

COSMOLOGIE

Bonjour chers (ères) collègues. En cette première partie de l'année 2014, qui, je l'espère vous a été favorable, que pensez-vous d'un thème sur le Cosmos ? Hum ? Ceci, pour varier les sujets et pour tenir compte, également, du standing auquel l'AMICALINFO de FIRMENICH SA., se doit d'être constamment confronté.

- Et ben dis-donc, Renzo, voilà une entrée en matière on ne peut plus sérieuse ! Hum ?
- Mais oui, mon cher Ego. Jusqu'à présent nous nous sommes efforcés, toi et moi, d'élever et de maintenir le standing de notre AMICALINFO à un niveau auquel il a droit ! Comme le fini des produits de Firmenich SA.

L'espace et le temps ne sont pas fixes

La relativité générale d'Albert Einstein, annoncée en 1915, balaie la vision classique de l'espace et du temps considérés jusque-là immuables et inaltérables. L'Univers est façonné par la matière qu'il contient. A proximité d'une étoile compacte, l'espace se courbe et s'étire, tandis que le temps s'écoule plus lentement. Les deux évoluent de concert : ils forment une entité à part, soit « l'espace-temps ».

La loi de la gravitation universelle, élaborée par Isaac Newton au XVII^e siècle, apparaît désormais comme une approximation adaptée à notre quotidien terrestre. La relativité générale, sans cesse vérifiée, n'a jamais été prise en défaut.

L'Univers varie au cours du temps

C'est la conclusion principale de la cosmologie. Elle rassemble la très grande majorité des spécialistes et découle directement des équations de la *relativité générale*, même si Einstein lui-même n'y a adhéré qu'en 1930 ! En effet, dès 1917, il décide d'appliquer l'équation de la relativité générale au cosmos tout entier, pour trouver la forme de l'Univers. Mais... les solutions qu'il obtient ne correspondent pas à un Univers immuable, pensée dominante à l'époque. Pour rester dans ce paradigme, il introduit dans son équation un paramètre correcteur *ad hoc* : la « *constance cosmologique* », qui contrebalance la force de gravitation pour empêcher l'Univers (en tout cas son modèle) de s'effondrer sur lui-même.

Un Univers statique à tout prix... n'est pas l'option prise par le Russe Alexandre Friedmann ni par le chanoine belge Georges Lemaître. A partir de l'équation d'Einstein, ils parviennent, chacun de leur côté, à la même conclusion : l'Univers varie au cours du temps. Son futur ne ressemble pas à son passé. L'abbé Lemaître explique que « *le commencement de l'Univers a dû être très différent de son aspect actuel* » et construit un modèle des origines qu'il baptise « l'atome primitif ». C'est l'acte de naissance de la théorie du « big-bang », qui ne s'appelle pas encore ainsi.

L'espace est en expansion

Les galaxies nous fuient d'autant plus rapidement qu'elles sont distantes... C'est ce que révèlent, dès 1929, les études menées par Vesto Melvin Slipher à l'observatoire de Lowell, près de Flagstaff, et par Edwin Powell Hubble au télescope du Mont Wilson, près de Los Angeles. Tout se passe comme si la trame même de l'Univers se dilatait, éloignant ainsi les galaxies les unes des autres. Ce constat confirme les calculs de l'abbé Lemaître. *L'Univers est en expansion.* Ce qui signifie qu'autrefois il était *dense et chaud.*



Les trois piliers du big-bang

Trois prédictions confirmées par l'observation constituent les piliers du big-bang.

- 1) Puisque l'Univers est en expansion, plus une galaxie est loin, plus elle devrait s'éloigner rapidement de nous. Même si l'astre ne se déplace pas – car c'est l'espace qui se dilate –, sa lumière nous parvient plus rouge qu'elle ne l'est : elle se décale vers les basses fréquences. Ce phénomène, qui affecte la lumière, est similaire à l'effet Doppler, qui change la fréquence d'une sirène d'ambulance, lorsque le son de celle-ci devient de plus en plus grave (basses fréquences) et que l'ambulance (ou une voiture de police) s'éloigne. Ce rougissement de la lumière des galaxies lointaines est la preuve de l'expansion de l'Univers.
- 2) Dans la fournaise des premiers instants, les éléments légers – hydrogène, hélium et deutérium – ont dû se former dans une certaine proportion : environ 75 % d'hydrogène et près de 25 % d'hélium. Ces pourcentages ont été mesurés dans l'Univers.
- 3) Le vestige de la période dense et chaude du cosmos doit persister sous la forme d'un rayonnement devenu très froid – baptisé fossile – qui baigne l'espace tout entier : c'est le « rayonnement cosmologique » observé par Arno Penzias et Robert Woodrow Wilson.

L'Univers a 13,8 milliards d'années

La force du modèle du **big-bang** est son pouvoir prédictif : avec lui, l'Univers devient objet de science. En mesurant le taux d'expansion dans le temps et déroulant ainsi l'histoire du cosmos, les spécialistes parviennent à estimer combien de temps s'est écoulé depuis le moment où l'Univers était dense et chaud : **13,8 milliards** d'années environ. Voilà, chers (es) amis (es), l'âge que nous révèle la lumière, à la vitesse de (300 000 km/s) puisque c'est elle qui joue les messagers et informe sur le passé. En fait, elle dresse une image fidèle de l'astre tel qu'il était au moment même où est parti le *grain de lumière*. On a huit minutes pour le Soleil, et un peu plus de quatre ans pour l'étoile la plus proche de nous : Proxima du Centaure.

En astronomie, voir loin, c'est remonter le temps (des galaxies situées à 12 milliards d'années lumière ont été observées). Permettez-moi de vous rappeler que : la distance représentée par une année lumière, c'est $9,461 \times 10^{12}$ km.

Les cosmologistes baptisent « *modèle standard de la cosmologie* », celui qui décrit un Univers dense et chaud à ses débuts, en expansion depuis et que l'on peut appréhender avec les lois de la physique actuelle !

L'espace est « plat »

Il est plus précisément dépourvu de courbure. Ce résultat étonnant, confirmé cette année encore (2011) par les mesures de **Planck**, le satellite de l'Agence spatiale européenne (Esa), est une déduction indirecte prévue par le modèle standard : selon la densité de matière estimée de l'Univers. L'espace pourrait donc être plat, c'est-à-dire **euclidien**, ou encore **sphérique** comme un ballon, ou **hyperbolique** comme la surface d'une selle de cheval.

Les satellites d'observation cosmologique ont confirmé ce qui avait été pressenti par les observations. **Cobe**, de la Nasa, a décelé des infimes variations de température d'un millionième de degré du rayonnement fossile ; un résultat confirmé en 2001 par la sonde **WMAP**. Ces millionnièmes de degré plus chaud ou plus froid ont été interprétés comme des *contrastes de densité de matière*.

De minuscules *grumeaux* dans la « *soupe de particules élémentaires* » qui constituait l'univers primitif auraient évolué au cours du temps pour former des galaxies. Les théoriciens ont montré que la *géométrie* de l'espace devait influencer sur la répartition de ces *grumeaux*. Or leur taille et leur distribution indiquent que l'espace doit être *euclidien*, « plat » en quelque sorte.

Les galaxies ne tournent pas rond

Pour assurer la cohésion des structures de l'Univers, il faut supposer l'existence d'une matière invisible qui agirait par sa force gravitationnelle. C'est ce qu'avait remarqué l'astrophysicien Fritz Zwicky en 1934, après avoir tenté d'évaluer la quantité de matière présente dans chaque amas de galaxies, c'est-à-dire dans ces regroupements gigantesques de plus d'une centaine de galaxies (liées entre elles par la gravitation). Au vu des masses visibles, de tels amas auraient dû se disloquer ! Pour expliquer leur cohésion, Fritz Zwicky émit l'hypothèse d'une matière invisible présente entre elles.

Un problème identique se pose pour chaque galaxie. Vera Rubin remarqua, en 1950, que les étoiles périphériques se déplacent à une telle vitesse qu'il faut imaginer bien plus de masse pour les retenir que celle des astres présents

dans les régions centrales. En toute logique, ces étoiles devraient même se libérer et s'évader de leur *galaxie hôte*. D'où la conclusion : elles restent parce qu'une masse invisible les attire. C'est l'énigme de la matière cachée ou noire !

La première lumière est trop homogène

La détection du rayonnement cosmologique dégagé lorsque l'Univers était dense et chaud a été le couronnement du modèle du **big-bang**. Cependant, aux yeux des théoriciens, son caractère extrêmement homogène est gênant. Cela suppose que tous les points de l'Univers primordial se trouvaient à la même température. Pour parvenir à ce degré d'homogénéité, ils auraient dû se trouver en contact les uns avec les autres par l'intermédiaire de la lumière. C'est impossible, à moins qu'une expansion très rapide ait affecté le cosmos à ce moment-là. C'est l'«*inflation*», théorie proposée au début des années 1980 par Alan H. Guth et Andrei Linde. En 10^{-32} secondes seulement, l'espace se dilate démesurément jusqu'à 10^{100} fois. Même si le moteur de cette inflation est encore en discussion, la majorité des cosmologistes l'acceptent comme un passage obligé pour expliquer de nombreuses observations, jusqu'aux graines de galaxies.

L'Univers se dilate de plus en plus vite

En 1998, des astronomes observent des étoiles lointaines devenues extrêmement lumineuses. À la fin de leur vie, elles explosent et éjectent ainsi leurs enveloppes superficielles dans l'espace. Elles deviennent alors des supernovae, des objets très recherchés car considérés comme de véritables *balises*. Dans l'espace, il est difficile de savoir si une étoile est peu lumineuse de façon intrinsèque ou apparaît faiblarde car éloignée. Pour déterminer sa distance, il faut comparer sa luminosité apparente avec sa luminosité absolue. Ce dernier paramètre est très difficile à connaître, sauf pour quelques astres, par exemple certaines supernovae.

Par une relation empirique, leur luminosité absolue dépend de la variation de leur éclat au cours du temps, ce qui permet d'estimer leur distance par rapport à l'observateur. À la manière de phares, elles étalonnent donc l'espace. Or les observations ont montré un décalage entre leur emplacement déduit et leur position théorique. Seule manière d'expliquer cela : elles seraient en réalité bien plus loin. Comme si, non seulement elles avaient été emportées par l'expansion de l'Univers, mais que, en plus, cette dernière aurait subi une accélération.

Résultats : l'espace se dilate de plus en plus vite. Quelle étrange entité est responsable de cette dilution qui éloigne les galaxies les unes des autres ? L'énigme de l'«*énergie sombre*» vient de naître : certains y voient la «*constante cosmologique*» qu'avait autrefois introduite Albert Einstein. Après tout, elle agit à la manière de l'énergie sombre.

En attendant, pas question de négliger cette inconnue : elle constituerait 72 % du contenu de l'Univers.

Où se cache la matière noire ?

Seul 4 % du contenu de l'Univers est identifié ! C'est la matière ordinaire, celle des étoiles, des planètes et des nuages de gaz. Il est aussi composé de 24 %

de matière noire. Elle exerce une attraction gravitationnelle, indispensable pour la bonne tenue des galaxies et des amas... mais demeure invisible.

Sa véritable nature a fait l'objet de plusieurs hypothèses : des astres sombres qui n'émettent aucune lumière comme les « *naines brunes* », ces étoiles avortées, ont figuré pendant longtemps parmi les candidats. Après des décennies d'investigation, les astronomes ont abandonné cette piste. Aujourd'hui, les recherches s'orientent vers des particules qui ne relèvent pas de la matière ordinaire.

De quoi sont faits les trois quarts du cosmos ?

L'énergie noire, qui constitue 72 % du cosmos, est encore inconnue, inexplicable par le modèle standard. Elle dilate l'espace et agit comme une sorte d'*anti-gravité*.

De quoi est-elle faite ? Est-ce la fameuse *constante cosmologique* qu'Einstein avait introduite dans ses équations ? Elle pourrait provenir de l'énergie du vide, ce vide quantique des physiciens qui peut générer de l'énergie. Sauf que l'estimation de cette densité d'énergie du vide pour la constante cosmologique diffère de 120 ordres de grandeur (1 suivi de 120 zéros) de sa valeur déduite de la physique des particules... C'est la limite, en termes d'efficacité, du modèle standard !

Peut-on atteindre l'instant zéro ?

Le modèle standard est limité. Il ne parvient pas à prédire ce qui s'est passé avant 10^{-34} seconde, soit le temps de Planck. Ni la relativité générale ni la mécanique quantique ne peuvent expliquer ces premières fractions de seconde de l'Univers. Pour franchir ce *mur de Planck*, il faut élaborer une nouvelle physique qui engloberait les deux. Plusieurs pistes sont à l'étude : la ***théorie des cordes*** et la ***gravité à boucles***, en font partie.

Comment expliquer une série de coïncidences ?

Un espace plat revient – selon le modèle standard du big-bang – à considérer que la densité moyenne de l'Univers est exactement égale à la densité théorique qui conduit à la formation des étoiles et des galaxies. Une coïncidence ? Hum ? En tout cas, ce n'est pas la seule : par exemple, la masse du proton est 1 800 fois plus grande que celle de l'électron, ce qui garantit une stabilité imparable à l'édifice atomique et aux grosses chaînes de molécules comme l'ADN.

Les constantes universelles ont des valeurs qui rendent possible un ensemble de réactions chimiques indispensables à la vie. Devant tant de coïncidences remarquables se profile une question fondamentale, chers (ères) collègues, l'Univers a-t-il été « taillé sur mesure » pour l'homme ? Puisque le modèle standard est incapable de répondre à cette question, de nouvelles théories sont apparues, en particulier celle de la « *gravité quantique* », en cours d'élaboration. Parmi ses conséquences : l'Univers ne serait pas unique, et nous serions dans un des grains de raisin d'une grappe, ou une des innombrables bulles d'une coupe de champagne, chacun de ces univers étant doté d'une certaine densité de matière et d'un jeu unique de constantes.

Notre Univers, lui, avec sa planète Terre, a engendré la vie ! Un pur hasard ?

Amicalement vôtre. CARDINI Renzo.