

N° 12
NOVEMBRE
2020

LE CIEL DE RHUYS



EDITORIAL

La planète Vénus abriterait-elle la vie ?

Le rayonnement solaire devrait produire de grandes quantités de monoxyde de carbone dans l'atmosphère de Vénus. **Or le monoxyde de carbone y apparaît rare, ce qui signifierait que quelque chose le ferait disparaître. Par ailleurs, les chercheurs ont relevé la présence de sulfite carbonyle, que les scientifiques considèrent quelquefois comme un indicateur indubitable d'activité biologique, car il est très difficile à produire de manière inorganique. Ils ont aussi trouvé du sulfite d'hydrogène et du dioxyde de sulfure.**

« Il est peut-être possible que la production de sulfite d'hydrogène et de sulfite carbonyle emprunte des voies non-biologiques, pour l'heure inconnues », tempère Schulze-Makuch.

Mais les deux réactions nécessitent des catalyseurs. Sur Terre, les plus efficaces catalyseurs sont les microbes. **D'éventuels microbes vénusiens combinerait dioxyde de sulfure et monoxyde de carbone pour produire le sulfite d'hydrogène et l'oxysulfure de carbone (OCS).**

Une réponse ferme sur la question de la vie sur Vénus devra attendre encore plusieurs années.

André Bourdet

Le ciel de Novembre 2020

Date Heure Description du phénomène

aaaa mm jj hh:mm

2020 11 01 18:06 Minimum de l'étoile variable Algol (bêta de Persée)

2020 11 01 19:42 Opposition de l'astéroïde 8 Flora avec le Soleil
(dist. au Soleil = 1,856 UA; magn. = 7,9)

2020 11 02 05:00 Mercure à son périhélie (distance au Soleil = 0,30750 UA)

2020 11 02 07:30 Maximum de l'étoile variable delta de Céphée

2020 11 03 21:31 Fin de l'occultation de 102-iota Tau (magn. = 4,62)

2020 11 04 03:13 Maximum de l'étoile variable éta de l'Aigle

2020 11 04 14:55 Minimum de l'étoile variable Algol (bêta de Persée)

2020 11 05 03:53 Rapprochement entre la Lune et M 35 (dist. topocentrique centre à centre = 0,2°)

2020 11 06 02:23 Début de l'occultation de 42-oméga Gem (magn. = 5,20)

2020 11 06 03:21 Fin de l'occultation de 42-oméga Gem (magn. = 5,20)

2020 11 07 11:44 Minimum de l'étoile variable Algol (bêta de Persée)

2020 11 07 16:17 Maximum de l'étoile variable delta de Céphée

2020 11 08 06:40 Minimum de l'étoile variable bêta de la Lyre

2020 11 08 15:46 DERNIER QUARTIER DE LA LUNE

2020 11 09 03:50 Maximum de l'étoile variable zêta des Gémeaux

2020 11 10 08:33 Minimum de l'étoile variable Algol (bêta de Persée)

2020 11 10 18:00 PLUS GRANDE ÉLONGATION OUEST de Mercure
(19,0°)

2020 11 11 07:28 Maximum de l'étoile variable éta de l'Aigle

2020 11 11 07:32 Début de l'occultation de 3-nu Vir (magn. = 4,04)

2020 11 11 08:24 Fin de l'occultation de 3-nu Vir (magn. = 4,04)

Sommaire:

- Le ciel du mois
- Essaims, étoiles filantes, comètes
- Planètes
- La Lune
- Carte du ciel
- Avant le Big Bang
- Bibliographie
- La constellation du mois
- Le saviez-vous ?
- Enigmes
- Des livres à lire

2020 11 12 02:20 Pluie d'étoiles filantes : Taurides N. (5 météores/heure au zénith; durée = 51,0 jours)
 2020 11 12 22:33 Rapprochement entre Jupiter et Pluton (dist. topocentrique centre à centre = 0,7°)
 2020 11 13 00:39 Rapprochement entre la Lune et Vénus (dist. topocentrique centre à centre = 2,2°)
 2020 11 13 01:05 Maximum de l'étoile variable delta de Céphée
 2020 11 13 05:22 Minimum de l'étoile variable Algol (bêta de Persée)
 2020 11 13 23:37 Rapprochement entre la Lune et Mercure (dist. topocentrique centre à centre = 0,9°)
 2020 11 14 13:48 Lune au périgée (distance géoc. = 357837 km)
 2020 11 15 07:07 NOUVELLE LUNE
 2020 11 16 02:11 Minimum de l'étoile variable Algol (bêta de Persée)
 2020 11 16 20:59 Rapprochement entre Vénus et Spica (dist. topocentrique centre à centre = 3,8°)
 2020 11 17 07:52 Pluie d'étoiles filantes : Léonides (15 météores/heure au zénith; durée = 24,0 jours)
 2020 11 18 09:53 Maximum de l'étoile variable delta de Céphée
 2020 11 18 11:43 Maximum de l'étoile variable éta de l'Aigle
 2020 11 18 22:59 Minimum de l'étoile variable Algol (bêta de Persée)
 2020 11 19 07:25 Maximum de l'étoile variable zêta des Gémeaux
 2020 11 19 08:42 Rapprochement entre la Lune et Pluton (dist. topocentrique centre à centre = 2,2°)
 2020 11 19 09:52 Rapprochement entre la Lune et Jupiter (dist. topocentrique centre à centre = 3,0°)
 2020 11 19 17:55 Rapprochement entre la Lune et Saturne (dist. topocentrique centre à centre = 3,8°)
 2020 11 21 05:15 Minimum de l'étoile variable bêta de la Lyre
 2020 11 21 08:20 Pluie d'étoiles filantes : Alpha Monocéros (durée = 10,0 jours)
 2020 11 21 19:49 Minimum de l'étoile variable Algol (bêta de Persée)
 2020 11 22 06:45 PREMIER QUARTIER DE LA LUNE
 2020 11 23 00:14 Début de l'occultation de 71-tau2 Aqr (magn. = 4,05)
 2020 11 23 01:20 Fin de l'occultation de 71-tau2 Aqr (magn. = 4,05)
 2020 11 23 17:12 Rapprochement entre la Lune et Neptune

 2020 11 23 18:40 Maximum de l'étoile variable delta de Céphée
 2020 11 24 16:37 Minimum de l'étoile variable Algol (bêta de Persée)
 2020 11 25 15:58 Maximum de l'étoile variable éta de l'Aigle
 2020 11 26 03:51 Comète 11P Tempel-Swift-LINEAR à son périhélie (dist. au Soleil = 1,389 UA; magn. = 9,1)
 2020 11 26 03:56 Rapprochement entre la Lune et Mars
 2020 11 27 02:29 Lune à l'apogée (distance géoc. = 405894 km)
 2020 11 27 13:27 Minimum de l'étoile variable Algol (bêta de Persée)
 2020 11 27 23:05 Rapprochement entre la Lune et Uranus
 2020 11 29 03:28 Maximum de l'étoile variable delta de Céphée
 2020 11 29 10:59 Maximum de l'étoile variable zêta des Gémeaux
 2020 11 30 10:15 Minimum de l'étoile variable Algol (bêta de Persée)
 2020 11 30 11:30 PLEINE LUNE (éclipse de Lune par la pénombre non visible à Nantes)

Etoiles filantes, essaims et comètes.

L'essaim de météores Taurides nord (NTA) sera actif du mardi, 20 octobre 2020 jusqu'au jeudi, 10 décembre 2020. Son jour de pointe est le jeudi, 12 novembre 2020, selon les informations publiées par l'International Meteor Organization.

Les **Taurides** désignent les étoiles filantes et les bolides d'un essaim météoritique associé à la comète de Encke. Elles sont ainsi nommées en raison de leur radiant (c'est-à-dire du point du ciel d'où elles semblent provenir), situé dans la constellation du Taureau. Observées à la fin d'octobre et au début de novembre, on les appelle aussi parfois les boules de feu de Halloween (*Halloween fireballs*).

Origine

On pense que la comète de Encke et les Taurides sont les restes d'une comète beaucoup plus massive, qui s'est désintégrée au cours des 20 000 à 30 000 dernières années, se brisant en plusieurs morceaux et dispersant des fragments par son activité cométaire, ou peut-être, occasionnellement, à la suite de rencontres avec les forces de marée de la Terre ou d'autres planètes. Le volume total de ce courant de matière est le plus important du système solaire interne. L'essaim étant assez étalé dans l'espace, la Terre met plusieurs semaines à le traverser, d'où une assez longue période d'activité météoritique, comparée à celle d'autres essaims ; de plus, les Taurides sont formées de matériel plus massif, des petits cailloux plutôt que des grains de poussière.

Apparence

En général, les Taurides apparaissent à un rythme d'environ 5 par heure, traversant relativement lentement le ciel à une vitesse de 27 km/s. Les météores plus gros qu'un caillou deviennent des bolides aussi brillants que la Lune, et laissant derrière eux des traînées de fumée. En raison des perturbations des planètes, tout particulièrement de Jupiter, les Taurides se sont étalées avec le temps ; on peut en observer deux sections distinctes, les **Taurides du Nord** (NTA), actives du 20 octobre au 10 décembre, et les **Taurides du Sud** (STA), actives du 10 septembre au 20 novembre. Les Beta Taurides (**en**) et les Zeta Perséides (**en**), que la Terre rencontre en juin et juillet, sont d'autres sections du même courant de matière, mais la Terre leur présente son côté diurne, et donc leur observation visuelle est beaucoup moins spectaculaire que celle des Taurides nocturnes d'octobre et novembre. Les astronomes Duncan Steel et Bill Napier suggèrent cependant que les Beta Taurides pourraient être à l'origine de l'événement de la **Toungouska* de 1908.

Les Taurides ont un cycle d'activité culminant tous les 2 500 à 3 000 années. Certains astronomes pensent que les dates d'érection de certaines structures mégalithiques telles que Stonehenge sont associées à ces pics d'activité. Le prochain pic est attendu vers l'an 3000.

À l'intérieur de ce cycle, des pics d'activités plus rapprochés résultent de sections plus denses de l'essaim. Ainsi, une activité importante pour 2005 fut prédite dès 1993, et effectivement observée en novembre 2005, avec des boules de feu si intenses qu'elles éblouirent la vision nocturne des observateurs ; c'est à cette occasion qu'elles furent nommées « boules de feu de Halloween ».

En mai 2017, des astronomes tchèques détectent une nouvelle branche des Taurides, contenant au moins deux objets de diamètre supérieur à 200 mètres, et alertent la communauté internationale sur le risque accru de collision dévastatrice possible

*Toungouska : le 30 juin 1908 il s'est produit dans le nord de la Sibérie à Toungouska, une explosion mémorable, un souffle d'une centaine de fois la puissance de la bombe d'Hiroshima ! Une explosion qui a renversé plus de 80 millions d'arbres, laissant une région dévastée. Il n'y eut que peu d'indices concernant son origine, pas même un cratère qui signerait la chute d'une météorite. Explosion d'un astéroïde ? Passage d'une comète ? Explosion d'une poche de gaz ? Plus probablement, un astéroïde aurait traversé l'atmosphère de notre Terre avant de rebondir vers l'espace, sur une orbite proche du soleil....(Futura Sciences du 24/05/2020)

L'essaim des Taurides du sud.

Les Taurides du sud se déroulent entre le 10 septembre et le 20 novembre. Le pic d'activité se situe autour du 10 octobre. Le taux horaire des météorites est alors de 5 à 7. Celles-ci pénètrent l'atmosphère à une vitesse moyenne de 27 km/s, ce qui est assez lent. À l'origine de cette petite pluie d'étoiles filantes : la comète 2P Encke, dont la période n'est que de 3,3 ans. Les astronomes considèrent ce courant de poussière comme très ancien.

Le radiant des Taurides du sud se situe à l'ouest des Hyades, l'amas d'étoiles en forme de V qui figure la tête du Taureau. L'essaim météoritique doit justement son nom à cette constellation visible au-dessus de l'horizon nord-est après le coucher du Soleil au cœur de l'automne.

L'essaim d'[étoiles filantes](#) des [Léonides](#) est actif du 14 au 21 novembre. Il tire son nom de la [constellation](#) d'où proviennent les météores, à savoir la [constellation du Lion](#) (Leo).

Les plus anciennes observations de cet essaim remontent à l'an 901, mais c'est surtout à partir de novembre 1799 qu'il devint célèbre.

Découverte de l'essaim : un feu d'artifice silencieux

En effet, alors que l'Allemand [Alexander von Humboldt](#) se promenait par une belle nuit étoilée en compagnie de son ami français Aimé Bonpland, les deux hommes crurent tout à coup que le ciel leur tombait sur la tête. La voûte céleste fut zébrée de centaines de météores par minute, comme un feu d'artifice silencieux. Le même phénomène se reproduisit le 17 novembre 1833, et selon les estimations, le taux horaire fut alors de 50.000 à 200.000 météores par heure !

Un médecin allemand, Heinrich Olbers, découvreur des [astéroïdes](#) Vesta et [Pallas](#), prédit le retour de l'essaim pour 1867. Il n'était pas loin de la vérité car en novembre 1866, une nouvelle pluie s'abattit, démontrant que la [comète](#) à l'origine de cet essaim repassait au voisinage de la [Terre](#) tous les 33 ans. C'est l'Allemand Ernst Wilhelm Leberecht Tempel qui découvrit la comète le 19 décembre 1865, puis [Horace](#) Parnell Tuttle le 6 janvier 1866. De ce fait, elle fut nommée 55P/Tempel-Tuttle.

Après la superbe pluie de 1866, les rendez-vous suivants furent décevants, car l'essaim fut perturbé par les influences gravitationnelles de [Jupiter](#) et de [Saturne](#). Mais en 1966, de nouveau, les observateurs purent assister à une pluie dont le taux horaire était estimé à 150.000 météores par heure, soit 2.500 météores à la minute !

Le dernier passage de la comète remonte au 27 février 1998 et, malgré cela, on n'assista pas à un tel taux horaire, qui fut tout de même de 4.000 par heure. À partir de 2003, l'activité fut décroissante avec des taux compris entre 20 et 100 par heure, suivant les années. Cependant, ces dernières années, le taux horaire s'est stabilisé à 15 par heure.

Les prévisions pour cette année 2019 parlent d'une activité conforme aux années précédentes, tablant sur 15 météores par heure.

Le pic traditionnel est prévu le 18 novembre vers 4 h 50 TU. Ce sera de bonnes conditions pour observer, malgré la présence d'un quartier lunaire qui vous empêchera de voir les météores les plus faibles. La constellation du Lion se situera au-dessus de l'horizon sud-est.

Rappelons que ce ne sont que des prévisions. Il est donc conseillé de surveiller les jours précédents et suivants ces prévisions. Qui sait, 2020 nous réserve peut-être des surprises...

Les **Alpha monocérotides** (acronyme international : **AMO**) sont une pluie d'étoiles filantes active en novembre. Sa période d'activité s'étend du 15 novembre au 25 novembre et son maximum se produit le 21 novembre. Son radiant est localisé entre les constellations du Petit Chien et de la Licorne, non loin de la brillante Procyon. Son corps parent, probablement une comète à longue période, est inconnu. Il pourrait possiblement s'agir de la comète de van Gent-Peltier-Daimaca (1943 W1). Elle ne doit pas être confondue avec les Monocérotides, qui sont actives en décembre.

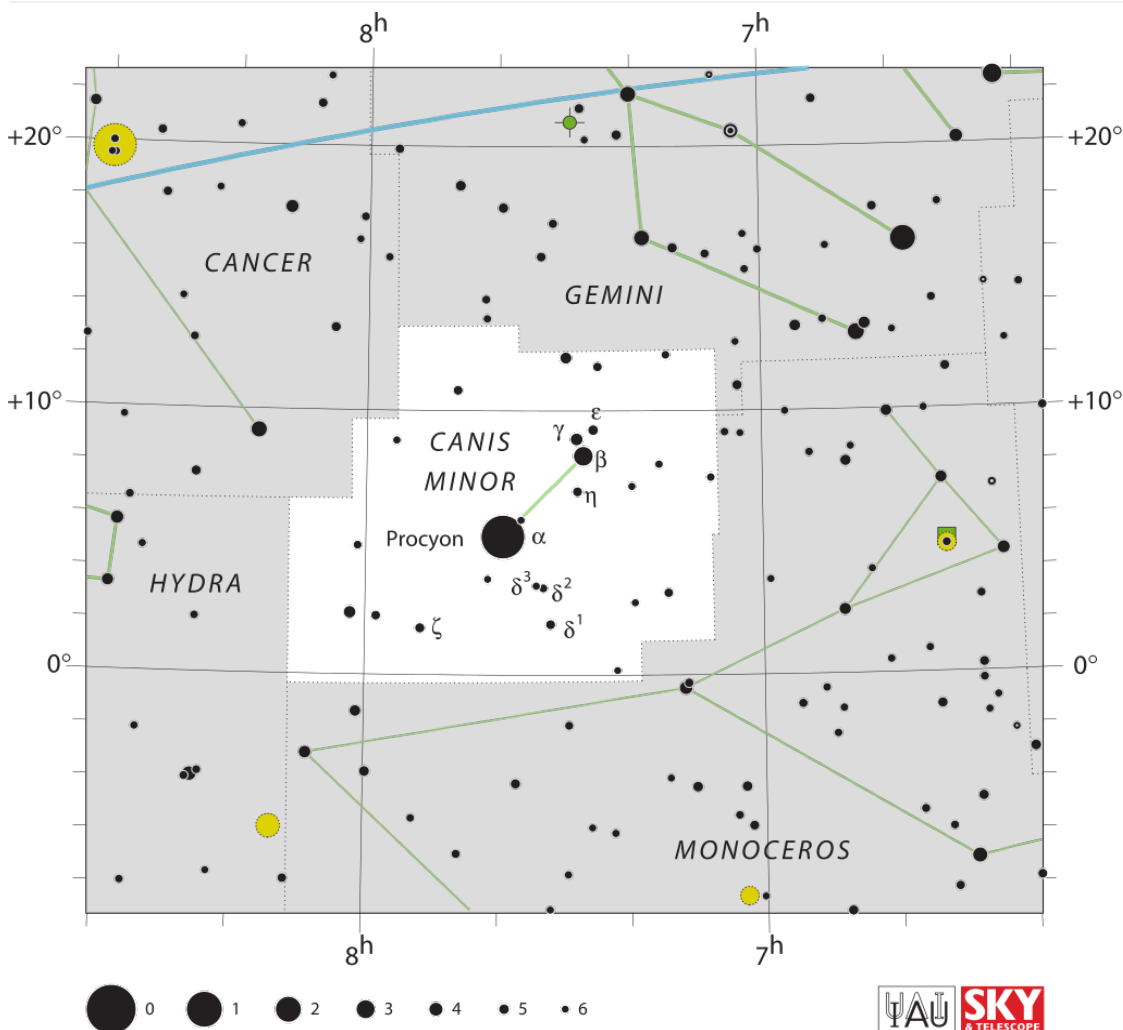
La vitesse des météores des Alpha monoérotides est d'environ 65 km/s. Normalement son **taux horaire zénithal (ZHR)** est assez bas, d'environ 5, mais occasionnellement elle peut produire des pluies de météores intenses dont la durée est moins d'une heure. De tels sursauts se sont produits en 1925, 1935, 1985 et en 1995. Les sursauts de 1925 et de 1935 ont produit un ZHR de plus de 1 000.

Sursaut de 1995

Peter Jenniskens a prédit le sursaut d'activité de 1995 en se basant sur l'hypothèse que ces sursauts étaient liés à une traînée de poussières laissée par une comète à longue période qui croise occasionnellement l'orbite de la Terre. Grâce à des observations menées depuis le sud de l'Espagne, Jenniskens, assisté par une équipe d'observateurs de la *Dutch Meteor Society* a confirmé que les ***météoroïdes** se déplaçaient au sein de l'orbite d'une comète à longue période. De plus, le sursaut de 1995 a permis aux chercheurs de déterminer la position exacte du radiant et la longitude solaire de son pic d'activité, et de confirmer que les sursauts des Alpha monocérotides duraient moins d'une heure.

Sursaut de 2019

En 2019, Jenniskens et Esko Lyytinen ont prédit un sursaut d'activités des Alpha monocérotides, devant culminer autour de 4 h 50 UTC le 22 novembre 2019 (soit à 5 h 50 heure CET) et durer quelques dizaines de minutes. Jusqu'à plusieurs centaines d'étoiles filantes auraient ainsi pu être observées. Le sursaut s'est bien produit, mais il semblerait qu'il fut moindre qu'attendu.



Visibilité des planètes

Mercure : observable au petit matin (Vierge)

Vénus : encore visible en fin de nuit et au petit matin (Vierge, balance)

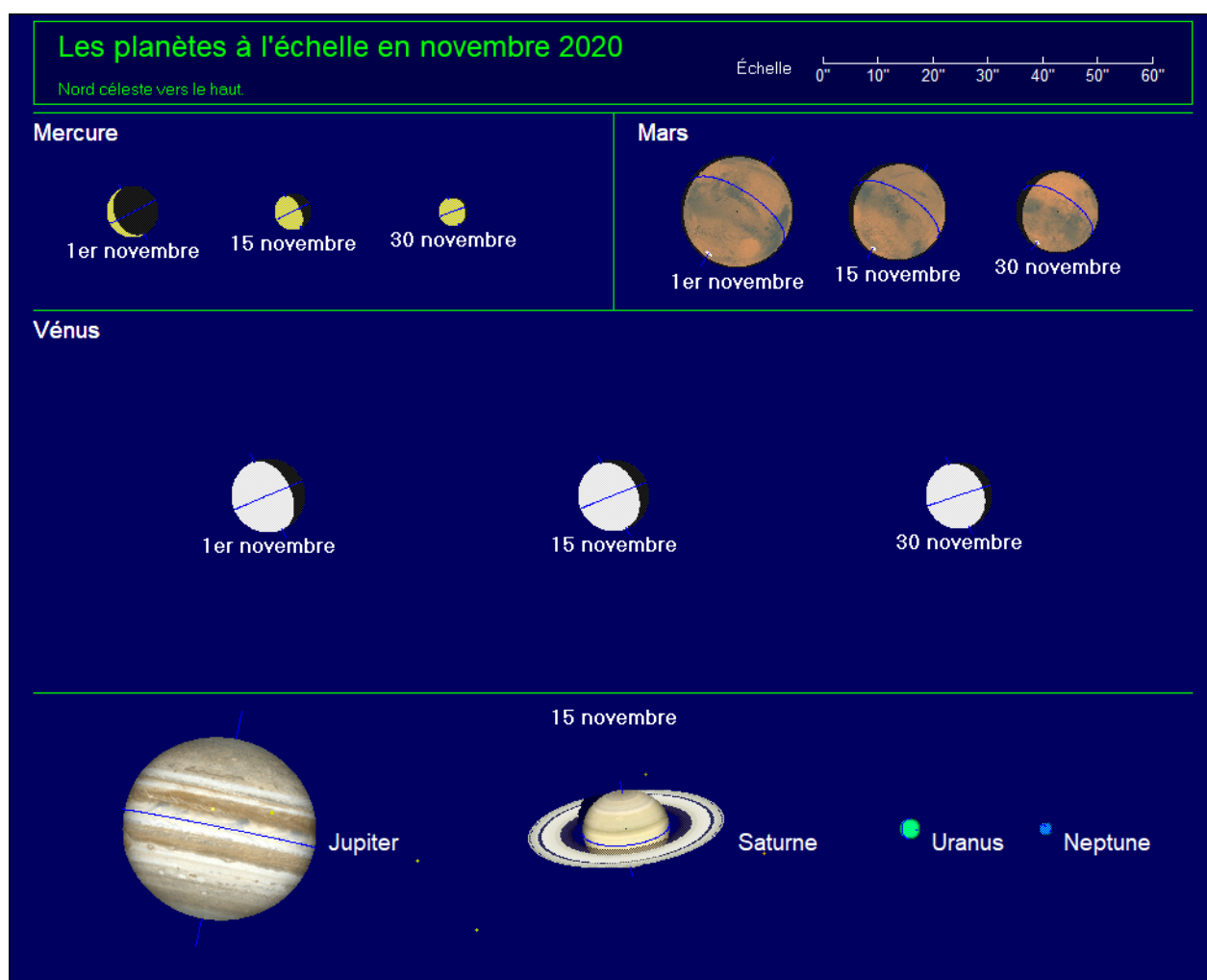
Mars : haute dans le ciel observation très favorable (Poissons)

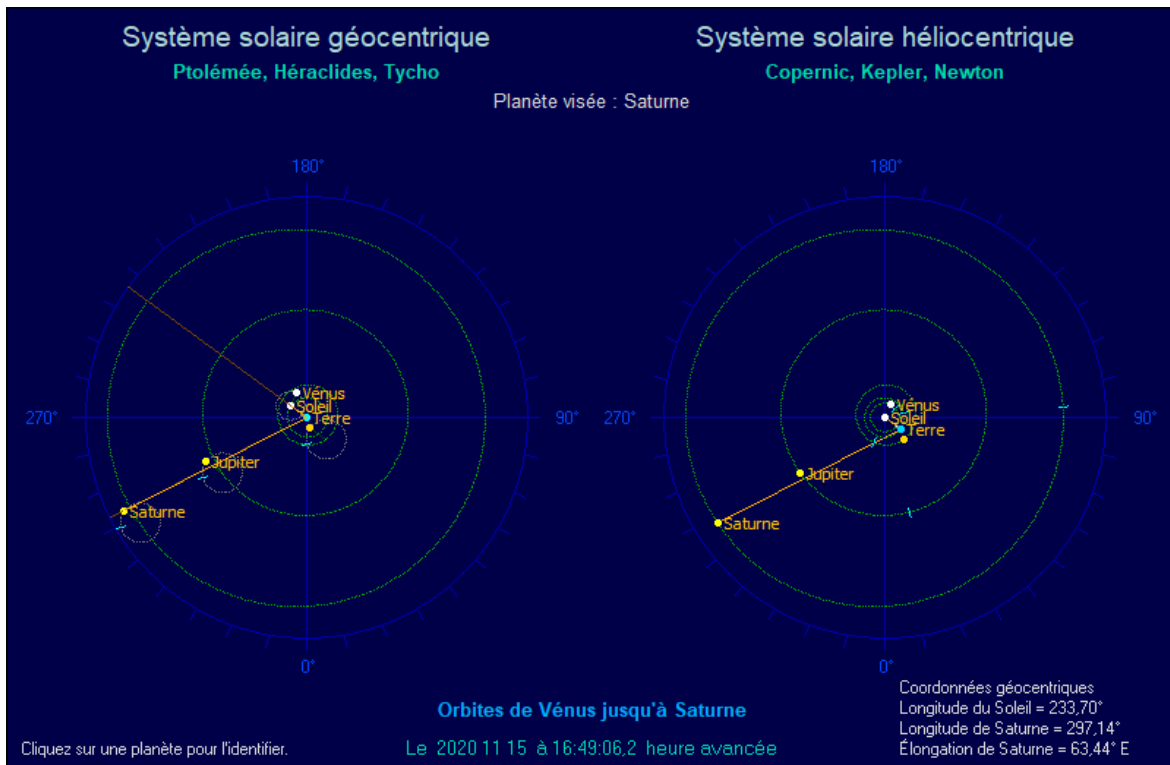
Jupiter : idéalement située au début de la nuit (Sagittaire)

Saturne : bien positionnée observation favorable (Sagittaire)

Uranus : observable au télescope (Bélier)

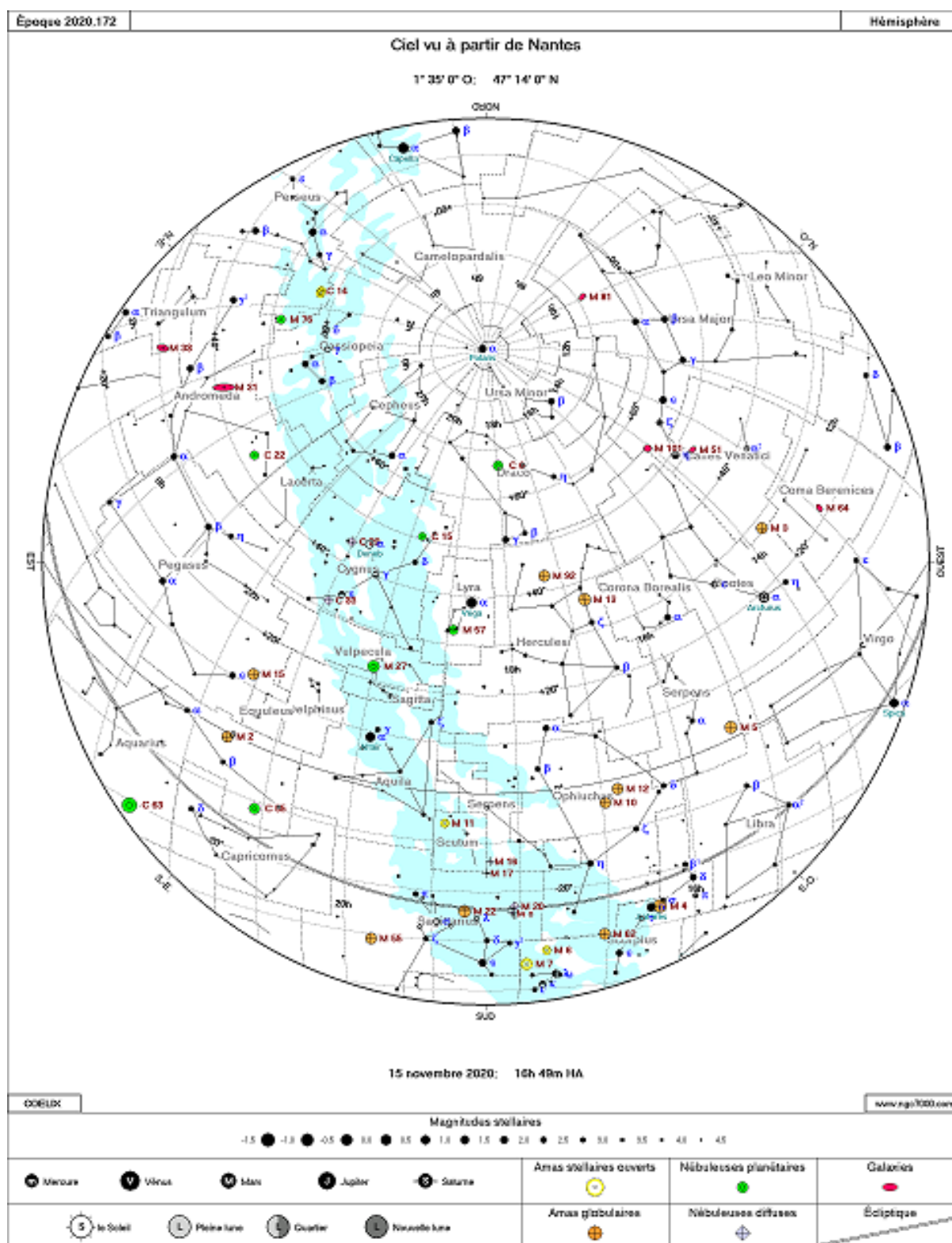
Neptune : visible en début de nuit au télescope apparence d'une bille bleue (Sagittaire)





Phases lunaires pour novembre 2020						
Les phases sont affichées pour 0 h, heure avancée de Nantes. Les traits jaunes indiquent l'orientation des pôles lunaires. Le trait rouge montre la direction de la libration. Sa longueur est proportionnelle à l'intensité de la libration. Le Nord lunaire est vers le haut.						
Dimanche	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
DQ à 15:46 HA						
15	16	17	18	19	20	21
NL à 07:07 HA						
22	23	24	25	26	27	28
PQ à 06:45 HA						
29	30					
	éclipse					
	PL à 11:30 HA					

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.

Le prix Nobel de physique, Roger Penrose, pense avoir des preuves d'un univers avant le Big Bang

Laurent Sacco

Journaliste

Publié le 13/10/2020

Modifié le 16/10/2020

[EN VIDÉO] Interview : que savons-nous réellement de l'avant-Big Bang ? Le Big Bang est une singularité souvent décrite comme incarnant l'origine de l'univers mais il est possible qu'il ne soit qu'un épisode de son existence. Futura-Sciences est parti à la rencontre d'Étienne Klein, physicien, afin de savoir si quelque chose aurait pu le précéder.

Le génial mathématicien et physicien Roger Penrose est désormais un prix Nobel de Physique. Or, depuis quelques années, il pense avoir trouvé des preuves en faveur de son modèle de « cosmologie cyclique conforme ». La dernière serait celle de l'existence de « points Hawking » visibles dans le rayonnement fossile, témoignant de l'évaporation de trous noirs supermassifs survenue avant le Big Bang, dans un monde qui aurait précédé le nôtre. Futura a consacré plusieurs articles, ci-dessous, à ces hypothèses et avait demandé l'avis de l'astrophysicien Olivier Minazzoli pour savoir ce qu'il fallait en penser.

Texte publié le 22/08/2018

Les membres de la collaboration Planck ont récemment rendu public le bilan de leur dur travail d'analyse des données collectées par ce satellite qui a observé le rayonnement fossile, la plus vieille lumière de l'Univers observable. La cosmologie standard en est sortie très renforcée mais de nombreuses questions et possibilités sur le cosmos demeurent, en particulier à propos des phases très primitives de son histoire, et bien plus encore de son éventuel début dans le temps et l'espace ou d'un hypothétique « avant Big Bang ».

VOIR AUSSI : **Hawking et le multivers : et le buzz revient...**

Parmi les chercheurs engagés dans cette quête, figure le prix Nobel de physique Roger Penrose. Il est moins connu que Stephen Hawking, qui a lui aussi étudié cette question mais pourtant, pour ceux qui connaissent les domaines de recherche de ces deux grands scientifiques, il est permis de penser que Penrose est plus profond et plus doué que le célèbre auteur de *Une brève histoire du temps*.

De fait, bien des techniques mathématiques développées par Penrose pour comprendre la relativité générale, les trous noirs et l'occurrence des singularités ont été à la racine des travaux d'Hawking et d'autres chercheurs de renom. Penrose est sans doute mieux connu pour sa découverte théorique des quasi-cristaux et ses ouvrages explorant certaines idées audacieuses sur la physique de la conscience et ses rapports avec une théorie quantique de la gravitation, mettant en doute les thèses de l'IA forte.

Une présentation par Roger Penrose et ses collègues de son modèle de cosmologie cyclique conforme (CCC). Pour obtenir une traduction en français assez fidèle, cliquez sur le rectangle blanc en bas à droite. Les sous-titres en anglais devraient alors apparaître. Cliquez ensuite sur l'écrou à droite du rectangle, puis sur « Sous-titres » et enfin sur « Traduire automatiquement ». Choisissez « Français ». © skydivephil

La géométrie conforme, la clé du pré-Big Bang ?

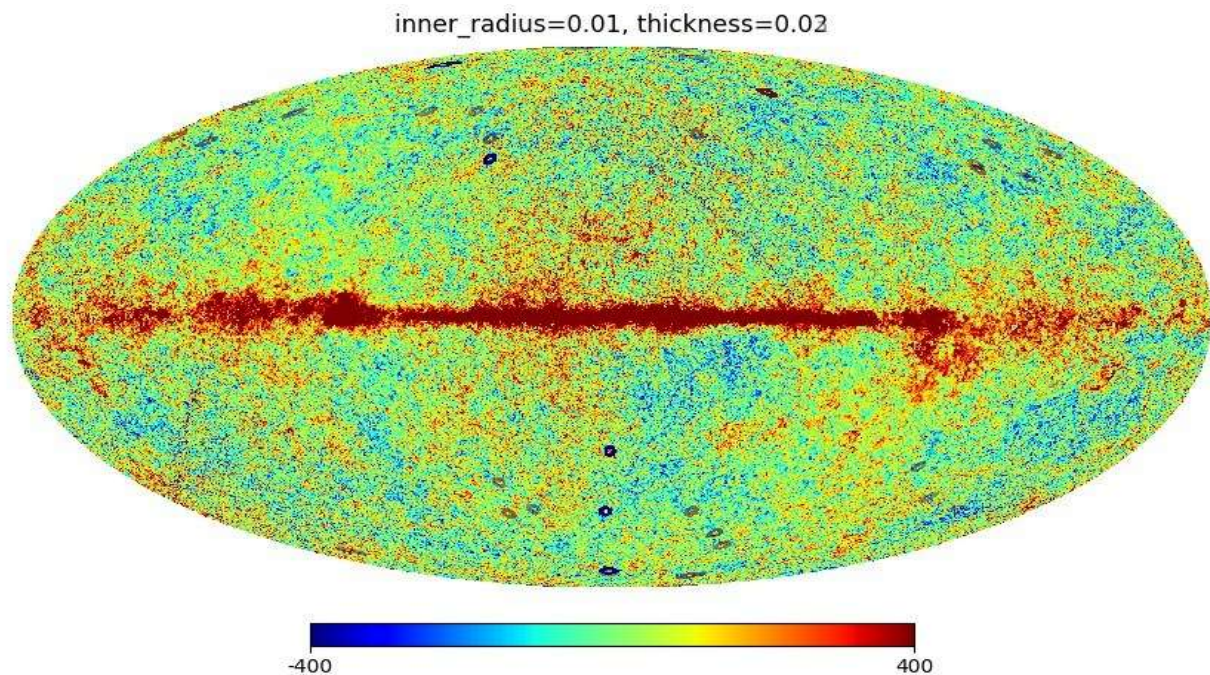
Depuis une dizaine d'années, Roger Penrose développe une théorie très originale en mesure, selon lui, de résoudre certaines énigmes du Big Bang et qui donne des perspectives fascinantes sur l'origine et le futur de notre Univers : le modèle de cosmologie cyclique conforme (CCC). Futura avait consacré un premier long article à ce modèle, inclus au bas de cette compilation (voir également la vidéo ci-dessus). Ce modèle suppose que l'espace-temps est infini, plat, bien qu'en expansion sous l'effet d'une véritable constante cosmologique, et pour l'éternité.

Toutefois, si l'on suppose que tout son contenu en particules devient sans masse dans un futur très éloigné alors, en quelque sorte, le temps ne compte plus pour elles. Bien que cela puisse paraître paradoxal, une expansion infinie se change alors en une contraction vers une densité infinie, toujours dans un espace-temps plat et infini. Un nouveau Big Bang peut alors se produire, conduisant donc vers une cosmologie cyclique sans début ni fin.

La clé pour comprendre ce modèle déroutant repose sur les transformations conformes en géométrie. Une représentation simplifiée est possible en deux dimensions dans laquelle des cercles sur une sphère sont connectés à des cercles dans un plan infini. Une transformation conforme permet en quelque sorte de montrer que tous les phénomènes géométriques dans ce plan sont représentables par des phénomènes géométriques sur la sphère. On peut alors montrer qu'un cercle qui grandit à l'infini dans un plan à partir d'un point devient à l'infini équivalent à ce point de départ. Et s'il continue à grandir, si l'on peut dire, il ne peut le faire qu'en revenant à son état initial d'expansion.

Des fossiles gravitationnels venant d'un pré-Big Bang ?

En se basant sur ces idées, Penrose est parvenu à la conclusion que les ondes gravitationnelles émises à l'infini par les dernières fusions de trous noirs supermassifs lors des dernières fusions de galaxies, allaient en quelque sorte traverser le Big Bang suivant et se retrouver dans le nouveau cycle. Ces ondes devraient produire alors une signature bien particulière dans le rayonnement fossile étudié par le satellite Planck et ses planckiens.



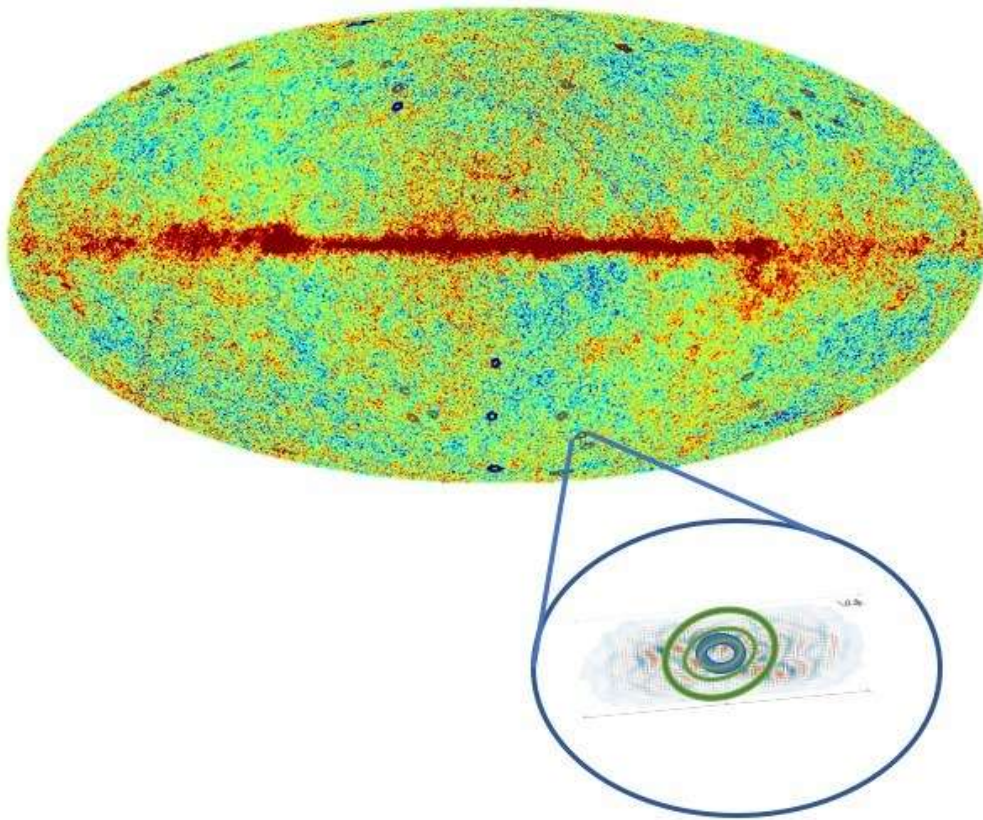
Les points de Hawking que les chercheurs pensent avoir trouvés sont indiqués par des cercles sur cette carte du rayonnement fossile. © Daniel An, Krzysztof A. Meissner et Roger Penrose

Les planckiens n'ont pas trouvé cette signature, alors que Penrose et son collègue Vahe G. Gurzadyan pensaient l'avoir repérée mais absence de preuve ne veut pas dire preuve de l'absence. Le signal cherché est peut-être tout simplement plus faible et plus difficile à mettre en évidence que prévu.

Nullement découragé, Sir Roger -- il a été anobli par la reine d'Angleterre pour ses contributions scientifiques -- a proposé l'année dernière une nouvelle signature possible de son modèle, à chercher cette fois dans le fond stochastique d'ondes gravitationnelles. Futura avait demandé l'avis de l'astrophysicien Olivier Minazzoli et un second article (voir juste en dessous) en avait résulté.

Roger Penrose propose maintenant une troisième signature, à nouveau dans le rayonnement fossile, comme il l'explique avec deux collègues dans un article déposé sur arXiv. Elle repose toujours sur l'existence des ultimes trous noirs supermassifs du cosmos observable. Mais cette fois, c'est le rayonnement Hawking provenant de l'évaporation des trous noirs qui intervient. Ce rayonnement est inversement proportionnel à la masse, ce qui veut dire que, même pour des trous noirs de masses solaires, il est déjà seulement de l'ordre du milliardième de kelvin. Des trous noirs massifs contenant des millions, ou des milliards, de masses solaires sont donc encore plus froids. Or, le rayonnement fossile actuellement est de l'ordre de 2,7 kelvins. Conclusion : les trous noirs stellaires et supermassifs ne rayonnent pas mais, au contraire, sont chauffés par ce rayonnement qu'ils absorbent.

Dans un futur lointain, cela changera car la température du rayonnement fossile va continuer de décroître en tendant vers le zéro absolu. Un jour, selon le modèle de Penrose, ces trous noirs supermassifs commenceront à s'évaporer par rayonnement Hawking, principalement sous forme de photons, des particules sans masse, rayonnés vers l'infini. Ce rayonnement se retrouvera concentré dans des régions du nouvel espace-temps, créant des sortes de points plus lumineux dans le rayonnement fossile actuel, que les trois chercheurs ont baptisés « points de Hawking ».



Un des points Hawking semble être au centre des anomalies circulaires de températures produites par les ondes gravitationnelles de défunts trous noirs supermassifs comme prévu, semble-t-il, par le modèle de CCC. Plus encore, il semble également au centre des modes B détectés dans la polarisation du rayonnement fossile par les membres de la collaboration Bicep2. © Daniel An, Krzysztof A. Meissner, Roger Penrose, *BICEP2 Collaboration*, V. G. Gurzadyan

Des champs magnétiques fossiles d'un pré-Big Bang ?

Penrose, avec Daniel An du *Suny Maritime College* (New York) et Krzysztof Meissner, de l'université de Varsovie, pensent qu'ils ont bel et bien trouvé des candidats prometteurs au titre de points de Hawking dans le rayonnement fossile. Il s'agirait d'une trentaine de cas dont cinq coïncideraient avec les emplacements des signatures d'ondes gravitationnelles provenant de trous noirs supermassifs de la précédente ère du cosmos que Penrose et Vahe G. Gurzadyan pensaient avoir détectée il y a quelques années.

Les trois chercheurs esquissent une autre conséquence potentielle de la CCC. Le modèle de Penrose ne fait pas intervenir une phase inflationnaire, de sorte que le rayonnement fossile devrait être exempt de modes B de polarisation produits par des ondes gravitationnelles primordiales. Les membres de la collaboration Bicep2 ont pensé en avoir détectées avant que les planckiens ne réfutent cette détection en montrant que les modes B observés étaient très probablement générés par la poussière de la Voie lactée. Mais, selon Penrose et ses collègues, ces modes B pourraient aussi résulter de champs magnétiques intergalactiques fossiles produits par les amas contenant les trous noirs supermassifs à l'origine des points de Hawking supposés. Ces champs magnétiques n'étant pas associés à des particules massives, ils pourraient donc bien s'être retrouvés localement dans le plasma primordial à l'origine du rayonnement fossile présent.

Un point de Hawking se trouve précisément non seulement au centre des cercles concentriques dont la détection a déjà été avancée par Penrose et Gurzadyan mais aussi dans la région où Bicep2 aurait détecté des modes B controversés.

Tout cela est fascinant mais toujours très spéculatif. Comme pour les suggestions précédentes de détections de signaux de la CCC, la communauté scientifique n'est absolument pas convaincue et pense même que toutes les preuves avancées par Penrose et ses collègues n'ont pas résisté à l'analyse et ont été réfutées. Mais Sir Roger a incontestablement acquis le droit de se tromper, il a eu si souvent raison...

CE QU'IL FAUT RETENIR

- L'univers est infini, plat, en expansion et semble destiné à le rester pour l'éternité. Roger Penrose a montré qu'il pouvait en être autrement. Son modèle de [cosmologie cyclique conforme](#) (CCC) décrit un univers éternellement en expansion et, paradoxalement, avec un nombre infini de Big Bang.

- Roger Penrose pense que son modèle est peut-être testable grâce au fond d'ondes gravitationnelles, qui pourrait contenir les ondes émises par des particules de matière noire, dont l'existence découlerait de son modèle. Ces ondes n'ont pas été détectées pour le moment.
- Deux autres prédictions concernent les effets fossiles des ondes gravitationnelles produites par les fusions des derniers trous noirs supermassifs dans les amas de galaxies de la précédente ère de l'univers et les effets de leurs évaporations finales par radiation Hawking.
- Les premiers effets donneraient des cercles concentriques d'anomalies de température et les seconds d'autres anomalies du rayonnement fossile au centre de ces cercles.
- Avec le recul des années, la communauté scientifique pense que les preuves avancées par Penrose et ses collègues n'existent pas.

POUR EN SAVOIR PLUS

Des preuves d'un avant Big Bang dans le rayonnement gravitationnel ?

Article de Laurent Sacco publié le 01/08/2017

Roger Penrose, grand mathématicien et physicien, pense qu'il serait possible de trouver une nouvelle preuve de son modèle cosmologique. Des traces d'un avant Big Bang se trouveraient en effet dans le rayonnement gravitationnel. Futura a demandé l'avis de l'astrophysicien Olivier Minazzoli pour savoir ce qu'il fallait en penser.

Il y a sept ans, le grand mathématicien et physicien Roger Penrose (bien connu entre autres pour ses travaux sur les trous noirs, les quasi-cristaux et ses spéculations sur la physique de la conscience) défrayait quelque peu la chronique en compagnie de l'astrophysicien et cosmologiste Vahe G. Gurzadyan. Les deux hommes annonçaient qu'ils avaient peut-être une preuve convaincante de l'existence d'un avant Big Bang à partir de leur analyse des fluctuations de température dans le rayonnement fossile. Comme Futura l'expliquait dans l'article ci-dessus, cette preuve était présentée sous la forme de structures rondes et concentriques produites par des sursauts violents d'ondes gravitationnelles à l'occasion de la fusion de grands trous noirs supermassifs. Ces structures auraient ceci de particulier qu'elles seraient les fossiles d'une phase de l'univers antérieure au Big Bang, décrite par le modèle de cosmologie cyclique conforme (CCC) de Penrose, développé et proposé quelques années auparavant.

Toutefois, depuis 2010, et malgré le bond de géant réalisé grâce au succès de la mission Planck (celle-ci nous a donné une cartographie très précise des fluctuations de la température du rayonnement fossile ainsi que des fluctuations de sa polarisation), rien n'est venu confirmer les analyses de Penrose et Gurzadyan. Ainsi, la communauté scientifique ne prend pas vraiment au sérieux, du moins du point de vue des résultats expérimentaux, l'élégant modèle cosmologique de Penrose.

Des anomalies dans les ondes gravitationnelles détectées par Ligo ?

Nullement découragé, Roger Penrose vient cette année de rebondir en déposant un article sur arXiv dans lequel il présente une nouvelle piste pour tester sa théorie. Il suggère même que nous avons peut-être déjà des arguments observationnels en faveur de cette piste (mais sans dogmatisme, car ces observations sont sujettes à débat depuis quelque temps dans la communauté scientifique qui n'est, là aussi, franchement pas convaincue).

En effet, en juin 2017, une équipe de chercheurs basée au Danemark a fait savoir qu'elle avait trouvé un résultat bizarre en analysant les signaux captés par les détecteurs d'ondes gravitationnelles Ligo en septembre 2015, décembre 2015 puis janvier 2017. Ces signaux ont déjà fait l'objet d'études poussées par les membres des collaborations Ligo, aux États-Unis, et Virgo, en Europe (qui utilise des détecteurs similaires). Ils avaient été interprétés comme le passage sur Terre des ondes produites par la fusion de trous noirs stellaires dans trois systèmes binaires. Mais, selon les chercheurs danois de l'Institut Niels-Bohr, les données collectées, sur lesquelles d'autres personnes se sont donc déjà penchées, contiendraient une composante restée jusque-là inaperçue. Cette composante, bien que faible par rapport aux signaux des événements baptisés GW150914, GW151226 et GW170104, montrerait, pour chacun de ces événements, la présence de corrélations qui ne doivent rien au hasard entre les signaux détectés à chaque fois dans les deux détecteurs de Ligo, distants de 3.000 km.

Ces corrélations ne peuvent pas être du bruit instrumental qui se serait trouvé dans les deux détecteurs simultanément, ni du bruit produit localement (par exemple par un séisme). Alors, si elles ne sont pas de simples erreurs d'analyse, il semble qu'il ne reste plus que l'éventualité suivante : nous serions en présence d'un bruit de fond d'ondes gravitationnelles. C'est l'hypothèse que fait Roger Penrose. Pour lui, il s'agirait du bruit généré par la désintégration de particules de matière noire bien particulières, dont l'existence serait envisageable à partir de sa théorie CCC.

Une vidéo de présentation de Virgo et de la chasse aux ondes gravitationnelles. © CNRS

Une cosmologie cyclique avec des particules de masses variables

Pour le comprendre, il faut savoir que, dans le cadre de cette théorie, l'univers observable est en expansion pour une durée infinie. Mais, lorsque l'on considère des particules sans masse comme le photon, même l'éternité n'a aucune signification temporelle. Or, mathématiquement, on peut relier un à un, ou presque, tous les points d'un plan infini avec ceux d'une sphère de dimension finie. On utilise alors « une transformation conforme ». Ainsi, un cercle qui augmente de rayon à partir d'une taille nulle pour devenir infiniment large dans un plan correspond à un cercle également de taille nulle au pôle d'une sphère qui grandit avant de redevenir de taille nulle à l'autre pôle. Appliquée à un espace-temps en quatre dimensions, la même idée permet de montrer qu'il est équivalent de considérer un univers plat infini dans le temps et l'espace, et en expansion, et un univers courbe comme une sphère finie qui gonfle et se recontracte ensuite. Il est donc possible, paradoxalement, d'avoir une alternance infinie de phases d'expansion succédant à une contraction dans un univers infini et plat, et donc les équivalents des Big Bang et des Big Crunch cycliques des univers sphériques clos.

Mais, pour cela, il faut que les phases « finales et initiales » de l'univers soient décrites avec un contenu en particules sans masse. Sans quoi, « on perd la symétrie conforme », comme disent les physiciens des particules et les mathématiciens dans leur jargon. Nous pouvons invoquer des scénarios comme la désintégration des protons, l'évaporation quantique des trous noirs et une mer de trous noirs virtuels avalant les particules de matière pour les recracher finalement sous forme de photons pour convertir, au bout d'un temps très long (supérieur par exemple au fameux temps de Dyson de $10^{10^{76}}$ ans), tout le contenu matériel de l'univers, soit finalement sous forme de photons. Les masses des particules pourraient aussi évoluer dans le temps en devenant finalement nulles grâce à des mécanismes présents, par exemple, dans les théories avec des dimensions spatiales supplémentaires.

Dans la théorie de Penrose, la symétrie conforme des équations suppose l'existence d'un champ scalaire analogue à celui du boson de Brout-Englert-Higgs, mais décrivant des particules originellement sans masse et qui deviendraient massives après le Big Bang. Ce champ pourrait donc donner naissance à une population de particules massives après un Big Bang. Lié étroitement à la gravitation et au Big Bang, l'ordre de grandeur naturel de la masse de ces particules pourrait être celui de la masse de Planck, donc environ 10^{-5} g. Roger Penrose suggère que ces particules soient aussi des candidats naturels au titre de particules de matière noire. Comme elles ne seraient sensibles qu'à la force de gravité, elles seraient donc très difficiles à détecter et impossibles à fabriquer avec des accélérateurs terrestres, car bien trop lourdes.

Le saviez-vous ?

Un des modèles de matière noire qui avait été considéré sérieusement pendant un moment pour faire naître les grands filaments d'amas de galaxies dans l'univers observable supposait l'existence de « cordes cosmiques ». Il s'agit d'objets prédits dans le cadre de certaines [théories de grande unification](#), les [GUT](#), et même dans le cadre de la théorie des supercordes. Ces cordes cosmiques peuvent se déformer en émettant des ondes gravitationnelles dans une bande de fréquences accessible avec Ligo et Virgo.

Malheureusement, les observations du rayonnement fossile, d'abord avec CoBe puis WMap, et enfin Planck, n'ont pas permis de détecter la présence de ces cordes. Cela ne veut pas dire qu'elles n'existent pas, mais, si elles existent, elles sont trop peu nombreuses dans le cosmos observable pour rendre compte de la naissance des galaxies et des amas de galaxies, ce qui laisse donc le mystère de la matière noire non résolu.

Ces cordes ont bien sûr été chassées lors de précédentes campagnes de recherche avec Ligo et Virgo. Sans succès. Tout ce que l'on a pu faire, c'est poser des bornes sur les théories qui décrivent ces cordes cosmiques en cosmologie.

Des fossiles du Big Bang à l'origine d'un fond d'ondes gravitationnelles

Penrose suppose également que ces particules sont instables et qu'elles peuvent se désintégrer. Comme ce sont des particules scalaires, elles se transformeraient donc en une sorte de sphère d'ondes gravitationnelles impulsives qui serait décrite par l'analogue de la fameuse métrique de Vaidya, une solution des équations d'Einstein décrivant une étoile idéale perdant de sa masse sous forme de rayonnement électromagnétique (c'est une amélioration de la solution de Schwarzschild qui décrit une étoile statique avec une perte de masse négligeable).

Ces particules ne se désintégrant pas en même temps dans l'univers, les ondes émises se combineraient pour former un bruit de fond, comme le ferait une population de petits cailloux lancés stochastiquement, donc au hasard, dans le temps et l'espace à la surface d'une mare. Ce serait ce bruit de fond stochastique venu de toutes les régions où il y a de la matière noire qu'aurait détecté Ligo à l'occasion du travail d'analyse poussé de la détection de GW150914, GW151226 et GW170104. En cherchant bien, Ligo et ses cousins, comme le détecteur européen Virgo et le japonais Kagra, devraient continuellement voir ce bruit de fond stochastique dû à la désintégration des particules de Penrose dans l'univers.

Les idées avancées par Penrose semblent séduisantes, d'autant plus qu'elles seraient testables, selon le chercheur. Celui-ci a baptisé ces nouvelles particules « des érèbons », en référence à Érebos, une divinité infernale née du Chaos, personnifiant les ténèbres et l'obscurité des Enfers dans la mythologie grecque et appelé Érèbe en français. Mais ces idées sont-elles vraiment crédibles ?

Pour le savoir, Futura s'est à nouveau tourné vers l'astrophysicien Olivier Minazzoli, qui travaille au Centre scientifique de Monaco (CSM) et à l'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA). Il est l'un des éditeurs de la partie de *Scholarpedia* traitant en ligne de l'astrophysique et de la cosmologie relativiste ; il est également membre de la collaboration Virgo, qui peut, elle aussi, traquer de la nouvelle physique à l'aide des ondes gravitationnelles.



Chercheur en astrophysique relativiste, Olivier Minazzoli a notamment travaillé pour la Nasa au JPL (*Jet Propulsion Laboratory*), à Pasadena (Californie, États-Unis). Son domaine de recherche concerne les tests des alternatives possibles à la théorie d'Einstein.

© Olivier Minazzoli

Roger Penrose pense qu'il est possible de tester son modèle cosmologique cyclique conforme (CCC) au moyen d'un fond d'ondes gravitationnelles stochastique. Mais en quoi consiste ce fond ?

Olivier Minazzoli : Ce fond serait la combinaison de toutes les ondes gravitationnelles émises par des sources présentes un peu partout dans l'univers observable depuis le Big Bang, mais dont l'amplitude ne serait pas suffisante pour être détectées individuellement. Comme il n'y a pas de corrélations entre ces sources, le signal que l'on peut capter sur Terre serait une combinaison de signaux fluctuant en intensité et en fréquences de façon aléatoire. C'est pour cette raison qu'on le qualifie de stochastique.

Une partie de ce fond pourrait avoir été émis pendant le Big Bang, du fait des fluctuations quantiques de l'espace-temps, de la création des particules de matière ou encore du fait de transitions de phases primordiales comme celle associée à la transition électrofaible, lorsque les forces nucléaire faible et électromagnétique ont cessé d'être unifiées.

L'autre partie de ce fond est constituée de sources individuelles qui sont devenues actives bien plus tard, comme les explosions de supernovae et les fusions de trous noirs stellaires et super-massifs, mais dont l'amplitude n'est pas suffisante pour être détectables individuellement.

Mais peut-on détecter ce fond et identifier ses composantes avec des détecteurs d'ondes gravitationnelles comme Ligo ou Virgo ?

Olivier Minazzoli : En ce qui concerne la détection, du moment qu'il y a au moins deux détecteurs, il est possible de détecter ce fond stochastique - peu importe le type de sources: qu'elles soient mondaines, telles que des binaires de trous noirs; ou plus exotiques, telles que la désintégration des érébons, si ces derniers existent bel et bien. En effet, ce fond va contribuer au bruit des instruments. Mais contrairement aux autres bruits de nature diverse (e.g. vibrations sismiques, bruit électronique etc.), celui provenant d'un fond stochastique d'ondes gravitationnelles sera le même dans tous les instruments. Ainsi, en comparant les bruits des instruments, il est en théorie possible de faire ressortir ceux qui correspondraient à un fond stochastique d'ondes gravitationnelles. En pratique cependant, cela dépend de l'amplitude de ce fond à la fréquence de sensibilité des détecteurs, mais aussi de la durée pendant laquelle les instruments fonctionnent. Plus celle-ci est longue, plus il est possible de mettre en évidence des amplitudes faibles du fond stochastique. Ceci est lié à des questions de statistique. Pour l'heure, seules des contraintes sur l'amplitude du fond stochastique ont pu être mises.

Des modèles astrophysiques combinés aux récentes observations d'ondes gravitationnelles dues à la coalescence de trous noirs permettent de prédire une fourchette de valeurs pour la contribution des trous noirs binaires à ce fond stochastique. D'après ces études, ce dernier pourrait être détectable après plusieurs dizaines de mois d'observation.

En ce qui concerne les sources plus exotiques, il n'existe bien souvent pas de prédiction concernant leur amplitude et il est donc impossible d'estimer, si elles existaient, le temps qu'il serait nécessaire pour détecter leurs possibles contributions au fond stochastique.

Une fois le fond stochastique détecté, l'identification des différentes contributions à celui-ci (e.g. binaires, supernovae, érèbons, etc.) peut être problématique si l'on ne dispose pas de bons modèles pour décrire toutes les sources potentielles. En ce qui concerne la contribution des binaires de trous noirs, nous attendons une forme particulière de la répartition énergétique du fond stochastique en fonction de la fréquence. Ainsi, par exemple, si la mesure ne correspond pas à la prédiction faite avec les binaires de trous noirs, on pourrait en déduire que la source du fond stochastique observé n'est pas principalement composée de ces dernières.

Roger Penrose pense que sa théorie autorise l'existence de particules de matière noire qu'il a appelées « des érèbons ». Pourrait-on détecter les ondes gravitationnelles qu'elles pourraient émettre en se désintégrant ?

Olivier Minazzoli : En théorie oui, encore faut-il que ces dernières aient une amplitude suffisante dans la gamme de fréquences des détecteurs et qu'elles se produisent suffisamment souvent, ce que l'on ignore pour l'heure, même théoriquement.

Mais qu'en est-il précisément de l'hypothèse des érèbons ?

Olivier Minazzoli : On ne peut rien en dire pour le moment parce que la phénoménologie résultant de ces érèbons n'a pas encore été suffisamment développée. En effet, à ma connaissance, il n'y a pas, pour l'heure, de prédictions précises quant aux caractéristiques des ondes gravitationnelles potentiellement produites par la désintégration de ces hypothétiques particules. Par exemple, leurs amplitudes et leurs fréquences, ou encore le nombre de sources par unité de temps en fonction de la distance ou de la place sur la sphère céleste ne sont pas prédits.

Que faut-il penser alors du potentiel bruit de fond stochastique qui a peut-être été détecté par Ligo en association avec les trois fusions de trous noirs ?

Olivier Minazzoli : En ce qui concerne les corrélations supposément trouvées par les chercheurs danois, la collaboration Ligo-Virgo est claire : il s'agit d'une erreur liée à une mauvaise compréhension des données publiques délivrées par la collaboration.

Mais, sans entrer dans ce débat, quand bien même une telle corrélation existerait, si elle était due à des ondes gravitationnelles liées à la désintégration d'érèbons, alors elle devrait se retrouver dans l'ensemble des données, et non pas seulement durant l'observation d'un événement (GW150914, GW151226 ou GW170104).

En effet, il est infiniment peu probable qu'une onde gravitationnelle générée par la désintégration aléatoire d'un érèbon passe, par hasard, précisément en même temps que l'onde gravitationnelle générée par la fusion de deux trous noirs ; et jamais avant, ou après. Donc, une corrélation des bruits liée aux hypothétiques érèbons devrait aussi se voir dans les recherches du fond stochastique d'ondes gravitationnelles. Or, ces dernières n'ont rien trouvé (voir ici).

Des preuves d'un avant Big Bang dans le rayonnement fossile ?

Article de Laurent Sacco publié le 25/11/2010

Si l'on en croit le grand mathématicien et physicien Roger Penrose, ainsi que l'astrophysicien et cosmologiste Vahe G. Gurzadyan, les données de WMap concernant le rayonnement fossile contiennent des traces d'un avant Big Bang, prédites par un modèle cosmologique cyclique.

La nouvelle idée de Roger Penrose s'appelle la [Cosmologie Conforme Cyclique \(CCC\)](#) et elle est suffisamment folle pour être exacte, selon l'expression bien connue de Niels Bohr. Sir Penrose n'est pas un inconnu. Il a profondément contribué au renouveau de la relativité générale pendant les années 1960 et 1970, en faisant usage des concepts et méthodes de la géométrie algébrique et de la topologie différentielle. On lui doit le premier théorème de singularité concernant la physique des trous noirs. Mais il est tout aussi célèbre pour un autre théorème de singularité, en cosmologie relativiste celui-là, démontré en collaboration avec Stephen Hawking.

Ce théorème montre que si l'on reste dans le cadre classique des équations décrivant la géométrie de l'espace-temps, une singularité cosmologique initiale devait bel et bien être présente au début de l'histoire de notre univers observable. Cette singularité représente un véritable début pour l'espace et le temps et rend donc vide de sens l'idée d'un avant Big Bang dans le cadre des lois de la physique classique.



Sir Roger Penrose, le grand physicien et mathématicien britannique. © *University of Georgia*

Penrose n'est pas qu'un grand maître de la physique de l'espace-temps. Il s'est bien évidemment attaqué au formidable problème que constitue la fusion des équations et concepts de la physique quantique avec celle et ceux de la physique relativiste. Il a pour cela proposé sa théorie des twisteurs (*twistors* en anglais) et celle des réseaux de spin. La première a été intensivement appliquée à la théorie des cordes dans le cadre de la correspondance AdS/CFT ces dernières années. La seconde, quant à elle, est à la base de la gravitation quantique à boucles (LQG).

Rappelons que ces deux théories sont des candidats sérieux au titre de théorie quantique de la gravitation, laquelle est indispensable pour pouvoir, peut-être, répondre à des questions comme : « *Qu'y avait-il avant le Big Bang?* » ou « *Comment l'univers et l'espace-temps sont-ils nés ?* ».

L'entropie, un problème en cosmologie

Toutefois, Penrose ne cache pas qu'il ne croit pas beaucoup à la théorie des cordes avec ses dimensions spatiales supplémentaires. Il ne se satisfait pas non plus de ce qui est en train de devenir le modèle standard de la cosmologie, à savoir la théorie de l'inflation. Elle a effectivement passé victorieusement plusieurs tests grâce aux mesures du rayonnement fossile effectuées par WMap mais n'est pas encore démontrée. Cette théorie de l'inflation a été introduite au début des années 1980 par des théoriciens comme Alan Guth et Andreï Linde, afin de résoudre des problèmes et des énigmes dans le cadre de la cosmologie relativiste basée sur la physique des hautes énergies.

Sir Roger a toujours trouvé fallacieuses les solutions apportées par la théorie de l'inflation, en partie parce qu'elle ne résolvait pas le problème de l'état initial très particulier de l'univers en liaison avec le second principe de la thermodynamique.

La question du statut du second principe de la thermodynamique en cosmologie relativiste est ancienne et on peut la faire remonter aux travaux de l'abbé Lemaître et surtout à ceux de Richard Tolman. À travers les réflexions de John Wheeler et les idées de Bekenstein, ce statut sera à la racine de la découverte par Stephen Hawking de l'évaporation des trous noirs et de la célèbre formule de Hawking-Bekenstein donnant l'entropie d'un trou noir.

Tolman s'était intéressé pendant les années 1930 au modèle d'univers de Friedmann dans lequel un univers clos passait de façon cyclique par des phases de contraction et d'expansion, et ce de toute éternité, sans commencement ni fin.

Cette étrange réminiscence de la cosmologie hindouiste ne tenait cependant pas compte du second principe de la thermodynamique, voulant que l'entropie ne cesse de croître dans un système clos. D'après les calculs de Tolman, chaque début d'un nouveau cycle de l'univers devait pourtant s'accompagner d'un accroissement de l'entropie de la matière et du rayonnement qu'il contenait. Or, l'entropie de notre univers étant finie et finalement assez faible, cela cadrerait mal avec la notion de cycles éternels.

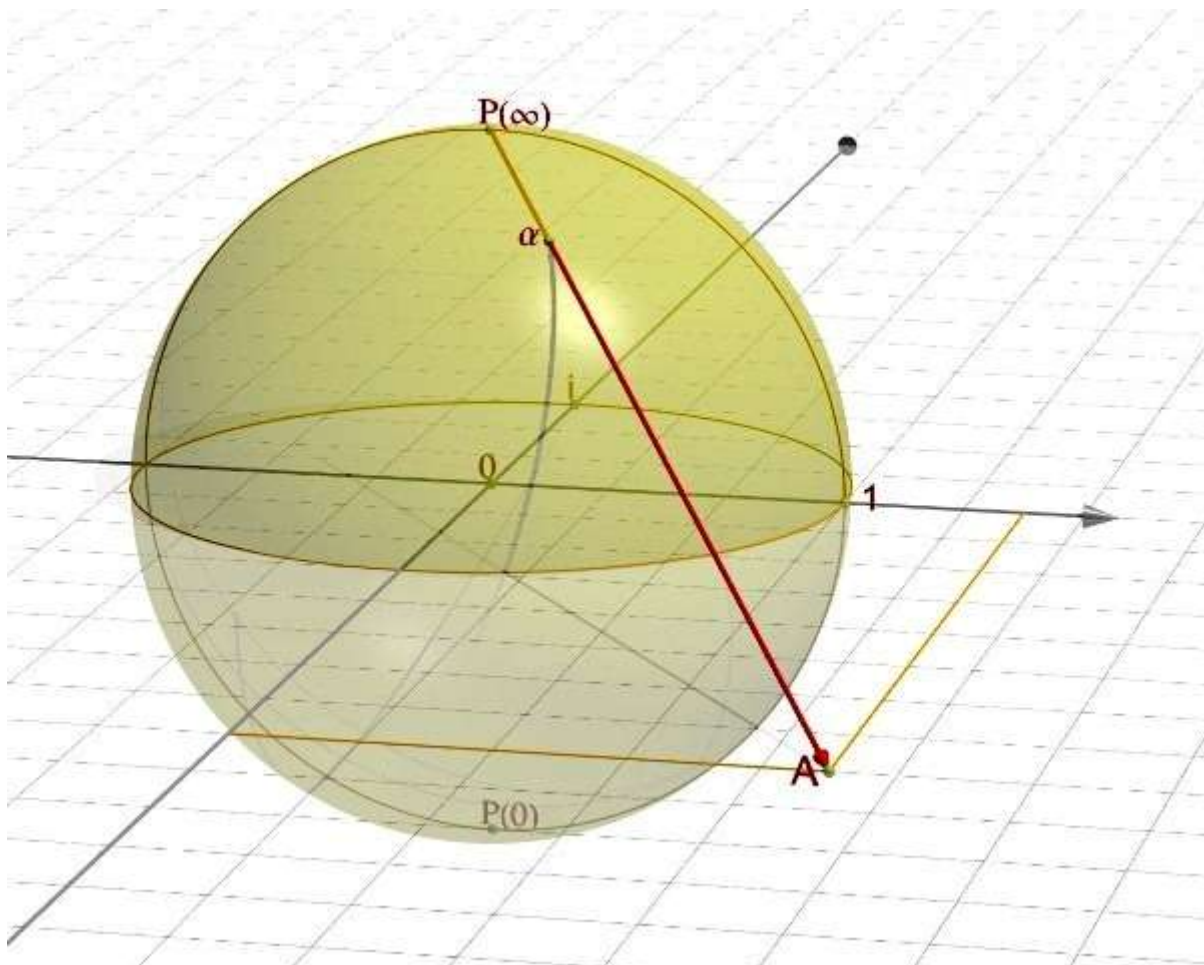
On sait aujourd'hui que notre univers est en expansion accélérée du fait de son contenu en énergie noire. Il semble que sa géométrie soit très proche d'être plate, c'est-à-dire que nous n'arrivons pas à définir si nous sommes dans un univers clos fini ou dans un univers déjà de taille infinie mais en expansion. Dans tous les cas, si l'énergie noire est bien décrite par une constante cosmologique ou un champ de quintessence la rendant toujours répulsive, notre univers continuera son expansion accélérée pour l'éternité.

Il ne semble donc pas y avoir de possibilité pour un univers cyclique et toutes les structures complexes dans notre univers seraient donc destinées inexorablement à la décrépitude, une fois épuisées les sources d'énergies présentes dans les étoiles ou sous d'autres formes. L'univers n'aurait qu'une seule vie.

Une cosmologie cyclique basée sur la géométrie conforme

Roger Penrose rejette cette idée depuis quelques années. À partir des travaux de son collègue Paul Tod, il a développé un nouveau modèle cosmologique qu'il a exposé lors de conférences.

Pour comprendre la cosmologie conforme cyclique de Sir Roger, il est nécessaire de faire un petit détour par la sphère de Riemann et la notion de transformation conforme.



Projection stéréographique faisant correspondre au point α de la sphère de Riemann le point A du plan. Le point à l'infini est mis en correspondance avec le point P. © Jean-Christophe BENOIST, Wikipédia

Imaginons que nous vivions dans un univers plat de taille infinie, représenté par un plan s'étendant à l'infini. Ce plan, diagramme d'espace-temps infini qui décrit tous les événements de l'espace-temps à une date donnée, peut être mis en correspondance avec une sphère de taille finie, la sphère de Riemann, par une projection stéréographique.

Comme le montre le schéma ci-dessus, si l'on prend une sphère avec une droite partant de son pôle nord et coupant sa surface en un point, on obtient une projection liant ce point avec un autre du plan. Remarquablement, les points situés à l'infini sont tous reliés à un seul, celui du pôle nord. Des figures géométriques tracées à la surface de la sphère se retrouveront sur le plan mais elles seront déformées. Plus exactement, seuls les angles seront conservés, pas les distances. C'est précisément ce qu'on entend par « transformation conforme ».

C'est ainsi qu'un petit cercle au voisinage du pôle nord deviendra un grand cercle sur le plan à grande distance, s'il est centré sur ce pôle (autrement, on obtiendra une ellipse). On peut aussi considérer une sphère tangente en son pôle sud au plan précédent et faire une projection analogue, comme sur la vidéo présentée ci-dessous.

Imaginons maintenant que le plan soit en expansion. Tous les petits cercles initiaux tracés sur lui vont grandir et leurs points vont se retrouver à l'infini. Ils vont donc correspondre à des petits cycles se rapprochant du pôle nord sur la sphère. Il s'agit là d'une simple astuce mathématique pour représenter de façon finie des processus qui se passent à l'infini. Comme les points sur la sphère n'ont rien de particulier, on peut sans problème connecter l'état **final** d'expansion infinie avec un autre état **initial**.

Une vidéo montrant la transformation stéréographique entre le plan et la sphère de Riemann avec l'image du mathématicien Riemann. Dans cette projection conforme, seuls les angles sont conservés, non les distances. © American Mathematical Society, Etienne Ghys et Jos Leys, YouTube

Roger Penrose joue à un jeu très similaire dans le cadre des équations de la relativité générale. Mais au lieu d'utiliser les transformations conformes comme une simple astuce mathématique, il propose que l'équivalence mathématique connectant un état d'expansion infini de l'univers avec un état primordial singulier soit en fait physiquement réalisable.

Des hypothèses plausibles.

Cela n'a rien d'évident, car il faut pour cela que les équations décrivant les particules élémentaires dans l'état final de l'univers soient invariantes par des transformations conformes, ce qui équivaut à dire que ces particules sont sans masses !

Pour le moment, il n'existe aucune indication laissant supposer que dans un futur lointain, les masses des électrons ou des quarks s'annuleront, ou que l'univers ne sera plus constitué que de particules sans masses ou se comportant comme tel.

Dans le cadre de l'univers primordial, les choses se présentent mieux. On pense effectivement que lorsque la température était suffisamment élevée, le champ de Higgs responsable aujourd'hui de la masse des particules avait une valeur nulle, ce qui *de facto* annulait celle des autres particules.

Simplement aussi, les énergies cinétiques des particules étaient si élevées qu'elles dominaient très largement celles associées à leurs masses. Tout se passait donc probablement comme si l'ensemble des particules contenues dans le cosmos était effectivement sans masse.

Supposons cependant que cette condition soit aussi vérifiée dans un futur lointain (pas nécessairement infini) de l'univers. Selon Penrose, le fait que toutes les particules du cosmos se comportent alors comme des photons pourrait avoir une étrange conséquence. Tout comme les photons ne voient pas le temps passer, la géométrie de l'espace-temps de l'univers ne se « souviendrait » plus du temps qui s'écoule et seul compterait ce qu'on appelle la structure conforme de l'espace-temps.

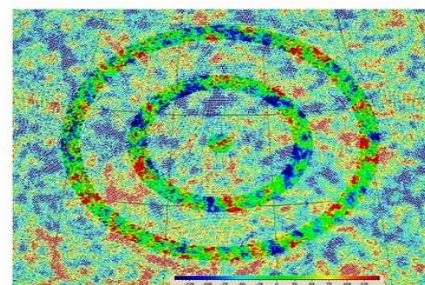
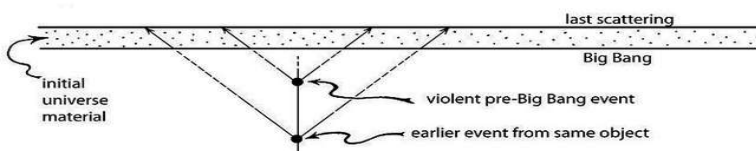
La structure métrique (celle permettant de donner un sens à des intervalles de temps et d'espace différents) ne jouerait plus le premier rôle. Il serait alors possible de connecter l'espace-temps final infini avec celui d'une phase initiale d'expansion (pas nécessairement fini) et ceci sans avoir de problèmes liés à la singularité cosmologique initiale, qui normalement interdirait de le faire.

Notre univers serait donc cyclique, renaissant sans cesse pour une nouvelle aventure après une période que Penrose appelle un éon (*aeon* en anglais). Ce terme, qui vient du grec ancien, signifiait initialement « vie », ou « être », et a progressivement évolué vers l'idée d' « éternité ».

On le voit, les suppositions sont nombreuses dans le modèle proposé par Penrose et certaines n'ont même pas été mentionnées pour les besoins de cette courte exposition. Remarquablement pourtant, la théorie de Penrose conduit à une prédiction qui vient peut-être d'être confirmée par les analyses faites avec l'astrophysicien et cosmologiste arménien Vahe G. Gurzadyan.

Des fossiles gravitationnels ?

Reprenons l'image des petits cercles mentionnés précédemment. Il pourrait s'agir des fronts d'ondes gravitationnelles gigantesques causés par la fusion de trous noirs supermassifs lors des dernières collisions entre galaxies, dans un futur lointain. D'immenses quantités d'énergie seraient alors libérées par la vibration des horizons des trous noirs juste après leur fusion. La géométrie de l'espace dans notre modèle précédent à deux dimensions ressemblerait alors à la surface d'une mare où de grosses gouttes de pluie tombent, avec des séries d'ondes concentriques se superposant.



À gauche, un diagramme conforme d'espace-temps présente la transition entre deux éons. Avant le Big Bang, deux flashs puissants d'ondes gravitationnelles sont émis à deux moments différents par un amas de galaxies, au moment de la fusion violente de plusieurs trous noirs supermassifs. Les fronts d'ondes gravitationnelles de ces flashs se retrouveront sous forme de fluctuations thermiques primordiales dans le plasma post Big Bang, avant la surface de dernière diffusion (*last scattering*). Le fond diffus garde alors la trace de ces fronts d'ondes sous la forme de cercles dans les anisotropies primaires du rayonnement fossile, telles que les voit WMap sur la sphère céleste. ©

Penrose-Gurzadyan

Ces ondes gravitationnelles en route vers l'infini deviendraient des ondes divergentes dans l'univers débutant un second éon après sa phase de transition conforme. Ces ondes divergentes modifieraient la densité de particule dans le plasma primordial d'un après Big Bang d'une façon incompatible avec l'inflation selon Penrose et Gurzadyan.

Les deux physiciens ont donc cherché des anomalies dans les fluctuations de températures du fond de rayonnement diffus enregistrées par WMap, anomalies se présentant sous la forme de cercles bien particuliers.

Bingo ! Si l'on en croit l'article des deux chercheurs, publié sur arXiv le 16 novembre dernier, ils ont bien trouvé ces anomalies. Reste à savoir ce que va penser la communauté scientifique de cette approche si hétérodoxe....



LES PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 2020 ROGER PENROSE, REINHARD GENZEL ET ANDREA GHEZ.

Roger Penrose, Reinhard Genzel et Andrea Ghez se voient décerner le prix Nobel de physique ce 6 octobre 2020 pour leurs travaux sur les trous noirs. Roger Penrose remporte la moitié du prix pour avoir découvert que "la formation des trous noirs est une prédiction robuste de la théorie de la relativité générale". Andrea Ghez et Reinhard Genzel se partagent l'autre moitié "pour la découverte d'un objet compact supermassif au centre de notre galaxie".

Un an après le prix décerné à James Peebles, Michel Mayor et Didier Queloz, c'est encore l'astrophysique qui est mise à l'honneur par le prix Nobel de physique cette année.

En récompensant Roger Penrose, 89 ans, l'Académie royale des sciences de Suède couronne l'un des plus brillants théoriciens de la relativité générale, dont il fut avec quelques autres à l'origine de la « résurrection » dans les années 1960. En 1965, Roger Penrose fut le premier à démontrer que l'existence des trous noirs était une conséquence naturelle de la théorie d'Einstein, ce que le savant allemand n'avait jamais admis. Ses travaux ultérieurs aussi eurent de profondes répercussions sur l'étude des trous noirs et la compréhension de la relativité générale.

Un trou noir au centre de la Voie lactée

Longtemps concurrents (ils se sont menés, à partir de la fin des années 1990, une course à la découverte dont nous avons rendu compte dans nos colonnes), l'Américaine Andrea Ghez et l'Allemand Reinhard Genzel sont logiquement réunis pour l'autre moitié du prix, récompensant la découverte du trou noir de 4 millions de masses solaires, baptisé SgrA*, qui occupe le centre de notre galaxie.

Réalisée principalement grâce aux détecteurs à ultra-haute résolution du VLT et de l'observatoire du Keck, la conviction qu'un trou noir occupait bien le centre de la Voie lactée ne fut acquise qu'à petits pas, au prix d'une grande persévérance dans l'observation des étoiles qui circulent au plus près du trou noir.

Avant la découverte de la première fusion de trous noirs via l'émission d'ondes gravitationnelles, les observations de Genzel et Ghez étaient considérées comme les plus convaincantes en faveur de l'existence de ces étranges objets, dont on possède désormais une image. Les observations qui se poursuivent autour de SgrA* fournissent toujours de précieux tests de la relativité générale.

Il faut noter qu'après Marie Curie (1903), Maria Goeppert-Mayer (1963) et Donna Strickland (2018), Andrea Ghez est la quatrième femme à obtenir le prix Nobel de physique.

Les trous noirs, c'est quoi au juste ?

Imaginée à la fin du XVIII^e siècle, prédite par Einstein, l'idée de trou noir ne date pas d'hier. Il faut cependant attendre 2019 pour qu'une équipe d'astrophysiciens réussisse à obtenir la première photographie d'un trou noir.

Inventé en 1967 par le physicien John Wheeler, un trou noir désigne le phénomène qui se produit lorsqu'une énorme masse se concentre très fortement à un endroit et que son champ de gravitationnel capte tout ce qui l'entoure, y compris la lumière (c'est pourquoi ils sont invisibles). C'est ce phénomène qui se produit lorsqu'une étoile s'effondre.

« On ne sait pas ce qu'il contient, on n'en a aucune idée, c'est pourquoi c'est aussi exotique, ça fait partie de l'intrigue, ça pousse les limites de notre compréhension », a réagi Andrea Ghez après l'annonce de sa nomination.

« Alors que nous sondons de plus en plus près des horizons des trous noirs, la nature pourrait nous réserver de nouvelles surprises » prophétise de son côté Ulf Danielsson, professeur de physique théorique à l'université d'Uppsala.

• CONSTELLATION DU MOIS : L'AIGLE



Constellation de l'Aigle

La constellation de l'Aigle est aussi appelée Aquila, Aquilae ou Aql fait partie du triangle d'été.

L'Aigle est une constellation située à peu près sur l'équateur céleste à la frontière de la Voie lactée, notre galaxie. Facilement reconnaissable et dotée d'étoiles assez brillantes, elle fut répertoriée par Aratus de Soles, puis par Ptolémée dès le II^{ème} siècle.

Elle se reconnaît directement par l'alignement de trois étoiles dont Alpha Aquilae (Altaïr) est le centre, et β et γ Aql les extrémités. Cet alignement forme la « tête » de l'aigle.

Si le grand carré de Pégase est visible, la constellation se trouve dans l'alignement du carré vers l'ouest.

La constellation est facile à visualiser, compacte et assez lumineuse (mag 4), mais sa tête toute en longueur fait plutôt penser à un ptérodactyle qu'à un aigle.

Le triangle dont les sommets sont γ Aql (sommets de la tête), θ Aql (bout de l'aile) et δ Aql (centre du corps) est sensiblement équilatéral, et marqué par des petits alignements intermédiaires d'étoiles assez brillantes. Partant de la tête de l'Aigle, centrée sur Altaïr, on repère facilement θ Aql, l'extrémité de l'aile Est. De là, on remonte l'aile vers l'ouest par un petit alignement de trois étoiles qui passe par η Aql (variable) et tombe sur δ Aql, au centre du corps de l'Aigle. Dans l'alignement du « corps », on peut voir μ Aql entre γ Aql et δ Aql. Dans le prolongement du « corps », on tombe sur λ Aql, qui marque le bout de la queue.

De l'autre côté, l'étoile brillante symétrique de θ Aql est ζ Aql, qui marque l'aile Nord. À côté d'elle ϵ Aql, l'extrémité de l'aile. (Ces deux étoiles s'appellent Deneb Al Okab, ce qui signifie en fait « la queue du faucon »). Le bout de l'aile ϵ Aql - ζ Aql pointe vers μ Aql, sur le cou, et de là

vers θ Aql.

Altaïr est sur l'alignement qui part de la Grande Ourse, suivant la diagonale SO-NE de la « casserole ». Cet alignement passe par le cœur du Dragon et par sa tête, pour venir toucher Véga de la Lyre, puis Altaïr. L'alignement Véga - Altaïr permet de repérer 20° plus au sud α du Capricorne et les deux « pieds » du capricorne 15° plus loin ; et pour les observateurs situés suffisamment au sud, cet alignement se prolonge jusqu'à Al Na'ir (α Gruis), à une soixantaine de degrés d'Altaïr.

Dans l'axe du « corps » de l'aigle, on tombe sur la queue du Scorpion, à une quarantaine de degrés vers le sud. Elle n'est guère visible pour les observateurs au-dessus de 40°N .

L'Aigle dans la mythologie

Tous les auteurs anciens, à l'instar d'Ovide, s'accordent à voir dans cette constellation, l'oiseau de Zeus / Jupiter, l'aigle, qui ravit Ganymède fils de Tros, et qui l'emporta aux cieux, pour y remplir la fonction d'échanson des dieux (Hyginus, Germanicus, Eratosthène). On trouvera d'autres détails sur cet enlèvement, à la page consacrée à la constellation du Verseau , Ganymède, que cet aigle précède toujours dans son lever, et qu'il semble enlever aux cieux.

On donne aussi une autre cause de cette consécration de l'Aigle parmi les constellations (Eratosthène). On raconte que, lorsque les dieux se partagèrent entre eux les différents oiseaux, Zeus choisit, l'Aigle. C'est le seul oiseau, qui dirige son vol en face du Soleil, qui n'en redoute pas les rayons, et qui exerce sur tous les astres le même empire qu'exerce Zeus sur les dieux, et le Lion sur les quadrupèdes, lequel est affecté aussi à Zeus, dans la distribution des douze signes entre les douze grands dieux. Il est peint les ailes étendues, comme s'il volait. Aussi l'appelle-t-on, *Vultur volans*, au lieu que l'ancienne constellation du Vautour (l'actuelle constellation Lyre ) se nomme *Vultur cadens*.

Aglaosthène, qui écrivit l'histoire de Naxos, dit que Zeus, ayant été enlevé de la Crète, fut porté à Naxos, où il fut nourri. Arrivé à l'âge viril, il voulut faire la guerre aux Titans; et avant de les attaquer, ayant fait un sacrifice, un aigle vint lui donner les augures les plus favorables. Ce dieu, en reconnaissance, plaça cet aigle aux cieux (Hyginus), Germanicus ajoute à ce récit quelques circonstances, qui diffèrent un peu. Il suppose, que Zeus / Jupiter lui-même s'était métamorphosé en aigle, lorsqu'il passa à Naxos, où il avait été nourri; et qu'étant sorti de Naxos, pour aller combattre les Titans, un aigle lui était apparu, au moment où il faisait un sacrifice, et lui avait apporté ses foudres; que le dieu, sensible à cet heureux augure, avoir pris cet oiseau sous sa protection. Eratosthène dit que l'aigle s'était associé aux combats de Zeus; et que ce dieu en avait fait son oiseau sacré, qu'il avait figuré aux cieux.

Quelques auteurs racontent, qu'un certain Mérope régnait sur l'île de Cos, ainsi appelée du nom de sa fille, comme ses habitants s'appelaient Méropes du sien. Il avait pour femme Etheméa, du sang des Nymphes, laquelle, ayant négligé de sacrifier à Artémis, fut percée des traits de cette déesse. Perséphone l'entraîna encore vivante dans son empire. Son époux désolé ne cherchait qu'à mourir. Héra, sensible à son malheur, le métamorphosa, en aigle, et le plaça aux cieux. Elle ne voulut pas lui conserver la forme humaine, dans la crainte qu'il ne continuât à s'affliger de la perte de son épouse.

Enfin il est des auteurs (Hyginus), qui disent qu'Hermès, suivant d'autres, Anaplas, épris de la beauté d'Aphrodite, et désespérant d'obtenir ses faveurs était tombé dans l'abattement et le désespoir. Zeus, sensible à la douleur, envoya son aigle enlever la pantoufle de la déesse, au moment où elle se baignait dans les eaux de l'Acheloüs. L'oiseau exécuta le message, et porta la pantoufle à Hermès, en Egypte. La déesse, qui suivait l'Oiseau, tomba ainsi dans les filets de son amant, qui fut heureux, et qui, par reconnaissance, plaça l'Aigle aux cieux.

Les autres noms de l'Aigle

Voici les noms que donne Blaeü à cette constellation : Jovis Ales, Jovis Nutrix, Jovis Armiger, Satelles et Internuncia Fulminis, Raptrix Ganymedis, Fulminis minister, Avis Romana, Aquila Promethei, Vultur volans, Cnêceios; Avium Regina, Basanos, Tormentum, Exploratio; Cruciatu, Instrumentum Exploratorium, Basanistes, Explorator, Tortor Promethei.

La constellation de l'Aigle a aussi porté d'autres noms sur les cartes anciennes : l'Aigle noir, Melainaetos, Aquila, leporaria. Elle portait aussi les noms d'Agor, d'Aigypton (Hésychius). Aratus l'appellait Aëtos, qui est le nom de l'Aigle, chez les Grecs; et Aêtês, le grand messenger de Zeus.

En Arabe, on trouve : Alcar, Alcali, Atayr, Altayro, Alhak-Kab, Al-Hakkab. Les Persans nommaient cet oiseau, Aluh; les Turcs, Thausaugül. Nesr al-Taïr signifie Vultur volans (*Tables Alphonsines*). Le peuple nommait jadis cette constellation, selon les pays, le Faucon, Shâhin Tarâ-zed; les Perses, Gherghè; les Turcs, Ak-Baba; les Hébreux, Neschr.

L'étoile la plus brillante de l'Aigle s'appelle Al Nesr al-Tair dans Ulugh-Beg : on en a fait Altaïr, Alcar, Alcair. Celle de la queue, Danab-al-Okâb.

L'année de l'Aigle et ses présages

L'Aigle se couche au lever du Lion ☼ (Théon), dont il est paranatellon (= un astre se levant en même temps que lui). Ainsi le Lion et l'Aigle tiennent au domicile du Soleil, et au signe affecté à Zeus; l'Aigle se lève avec le Capricorne ☿.

On sème, dit Columelle, depuis les calendes d'octobre jusqu'au lever de l'Aigle, qui arrive au sept des ides de décembre. Le même auteur fixe, aux calendes de juin, et au quatre des nones, un lever de l'Aigle, accompagné de tempête, de vent, et quelquefois de pluies. Il marque, pour le six des calendes d'août, un coucher de l'Aigle, avec indication de tempête. Il fixe, au sept des ides de décembre, un lever du matin de l'Aigle, avec cette annonce : vent d'Afrique, auster, petite pluie.

Il marque, au quatre des calendes de janvier, un coucher du soir de l'Aigle, c'est-à-dire, le surlendemain, pour les Chrétiens, de la fête de Saint Jean d'hiver, qui a l'Aigle pour attribut.

Plinie regarde le jour du lever de l'Aigle comme d'une funeste influence. (Ch. Dupuis).

LE SAVIEZ-VOUS?

1) Le 9 novembre

Il y a 15 ans, la sonde européenne Vénus Express décolle en direction de Vénus. Elle prend le relais de la mission Magellan qui s'est achevée en 1994. Arrivée sur place en avril 2006, elle commence une moisson de données sur l'atmosphère de Vénus, tant sur sa composition que sur sa dynamique. Des informations censées éclairer le puissant effet de serre présent sur la planète. Vénus Express part également en quête d'une activité volcanique. Passée ou présente, prolongée plusieurs fois, la mission s'est achevée en décembre 2014.



2) Le Dimanche 15 novembre



Le 15 novembre 1630 meurt Johannes Kepler fervent partisan de la thèse héliocentrique énoncée par Nicolas Copernic. Il note que Mars parcourt une orbite elliptique. Une découverte qui l'amènera à énoncer en 1609 trois lois mathématiques décrivant le mouvement des planètes, dont : « Chaque planète décrit une ellipse dont le Soleil est l'un des foyers. »

3) Le Mardi 17 novembre

Il y a 50 ans, le 17 novembre 1970, le rover russe Lunokhod 1 effectue ses premiers tours de roue sur la Lune, dans les mers des pluies. Il devient le premier robot à parcourir un sol extraterrestre.



Ciel et Espace

ENIGME

Toutes les planètes tournent-elles sur elles-mêmes ?

Envoyez vos solutions à :

andrebourdet@gmail.com

Solution de l'énigme précédente

)

Qu'appelle-t-on étoile du berger et pourquoi ?

Ce n'est pas une étoile mais la planète Vénus. En raison de ses nombreux nuages, elle réfléchit une grande quantité de rayons solaires, ce qui la fait apparaître comme le point le plus lumineux du ciel avec sa magnitude avoisinant -4. Comme elle est plus proche du Soleil que la Terre, il se trouve qu'elle est en général visible juste avant son lever ou après son coucher. Son surnom d' »étoile du berger » donné par les anciens, vient du fait que sa présence dans le ciel coïncidait traditionnellement avec le moment où le berger sortait le troupeau ou le ramenait à l'étable.

J'ai reçu 4 bonnes réponses.

Lire, voir, sortir

Les météorites françaises

Le livre « Les météorites françaises » vous propose une vue d'ensemble des 78 météorites françaises dont la chute fut observée ou dont la découverte a été fortuite. L'ouvrage est richement illustré et agrémenté, pour de nombreux chapitres, de la carte de la zone de chute.

Le livre est préfacé par le Professeur Matthieu Gounelle, Professeur du Muséum national d'Histoire naturelle de Paris, responsable scientifique de la collection de météorites.

Un livre passionnant, axé sur l'histoire des météorites, accessible à tous.

L'auteur, Pierre-Marie Pelé, est chasseur de météorites depuis 2003, collectionneur et négociant en roches extra-terrestres. Il est l'auteur de plusieurs ouvrages relatifs aux météorites. Enfin, il est membre de la Meteoritical Society et travaille en collaboration avec de grandes institutions et des laboratoires certifiés dans le domaine des météorites.



La caméra FRIPON



http://www.fripon.org/IMG/jpg/stations/RT_FRBR04.jpg



Château d'eau
De Kersauz

Rue Guillemette le Barbier
56730 Saint Gildas de Rhuys

Renseignements:

Téléphone: 00 00 00 00 00

Télécopie: 00 00 00 00 00

Messagerie: xyz@example.com

Messagerie

clubastrorhuys@gmail.com

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

Il se réunit les jeudis de 18h à 20h

web: <http://astro-rhuys.blogspot.fr/>