



contact@aafc.fr

www.aafc.fr

Lettre Astro n°68 Mai – Juin 2020

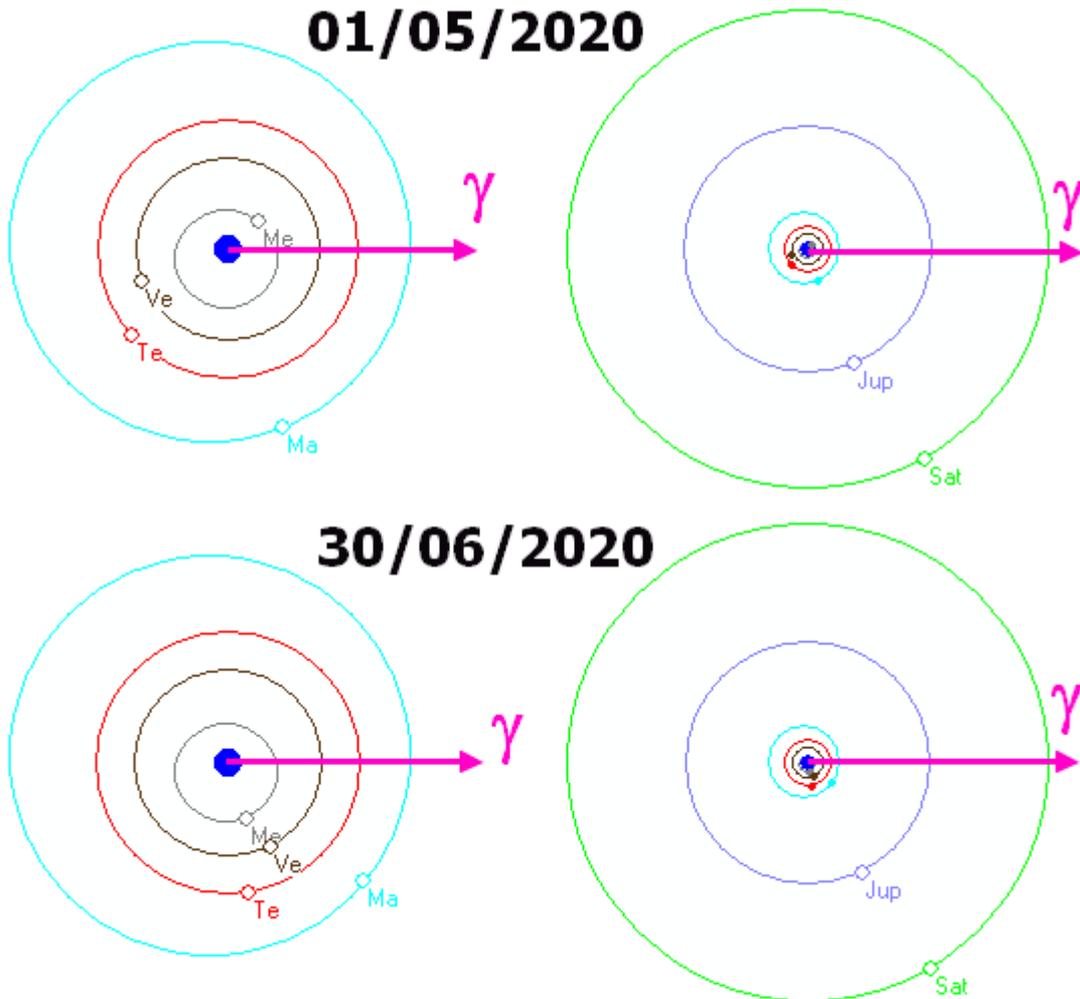
Les prochaines soirées publiques gratuites d'observation seront annoncées sur notre site lorsqu'elles redeviendront possibles.

Vous pouvez faire suivre cette lettre à vos amis, curieux d'astronomie ...

LES PLANÈTES EN MAI - JUIN :

- **MERCURE :** Après son passage en conjonction supérieure le 4 mai elle redevient visible progressivement le soir à partir du 12 sur l'horizon **Ouest-Nord-Ouest**. S'écartant progressivement du Soleil ses conditions d'observation s'améliorent de jour en jour et elle passe à proximité de Vénus les 21 et 22 mai. Atteignant son élongation maximale le 4 juin, elle reste visible jusqu'au 15 juin.
- **VÉNUS :** Après avoir brillé avec éclat dans notre ciel sur l'horizon **Ouest-Nord-Ouest** du début du printemps elle se rapproche de nouveau du Soleil et va donc se coucher de plus en plus tôt. Elle disparaît à notre vue à la fin du mois de mai pour réapparaître quelques jours plus tard dans notre ciel du matin sur l'horizon **Est-Nord-Est**.
- **MARS :** Se levant quelques heures avant le Soleil près de l'horizon **Est**, elle voit son éclat augmenter progressivement et sa magnitude passe dans les valeurs négatives à partir du 30 mai.
- **JUPITER :** Elle entame son mouvement de rétrogradation le 14 mai et reprendra sa course normale le 12 septembre. Nous pourrons la voir le matin plusieurs heures avant le lever du Soleil. Elle passe au méridien vers 4h à proximité de Saturne.

- **SATURNE** : Voisine de Jupiter elle entame également son mouvement de rétrogradation durant cette même période le 11 mai et ceci jusqu'au 29 septembre. Ses conditions de visibilité suivent celles de Jupiter.



Le schéma ci dessus indique, dans un repère héliocentrique vu du pôle Nord de l'écliptique, les positions des différentes planètes observables en début et en fin de notre période. La direction repérée par le signe γ est celle du point vernal (intersection des lignes de l'équateur et de l'écliptique où passe le Soleil, en repère géocentrique à l'équinoxe de printemps – cette année le 20 mars - et appelé nœud ascendant de l'écliptique sur l'équateur) qui se trouve actuellement dans la constellation des Poissons. Nous pouvons faire sur cette représentation plusieurs constations. Par exemple nous voyons que :

- Sur la période considérée, nous constatons que les planètes Jupiter et Saturne sont, pour la Terre, dans des directions voisines. Nous pouvons donc en déduire que nous les verrons, au dessus de l'horizon, dans une même région de notre ciel.
- Sachant que le mouvement de révolution des planètes et de rotation de la Terre sont dans le sens anti-horaire (vus du pôle Nord de l'écliptique) nous pouvons en déduire si telle planète sera visible le matin où le soir : en effet si, sur la figure, la planète concernée **vue depuis la Terre** est à « droite » du Soleil elle sera visible le matin (cas de Mars ici) sinon, si elle est à « gauche », ce sera le soir (cas de

Vénus sur la première figure alors que sur la seconde elle est à « droite » donc visible le matin).

Nous pouvons ainsi avec cette représentation retrouver de nombreux phénomènes observables sur Terre (repère géocentrique) en raisonnant sur le schéma héliocentrique.

LE CARNET DES RENDEZ-VOUS ASTRONOMIQUES (temps civil)

- **02 mai** : Conjonction entre la Lune et Régulus (α Lion) en début de soirée sur l'horizon **Ouest** (distance angulaire $4,5^\circ$).
- **03 mai** : Deux des satellites galiléens, Callisto et Europe, sont regroupés à l'**Est** de Jupiter pendant que Ganymède et Io se retrouvent à l'**Ouest** de la planète géante. Le spectacle peut être observé avec une paire de jumelles en fin de nuit.
- **05 mai** : Maximum d'activité de l'essaim des Êta Aquarides (radiant dans la constellation du Verseau) - associé à la comète de Halley - avec un flux pouvant atteindre quelques dizaines d'« étoiles filantes » à l'heure.
- **05 mai** : Conjonction entre la Lune et Spica (α de la Vierge) après le coucher du Soleil sur l'horizon **Sud-Sud-Est** (séparation angulaire de 6°).
- **08 mai** : Conjonction entre la Lune et Antarès (α Scorpion) sur l'horizon **Sud-Est** (distance angulaire $5,6^\circ$) visible après le lever de la Lune vers 22h 30min.
- **12 mai** : Conjonction entre la Lune et Jupiter en fin de nuit sur l'horizon **Sud-Est** (distance angulaire $5,2^\circ$). Saturne est voisin, à l'**Est** de la conjonction.
- **13 mai** : Les quatre satellites galiléens Callisto, Ganymède, Io et Europe sont regroupés à l'**Est** de Jupiter. Le spectacle peut être observé avec une paire de jumelles un peu avant le lever du Soleil.
- **13 mai** : L'équation du temps¹ passe par son premier minimum (négatif) de l'année qui est de -3 min 39 s.
- **15 mai** : Conjonction entre la Lune et Mars sur l'horizon **Sud-Est** en fin de nuit (distance angulaire $3,3^\circ$).
- **22 mai** : Conjonction entre Mercure et Vénus sur l'horizon **Ouest-Nord-Ouest** (distance angulaire $1,2^\circ$) en début de soirée un peu après le coucher du Soleil.
- **23 mai** : Dernier jour théorique du Ramadan qui avait début le 24 avril pour l'année 1441 du calendrier musulman.

¹ Voir les explications sur l'équation du temps dans les LA n°58 et n°59.

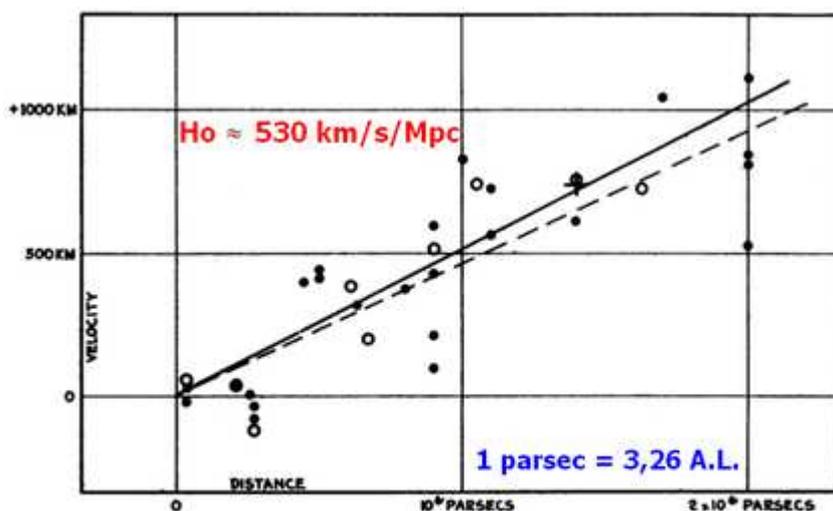
- **24 mai** : Conjonction entre la Lune, Mercure et Vénus peu après le coucher du Soleil sur l'horizon **Ouest** (séparation angulaire L/Vde 9° et L/M de 4°).
 - **26 mai** : Conjonction entre la Lune et Pollux (β des Gémeaux) en début de nuit sur l'horizon **Ouest** (séparation angulaire de 5°).
 - **29 mai** : Conjonction entre la Lune et Regulus (α du Lion) en début de nuit sur l'horizon **Ouest** (séparation angulaire de $5,7^\circ$)
-
- **08 juin** : Conjonction entre la Lune et Jupiter en seconde partie de nuit sur l'horizon **Sud** (séparation angulaire de $9,5^\circ$). Mars et Saturne sont proches, plus à l'**Est**. Le lendemain, la Lune est en conjonction avec Saturne.



- **12 juin** : L'équation du temps passe par zéro.
- **13 juin** : Conjonction entre la Lune et Mars en seconde partie de nuit sur l'horizon **Sud-Est** (séparation angulaire de $3,5^\circ$).
- **15 juin** : Maximum d'activité de l'essaim des Lyrides de juin (radiant dans la constellation de la Lyre) avec un flux pouvant atteindre une dizaine d'« étoiles filantes » à l'heure.
- **19 juin** : Conjonction entre la Lune (en tout début de lunaison avec une belle lumière cendrée) et Vénus en fin de nuit sur l'horizon **Est-Nord-Est** (séparation angulaire de $2,6^\circ$). Les Pléiades brillent un peu au dessus.
- **20 juin** : Solstice de juin à 21 h 43 min. Le Soleil se trouve à son point le plus haut dans le ciel. Mais il ne passe pas au zénith, comme il se dit quelquefois, car, sous nos latitudes, la hauteur maximale du Soleil dans l'année, qui a lieu ce jour là, est d'environ 66° . Nous sommes le premier jour de l'été.

AUTRE CURIOSITÉ DANS L'ACTUALITÉ : À la poursuite de H_0

En 1929 **Edwin Hubble** (1889/1953) publie un article faisant état d'une relation linéaire entre la vitesse radiale² des galaxies et leur distance. Il a obtenu ce résultat en étudiant le spectre de quelques dizaines de galaxies proches de la nôtre depuis l'observatoire du Mont Wilson (télescope de 100 pouces) en Californie et a constaté que, pour la plupart de ces dernières, les raies spectrales étaient décalées vers le rouge, ce qu'il a interprété comme un mouvement de récession, c'est à dire de fuite, par rapport à nous. De plus, ayant déterminé la distance « d » de ces objets, il constate la proportionnalité entre cette vitesse de fuite et la valeur de d selon l'expression $v = H_0 \cdot d$, H_0 étant une constante, appelée aujourd'hui constante actuelle d'Hubble –Lemaître, qu'il évalue à environ 530 (km/s)/Mpc³. Le graphique ci dessous est tiré de son article fondateur et représente la vitesse radiale (exprimées par erreur en km) corrigée du mouvement solaire, en fonction de la distance. Les deux droites font référence à deux types différents d'objets observés.



Vitesses radiales, corrigées du mouvement du Soleil, en fonction des distances estimées à partir de la luminosité de céphéides

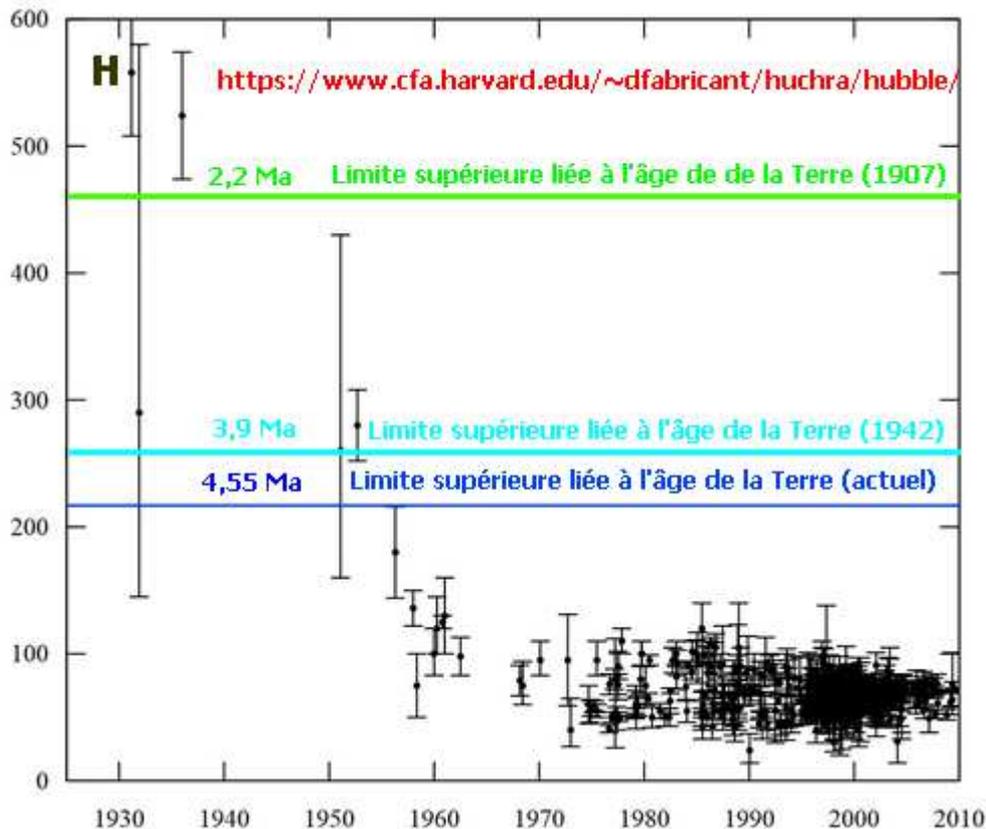
Pour Hubble et son collègue **Milton Humason** (1891/1972), avec lequel il va poursuivre ce travail dans les années suivantes en étendant le domaine exploré, la vitesse radiale mesurée était la vitesse de l'objet lui même dans un espace newtonien : nous nous retrouvons alors dans une situation pré-copernicienne pour laquelle notre Galaxie occupait une position centrale dont s'écartait à plus ou moins grande vitesse l'ensemble des autres « univers-îles » de notre Univers. Cette approche n'était pas satisfaisante mais les théoriciens avaient déjà trouvé une autre solution bien meilleure en appliquant à ces travaux la relativité générale : l'Univers⁴ est en expansion et la vitesse fournie par la mesure d'un décalage en longueur d'onde du rayonnement reçu

² La composante de la vitesse sur la ligne de visée est nommée « vitesse radiale ». Un objet qui se déplacerait perpendiculairement à la ligne de visée aurait donc une vitesse radiale nulle. Cette mesure se fait en utilisant l'effet Doppler qui modifie la longueur d'onde d'un rayonnement reçu et s'étudie en analysant les spectres des objets visés.

³ Le pc est la distance à laquelle nous voyons le diamètre de l'orbite terrestre sous un angle de 1" d'arc. Nous avons alors la relation 1 pc = 3,26 a.l.

⁴ La théorie de la relativité générale développée par Albert Einstein (1879/1955) a, dans les mains de Georges Lemaître (1894/1966), confirmé cette observation et lui a donné une explication fascinante : nous vivons dans un espace-temps s'étendant progressivement depuis ses « origines ».

n'est que la mesure de la dilatation de l'espace-temps dans lequel nous sommes plongés. Dans cette perspective chacune des galaxies fuit toutes les autres de la même manière : il n'y a plus de centre de fuite ! Les théoriciens apportaient également une autre information : si les galaxies s'éloignaient les unes des autres, elles avaient dû être beaucoup plus proches dans le passé et même rassemblées à un moment donné que certains s'empressèrent de nommer « naissance de l'Univers ». Il restait alors un problème de taille : il est possible de montrer que, dans le cas simple mais réaliste d'un Univers en expansion à vitesse constante, l'inverse de H_0 donne immédiatement l'âge de l'Univers. Avec la valeur trouvée par Hubble l'Univers était plus jeune (1,8 milliards d'années) que la Terre qui, à l'époque, avait un âge estimé à 2,2 milliards d'années.



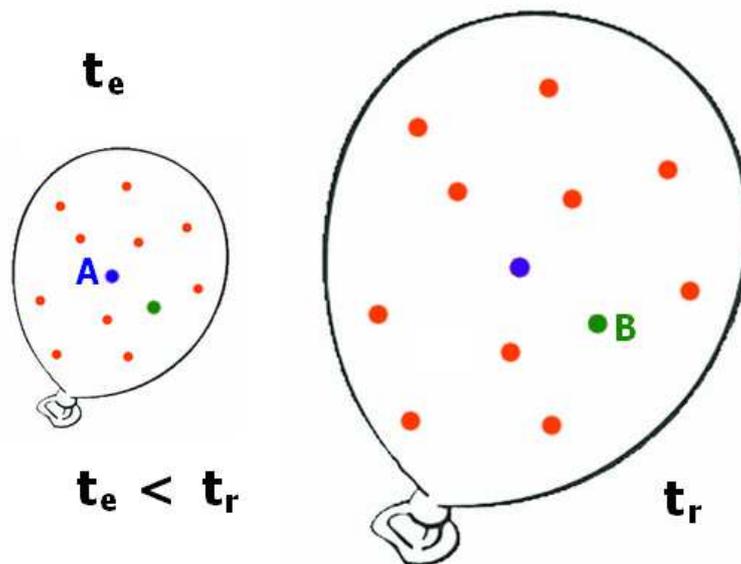
La figure ci-dessus qui représente la valeur de H_0 trouvée par les astronomes depuis 1929 montre que jusqu'à la fin des années 1950 il y avait donc une difficulté : bien que travaillant sur des échantillons de plus en plus lointains et améliorant sans cesse leur technique de mesure des distances, les astronomes ne parvenaient pas à obtenir une valeur consistante avec l'âge de la Terre déterminé avec de plus en plus de précision et constamment en augmentation. En 1958 **Allan Sandage** (1926/2010) propose enfin une valeur de 75 (km/s)/Mpc^5 avec une incertitude importante de $\pm 25 \text{ (km/s)/Mpc}$ qui

⁵ Les discussions, à l'époque, sur la valeur de H_0 furent en réalité âpres, en particulier entre Allan Sandage et Gérard de Vaucouleurs (1918/1995). Ils ont recalculé, par des voies différentes, cette constante de Hubble. Dans un premier temps le premier l'estimait autour de 100 et le second autour de 50. Progressivement ils se sont rapprochés chacun de cette valeur de 75 (km/s)/Mpc sans jamais se mettre d'accord !

élimine la difficulté. Par la suite cette valeur ne changera guère et les astronomes ont chercher essentiellement à augmenter la précision sur cette dernière.

Avant de détailler les problèmes actuels à propos de la valeur de H_0 développons l'approche relativiste expliquant l'existence de cette dernière. Elle est liée à la découverte d'un troisième type de décalage spectral, tous étant dus à un effet de relativité du temps. Le premier, appelé effet Doppler classique, est le plus connu et il a été découvert⁶ en 1842 par **Christian Doppler** (1803/1853) avec les ondes sonores. L'effet – changement de fréquence - est observé chaque fois que la source d'ondes se déplace par rapport à un observateur avec une certaine vitesse. Nous l'observons avec le son (sirène d'ambulance qui se rapproche puis s'éloigne) et avec les ondes électromagnétiques (le cinémomètre des gendarmes). Le second, appelé effet Einstein ou décalage spectral gravitationnel, était prévu par la relativité générale. Un rayonnement émis par un objet massif voit sa fréquence de réception diminuée par rapport à celle qu'il avait au départ. Le troisième, qui nous intéresse ici, est le décalage spectral cosmologique : il est lié à l'évolution de la distance entre la source et le récepteur durant le « voyage » de la lumière entre son émission et sa réception dans un univers en expansion.

Comme nous l'avons vu, Hubble avait considéré dans un premier temps qu'il avait affaire à un effet Doppler classique et lui avait donc appliqué l'expression classique connue en écrivant $v = H_0.d$. Aujourd'hui cette interprétation s'est avérée inexacte et nous pouvons simplement dire que le décalage spectral est proportionnel à la distance. En effet, en relativité générale, ce ne sont pas les galaxies qui s'éloignent les unes des autres comme nous le ferions de notre domicile en allant travailler mais c'est l'espace qui se dilate alors que les galaxies elles même restent « immobiles ». Il est possible d'illustrer ce phénomène avec l'analogie⁷ d'un ballon sur lequel on a collé des pastilles - « galaxies » et que l'expérimentateur gonfle progressivement.



⁶ En 1848 Hippolyte Fizeau (1819/1896) découvre le décalage en fréquence d'une onde lumineuse lorsque la source et le récepteur sont en mouvement relatif et en donne l'expression en fonction de la vitesse.

⁷ Toute analogie a bien sûr ses limites. Ici nous avons un ballon dont la surface est un espace à deux dimensions et qui est plongé dans un espace à trois dimensions où nous nous trouvons pour l'observer. Dans le cas de l'Univers il n'existe pas d'espace de dimension supérieure et nous sommes à l'INTÉRIEUR de ce dernier.

Cette image fournie par notre analogie convient pour représenter un univers évolutif en expansion isotrope⁸ : les pastilles s'écartent les unes des autres au fur et à mesure que le ballon se gonfle et ceci d'autant plus « vite » qu'elles sont déjà éloignées entre elles. Considérons sur cette figure la « galaxie » A qui émet à l'instant⁹ t_e une onde lumineuse qui sera reçue dans la « galaxie » B à l'instant t_r . Au cours de sa progression entre A et B cette onde va « s'étirer » (c'est à dire augmenter sa longueur d'onde λ d'une certaine quantité $\Delta\lambda$ mesurable) en parcourant la distance d . Appelons z (redshift) la quantité $\Delta\lambda/\lambda$. Le calcul montre que le rapport $c.z/d$ est alors égal à H_0 , avec c , vitesse de la lumière.

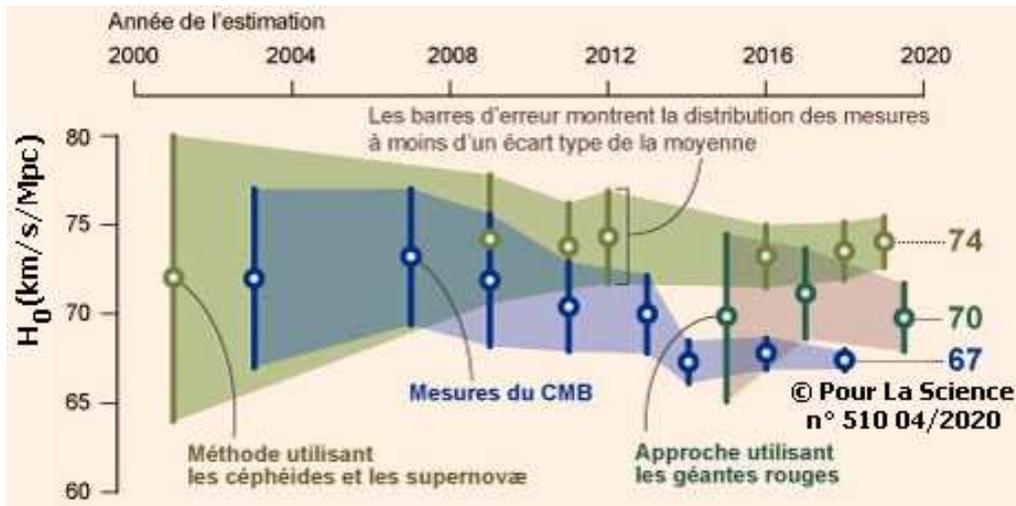
La mesure du décalage spectral $\Delta\lambda/\lambda$ est relativement simple puisqu'il s'agit de comparer la longueur d'onde λ d'une raie choisie dans le spectre de la galaxie visée et la longueur d'onde λ_0 de la même raie sélectionnée dans le spectre du même élément, au repos dans le laboratoire. La mesure de distance est nettement plus complexe. En effet il faut disposer de standards étalonnés de distances qui, de proche en proche, permettent de sonder l'Univers sur des profondeurs atteignant plusieurs milliards d'années de lumière.

Mais à partir du début des années 2000 les scientifiques ont mis en œuvre une nouvelle approche pour déterminer H_0 qui s'appuie sur l'excellente connaissance que nous avons du CMB (**C**osmic **M**icrowave **B**ackground ou fond diffus cosmologique). Il correspond au rayonnement électromagnétique le plus ancien que nous recevons en provenance des débuts de l'expansion de l'Univers. Il a été produit par les photons thermiques issus de l'état chaud de l'Univers à ses débuts (Big-Bang) et qui ont été émis lorsque ce dernier s'est suffisamment refroidi pour que les électrons puissent s'unir aux protons afin de former l'hydrogène neutre. L'Univers n'avait alors que 379 000 ans et à ce moment là le plasma cosmique est devenu transparent aux photons. C'est donc une « photographie » du jeune Univers, montrant les minuscules fluctuations à l'origine des structures à grande échelle observée aujourd'hui. Ce qui est le plus important dans l'étude du CMB n'est pas sa température moyenne (2,73 K), que les astronomes connaissent depuis longtemps, mais ses fluctuations autour de cette moyenne et la taille des régions concernées. Les fluctuations sont très faibles (quelques dizaines de μK), ce qui rend leur détection difficile. Plusieurs missions spatiales (Cobe en 1989, WMAP en 2001 et Planck en 2009), d'autres à partir du sol ou à bord de ballons stratosphériques ont été conduites pour mesurer ces anisotropies à petites échelles angulaires. En analysant finement ces fluctuations et en les introduisant dans le modèle théorique standard admis pour l'évolution de l'Univers on peut en déduire H_0 .

Ces deux principales méthodes disponibles à l'heure actuelle pour mesurer H_0 devraient aboutir à des valeurs compatibles entre elles. Or, en 2020, ce n'est pas le cas. Figurons ces résultats sur un graphique résumant l'état actuel de nos connaissances sur H_0 .

⁸ L'isotropie de l'expansion signifie qu'elle a la même valeur dans toutes les directions de l'espace.

⁹ Dans le modèle le plus courant d'Univers autorisé par la relativité générale (homogène et isotrope) nous pouvons définir un temps cosmique car toutes les galaxies sont supposées être « immobiles » par rapport à un même système de coordonnées. Elles ont donc toutes le même temps propre : cela signifie en particulier que pour toutes les galaxies de notre Univers ce dernier a le même âge.



Nous voyons que jusqu'en 2012 les deux méthodes avaient des barres d'erreur qui se recouvraient, ce qui permettait de donner une seule valeur pour H_0 . Aujourd'hui ces barres d'erreur se sont réduites et n'ont plus de zone commune. La situation s'est même aggravée depuis 2019 car une nouvelle série de mesures s'appuyant sur d'autres « chandelles » cosmiques pour exploiter la méthode des distances propose une valeur intermédiaire entre celles fournies précédemment avec une barre d'erreur qui ne permet pas de converger vers un résultat unique. Enfin depuis peu de nouvelles méthodes (étude des lentilles gravitationnelles, analyse du signal fourni par les installations Virgo et Ligo détectant les ondes gravitationnelles générées par la fusion de plusieurs couples d'étoiles à neutrons) enrichissent les études (73 (km/s)/Mpc pour la première et 68 pour la seconde). L'ensemble de ces résultats met « en tension¹⁰ » le monde des cosmologistes qui vont devoir soit ré-analyser leurs méthodes de mesure et y rechercher des biais non détectés jusqu'à présent soit reprendre le modèle standard du Big-Bang.

Petite bibliographie :

« *Pour la Science* » n° 510 – avril 2020 « La crise cosmique de la constante de Hubble »

« *L'Astronomie* » n° 138 – mai 2020 « Crise de la constance de Hubble : la saga continue »

CONFÉRENCES DE L'OBSERVATOIRE 2020 :

Du fait du confinement lié au Covid 19 les conférences à l'observatoire de Besançon sont annulées jusqu'à nouvel ordre.

**À BIENTÔT SUR TERRE
L'AAFC**

¹⁰ En anglais le mot « tension » peut signifier « désaccord ».