, ces dernières sont réellement des étoiles « ratées » car elles n'ont pas réussi à accumuler suffisamment de matière pour déclencher des réactions thermonucléaires comme le fait notre Soleil. Les « MACHO » peuvent être associés à de la matière noire invisible mais baryonique. Les astronomes se sont aperçus que cette matière baryonique ne suffisait pas à expliquer le mouvement des amas de galaxies. Rappelons que la matière baryonique désigne toute la matière composée de particules élémentaires appelées baryons. En pratique, cela correspond aux protons, et aux neutrons, auxquels on adjoint implicitement les électrons (qui ne sont pas des baryons, mais des leptons) qui composent les atomes et les molécules et toutes les structures visibles dans l'univers observable (étoiles, galaxies, amas de galaxies,

etc.). Comme la matière baryonique ne suffisait pas, les astronomes ont du faire appel à l'existence d'une matière noire qui non seulement n'est pas visible mais qui en plus n'est pas constituée de baryons. Ceci nous amène à un nouveau type de candidat : les WIMP (Weakly Interacting Massive Particles ou particules massives à interaction faible). Pour ceux qui comme moi ont du mal avec la langue de Shakespeare, on fait tout simplement allusion à des particules qui interagissent faiblement avec la matière du genre neutrino ou autres particules exotiques issues de l'imagination fertile des physiciens. Mais là aussi, ça ne donne rien du tout.

4) Des « chandelles » qui ne sont pas là où elles auraient dû être. Mais revenons à l'énergie sombre. C'est en étudiant de lointaines supernovae de Type 1A qui sont de véritables chandelles standard (parce qu'elles ont la même luminosité absolue), que le problème de l'énergie sombre a surgit en 1998. Deux équipes américaines ont mené chacune de leur côté des études sur ce type de supernovae, et elles ont découvert à leur grand étonnement qu'elles avaient des distances totalement inattendues. Bref, elles n'étaient pas là où elles auraient dû être. Elles étaient plus éloignées que prévu. Cela signifiait que l'Univers était en train de gonfler plus rapidement que ne le prédit la théorie. Dans la communauté des cosmologistes on a alors évoqué des concepts comme l'énergie du vide, la constante cosmologique, on a parlé d'antimatière, d'anti-cosmos, et même d'univers-miroir. Les chercheurs ont essayé de démystifier cette curieuse et nouvelle force qui accélère l'expansion de l'Univers et qui représente environ 73% de son contenu total. Le reste de l'Univers étant composé pour 23% de matière noire baryonique et non baryonique, et pour seulement 4% de matière visible que l'on connaît habituellement sous formes de gaz interstellaires, d'étoiles, de planètes, de galaxies, et d'amas de galaxies. Autrement dit, 96% de l'Univers nous est complètement inconnu (énergie sombre et matière noire). Cet étonnant constat peut nous laisser la désagréable impression que la science piétine en quelque sorte, puisque plus on avance dans les recherches, et plus de nouveaux points d'interrogation se dressent devant nous. Bref, cette force inconnue, se moquant de la gravité, donne aux galaxies lointaines un formidable élan, et comme on ne connaît pas sa nature on l'a appelé énergie sombre ou énergie noire. Ce que nous savons cependant, c'est que l'évolution future de notre Univers dépend entièrement d'elle.



Ci-dessus : notre Univers serait composé à 73% d'énergie sombre, pour 23% de matière noire baryonique et non baryonique, et pour seulement 4% de matière visible que l'on connaît habituellement sous formes de gaz interstellaires, d'étoiles, de planètes, de galaxies, et d'amas de galaxies. Autrement dit, 96% de l'Univers nous est complètement inconnu (énergie sombre et matière noire).

5) **Un Univers qui « grossit » plus vite que prévu.** Ce qui est intéressant avec les supernovae de type 1A c'est qu'elles brillent comme des milliards de soleils en présentant une courbe de lumière régulière et uniforme, contrairement aux supernovae de type 2 ou de type 1B ou 1C. Les céphéides qui sont des étoiles de luminosité très variable nous servaient de balises cosmiques pour estimer des distances, mais les supernovae plus lumineuses sont plus intéressantes car plus lointaines. Les cosmologistes ont pris un échantillon d'une cinquantaine de supernovae de Type 1A et ils ont calculé leur distance. Il existe un paramètre cosmologique qui s'appelle le « facteur de décélération de l'Univers » qui est en fait la dérivée du taux d'expansion de l'Univers (fonction lui-même de la distance et la vitesse de fuite des galaxies lointaines). Ce taux d'expansion est la constante de Hubble, dont vous avez certainement déjà entendu parler. Le facteur de décélération ayant été mesuré, il est une conséquence de la gravité qui existe entre les galaxies. Il s'agit en d'autres termes du taux de ralentissement de l'expansion. Or, quand les astronomes ont évalué la distance de ces supernovae, ils se sont rendu compte, à leur grand étonnement, que cette décélération n'avait pas eu lieu puisque les supernovae étaient emportées beaucoup plus loin par une folle expansion. Quel phénomène

pouvait bien être responsable de cet emballement inattendu ? Quelle était cette « chose » étrange qui ignorait la gravité ? Celui (ou celle) qui sera en mesure de répondre à ces questions, sera assuré de décrocher un prix Nobel de physique, mais il sera sans doute aussi nécessaire de réviser nos paradigmes en physique pour sortir de l'impasse dans laquelle nous sommes aujourd'hui.

*Jérémie.*