



MEILLEURS VŒUX 2016

Le ciel de janvier 2016

Les phénomènes du mois :

Les temps sont donnés en heure normale pour Nantes

jj hh:mm

- 02 06:30 DERNIER QUARTIER DE LA LUNE
- 02 12:53 Lune à l'apogée (distance géoc. = 404277 km)
- 03 00:00 La Terre à son périhélie (distance au Soleil = 0,98330 UA)
- 03 02:12 Maximum de l'étoile variable delta de Céphée
- 03 08:38 Rapprochement entre la Lune et Spica (dist. topocentrique centre à centre = $3,8^\circ$)
- 04 03:50 Pluie d'étoiles filantes : Quadrantides (120 météores/heure au zénith; durée = 16,0 jours)
- 04 04:18 Début de l'occultation de 98-kappa Vir (magn. = 4,18)
- 04 04:55 Fin de l'occultation de 98-kappa Vir (magn. = 4,18)
- 06 04:26 CONJONCTION entre Pluton et le Soleil (dist. géoc. centre à centre = $1,6^\circ$)
- 07 06:38 Minimum de l'étoile variable Algol (bêta de Persée)
- 08 19:00 Mercure à son périhélie (distance au Soleil = 0,30750 UA)
- 09 05:14 Rapprochement entre Vénus et Saturne (dist. topocentrique centre à centre = $0,1^\circ$)
- 10 02:30 NOUVELLE LUNE
- 10 03:27 Minimum de l'étoile variable Algol (bêta de Persée)
- 10 07:01 Maximum de l'étoile variable zêta des Gémeaux
- 11 19:48 Maximum de l'étoile variable éta de l'Aigle
- 12 09:05 Comète 116P Wild à son périhélie (dist. au Soleil

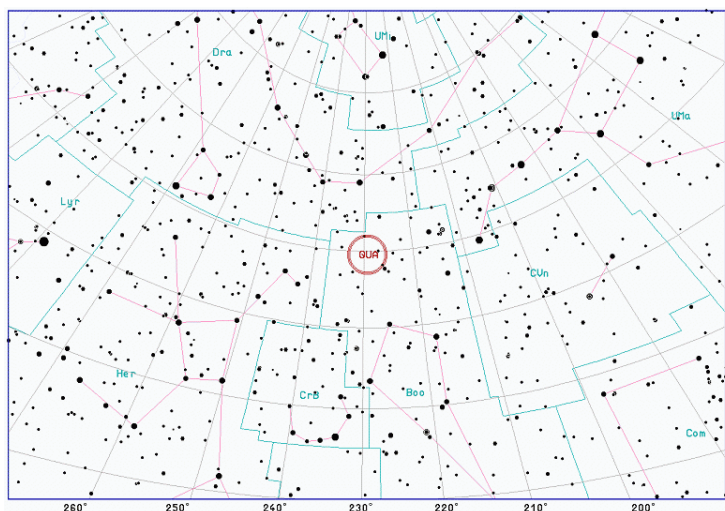
Sommaire:

- Le ciel du mois
 - essaims étoiles filantes comètes
 - Fripon
 - Planètes,
 - Carte du ciel
 - La Lune
- Découvrir l'Univers :
- Des livres à lire

jj hh:mm

- 14 07:41 Minimum de l'étoile variable bêta de la Lyre
- 14 15:05 CONJONCTION INFÉRIEURE de Mercure avec le Soleil (dist. géoc. centre à centre = 3,0°)
- 14 17:27 Opposition de l'astéroïde 30 Urania avec le Soleil (dist. au Soleil = 2,271 UA; magn. = 10,3)
- 15 03:10 Lune au périgée (distance géoc. = 369619 km)
- 15 21:06 Minimum de l'étoile variable Algol (bêta de Persée)
- 16 19:38 Début de l'occultation de 98-mu Psc (magn. = 4,84)
- 16 20:52 Fin de l'occultation de 98-mu Psc (magn. = 4,84)
- 17 00:26 PREMIER QUARTIER DE LA LUNE
- 18 17:55 Minimum de l'étoile variable Algol (bêta de Persée)
- 19 04:36 Maximum de l'étoile variable delta de Céphée
- 20 00:58 Début de l'occultation de 75 Tau (magn. = 4,96)
- 20 02:01 Fin de l'occultation de 75 Tau (magn. = 4,96)
- 20 02:02 Début de l'occultation de HD 28527 (magn. = 4,78)
- 20 02:58 Fin de l'occultation de HD 28527 (magn. = 4,78)
- 20 04:48 Rapprochement entre la Lune et Aldébaran (dist. topocentrique centre à centre = 0,1°)
- 21 00:07 Début de l'occultation de 111 Tau (magn. = 5,00)
- 21 00:55 Fin de l'occultation de 111 Tau (magn. = 5,00)
- 22 11:59 Rapprochement entre Mercure et Pluton (dist. topocentrique centre à centre = 1,7°)
- 24 02:46 PLEINE LUNE
- 24 21:24 Rapprochement entre Vénus et M 8 (dist. topocentrique centre à centre = 1,9°)
- 26 04:44 Rapprochement entre la Lune et Régulus (dist. topocentrique centre à centre = 3,1°)
- 26 06:55 Opposition de l'astéroïde 115 Thyra avec le Soleil (dist. au Soleil = 2,214 UA; magn. = 10,2)
- 27 06:16 Minimum de l'étoile variable bêta de la Lyre
- 27 22:15 Fin de l'occultation de 84-tau Leo (magn. = 4,95)
- 27 23:50 Rapprochement entre la Lune et Jupiter (dist. topocentrique centre à centre = 1,8°)
- 29 22:12 Maximum de l'étoile variable delta de Céphée
- 30 03:49 Début de l'occultation de 51-thêta Vir (magn. = 4,38)
- 30 05:06 Fin de l'occultation de 51-thêta Vir (magn. = 4,38)
- 30 05:12 Minimum de l'étoile variable Algol (bêta de Persée)
- 30 10:10 Lune à l'apogée (distance géoc. = 404553 km)
- 30 11:59 Rapprochement entre Mercure et Pluton (dist. topocentrique centre à centre = 0,5°)
- 30 21:05 Rapprochement entre Vénus et M 22 (dist. topocentrique centre à centre = 1,5°)

Etoiles filantes essaims et Comètes



Les Quadrantides (QUA) sont actives les premiers jours de l'année. Le taux horaire moyen (ZHR) est variable. Normalement de 120 météores par heure, le taux peut varier entre 60 et 200 par heure.

L'essaim météoritique des Quadrantides, observé pour la première fois en 1825, tire son nom du fait que les étoiles filantes semblent provenir d'un même point du ciel (le radiant) situé au nord de l'étoile *beta Bootis* (Nekkar), dans la région du ciel où l'astronome français Joseph Jérôme Lefrançois de Lalande avait placé, au XVIII^e siècle, la

constellation du Quadrant mural. Le radiant forme un triangle avec les étoiles *phi Herculis* et *beta Bootis*.

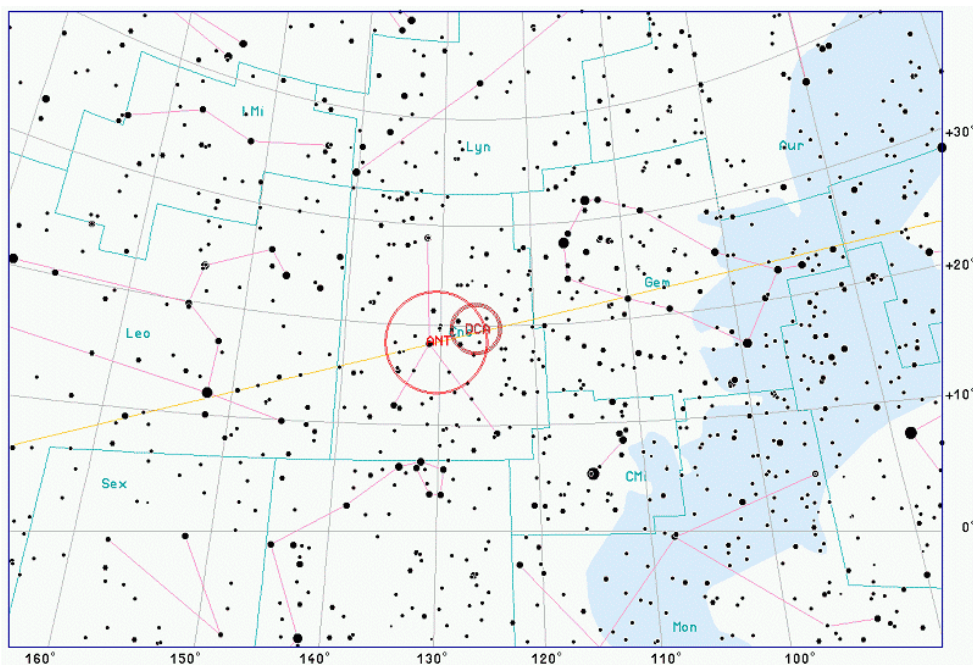
L'astéroïde 2003 EH1 semble être un sérieux candidat comme parent de l'essaim des Quadrantides.

Période d'activité : du 28 Décembre au 12 Janvier Maximum : 04 Janvier Longitude solaire (lambda) : 283.16° position du radiant au moment du maximum

ascension droite (alpha) : 230° déclinaison (delta) : +49° Vitesse (en km/s) : 41 r : 2.1

ZHR : 120 (peut varier ~60-200) Astéroïde associé : 2003 EH1

Le radiant des delta-Cancrides (DCA) au moment du maximum d'activité de l'essaim est situé environ au même endroit que l'amas d'étoiles M44, l'amas de la Crèche. L'essaim produit de faibles météores lents, d'une vitesse de 30 km par seconde. Le taux horaire moyen (ZHR) est de 4 météores par heure au moment du maximum.



Les premières détection de cet essaim semblent avoir eu lieu en 1872 par les membres de l'Italian Meteoric Association., mais la preuve solide de l'existence de l'essaim a été fournie en 1971.

Période d'activité : du 01 au 24 Janvier Maximum : 17 Janvier

Longitude solaire (lambda) : 297° position du radiant au moment du maximum ascension droite (alpha) : 130° déclinaison (delta) : +20° Vitesse (en km/s) : 30 r : 3.0 ZHR : 4

Comète associée : C/1931 P1 (Ryves)

LA CAMERA FRIPON

Opérationnelle sur le château d'eau de Kerseau En janvier 2016

Le projet FRIPON a été approuvé par l'agence nationale de la recherche (ANR) en juillet 2013. Le financement obtenu a permis de couvrir l'ensemble du territoire français de **caméras "Fish Eye"** et de récepteurs **radio** basés sur l'écoute du radar GRAVES. Des tests de matériels ont commencé début 2013 grâce à un financement du conseil scientifique de l'observatoire de Paris. La définition et le test de l'ensemble du matériel s'est terminé fin 2014. La livraison des caméras s'est terminée mi 2015, les ordinateurs seront livrés à l'automne 2015. **L'installation est en cours et se terminera fin 2015.** L'ANR a aussi financé du temps d'ingénieur pour écrire l'ensemble du "pipe line" de traitement des données : acquisition des images, détection des événements, stockage et bases de données, astrométrie et calcul d'orbite, estimation du lieu d'impact. Ce travail a déjà abouti à l'écriture du programme "open source" Freeture **première version en 2015.**

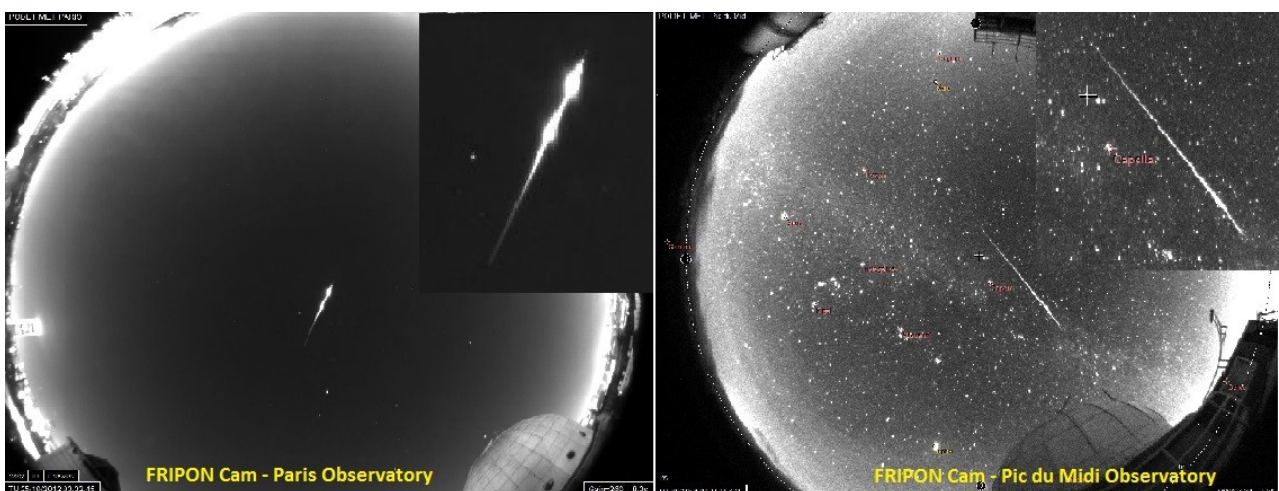


Image "Plein ciel" ou "Fish Eye" des premières caméras FRIPON installées à l'observatoire du Pic du Midi et à l'observatoire de Paris.

On peut noter que la très grande brillance des phénomènes observés par FRIPON rend possible l'installation de caméras en ville.

Visibilité des planètes

Mercure Visible le soir avant le 5. En conjonction inférieure le 14. Visible à l'aube après le 20 (Sagittaire, capricorne)

Vénus : Visible à l'aube (Lib-Sco-Oph-Sag)

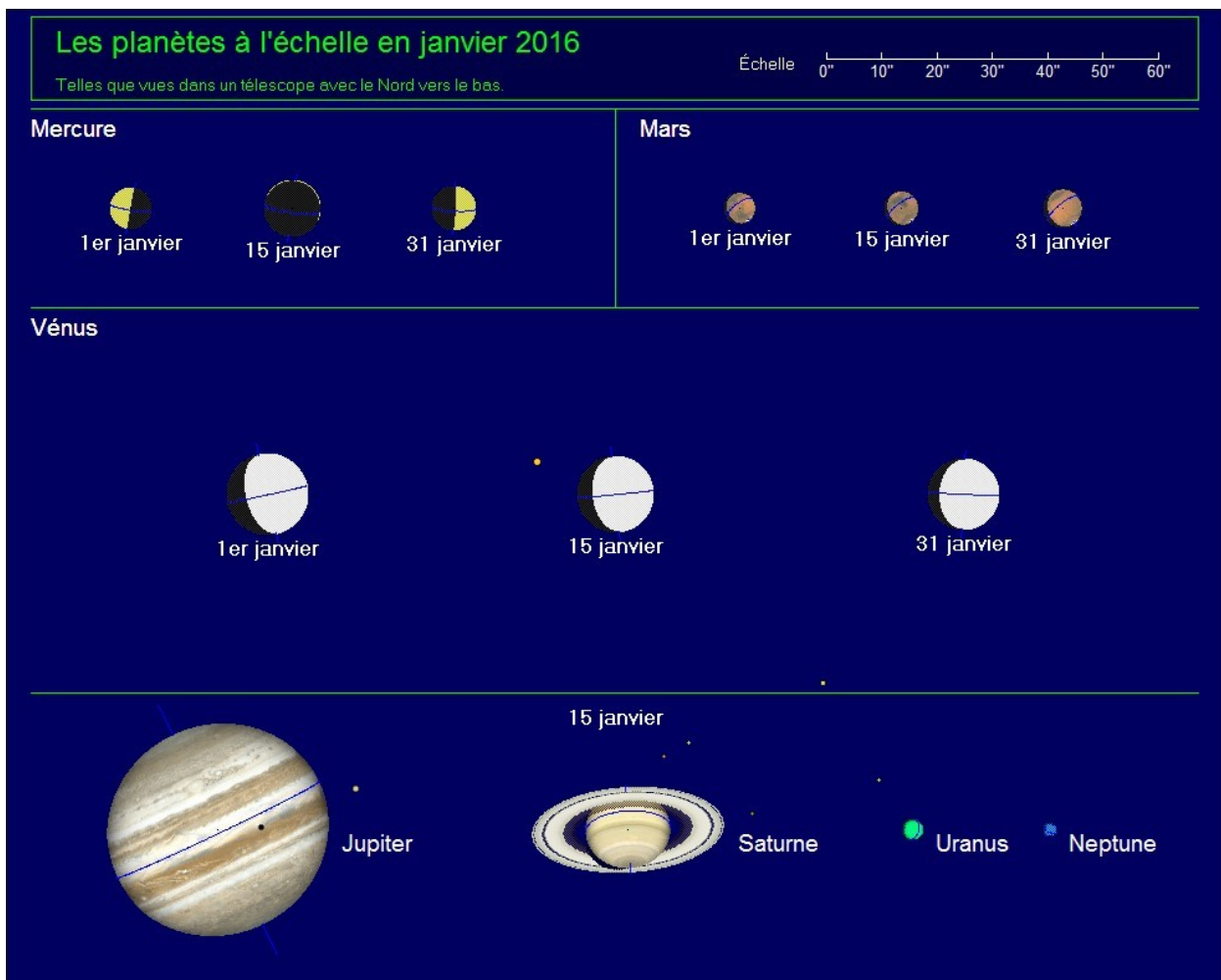
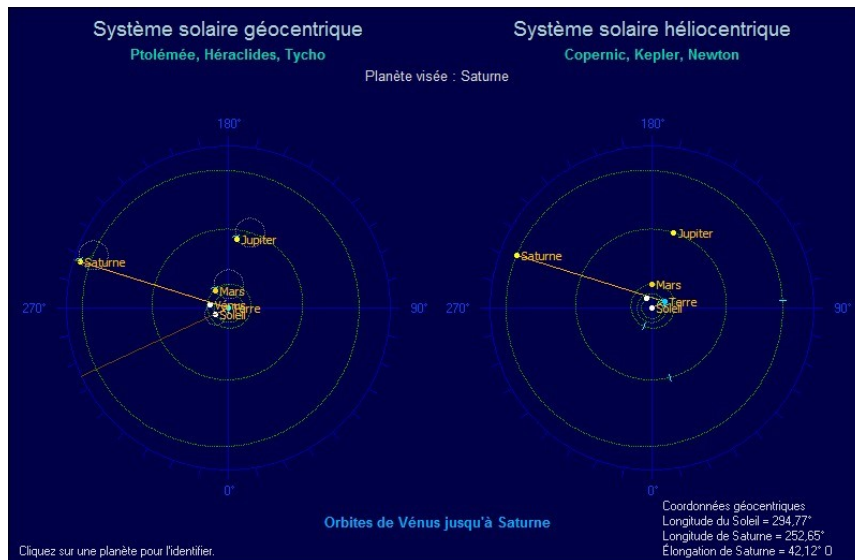
Mars Visible en seconde partie de nuit (Vir-Lib)

Jupiter Observable une grande partie de la nuit (Lion)

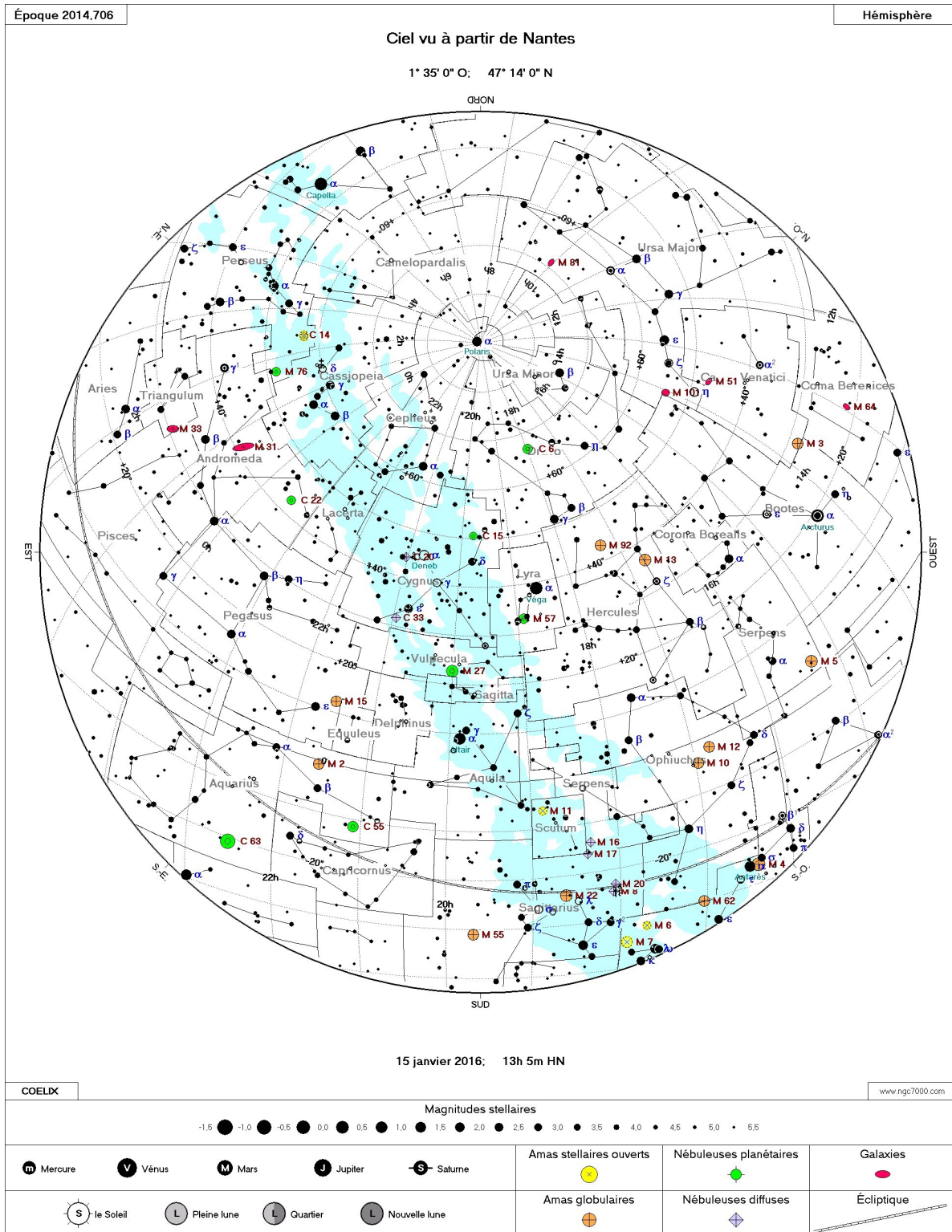
Saturne Observable en fin de nuit. L'inclinaison des anneaux passe de 26.08° à 26.24° (Ophiuchus)

Uranus : Observable en première partie de nuit (Poissons)

Neptune Visible en début de nuit . (Aqr)



CARTE DU CIEL

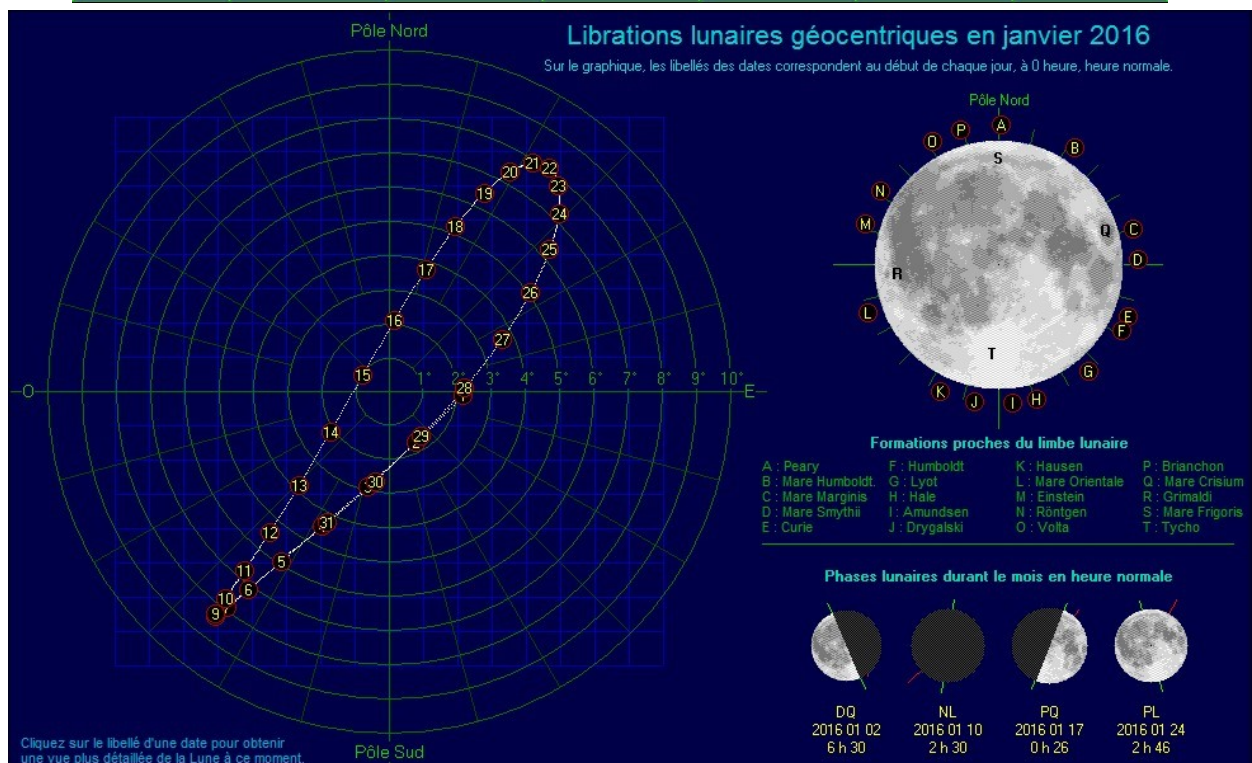
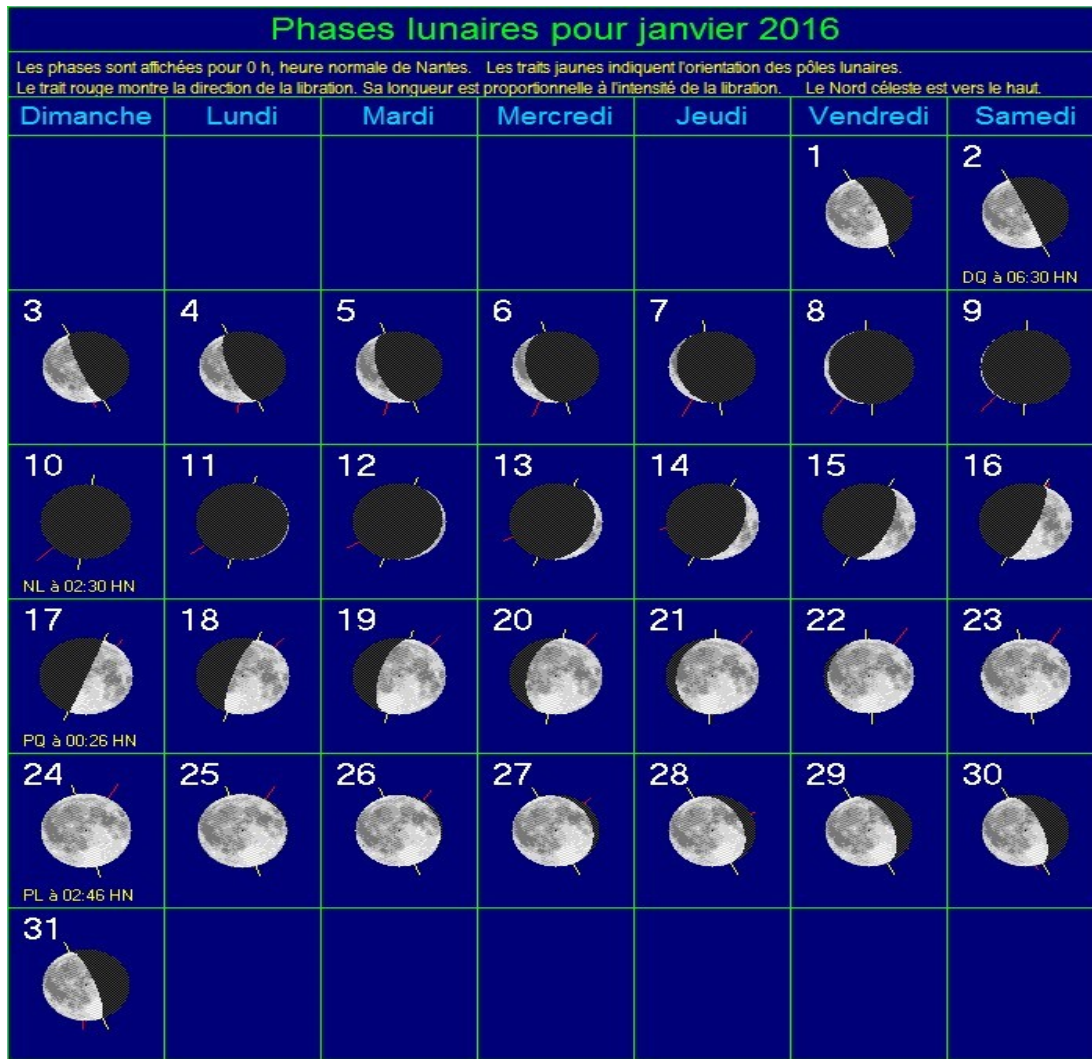


Comment utiliser la carte du ciel

Si par exemple vous observez vers l'ouest, tenez la carte devant vous en plaçant le mot ouest vers le bas. Les constellations dessinées au-dessus de l'horizon Ouest vous font face sur le ciel. Le centre de la carte correspond au zénith, le point situé au-dessus de votre tête.

Une constellation représentée à mi-distance du centre et du bord de la carte est donc à égale distance de l'horizon et du zénith.

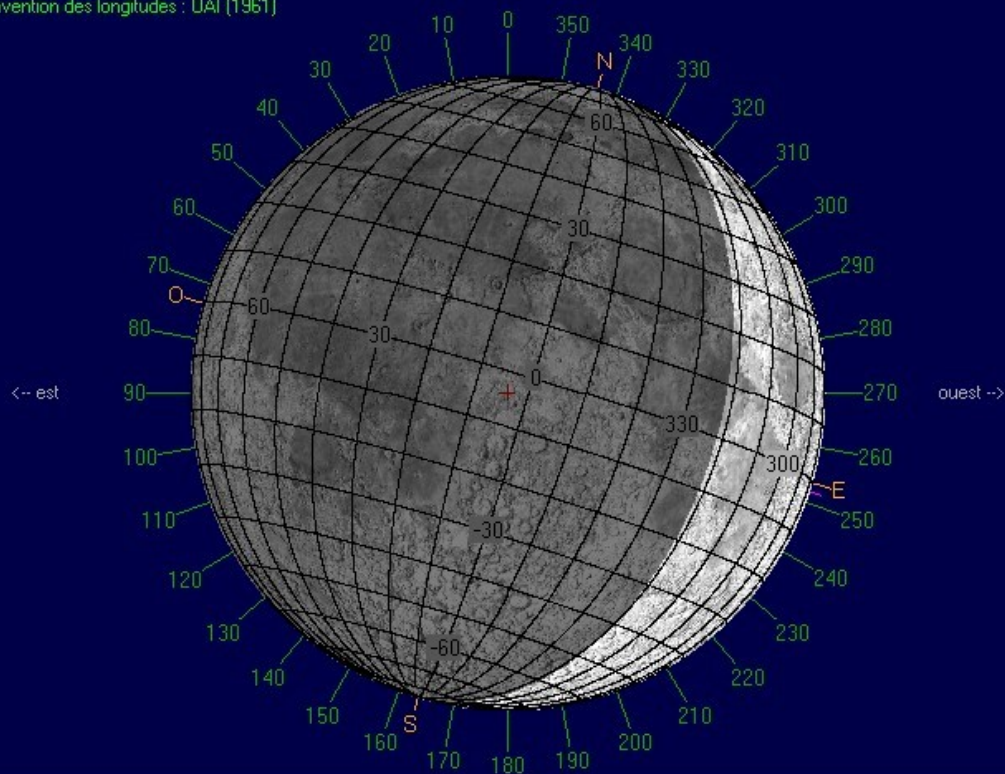
LA LUNE



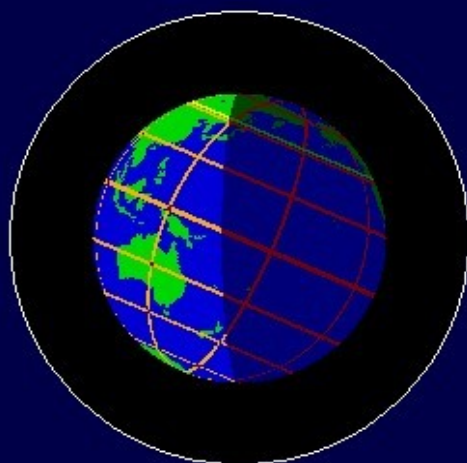
Carte de la Lune (vue topocentrique)

Angle de position du pôle Nord = $343,53^\circ$
 Angle de position du limbe éclairé = $251,80^\circ$
 Pourcentage d'illumination = 16,50%
 Convention des longitudes : UAI (1961)

Longitude sélénographique du centre du disque = $3,82^\circ$
 Latitude sélénographique du centre du disque = $-4,00^\circ$
 Longitude du terminateur du soleil levant = $321,74^\circ$



Système Soleil-Terre-Lune



Vue de la Terre à partir
du point vernal



Vue de la Lune
à partir de Nantes

Éphémérides topocentriques de la Lune

Les temps sont donnés en heure normale pour Nantes (1° 35' 0" O, 47° 14' 0" N, zone A).

Date	Heure	A. D. (2000.0)	Décl. (2000.0)	Const. Dist. T.	Âge	Magn.	Diam.	Illum.	Élong.	Sépar.	Hauteur	Lever	Passage	Coucher		
2016 01 01 12:32	00:00	11h 47m 54,5s	+1° 2' 28"	Vir	402882	20j 12h 31m	-11,44	1780	61,3	102,9° O	102,9°	43,7°	00:06	06:23		
2016 01 02 12:57	00:00	12h 32m 55,7s	-2° 41' 21"	Vir	405311	21j 12h 31m	-11,20	1769	52,0	92,1° O	92,1°	39,9°	01:06	07:06		
2016 01 03 13:24	00:00	13h 17m 55,5s	-6° 18' 47"	Vir	406382	22j 12h 31m	-10,94	1764	42,7	81,4° O	81,4°	36,3°	02:05	07:48		
2016 01 04 13:52	00:00	14h 3m 34,7s	-9° 43' 4"	Vir	406074	23j 12h 31m	-10,66	1766	33,6	70,6° O	70,7°	32,9°	03:05	08:32		
2016 01 05 14:24	00:00	14h 50m 29,9s	-12° 46' 57"	Lib	404471	24j 12h 31m	-10,35	1773	25,0	59,8° O	59,8°	29,8°	04:05	09:17		
2016 01 06 15:00	00:00	15h 39m 10,2s	-15° 22' 27"	Lib	401743	25j 12h 31m	-9,99	1785	17,1	48,7° O	48,8°	27,2°	05:05	10:05		
2016 01 07 15:42	00:00	16h 29m 53,0s	-17° 20' 48"	Oph	398139	26j 12h 31m	-9,60	1801	10,4	37,4° O	37,6°	25,2°	06:04	10:55		
2016 01 08 16:32	00:00	17h 22m 39,5s	-18° 33' 1"	Oph	393954	27j 12h 31m	-9,14	1820	5,1	25,7° O	26,1°	23,9°	07:01	11:47		
2016 01 09 17:28	00:00	18h 17m 11,6s	-18° 51' 9"	Sgr	389509	28j 12h 31m	-8,63	1841	1,6	13,8° O	14,5°	23,6°	07:55	12:40		
2016 01 10 18:31	00:00	19h 12m 54,5s	-18° 9' 59"	Sgr	385110	29j 12h 31m	-8,16	1862	0,2	1,6° O	4,5°	24,2°	08:43	13:35		
2016 01 11 19:39	00:00	20h 9m 4,4s	-16° 28' 28"	Cap	381020	0j 21h 30m	-8,55	1882	1,0	11,0° E	11,5°	25,8°	09:27	14:30		
2016 01 12 20:50	00:00	21h 5m 1,5s	-13° 50' 38"	Aqr	377434	1j 21h 30m	-9,15	1900	4,3	23,7° E	23,8°	28,4°	10:06	15:24		
2016 01 13 22:02	00:00	22h 0m 19,8s	-10° 25' 14"	Aqr	374466	2j 21h 30m	-9,70	1915	9,9	36,6° E	36,6°	31,8°	10:41	16:17		
2016 01 14 23:15	00:00	22h 54m 53,2s	-6° 24' 31"	Aqr	372151	3j 21h 30m	-10,19	1926	17,7	49,6° E	49,6°	35,7°	11:13	17:09		
2016 01 15	00:00	23h 48m 54,0s	-2° 2' 52"	Psc	370471	4j 21h 30m	-10,62	1935	27,1	62,7° E	62,7°	39,9°	11:45	18:01		
2016 01 16 00:28	00:00	0h 42m 47,2s	+2° 24' 28"	Cet	369379	5j 21h 30m	-10,99	1941	37,8	75,8° E	75,8°	44,2°	12:16	18:53		
2016 01 17 01:40	00:00	1h 37m 3,1s	+6° 42' 8"	Psc	368835	6j 21h 30m	-11,31	1944	49,2	88,9° E	88,9°	48,3°	12:50	19:45		
2016 01 18 02:52	00:00	2h 32m 9,2s	+10° 35' 7"	Ari	368827	7j 21h 30m	-11,60	1944	60,5	102,0° E	102,0°	51,9°	13:26	20:39		
2016 01 19 04:01	00:00	3h 28m 21,4s	+13° 49' 16"	Tau	369379	8j 21h 30m	-11,84	1941	71,3	115,2° E	115,1°	54,9°	14:06	21:34		
2016 01 20 05:08	00:00	4h 25m 36,9s	+16° 12' 15"	Tau	370545	9j 21h 30m	-12,05	1935	80,9	128,2° E	128,0°	57,0°	14:53	22:29		
2016 01 21 06:09	00:00	5h 23m 30,3s	+17° 34' 52"	Tau	372386	10j 21h 30m	-12,24	1925	88,8	141,2° E	140,8°	58,1°	15:44	23:25		
2016 01 22 07:04	00:00	6h 21m 17,5s	+17° 52' 38"	Gem	374938	11j 21h 30m	-12,40	1912	94,8	154,0° E	153,4°	58,4°	16:42			
2016 01 23 07:52	00:00	7h 18m 6,3s	+17° 6' 37"	Gem	378184	12j 21h 30m	-12,55	1896	98,5	166,6° E	165,7°	59,8°	17:42	00:19		
2016 01 24 08:33	00:00	8h 13m 11,1s	+15° 23' 9"	Cnc	382031	13j 21h 30m	-12,66	1877	99,8	178,9° E	175,4°	58,1°	18:45	01:11		
2016 01 25 09:09	00:00	9h 6m 4,4s	+12° 52' 20"	Cnc	386306	14j 21h 30m	-12,55	1856	99,0	169,0° O	168,5°	55,6°	19:48	02:01		
2016 01 26 09:40	00:00	9h 56m 39,8s	+9° 46' 4"	Leo	390760	15j 21h 30m	-12,38	1835	96,1	157,3° O	157,1°	52,4°	20:51	02:49		
2016 01 27 10:08	00:00	10h 45m 10,0s	+6° 16' 12"	Sex	395099	16j 21h 30m	-12,20	1815	91,4	145,8° O	145,8°	48,9°	21:52	03:34		
2016 01 28 10:35	00:00	11h 32m 0,9s	+2° 33' 32"	Leo	399006	17j 21h 30m	-12,02	1797	85,2	134,6° O	134,6°	45,2°	22:52	04:18		
2016 01 29 11:00	00:00	12h 17m 46,4s	-1° 12' 37"	Vir	402174	18j 21h 30m	-11,82	1783	77,8	123,7° O	123,7°	41,4°	23:52	05:01		
2016 01 30 11:26	00:00	13h 3m 3,7s	-4° 54' 13"	Vir	404339	19j 21h 30m	-11,62	1773	69,5	112,8° O	112,8°	37,7°		05:43		

Découvrir l'Univers : Distance – Galaxie

L'un de problèmes auquel les astronomes ont de tout temps été confrontés est celui de l'échelle des distances dans l'Univers : la mesure de la distance des planètes, étoiles, galaxies et objets célestes que nous pouvons observer. Il n'existe hélas pas de méthode unique permettant de mesurer la distance à un corps céleste. Les astronomes sont alors obligés de travailler par étape, en utilisant plusieurs types de méthodes, chacune s'appliquant à un domaine donné, par exemple les étoiles proches ou les galaxies lointaines. Ils doivent construire petit à petit une échelle des distances de l'Univers, en commençant par établir celle des objets les plus proches, du système solaire aux étoiles de la Voie Lactée, puis en s'éloignant peu à peu pour finir par déterminer l'éloignement des galaxies les plus lointaines.

Dans cette échelle des distances, chaque échelon s'appuie sur les précédents. Par exemple, pour déterminer la distance aux étoiles lointaines, il faut d'abord bien connaître celle des étoiles proches. Le problème de ce type de démarche réside dans le fait que si l'une des méthodes est peu précise, toutes les suivantes en pâtissent. En conséquence, la précision des mesures décroît avec la distance : les dimensions du système solaire sont connues avec une très grande précision, mais les distances aux galaxies lointaines souffrent de grandes incertitudes.

Le système solaire

L'échelle des distances commence avec le système solaire, le domaine dans lequel les résultats sont les plus précis. Certains astronomes grecs avaient déjà une idée des distances mises en jeu il y a plus de 2000 ans, mais c'est surtout après le XVII^e siècle que les mesures s'affinèrent. De nos jours, des méthodes très sophistiquées peuvent être utilisées, comme l'étude du mouvement des sondes spatiales qui sillonnent le système solaire, l'utilisation de signaux radars, ou même, dans le cas de la Lune, des mesures à l'aide d'un rayon laser.

Les méthodes géométriques

La deuxième étape consiste à appliquer des méthodes géométriques aux étoiles ou aux amas proches. Nous avons déjà étudié les deux principales méthodes : la parallaxe trigonométrique, qui repose sur l'oscillation apparente des étoiles proches dans le ciel du fait de la révolution de la Terre autour du Soleil, et la méthode du point de convergence, qui exploite le fait que les étoiles d'un amas semblent converger vers un point du ciel. Ces méthodes sont efficaces jusqu'à une distance d'environ 300 années-lumière et ont joué un rôle essentiel. En effet, en ayant pu mesurer à la fois la distance et la luminosité apparente de plusieurs étoiles, les astronomes ont réussi à calculer leur luminosité intrinsèque. En analysant également le type spectral, ils ont été en mesure d'établir le diagramme de Hertzsprung-Russel qui a joué un rôle fondamental dans notre compréhension des étoiles.

La parallaxe spectroscopique

Le diagramme de Hertzsprung-Russel peut également servir à mesurer la distance à des étoiles lointaines. En effet, en observant le spectre d'une étoile, on peut déterminer son type spectral. Avec cette information, il est possible d'estimer, grâce au diagramme, sa luminosité intrinsèque. Enfin, en comparant cette dernière à la luminosité apparente de l'étoile, on calcule facilement sa distance. Cette méthode est appelée parallaxe spectroscopique et permet d'atteindre des distances de 300 000 années-lumière. Elle est très souvent la seule méthode applicable à une étoile lointaine, mais elle présente le défaut d'être peu précise.

La méthode précédente peut être améliorée lorsque l'on a affaire à un amas stellaire. Comme toutes les étoiles se trouvent alors à la même distance de la Terre, leurs luminosités sont toutes affectées de la même façon. Si l'on trace le diagramme de Hertzsprung-Russel de l'amas en utilisant les luminosités apparentes, l'effet de la distance est de décaler globalement toute la séquence principale par rapport au diagramme normal. La mesure du décalage donne alors directement la distance en jeu. Cette méthode est bien plus précise que la précédente car le fait d'utiliser un grand nombre d'étoiles permet de largement réduire les incertitudes.

Indicateurs primaires

Avec la méthode de la parallaxe spectroscopique appliquée aux amas, il est possible de mesurer la distance des étoiles des Nuages de Magellan, mais pas au-delà. Pour continuer la construction de l'échelle des distances, il faut recourir aux étoiles variables, RR Lyrae ou céphéides. C'est cette méthode, qualifiée de parallaxe photométrique, que Harlow Shapley et Edwin Hubble utilisèrent pour déterminer la taille de la Galaxie et la distance à Andromède.

Ces étoiles variables ont la particularité d'avoir une luminosité intrinsèque facile à estimer. En mesurant leur luminosité apparente, il est alors possible, de calculer leur distance. Avec ce type d'étoiles, qualifiées d'indicateurs primaires, on peut atteindre avec des télescopes terrestres des distances de l'ordre de 10 millions d'années-lumière, ce qui englobe la galaxie d'Andromède et tout le Groupe Local. Le télescope spatial, grâce à sa capacité à voir des détails très fins, a pu de façon plus récente utiliser cette méthode sur des distances 10 fois supérieures.

Indicateurs secondaires

Pour mesurer la distance des galaxies plus lointaines, celles où les céphéides ne sont plus visibles, il faut faire appel à ce que l'on appelle des indicateurs secondaires. Il s'agit de différents types d'objets beaucoup plus brillants que les céphéides et dont nous sommes en mesure d'estimer la luminosité intrinsèque de façon théorique. La procédure est alors la même. A partir de la mesure de la luminosité apparente, il est facile de remonter à la distance.

Parmi les indicateurs secondaires, on peut citer les supernovæ de type I, qui présentent toujours la même luminosité intrinsèque lorsqu'elles atteignent leur éclat maximum. On compte aussi les amas globulaires, les étoiles supergéantes bleues et les novae, chacun de ces groupes d'objets possédant une luminosité moyenne bien définie. On peut également ajouter les régions HII, car leur taille maximale dans une galaxie est toujours la même, ce qui permet en mesurant les dimensions apparentes de remonter à la distance. En utilisant ces indicateurs secondaires, il est possible de déterminer des distances jusqu'à une centaine de millions d'années-lumière.

Indicateurs tertiaires

Lorsque même ces objets brillants ne sont plus visibles, on cherche à utiliser les propriétés globales des galaxies, qualifiées d'indicateurs tertiaires. Il existe par exemple une relation, appelée la loi de Tully-Fisher, entre la luminosité intrinsèque d'une galaxie spirale et sa vitesse angulaire de rotation. Or, il est possible de déterminer cette dernière par des observations de l'effet Doppler qui affecte la raie de 21 cm de l'hydrogène atomique. Il est donc possible de déterminer la luminosité intrinsèque totale de la galaxie considérée et d'en déduire, connaissant sa luminosité apparente, la distance.

Une autre relation, la loi de Faber-Jackson, existe pour les galaxies elliptiques et relie leur luminosité totale à l'agitation des étoiles en leur sein. Cette dernière est également mesurable grâce à l'effet Doppler et permet finalement de remonter à la distance. Les divers indicateurs tertiaires permettent en gros d'atteindre des distances de l'ordre de 500 années-lumière.

Il est possible d'aller encore plus loin en faisant l'hypothèse grossière que toutes les galaxies d'un type donné ont la même luminosité totale. On peut alors atteindre plus d'un milliard d'années-lumière, au prix d'une moindre précision.

La loi de Hubble

A des distances aussi énormes, la vitesse des galaxies est entièrement due à l'expansion de l'Univers. La vitesse particulière de chacune est complètement négligeable, ce qui n'était pas le cas pour les plus galaxies proches. Dans ces conditions, les galaxies suivent exactement la loi de Hubble sur la proportionnalité entre vitesse et distance.

Ceci a deux conséquences. D'abord nous pouvons utiliser les observations de ces galaxies lointaines pour estimer la constante de Hubble. Il suffit de prendre un large échantillon de galaxies lointaines, de déterminer leur vitesse à l'aide de l'analyse spectrale, et d'estimer leur distance grâce aux indicateurs tertiaires. On peut alors calculer le rapport vitesse sur distance et estimer la constante de Hubble. Bien sur, la précision ne sera pas très grande puisque le calcul repose sur toute une chaîne de méthodes différentes et est donc affecté par l'accumulation d'incertitudes.

La deuxième conséquence se base sur le principe inverse. Une fois la constante de Hubble déterminée, nous possédons le moyen ultime d'estimer la distance aux galaxies les plus lointaines et aux quasars. Puisque ces objets obéissent à la loi, il suffit d'analyser leur spectre pour calculer leur décalage vers le rouge et leur vitesse. Ce résultat divisé par la constante de Hubble donne alors tout simplement la distance. Cette méthode fonctionne bien pour les objets les plus éloignés, à condition bien sur qu'il soit possible de capturer suffisamment de leur lumière pour être en mesure d'effectuer une analyse spectrale.

Découvrir l'Univers : Hubble – Age – Univers

Premières mesures

La construction d'une échelle des distances de l'Univers à donc permis aux astronomes de s'attaquer à la mesure de la constante de Hubble H_0 . Les premières estimations vinrent avec la découverte de l'expansion elle-même. Hubble calcula alors une valeur de 500 kilomètres par seconde et par mégaparsec. Cette valeur était très élevée car Hubble ignorait qu'il existait deux types de céphéides de luminosités différentes. En mélangeant les deux types, il commettait une erreur qui surestimait H_0 . Ceci fut réparé dans les années 1950 par l'Allemand Walter Baade qui divisa la constante par deux.

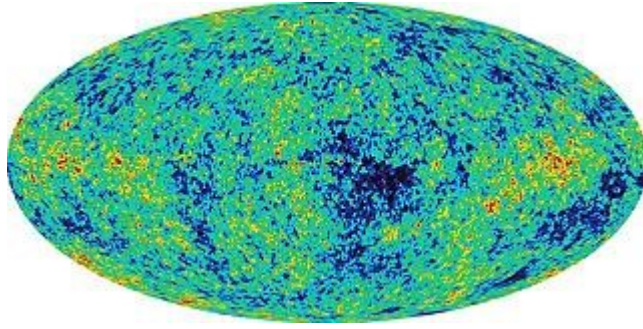
Un peu plus tard, l'Américaine Allan Sandage, un ancien étudiant de Hubble, mit à jour un autre problème. Certains des objets brillants que Hubble avait pris pour des étoiles lumineuses dans des galaxies lointaines se révélèrent en fait être des amas ou des régions HII. La constante fut à nouveau modifiée pour atteindre une valeur de 75. Après quelques derniers réarrangements, elle se fixa finalement à une valeur légèrement supérieure à 50 kilomètres par seconde et par mégaparsec, dix fois plus petite que l'estimation de Hubble.

Cette faible valeur fut acceptée jusqu'en 1976, lorsqu'un autre astronome américain, Gérard de Vaucouleurs, s'attaqua au problème en utilisant une plus grande variété d'indicateurs de distance. Il arriva à une valeur proche de 100 kilomètres par seconde et par mégaparsec, pratiquement deux fois supérieure à celle de Sandage. Après cette date, deux écoles s'affrontèrent, accumulant observation sur observation sans pour autant que les deux estimations ne se rapprochent.

Les mesures récentes

Grâce à sa capacité à voir des détails très fins, le télescope spatial est en mesure d'observer des céphéides dans des galaxies lointaines où ses confrères terrestres ne peuvent plus distinguer les étoiles. Il est en particulier capable de détecter des céphéides dans les amas de la Vierge et de Fornax, deux amas de galaxies très riches situés à une soixantaine de millions d'années lumière. Jusqu'alors, la distance aux galaxies de ces amas ne pouvait être mesurée qu'indirectement en s'appuyant sur des indicateurs secondaires. Grâce au télescope spatial, il fut possible de se servir d'indicateurs primaires, les céphéides, donc d'obtenir une plus grande précision.

L'un de projets les plus importants du télescope spatial fut donc de déterminer H_0 . Une équipe internationale fut assemblée qui observa 18 galaxies sur une période de huit ans et découvrit près de 800 céphéides. Cette équipe publia ses résultats en 1999 et annonça sa mesure de la constante : 70 kilomètres par seconde et par mégaparsec, à 10 pour cent près. Deux ans plus tard, la valeur fut encore légèrement affinée pour atteindre 72 kilomètres par seconde et par mégaparsec.



Le rayonnement fossile mesuré par le satellite WMAP en 2003. Les zones de différentes couleurs sont des fluctuations infimes de la température du rayonnement dans différentes directions du ciel. Ces fluctuations sont le résultat de variations dans la densité de l'Univers primordial. Une analyse poussée de ces fluctuations a permis de déterminer avec une grande précision la valeur de la constante de Hubble et l'âge de l'Univers. Crédit : NASA/WMAP

La détermination la plus récente et la plus précise de la constante de Hubble repose sur une méthode complètement différente. Le satellite WMAP fut lancé en 2001 pour prendre des mesures très précises du rayonnement fossile, un rayonnement qui emplît l'Univers et date de quelques centaines de milliers d'années après le Big Bang. Ce rayonnement n'est pas complètement uniforme mais varie très légèrement lorsque l'on observe des directions différentes du ciel. Les théoriciens ont montré que ces fluctuations dépendent de plusieurs paramètres, en particulier de la vitesse d'expansion de l'Univers. Les mesures extrêmement précises de WMAP ont donc permis de calculer une nouvelle valeur plus affinée de H_0 : 71 kilomètres par seconde et par mégaparsec, à 5 pour cent près.

L'âge de l'Univers

Maintenant que nous connaissons à peu près la valeur de la constante de Hubble, nous pouvons essayer de l'utiliser pour estimer l'âge de l'Univers. Imaginez que vous observiez au loin une voiture qui s'éloigne et que vous soyez capable par un moyen ou un autre de mesurer sa vitesse, disons 60 kilomètres à l'heure, et sa distance, un kilomètre. En supposant que la voiture a roulé à vitesse constante, vous pouvez immédiatement calculer qu'elle roule depuis 1 minute.

Le problème est plus ou moins le même pour une galaxie lointaine. Si nous sommes capables de mesurer à la fois sa distance et sa vitesse, nous pouvons déterminer depuis combien de temps elle s'éloigne de nous, donc l'âge de l'Univers. Il suffit en fait de diviser la distance de la galaxie par sa vitesse de récession. D'après la loi de Hubble, il se trouve que le résultat sera tout simplement égal à l'inverse de H_0 . Ainsi, par exemple, plus la constante de Hubble est grande, plus l'Univers est jeune.

Notons que le calcul précédent n'est correct que si la vitesse d'expansion est constante. En reprenant l'exemple précédent, si la voiture qui s'éloigne a constamment décéléré, sa vitesse moyenne sur le parcours est plus grande que celle que vous mesurez maintenant. Donc la durée réelle du trajet est plus courte que ce que la vitesse actuelle de la voiture semble indiquer. De même, si l'Univers a accéléré ou décéléré lors de son expansion, les estimations doivent prendre en compte un paramètre de correction.

Finissons donc avec les résultats les plus récents. L'équipe en charge de mesurer la constante de Hubble en utilisant le télescope spatial a estimé l'âge de l'Univers à une valeur comprise entre 13 et 14 milliards d'années. Les observations du satellite WMAP estiment quant à elles la valeur à 13,7 milliards d'années avec une marge d'erreur époustouflante d'un pour cent.

Découvrir l'Univers : Age – Univers

Les estimations de l'âge de l'Univers basées sur la constante de Hubble reposent sur des considérations purement cosmologiques et sur l'hypothèse que notre description de l'évolution de l'Univers est correcte. Il convient donc d'essayer de vérifier ces estimations de façon indépendante. La nature fait bien les choses puisque l'expansion n'est pas le seul moyen que nous ayons à notre disposition. En effet, nous pouvons également calculer l'âge de certains constituants de l'Univers, ce qui nous offre une valeur minimale de l'âge de ce dernier.

Plusieurs méthodes différentes

Nous pouvons par exemple considérer les amas d'étoiles. Les astrophysiciens ont à leur disposition un moyen de déterminer l'âge d'un amas avec une précision de l'ordre de 10 pour cent en étudiant la forme de sa séquence principale. Il suffit d'utiliser cette méthode pour essayer de trouver l'âge des plus vieux amas d'étoiles de l'Univers. En faisant l'hypothèse que ces amas se sont formés rapidement après la naissance de l'Univers, ceci nous fournit une nouvelle évaluation de l'âge de ce dernier, indépendante de considérations cosmologiques. Une méthode similaire consiste à observer des étoiles individuellement s'il est possible de déterminer leur âge sans utiliser la technique précédente.

Plutôt que les étoiles, nous pouvons aussi considérer des constituants plus fondamentaux : les noyaux atomiques. Les protons et neutrons qui constituent les noyaux ont une tendance, très faible mais réelle, à se transformer les uns en les autres. Lorsqu'une telle transformation se produit, une restructuration du noyau a lieu et l'identité du noyau change. Le temps caractéristique de ce type de transformation est appelé la période et on le définit comme l'intervalle de temps nécessaire pour que la moitié des noyaux d'un échantillon se soient transformés. Par exemple, pour l'uranium-235, cette période est d'environ un milliard d'années. Ainsi, si vous isolez un échantillon de 1000 noyaux d'uranium-235 à un temps donné, il ne restera que 500 noyaux de ce type après un milliard d'années, 250 après deux milliards, 125 après trois milliards et ainsi de suite.

Le mécanisme précédent peut nous permettre de déterminer l'âge des noyaux les plus anciens. Considérons par exemple l'uranium. Il existe dans la nature deux types principaux de noyaux d'uranium qui se distinguent par un nombre de neutrons légèrement différents. Ainsi, un noyau d'uranium-235 contient 143 neutrons alors qu'un noyau d'uranium-238 en possède 146. Du fait de leur structure légèrement différente, ces deux noyaux ont des périodes différentes : un milliard d'années pour l'uranium-235 et plus de six milliards pour l'uranium-238.

Isolons donc à un temps donné un échantillon contenant des quantités identiques des deux types de noyaux et attendons un milliard d'années. Après cet intervalle, nous nous retrouvons avec deux fois moins de noyaux d'uranium-235, mais avec un nombre de noyaux d'uranium-238 qui n'a guère varié car la période de cet élément est beaucoup plus longue. L'abondance relative des deux noyaux change donc avec le temps, de façon connue, et c'est ainsi que nous pouvons déterminer l'âge des noyaux. En mesurant l'abondance relative actuelle, et en faisant une hypothèse sur l'abondance relative au moment du Big Bang, nous pouvons directement évaluer l'époque à laquelle les noyaux se sont formés. D'où une deuxième estimation indépendante de l'âge de l'Univers.

Les résultats

L'analyse des d'amas globulaires par la technique de la séquence principale a fourni une gamme assez large d'âges possibles, généralement entre 12 et 16 milliards d'années. L'incertitude assez large provient de la méthode employée ainsi que du manque de précision sur la distance exacte des amas observés.

En ce qui concerne l'observation d'étoiles individuelles, les meilleurs résultats proviennent du télescope spatial. En 2002, celui-ci se tourna vers l'amas globulaire M4, le plus proche de la Terre à une distance 5600 années-lumière. Il analysa la lumière de naines blanches extrêmement âgées et permit la détermination de leur âge : entre 12 et 13 milliards d'années.

Les estimations d'âge basées sur les noyaux atomiques sont très imprécises. Les mesures d'abondances de divers noyaux comme l'uranium, le thorium, l'osmium ou le rhénium indiquent un âge compris entre 10 et 17 milliards d'années.

De ces mesures, nous pouvons tirer une conclusion très importante. Toutes les estimations de l'âge de l'Univers, que ce soit d'après les modèles cosmologiques, les amas d'étoiles, les naines blanches ou les noyaux, sont en gros cohérentes entre elles. Aucune méthode ne donne un âge beaucoup plus grand ou petit que les autres, ce qui aurait pu se produire après tout. En tenant compte des incertitudes, aucun des constituants de l'Univers n'a un âge clairement supérieur à celui de l'Univers. Cet accord ne peut que renforcer notre confiance dans la vision actuelle de l'Univers que l'astrophysique nous propose.

Découvrir l'Univers : Lentille gravitationnelle

Une technique relativement récente et qui ne dépend pas de l'échelle des distances nous offre une voie nouvelle et indépendante pour estimer la constante de Hubble et l'âge de l'Univers. Cette méthode s'appuie sur l'une des conséquences de la relativité générale, l'existence des lentilles gravitationnelles.

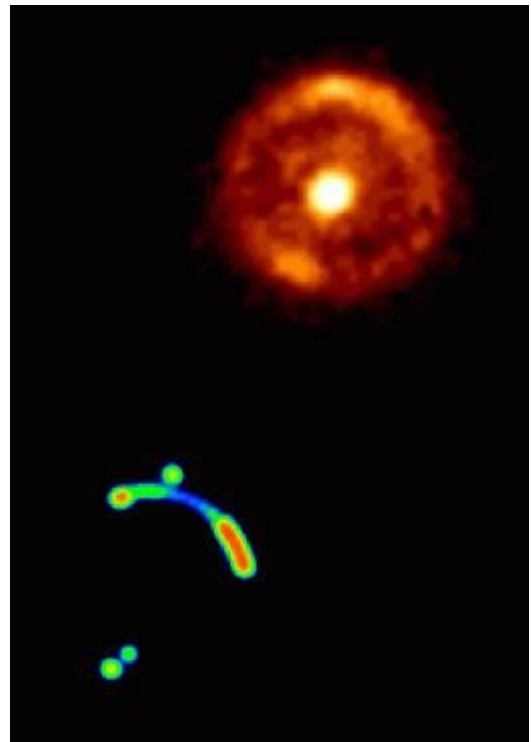
Les lentilles gravitationnelles

D'après la relativité générale, une distribution de masse, par exemple le Soleil, dévie les rayons lumineux qui passent à proximité. Dans le cas de notre étoile, les effets restent très limités car la masse mise en jeu est relativement faible. Mais les effets peuvent devenir très importants si l'objet qui perturbe la lumière est extrêmement massif, par exemple s'il s'agit d'une galaxie ou d'un amas de galaxies.

Imaginons que, par hasard, une galaxie proche et un quasar lointain se trouvent alignés sur une même ligne de visée, c'est-à-dire exactement dans la même direction du ciel. La lumière qui nous provient du quasar est alors fortement déviée lors de son passage près de la galaxie. Ainsi par exemple, les rayons lumineux qui passent légèrement au-dessus de la galaxie sont déviés vers le bas et donnent lieu à une image du quasar décalée vers le haut. Par contre, les rayons lumineux qui passent sous la galaxie sont déviés vers le haut et donnent naissance à une image du quasar décalée vers le bas. De cette façon, la galaxie proche, en perturbant la propagation de la lumière du quasar, donne naissance à plusieurs images de celui-ci. Le nombre total d'images est déterminé par la forme de la galaxie et la précision de l'alignement.

Notons encore qu'en plus de multiplier les images du quasar, la galaxie va également concentrer la lumière de celui-ci et donc produire des images bien plus brillantes. Un effet qui est loin d'être négligeable lorsque l'on observe des corps très peu lumineux.

Un anneau d'Einstein dans le système B1938+666. L'image du haut a été prise dans l'infrarouge par le télescope spatial. Le point lumineux au centre est la galaxie relativement proche qui provoque l'effet de lentille gravitationnelle. L'anneau tout autour est une image déformée d'une galaxie plus lointaine. L'anneau n'est pas complet car les deux galaxies ne sont pas parfaitement alignées. L'image du bas est le même objet observé dans le domaine radio par le réseau de 6 radiotélescopes MERLIN en Grande-Bretagne. Sur cette image, on aperçoit très bien l'anneau, mais la galaxie proche n'est pas visible car elle n'émet pas dans le domaine radio.



L'effet de lentille gravitationnelle fut prévu par Einstein lui-même, mais il fallut attendre 1979 pour que le premier exemple réel soit observé. Cette année-là, les astronomes découvrirent deux quasars très proches dans le ciel. Après analyse, les spectres des deux objets se révélèrent pratiquement identiques depuis les ondes radio jusqu'aux rayons X. Il ne pouvait s'agir que de deux images d'un seul et même quasar, plus tard baptisé Q0956+561. Des observations ultérieures le confirmèrent et montrèrent que la lentille gravitationnelle était dans ce cas constituée par une galaxie elliptique géante quatre fois plus proche de nous que le quasar. Depuis cette époque, des dizaines d'images multiples de quasars ont été découvertes, avec deux, trois ou quatre composantes.

Notons que lorsque l'objet le plus éloigné est ponctuel, c'est une simple multiplication des images qui se produit, comme dans le cas précédent. Mais si l'objet est étendu, par exemple une galaxie lointaine, les images sont en plus déformées et ressemblent à des arcs lumineux. De nombreux cas de ce genre ont été observés, contenant parfois quelques arcs, parfois plusieurs dizaines. En 1995, par exemple, le télescope spatial révéla l'exemple très impressionnant de l'amas de galaxies Abel 2218 qui produit des images multiples de toute une population de galaxies lointaines et donne naissance à plus de 120 arcs lumineux. Parfois, lorsque l'alignement entre les deux objets est parfait, l'image de l'objet lointain peut être modifiée au point de prendre la forme d'un anneau lumineux entourant l'image de l'objet proche. Une dizaine de cas de ce type ont été observés.

La constante de Hubble

L'étude théorique des lentilles gravitationnelles a montré que celles-ci pouvaient se révéler très utiles dans la détermination de la constante de Hubble. En effet, les rayons lumineux qui contournent la lentille par différents côtés suivent des trajectoires qui ne sont pas identiques et n'ont généralement pas la même longueur. Ainsi, le temps mis par la lumière pour nous atteindre diffère selon l'image que nous observons. Pour cette raison, si le quasar subit une brusque variation de luminosité, ses différentes images ne répercutent pas le changement de façon simultanée, mais à des moments bien distincts dans le temps.

C'est la mesure de ce type de décalage qui peut nous conduire à la constante de Hubble. L'analyse du phénomène montre en effet que le délai entre le changement de luminosité des différentes images est inversement proportionnel à H_0 et dépend très peu des autres paramètres cosmologiques. S'il était possible de mesurer un tel délai, nous pourrions donc remonter à H_0 et obtenir une évaluation indépendante de cette constante.

En pratique, les choses ne sont une fois de plus pas si simples. La première difficulté consiste à mesurer le délai entre les variations de luminosité de chaque image. Ceci est loin d'être aisé car les quasars ne subissent pas toujours de fortes variations de luminosité. De plus, certaines fluctuations d'intensité des images ne sont pas dues au quasar lui-même.

La mesure du délai n'est pas la seule difficulté. En effet, pour remonter à H_0 , il faut connaître la répartition de la matière dans la galaxie qui fait office de lentille. Dans certains cas, ceci est très compliqué car la galaxie principale est parfois située dans un amas qui contribue au phénomène, et parfois d'autres amas plus éloignés interviennent également.

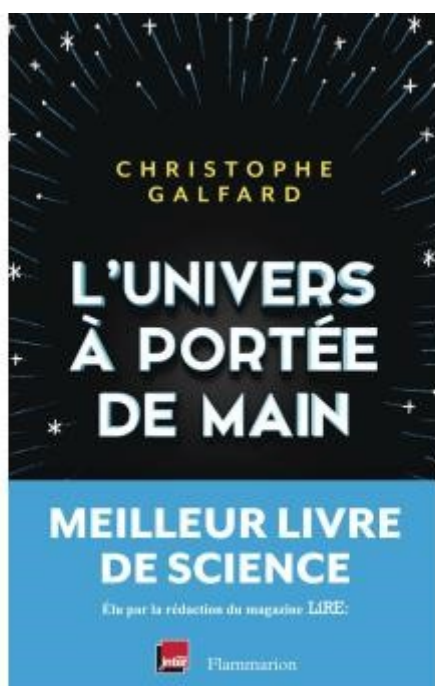
De nombreuses équipes se sont lancées dans l'utilisation de cette technique. L'une d'entre elles a mesuré la valeur de H_0 à partir de l'observation du quasar B0218+357 et a annoncé en 2003 une valeur de 78 kilomètres par seconde et par mégaparsec à 5 pour cent près. Une autre équipe utilisant le quasar B1608+656 a annoncé la même année une valeur de 75 kilomètres par seconde et par mégaparsec à 10 pour cent près.

Auteur : Olivier Esslinger

A SUIVRE

«Vous êtes à quelques milliers de kilomètres au-dessus de la surface du Soleil. Sa puissance est à couper le souffle. D'énormes boules magnétiques gonflent et se percent, éjectant vers l'espace des milliards de tonnes de matière brûlante qui transpercent votre corps éthéré. Le spectacle est extraordinaire et vous vous demandez soudain, avec une légère jalousie, ce qui rend le Soleil si spécial par rapport à la Terre.» Imaginez que vous puissiez voyager à travers les étoiles jusqu'aux confins de notre galaxie, plonger au cœur d'un trou noir, entrer dans le monde quantique... Vous êtes tenté ? Voici enfin un livre pour vous ! Laissez Christophe Galfard vous entraîner dans une ébouriffante odyssée cosmique aux frontières du savoir, des mystérieux champs qui peuplent l'Univers jusqu'aux instants précédant le Big Bang. Un merveilleux ouvrage qui se dévore comme un thriller, et une nouvelle façon, accessible à tous, de conter la grande aventure de la science.

Docteur en physique théorique, Christophe Galfard se consacre à l'écriture depuis Georges et les secrets de l'Univers qu'il a coécrit avec Stephen Hawking, son directeur de thèse à Cambridge. Sa trilogie Le Prince des nuages a connu un énorme succès.



L'Univers à portée de main

*Christophe Galfard (Auteur),
Thierry Piélat (Traduction),
Eva Roques (Traduction)*



Château d'eau

De Kersauz

rue Guillemette le Barbier
56730 Saint Gildas de Rhuys

Renseignements:

Téléphone : 06 14 59 98 96

ou 06 07 80 84 86

Messagerie

clubastrorhuys@gmail.com

Le club est ouvert à tous (adultes et enfants).

Il se réunit les jeudis de 18h à 20h

Site Web : <http://astro-rhuys.blogspot.fr/>