

LE PETIT CATECHISME DE L'ASTRONOMIE

1- *Qu'est ce que l'Astronomie ?*

Comme le mot l'indique l'Astronomie est l'étude des Astres, de leur ordre et de leurs lois. Ce mot vient du grec ASTRON = Astre, NOMOS = Loi ou Ordre.

2- *Quelles sont les différentes branches de l'Astronomie ?*

On distingue 3 branches principales de l'Astronomie:

⇒ L'Astrométrie ou Astronomie de position ou Astronomie fondamentale.

⇒ La Mécanique Céleste.

⇒ L'Astrophysique.

3- *Qu'est-ce que l'Astrométrie ?*

L'Astrométrie est la mesure aussi exacte que possible de la position des Astres sur la voûte Céleste. Les données relevées par le satellite astrométrique européen Hipparcos entre 1989 et 1993 ont permis l'édition, en 1997, d'un catalogue de plus d'un million d'étoiles, dont les distances et l'éclat ont été revus et corrigés.

4- *Qu'est-ce que la Mécanique Céleste ?*

La Mécanique Céleste recherche les lois qui régissent le mouvement des astres dans l'Espace au cours du temps. Elle peut ensuite calculer, grâce à ces Lois, la position des astres sur la sphère céleste dans le passé, le présent et le futur. C'est l'établissement des Ephémérides.

5- *Qu'est-ce que l'Astrophysique ?*

L'Astrophysique est l'étude des Astres pour en déterminer la nature: quels sont les éléments qui les composent, leur état, leur activité, les raisons de leur rayonnement et de leur puissance. L'Astrophysique cherche ainsi à déterminer comment les astres évoluent au cours du temps: quel était leur état passé et quel sera leur état dans l'avenir.

6- *Qu'est-ce que la Radioastronomie ?*

La Radioastronomie est une branche de l'Astronomie qui a pour objet l'étude du rayonnement radioélectrique des astres, dans le domaine des longueurs d'onde comprises entre le millimètre et un maximum de 15 m.

Elle permet d'effectuer des observations dans des zones de l'espace masquées par des nuages de poussières, elle permet également d'opérer dans des conditions météorologiques qui rendraient impraticable toute observation optique.

7- *Qu'est-ce que la Cosmologie ?*

La Cosmologie se propose de comprendre l'Univers dans son ensemble, tel qu'il fut dans le passé, tel qu'il se présente à nos yeux aujourd'hui et tel qu'il sera dans le futur. (Cosmos = Univers).

8- *Quelle est la différence entre une Etoile et une Planète ?*

Une Etoile est un astre massif, lumineux par lui-même, qui émet un rayonnement puissant autour de lui dans l'Espace, comme le Soleil, qui est notre Etoile. Une Planète est un astre relativement peu massif, dont la chaleur centrale reste faible, dont la surface est froide et qui gravite autour d'une étoile: telle la Terre autour du Soleil.

En hébreu, le mot étoile signifie: « sphère brûlante ». Le mot planète vient du grec (planeïn) et signifie: « astre errant ». Les planètes en effet, en tournant autour du Soleil, se déplacent sur la sphère des étoiles, appelée Sphère des Fixes.

9- *Qu'appelle-t-on l'Etoile du Berger ?*

C'est la Planète Vénus, l'astre le plus brillant du ciel, après le Soleil et la Lune. Elle se montre soit le soir après le coucher du Soleil, soit le matin avant son lever. Elle indiquait donc aux bergers le moment de sortir ou de rentrer leurs bêtes. Elle est 15 fois plus lumineuse que Sirius (magnitude apparente: - 4,3).

10- *Quelle est l'Etoile la plus brillante du ciel ?*

L'Etoile la plus brillante du Ciel est l'étoile Sirius, visible surtout en hiver, à gauche de la Constellation d'Orion. Sirius est l'étoile principale de la Constellation du Grand Chien: Alpha Canis Majoris. Son nom signifie « la Brillante ». (magnitude apparente: - 1,46).

11- *Combien peut-on voir d'Etoiles à l'oeil nu ?*

Environ 3 000 dans chaque hémisphère, par des nuits sombres; soit 6 000 en tout. (Les plus faibles atteignent la magnitude apparente 6).

12- *Qu'est-ce que la Voie Lactée ?*

C'est la traînée lumineuse blanchâtre qui apparaît surtout pendant les nuits d'été. Les anciens croyaient qu'il s'agissait de la fumée qui s'élevait de la constellation de l'Autel.

Galilée découvrit en 1610, grâce à sa lunette, que cette bande laiteuse était en fait composée de millions d'étoiles. La Voie Lactée est notre Galaxie vue sur la tranche.

13- *Qu'est-ce que le Système Solaire ?*

C'est l'ensemble des planètes, astéroïdes et comètes qui gravitent autour du Soleil.

14- *Qu'est-ce que l'Héliocentrisme ?*

L'Héliocentrisme est la théorie astronomique qui, contrairement aux apparences, considère que la Terre n'est pas immobile dans l'Espace, mais qu'elle tourne sur elle-même en un jour, et qu'elle gravite autour du Soleil en un an. Comme le mot l'indique, l'héliocentrisme place le Soleil au centre d'attraction de toutes les planètes. (Hélios = Soleil, en grec).

15- *Qu'est-ce que la Rétrogradation des Planètes ?*

Les Planètes plus éloignées du Soleil que la Terre, à savoir Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune et Pluton semblent chaque année s'arrêter dans leur déplacement vers l'Est, retourner en arrière vers l'Ouest, et repartir vers l'Est. Ce mouvement apparent, connu depuis la plus haute antiquité, s'explique par l'héliocentrisme: la Terre tournant plus vite autour du Soleil, dépasse les planètes lointaines qui semblent alors reculer. L'amplitude de cette Rétrogradation est d'autant plus petite que la planète est plus lointaine.

16- *Qui a découvert les Lois qui régissent le Système Solaire ?*

Un grand nombre de chercheurs, observateurs et calculateurs ont contribué à la découverte de ces lois, depuis les Anciens: Eudoxe, Aristarque, Hipparque, Ptolémée. Mais c'est surtout à partir de Copernic que l'Héliocentrisme s'imposa, comme la seule explication logique du mouvement apparent des Planètes.

Tycho-Brahé mesura avec grand soin les positions des planètes, surtout la planète Mars, dont Képler étudia l'orbite. Ce dernier en déduisit les Lois qui régissent le Système Solaire. Ensuite Newton démontra mathématiquement que ces lois dépendent de la Gravitation Universelle. Laplace exposa et rédigea définitivement tous ces résultats dans son « Système du Monde » et sa « Mécanique Céleste ».

17- *Qu'est-ce qu'un Satellite ?*

C'est un astre qui gravite autour d'une planète, comme la Lune autour de la Terre, et qui est entraîné par elle autour du Soleil. Toutes les planètes, hormis Mercure et Vénus, possèdent un ou plusieurs satellites.

18- Qu'est-ce qu'un Astéroïde ?

C'est un astre de petites dimensions qui gravite non pas autour d'une planète mais qui tourne autour du Soleil. Il existe entre Mars et Jupiter une ceinture d'astéroïdes. Leur taille ne dépasse guère 1000 km. Actuellement (30 nov. 2001) 32 729 de ces « petites planètes » sont numérotés, (orbite connue). Le premier astéroïde, Cérès, diamètre 930 km, fut découvert le 1er janvier 1801 par Piazzi.

Ces astéroïdes se répartissent ainsi dans le système solaire:

- ⇒ Ceux de la ceinture principale: les plus nombreux. On estime à un million le nombre de ceux dont le diamètre dépasse 1 km.
- ⇒ Les « Centaures » compris entre Jupiter et Neptune. (83 au 30 nov. 2001)
- ⇒ Les transneptuniens (TNO) circulant au-delà de Neptune (487 au 30 nov. 2001). Ils appartiennent à la "ceinture de Kuiper". Pluton en fait partie.
- ⇒ Les atypiques, (type "Hidalgo") qui n'entrent pas dans ces catégories. (87 au 30 nov. 2001)
- ⇒ Les NEO (near earth objets) ou "géocroiseurs" qui s'approchent de l'orbite terrestre. Ce sont les objets A.A.A. (voir ci-dessous). On en dénombre 1619 au 30 nov. 2001.

On distingue les silicatés riches en fer, les carbonés, les métalliques, plus quelques autres mal connus (unknowns)

19- Que sont les Objets A.A.A. ?

Ces astéroïdes sont de 3 types:

- ⇒ Le type « Aten », astéroïdes qui circulent à l'intérieur de l'orbite terrestre (demi-grand axe inférieur à 1 U.A.) - 122 au 30 nov. 2001.
- ⇒ Le type « Amor » astéroïdes qui s'approchent de l'orbite terrestre, par l'extérieur (périgée inférieur à 1,3 U.A.) - 759 au 30 nov. 2001.
- ⇒ Le type « Apollo », astéroïdes qui croisent l'orbite terrestre (périgée inférieur à 1 U.A.) - 738 au 30 nov. 2001.

Les astéroïdes qui s'approchent à moins de 0,05 U.A. (20 fois la Lune) sont dit potentiellement dangereux (PHA : potentially hazardous asteroids). On en connaît 347 (au 30 nov.2001), dont 84 à moins de 0,01 U.A. et 5 à moins de 0,001 U.A.

20- Qu'est-ce qu'un Météore ?

Tout objet qui entre dans l'atmosphère terrestre et y devient visible est un Météore.

21- Qu'est-ce qu'une Etoile Filante ?

C'est un objet de petites dimensions, de l'ordre du millimètre, qui tombe sur la Terre à grande vitesse, et qui en pénétrant dans l'atmosphère s'échauffe, brûle et produit une suite d'étincelles en traversant les couches ionisées de la haute atmosphère. Les Etoiles Filantes sont de petites météorites.

Il existe de grosses météorites qui, lorsqu'elles dépassent le kilo, peuvent atteindre le sol. Ce sont alors des « bolides ».

Les météorites sont de 3 sortes:

⇒ **Les sidérites, météorites métalliques composées surtout de fer et de nickel.**

⇒ **Les météorites pierreuses composées surtout de silicates.**

⇒ **Les sidérolithes, composées d'un mélange des deux.**

La plus grosse météorite connue est celle de Hoba en Namibie; elle pèse 60 tonnes.

On estime que la Terre reçoit 200.000 t de météorites par an dont 1% parvient au sol.

22- Qu'est-ce qu'une Comète ?

C'est un corps céleste qui gravite autour du Soleil, composé de glaces et de roches, de corps volatils et de poussières variées, et qui, en s'approchant du Soleil, s'échauffe et émet par évaporation une ou plusieurs traînées de particules gazeuses et poussiéreuses que la lumière du Soleil rend visibles. (Du grec Komêtès: chevelu).

Une comète est composée d'un noyau solide, d'une chevelure et d'une ou plusieurs queues. On en connaît environ 900, toutes différentes, dont une trentaine croise l'orbite terrestre.

Il y a trois sortes de comètes:

⇒ **Les comètes « périodiques » ou comètes « elliptiques » dont le retour est prévisible; elles décrivent des ellipses autour du Soleil.**

⇒ **Les comètes « paraboliques » et « hyperboliques » qui ne passent qu'une seule fois autour du Soleil, décrivant une parabole ou une hyperbole.**

23- Qu'appelle-t-on le Nuage d'Oort ?

C'est une zone de l'Espace très éloignée du Soleil, sphérique autour du soleil, où un grand nombre de comètes sont en suspens, et d'où elles peuvent descendre par le fait de l'attraction solaire, pour se rapprocher de nous et se rendre visibles.

C'est l'astronome hollandais Oort qui a émis l'hypothèse de l'existence de ce « Nuage ». Sa distance est comprise entre 10 000 et 100.000 U.A.

24- *Qu'est-ce qu'une Constellation ?*

Une Constellation est un groupement apparent d'étoiles représentant une figure conventionnelle sur la voûte céleste, telle la Grande Ourse, le Lion, le Dauphin... Les noms anciens des Constellations remontent au troisième millénaire avant notre ère.

Les noms des Constellations de l'hémisphère Sud remontent au XVIII^{ème} Siècle. Elles ont été, pour la plupart, nommées par l'Abbé de la Caille.

25- *Combien y a-t-il de constellations ?*

Il y a 88 constellations recouvrant toute la sphère céleste. La plus petite est la Croix du Sud. La plus grande est l'Hydre Femelle. Le Pôle Sud est dans la constellation de l'Octant, le Pôle Nord dans la Petite Ourse. Les limites actuelles des constellations sont déterminées par les méridiens et les parallèles célestes.

26- *Qu'appelle-t-on les Constellations Circumpolaires ?*

Comme le nom l'indique, on désigne ainsi les Constellations les plus proches de l'Etoile Polaire, et qui à nos latitudes (45°), restent toujours au dessus de l'horizon en toute heure de la nuit et en toute saison.

27- *Qu'est-ce que le Pôle Céleste ?*

Le Pôle Céleste est la projection sur la sphère céleste du pôle terrestre. Si l'on considère l'axe de rotation de la Terre passant par les deux pôles, cet axe rencontre la sphère céleste au pôle céleste Nord et au pôle céleste Sud.

28- *Qu'appelle-t-on le Mouvement Diurne ?*

C'est la rotation de la Terre sur elle-même en 24 heures, d'ouest en est. Ce Mouvement se voit, inversé (d'est en ouest), dans la rotation des Etoiles autour de l'Etoile polaire en 24 heures.

29- *Qu'est-ce que la « Révolution » des astres ?*

La Révolution d'un astre est le mouvement de translation dans l'espace qu'il effectue en tournant autour du centre d'attraction qui le retient par gravité. La Révolution de la Terre autour du Soleil dure un an. Elle parcourt ainsi son orbite à la vitesse moyenne de 108 000 km. à l'heure.

30- *Qu'est-ce que l'Equateur Céleste ?*

L'Equateur Céleste est la projection sur la sphère céleste de l'équateur terrestre. Un homme situé à l'équateur de la Terre a, sans cesse, au-dessus de lui l'Equateur Céleste, à mesure que la Terre tourne sur elle-même.

31- Qu'est-ce que l'Ecliptique ?

L'Ecliptique, comme le nom l'indique, est le lieu de la sphère céleste où se produisent les éclipses, soit de Lune soit de Soleil. Ce lieu est le chemin suivi par le Soleil dans le ciel. Inversement, un observateur qui serait situé au centre du Soleil verrait la Terre, au cours de l'année parcourir l'Ecliptique.

Le plan de l'Ecliptique est le plan déterminé par la Terre dans sa course autour du Soleil. Le pôle de l'Ecliptique est la perpendiculaire à ce plan; il est dirigé vers la constellation du Dragon.

32- Qu'appelle-t-on l'Inclinaison des astres ?

Ce mot recouvre deux choses:

1- L'angle que fait l'axe des pôles de l'astre considéré avec le pôle de l'écliptique ou, si l'on préfère, l'angle que fait l'équateur de l'astre avec l'écliptique. C'est ainsi que la Terre est inclinée de $23^{\circ} 27' 08''$. (variation infime de $-46'',84$ par siècle). C'est cette inclinaison qui détermine les saisons: quand le pôle Nord est incliné vers le Soleil, c'est l'été dans l'hémisphère Nord, l'hiver dans l'hémisphère Sud; inversement 6 mois après, quand le pôle Sud est incliné vers le Soleil.

2- L'angle que fait l'orbite de l'astre considéré sur l'écliptique. Pour la Terre cet angle est nul puisque son orbite détermine l'écliptique, mais pour les autres planètes, il peut atteindre plusieurs degrés, ex: 7° pour Mercure...

33- Que sont les Tropiques ?

Les Tropiques sont, sur la Terre, les deux latitudes où, au moment des solstices d'été et d'hiver, le Soleil passe au Zénith. Pour le solstice d'été c'est le tropique Nord, ou tropique du Cancer, situé à $23^{\circ} 27'$ au-dessus de l'Equateur. Pour le solstice d'hiver c'est le tropique Sud, ou du Capricorne, à $23^{\circ} 27'$ au-dessous de l'Equateur.

34- Qu'est-ce que le Cercle Polaire ?

Le Cercle Polaire est la latitude à laquelle le Soleil rase l'horizon sans se coucher aux Solstices. Pour l'hémisphère nord, le Cercle Polaire se situe à $90^{\circ} - 23^{\circ} 27'$ soit $66^{\circ} 33'$.

35- Qu'est-ce que le Solstice ?

Le Solstice est le jour de l'année où le Soleil est soit le plus haut (été), soit le plus bas (hiver) au-dessus de l'horizon.

Ainsi, au Solstice d'été, à nos latitudes de 45° , le Soleil se trouve à $45^{\circ} + 23^{\circ} 27'$ soit $68^{\circ} 27'$. C'est le plus long jour de l'année. Au Solstice d'hiver, il se trouve à $45^{\circ} - 23^{\circ} 27'$ soit $21^{\circ} 33'$. C'est le plus petit jour de l'année.

36- Qu'est-ce que l'Equinoxe ?

L'Equinoxe, comme le mot l'indique, est le jour de l'année où les jours sont égaux aux nuits sur toute la Terre. La nuit est de 12 h., le jour de 12h. pour tous. Le Soleil rase l'horizon au pôle Nord et au pôle Sud. Ce jour là, le Soleil est sur l'Equateur céleste, à son intersection avec l'Ecliptique. A nos latitudes, il est à 45° de hauteur, à midi. A l'Equateur terrestre, il passe au Zénith (90°). Le phénomène se produit deux fois par an, aux Equinoxes de printemps et d'automne.

37- Qu'appelle-t-on le « Point Vernal » ?

Le Point Vernal, que l'on appelle aussi Point Gamma du nom de la lettre grecque (γ), est le point de la sphère céleste où se trouve le centre du Soleil au moment de l'équinoxe de printemps. Ce point se situe actuellement dans la Constellation des Poissons. Sur une carte céleste il est l'intersection de l'Equateur et de l'Ecliptique. Le méridien céleste passant par le point vernal est le méridien origine (0h).

38- Qu'est-ce que la Précession des Equinoxes ?

C'est le déplacement du point vernal sur la sphère céleste au cours du temps. Ce déplacement a son origine dans le fait que l'axe des pôles terrestres pivote sur lui-même, tel une toupie. Il décrit dans l'espace, dans le sens rétrograde, un cône de 23° 27' d'ouverture. Ce mouvement est très lent puisque, pour accomplir un tour entier, il faut 25 787 ans.

Il en résulte, qu'au cours du temps, les pôles Nord et Sud se déplacent parmi les étoiles; la sphère céleste semble « basculer » et les coordonnées célestes changent. Certaines étoiles, pour un lieu donné, disparaissent à l'horizon et d'autres deviennent visibles. C'est pour cette raison que, chaque année, les Equinoxes de printemps et d'automne se produisent 3,075 secondes plus tôt que l'année précédente. Ce phénomène était connu des Anciens; il a été étudié par Hipparque.

39- Qu'est-ce que le Zodiaque ?

Comme le mot l'indique (Zona = ceinture), le Zodiaque est une « ceinture » de la sphère céleste, de part et d'autre de l'Ecliptique, où se situent les Constellations dans lesquelles passe le Soleil au cours de l'année, la Lune au cours de la lunaison et les planètes au cours de leur révolution autour du Soleil. Ce sont les constellations zodiacales, ou les signes du Zodiaque, au nombre de 12. Le Zodiaque s'étend sur environ 8° de latitude, de part et d'autre de l'écliptique.

Le point vernal met 25 787 ans /12, soit 2 000 ans environ pour traverser chaque signe, en raison de la Précession des Equinoxes. Il est, depuis l'ère chrétienne, dans les Poissons. Ainsi le premier des signes du Zodiaque est

actuellement « les Poissons », et non plus le Bélier. Le point vernal va entrer prochainement dans le Verseau.

40- Quelle est la Course décrite par les planètes autour du Soleil ?

Cette Course, que l'on appelle aussi « Orbite », est une Ellipse dont le Soleil occupe, non pas le centre, mais l'un des foyers. On croyait autrefois que les planètes décrivaient dans l'espace des cercles. Ce fut Képler qui démontra que l'irrégularité de leur marche au cours du temps ne peut s'expliquer que si les planètes décrivent des ellipses.

41- Qu'est-ce que le Périhélie ?

Le Périhélie est le point de l'orbite le plus proche du Soleil. On parle aussi de Périastre: point de l'orbite le plus proche d'un astre; et de Périgée: point de l'orbite le plus proche de la Terre. A son Périhélie, la Terre est à 147 millions de km du Soleil.

42- Qu'est-ce que l'Aphélie ?

L'Aphélie est le point de l'orbite le plus éloigné du Soleil. On parle aussi d'Apoastre et d'Apogée. A son Aphélie la Terre est à 152 millions de km du Soleil.

43- Qu'est-ce que le Demi-Grand Axe ?

Le Demi-Grand Axe est la moitié du grand axe de l'ellipse décrite par un astre dans l'Espace. Considérons le Demi-Grand Axe de l'ellipse terrestre autour du Soleil: il détermine la distance moyenne de la Terre au Soleil. Cette distance est de 149,6 millions de km (149.597.870 km).

44- Qu'est-ce que l'Excentricité de l'ellipse ?

C'est un nombre, compris entre 0 et 1 qui définit son « aplatissement » par rapport au cercle. Le cercle a une excentricité égale à zéro, alors que les orbites très allongées, comme celles de certaines comètes périodiques (Halley par exemple) ont des excentricités voisines de 1.

Si l'on désigne par OF la distance du centre de l'ellipse au foyer et par (a) le demi-grand axe, le rapport $OF/a = e$, est l'excentricité de l'ellipse.

45- Quelles sont les Trois Lois de Képler ?

Ces trois lois établies par Képler en 1609 et 1619 à partir des observations de Tycho-Brahé sur les planètes, sont les lois principales de la Mécanique Céleste, lorsque l'on considère deux astres en mouvement l'un par rapport à l'autre, comme la Terre par rapport au Soleil. Ces trois lois sont les suivantes:

1°- Les planètes décrivent autour du Soleil des « ellipses planes » dont le Soleil occupe l'un des foyers.

2°- Ces ellipses sont décrites suivant la « loi des aires ». Cette loi découle directement de l'observation suivante: lorsque la planète est à son aphélie, elle tourne lentement et ne décrit en un temps donné qu'un petit arc d'ellipse; lorsqu'elle est à son périhélie, elle tourne vite et décrit, en un temps donné, un grand arc d'ellipse. Cette loi s'énonce ainsi: Le triangle formé par l'arc d'ellipse décrit par la planète et les deux rayons vecteurs en provenance du Soleil, garde en des temps égaux la même surface.

3°- Le rapport du cube des demi grands axes (a) au carré des temps (T) de révolution est le même pour toutes les planètes. $a^3 / T^2 = \text{Constante}$.
On démontra par la suite que ce nombre est proportionnel à la somme des masses du Soleil et de la planète considérée.

46- Qu'est-ce que la Loi de la Gravitation ?

Newton en 1687 expliqua que les lois de Képler dérivent mathématiquement d'une seule loi que l'on appelle la « Loi de la Gravitation » et qui s'énonce ainsi: La force d'attraction (F) qui dans l'espace attire deux masses pesantes, est proportionnelle au produit de leurs masses (M et m) et inversement proportionnelle au carré de leur distance (D).

$$F = K.M.m / D^2 \text{ (où K est la constante de la gravitation universelle).}$$

47- Qu'est-ce que l'Année Tropicque ?

C'est le temps qui s'écoule pour que la Terre revienne chaque année au point vernal, soit à l'équinoxe de printemps, compte tenu que le point vernal rétrograde chaque année de 3,075 secondes de temps à cause de la précession. L'Année Tropicque est de 365 jours 5 heures 48 minutes et 46 secondes ou 365,2422 jours.

48- Qu'est-ce que l'Année Sidérale ?

C'est le temps qui s'écoule pour que la Terre revienne chaque année en face d'une étoile fixe de la sphère céleste. Cette année dure 365 jours 6 heures 9 minutes et 10 secondes ou 365,256 365 jours. L'année sidérale détermine un tour exact de la Terre autour du Soleil.

49- Qu'est-ce que l'Année Anomalistique ?

C'est le temps qui s'écoule pour que la Terre revienne chaque année à son périhélie, compte tenu que le périhélie terrestre tourne légèrement dans l'espace. Il avance de 0,7746 secondes de temps par an. Cette année dure 365 jours 6 heures 13 minutes et 53 secondes.

50- *Qu'est-ce que la Nutation ?*

La Nutation, comme le mot l'indique (nutare = osciller, se balancer) est une oscillation de l'axe des pôles, provoquée par la révolution de la Lune autour de la Terre.

Ainsi l'axe des pôles décrit une petite ellipse de 9''21 (seconde d'arc) de demi-grand axe, et de 6''86 de demi-petit axe en 18,6 ans. Ces 18,6 ans correspondent au temps du déplacement du plan de l'orbite lunaire par rapport à l'écliptique. La Nutation fut découverte par Bradley en 1748.

51- *Qu'est-ce que l'Aberration de la lumière ?*

Découverte aussi par Bradley, en 1727, l'Aberration de la lumière est une déviation apparente des rayons lumineux qui nous viennent de l'Espace. Cette déviation est due au fait que la Terre n'est pas immobile, mais en mouvement autour du Soleil. La vitesse de la Terre (108 000 km/h) représente une fraction non négligeable de la vitesse de la lumière (300 000 km/s). Il y a alors composition des vitesses: lorsque la Terre va à la rencontre du rayon lumineux, ce dernier semble dévié dans un sens, lorsqu'elle s'en éloigne, il semble dévié dans l'autre sens. Si bien que l'étoile semble décrire une petite ellipse de 20'',496 de demi-grand axe.

52- *Qu'est-ce que la Réfraction Atmosphérique ?*

C'est la déviation du rayon lumineux venant des astres, due à l'atmosphère terrestre. Le rayon lumineux change de direction en traversant le nouveau milieu: il est réfracté. Sa réfraction est d'autant plus grande qu'il arrive plus obliquement. Au Zénith, la réfraction est nulle; à l'horizon, elle atteint 36' 36''.

53- *Qu'est-ce que la Turbulence Atmosphérique ?*

C'est la déviation du rayon lumineux venant des astres, provoquée par les vents et les remous de l'atmosphère terrestre. Elle varie à chaque instant.

54- *Qu'est-ce qui explique les Phases de la Lune ?*

Au cours de la lunaison, la partie de la Lune éclairée par le Soleil se présente à nous sous un angle qui varie de 0 à 360°. Lorsqu'on est à la Nouvelle Lune, la Lune est dans la même direction que le Soleil (0°), entre le Soleil et nous; sa face éclairée est invisible. Lorsque la Lune est à son premier ou dernier quartier, elle est en quadrature avec le Soleil (90° ou 270°): on ne la voit que par moitié. A la pleine Lune, elle est opposée au Soleil (180°): sa face éclairée est entièrement visible.

55- *Qu'est-ce que la Lunaison ?*

La Lunaison est le temps qui sépare une Nouvelle Lune de la suivante. C'est ce que l'on appelle aussi la révolution synodique de la Lune (Sun-odos = qui marche avec le Soleil et la Terre). Ce temps est de 29 jours 12 heures 44 minutes 2,8 secondes.

A cause du déplacement de la Terre autour du Soleil pendant la lunaison, ce temps est plus long que la révolution sidérale de la Lune (un tour exact autour de la Terre) qui est de 27j 7h 43m 12s. Il est plus long que la révolution anomalistique de la Lune (retour de la Lune au périégée) qui est de 27j 13h 18m 33s.

56- Qu'appelle-t-on la « Ligne des Noeuds » ?

Lorsque le Soleil, la Lune et la Terre sont situés sur une même ligne droite dans l'espace, une éclipse se produit, soit de Lune soit de Soleil; les 3 astres sont sur la Ligne des Noeuds. La Ligne des Noeuds est l'intersection de deux plans: celui de l'Ecliptique et celui de l'orbite de la Lune.

Lorsque la Lune franchit la Ligne des Noeuds en montant sur l'Ecliptique, elle est à son « Noeud ascendant »; lorsqu'elle franchit la Ligne des Noeuds en descendant sous l'Ecliptique, elle est à son « Noeud descendant ». Il y a une ligne des noeuds entre le plan de l'Ecliptique et le plan orbital de chaque objet du Système Solaire.

57- Qu'est-ce que la Révolution Draconitique de la Lune ?

Du mot Draco = dragon, animal fabuleux qui semblait dévorer la Lune ou le Soleil au moment des éclipses, la Révolution Draconitique est le temps que met la Lune pour revenir à son noeud ascendant, sachant que la ligne des noeuds n'est pas fixe dans l'espace: elle tourne dans le sens rétrograde et effectue un tour complet en 18,6 ans. La Révolution Draconitique est de 27 jours 5 heures 5 minutes 35 secondes.

58- Qu'est-ce que la Libration de la Lune ?

La Libration est le fait que l'on voit tantôt un peu plus le bord ouest, tantôt un peu moins le bord est de la Lune et inversement. Cet effet est dû, d'une part au fait que la Lune ne va pas toujours à la même vitesse sur son orbite alors qu'elle tourne régulièrement sur elle-même, d'autre part à l'inclinaison de l'axe des pôles de la Lune sur son orbite (5° 41').

La Lune présente toujours à la Terre la même face, du fait qu'en tournant autour de la Terre, elle tourne d'un angle égal sur elle-même: sa rotation est égale à sa révolution sidérale: 27 jours 7 heures 43 minutes 12 secondes. Mais en raison de la Libration, on peut voir jusqu'à 59% de la surface lunaire.

59- Qu'est-ce que la Lumière Cendrée ?

C'est la lumière diffusée par la Terre, « clair de Terre », sur la partie obscure de la Lune. Cette dernière apparaît lorsque la Lune est sous forme de croissant, quelques jours après ou avant la Nouvelle Lune.

60- Qu'est-ce que le Terminator ?

C'est la portion du sol lunaire qui fait la transition entre la partie éclairée et la partie obscure de la Lune. Au Terminator la lumière solaire est rasante, car

le Soleil se lève ou se couche sur la Lune. Les ombres sont grandes et le relief lunaire apparaît fortement.

61- *Qu'est-ce qu'une Eclipse de Lune ?*

Ce phénomène est un obscurcissement de la pleine Lune, soit partiel, soit total, lorsque la Lune arrivant au voisinage de la ligne des noeuds, passe dans l'ombre de la Terre. La Terre se trouve alors entre le Soleil et la Lune. Lorsque les 3 astres sont parfaitement alignés, ils sont sur la ligne des noeuds, il y a Eclipse totale et centrale. L'Eclipse de Lune est visible de toute la partie de la Terre qui est dans la nuit.

62- *Qu'est-ce qu'une Eclipse de Soleil ?*

Ce phénomène se produit lorsque la Nouvelle Lune - se trouvant entre la Terre et le Soleil - cache le disque du Soleil, en partie ou en totalité, pour certains lieux de la Terre. Se produit alors une zone d'ombre et de fraîcheur. Comme la Lune est beaucoup plus petite que la Terre, le cône d'ombre arrivant sur la Terre est étroit, et l'Eclipse de Soleil n'est visible que sur une petite portion du jour terrestre.

63- *Qu'est-ce que le Saros ?*

Le mot signifie balai, d'où balayage. C'est la période de temps correspondant au retour de la même éclipse. Cette période est de 18 ans et 11 jours. Le Saros s'explique par le changement d'orientation de la ligne des noeuds au cours du temps. Cette période comprend 223 lunaisons et 242 révolutions draconitiques. En un Saros il y a en moyenne 42 éclipses de Lune, 42 éclipses de Soleil.

64- *Qu'est-ce qu'une Conjonction ?*

On dit que deux ou plusieurs astres sont en Conjonction lorsqu'on les voit dans la même direction. Ils se trouvent alors à une même longitude écliptique: les astres sont alignés avec le pôle de l'Ecliptique; ou à une même longitude équatoriale, les astres sont alignés avec le pôle céleste.

Cette conjonction est géocentrique si elle se produit entre les astres et la Terre, héliocentrique si elle se produit entre les astres et le Soleil. On parle de Conjonction inférieure pour Mercure et Vénus, lorsque ces astres sont entre le Soleil et nous, supérieure lorsqu'ils sont au-delà du Soleil.

65- *Qu'est-ce qu'une Opposition ?*

Deux astres sont en Opposition, lorsque, par rapport à la Terre, ils sont dans deux directions opposées: leur longitude géocentrique diffère de 180°. Prenons le cas de la Lune: elle est en opposition avec le Soleil au moment de la pleine Lune alors qu'elle est en conjonction avec le Soleil au moment de la Nouvelle Lune.

66- *Qu'est ce que la Révolution Synodique d'une planète ?*

« Sun-odos = qui chemine avec », ici avec la Terre. La Révolution Synodique est le temps que met la planète pour se retrouver en face de la Terre par rapport au Soleil.

Sachant que les planètes tournent d'autant plus lentement qu'elles sont plus loin, ce temps sera différent pour chacune d'elles. Planète et Terre ont alors la même longitude héliocentrique.

67- *Qu'est-ce qu'une Occultation ?*

Il y a « Occultation », lorsqu'un astre en cache un autre. Par exemple lorsque la Lune passe devant une étoile, il y a occultation de l'étoile; ou qu'une planète occulte une étoile ou l'un de ses satellites...

Un astre petit ne saurait occulter un astre plus gros; on parle alors de « passage » devant la planète, ou devant le Soleil... exemple: passage de Mercure devant le Soleil.

68- *Qu'est-ce que l'Elongation d'un astre ?*

L'Elongation d'un astre est l'angle formé par la direction de l'astre et la direction du Soleil vus depuis la Terre. Cette expression s'emploie surtout pour les planètes dites « inférieures », Mercure et Vénus. L'Elongation est maximale lorsque, depuis la Terre, l'astre s'écarte au plus du Soleil.

Pour Vénus, l'élongation maximale peut aller jusqu'à 47° 45', pour Mercure jusqu'à 27° 45'.

69- *Qu'appelle-t-on la Vitesse de Libération ?*

C'est la Vitesse qu'il faut imprimer à un corps pour qu'il échappe à l'attraction de l'astre sur lequel il se trouve. La vitesse de libération terrestre est de 11,2 km/s.

70- *Qu'est-ce que l'Albédo ?*

C'est un nombre qui définit, de 0 à 1, la quantité de lumière diffusée par l'astre, par rapport à la lumière qu'il reçoit. Plus un astre est blanc, recouvert de neige ou de glace pure, par exemple, plus son albédo se rapproche de 1. Plus un astre est noir, recouvert de charbon par exemple, plus son albédo se rapproche de 0.

71- *Qu'est-ce que la Photosphère du Soleil ?*

La Photosphère est la surface brillante du Soleil, (photo = lumière) formée de gaz incandescents à une température voisine de 5800°. C'est en fait une couche de 300 km d'épaisseur.

Vue dans un instrument approprié, elle apparaît sous la forme de « grains de riz » ou granules qui se forment et se déforment à chaque instant. Ces grains, d'un diamètre de 1000 km environ, sont l'émergence des tourbillons qui agitent les couches internes du Soleil. La surface du Soleil est comme en « ébullition » continue.

72- *Qu'est-ce que sa Chromosphère ?*

La Chromosphère est la zone de la basse atmosphère solaire qui surmonte la photosphère. Elle a environ 2000 km d'épaisseur. Elle n'est visible que lors des éclipses totales ou annulaires, ou encore dans les coronographes. Sa couleur est rouge, (chroma = couleur) car le gaz dominant qui la compose est l'hydrogène, qui rayonne principalement dans le rouge (raie alpha).

Le sommet de la chromosphère est hérissé de petites flammes appelées spicules, du mot spica = épi. Ainsi le Soleil est-il semblable à un grand champ de blé agité par un vent violent.

73- *Que sont les Taches Solaires ?*

Ce sont des zones sur la surface du Soleil qui paraissent sombres et dont la température est moins élevée que le reste de la photosphère.

Ces zones sont le siège d'intenses tourbillons magnétiques qui creusent leur surface en entonnoir. Leur grandeur peut atteindre 100 000 km, leur durée plusieurs semaines.

Contrairement aux taches solaires, les « Facules » sont des plages brillantes de la chromosphère. Leur température est supérieure à la moyenne.

74- *Que sont les Protubérances ?*

Les Protubérances sont des jets puissants de gaz incandescents qui s'échappent du Soleil et forment des colonnes et des volutes pouvant s'élever à de très grandes distances au-dessus de la Photosphère.

75- *Qu'est-ce que la Couronne Solaire ?*

La Couronne Solaire, visible lors des Eclipses totales de Soleil ou dans les coronographes, constitue la haute atmosphère du Soleil. C'est l'ensemble des jets de gaz chauds produits par la photosphère. Sa densité est faible, alors que sa température atteint le million de degrés, en raison de la vitesse des particules. La couronne a un aspect changeant. Elle peut être visible jusqu'à deux ou trois fois le diamètre du Soleil.

76- *Qu'appelle-t-on le Cycle Solaire ?*

C'est la période de 11 ans environ, pendant laquelle l'activité solaire passe par un maximum et un minimum. Au maximum, le champ magnétique du

Soleil est puissant, les taches sont nombreuses, les protubérances sont spectaculaires, pouvant atteindre 300 000 km de haut.

Ce Cycle est dû aux mouvements de convection et d'enroulement de la matière, causés par la rotation différentielle du Soleil (l'équateur tourne moins vite que les pôles).

77- *Qu'est-ce que le Vent Solaire ?*

C'est l'émission de particules ionisées (principalement protons et électrons) provenant de la Photosphère et de la Couronne, et qui s'en va très loin dans l'Espace autour du Soleil. Ce flux de particules atteint, au voisinage de la Terre, une vitesse moyenne de 400 km/s.

78- *Qu'est-ce qu'une Aurore Boréale ?*

Ce phénomène se produit lorsque les particules ionisées du vent solaire viennent tournoyer dans le champ magnétique terrestre, et forment alors des draperies colorées, visibles des latitudes élevées, voisines du cercle polaire.

79- *Qu'est-ce que le Zénith ?*

C'est le point de la sphère céleste défini par la verticale du lieu où l'on se trouve. Le Zénith fait un angle de 90° avec l'horizon.

80- *Qu'est-ce que le Méridien d'un lieu ?*

C'est la ligne tracée sur la sphère céleste qui passe par les Pôles et le Zénith. Ainsi le Méridien divise le ciel en deux parties: l'est et l'ouest.

81- *Qu'est-ce que la Sphère d'Eudoxe ?*

Eudoxe est l'Astronome (4ème S. avant J.C.) qui a imaginé de diviser la sphère céleste en méridiens et en parallèles, pour situer les astres en longitude et en latitude célestes. Il utilisa la division sexagésimale qui remontait aux Chaldéens. Elle est encore en vigueur aujourd'hui.

82- *Qu'appelle-t-on la Latitude Céleste ?*

C'est l'angle qui définit l'élévation de l'astre dans le ciel. Cet angle est compté depuis l'Equateur céleste (ou depuis l'Ecliptique), de 0° à +90° vers le Nord, de 0° à -90° vers le Sud.

83- *En quoi diffère-t-elle des Latitudes Terrestres ?*

On définit en général la latitude d'un lieu par l'angle que fait la verticale du lieu (sans tenir compte des déviations locales de la verticale) avec le plan de l'Equateur. Elle est donc déterminée par la latitude céleste ou astronomique.

Parfois on fait appel à la latitude géocentrique, qui se définit par l'angle au centre de la Terre entre le lieu et l'équateur. La différence, due à l'aplatissement de la Terre, entre ces deux latitudes atteint 12' aux latitudes voisines de 40°.

84- Où est l'origine des Longitudes Célestes ?

La sphère céleste est divisée en 24 méridiens (24h) dont le méridien origine (0h) passe au point vernal. Ce méridien détermine l'origine des Longitudes Célestes (écliptiques et équatoriales).

Comme le point vernal se déplace à cause de la précession, il faut toujours préciser la date de l'établissement des coordonnées célestes: Equinoxes 1900, 1950, 2000 ...

85- Qu'appelle-t-on les Coordonnées d'un Astre ?

On appelle Coordonnées d'un Astre les deux nombres qui déterminent la position de l'astre sur la sphère céleste: sa position en latitude et sa position en longitude.

86- Qu'appelle-t-on les Coordonnées Equatoriales ?

Les Coordonnées Equatoriales sont établies par rapport à l'Equateur Céleste. La latitude équatoriale s'appelle la Déclinaison; elle est comptée depuis l'Equateur Céleste en degrés, minutes et secondes d'arc (° ' "). On la désigne généralement par la lettre grecque: Delta (δ).

La longitude équatoriale s'appelle l'Ascension Droite; elle est comptée à partir du méridien origine qui passe au point vernal. Elle est évaluée en heures, minutes et secondes de temps (h.m.s.). On la désigne habituellement par la lettre grecque: Alpha (α) ou par AR (Ascensio Recta).

87- Qu'est-ce que l'Angle Horaire ?

L'Angle Horaire est la différence que l'on compte en heures, minutes et secondes, entre la position de l'astre sur la Sphère Céleste et son passage au méridien du lieu de l'observation. Quand, en raison du mouvement diurne, l'astre arrive au méridien, son angle horaire s'annule. L'Angle Horaire est donc la différence entre l'heure sidérale locale et l'ascension droite de l'astre.

88- Qu'appelle-t-on les Coordonnées Ecliptiques ?

Les Coordonnées Ecliptiques s'établissent par rapport à l'Ecliptique. La latitude écliptique est comptée depuis l'Ecliptique en degrés. La longitude écliptique est comptée sur l'Ecliptique depuis le point vernal. Elle est évaluée en degrés. Les Coordonnées Ecliptiques sont utilisées pour l'étude du mouvement des astres du système solaire.

89- *Qu'appelle-t-on les Coordonnées Galactiques ?*

Les coordonnées galactiques s'établissent à partir de l'Equateur Galactique qui partage notre Voie Lactée entre sa partie Nord et sa partie Sud. On prend l'Equateur Galactique comme origine de la latitude galactique et la direction du centre de la Galaxie comme origine des longitudes galactiques. Ces coordonnées sont utilisées pour situer la position des galaxies dans l'Espace par rapport à la Nôtre et, aussi, dans l'étude du mouvement des Etoiles dans notre propre Galaxie.

90- *Qu'appelle-t-on les Coordonnées Azimutales ?*

Les Coordonnées Azimutales ou Locales se définissent par rapport à l'horizon du lieu. La « Hauteur » (h) de l'astre est comptée depuis l'horizon jusqu'au Zénith. « L'Azimut » (A) est compté horizontalement à partir du Sud, dans le sens des aiguilles d'une montre, et en degrés. Ces coordonnées sont nécessaires à l'instrument astronomique installé en position azimutale.

91- *Peut-on passer d'un système de coordonnées à un autre ?*

Oui, par le moyen des formules de trigonométrie sphérique qui font intervenir les angles définissant les coordonnées et l'angle horaire. La trigonométrie sphérique est indispensable dans l'Astronomie de position.

92- *Qu'appelle-t-on le Temps Solaire Moyen ?*

C'est la simplification universelle de la mesure du jour, que l'on compte de minuit à minuit, en divisant cet intervalle en 24 heures égales, composées chacune de 60 minutes, chacune divisée en 60 secondes. Les 24 heures sont ainsi égales à 86 400 secondes.

93- *Qu'appelle-t-on le Temps Solaire Vrai ?*

C'est la détermination du temps à partir du passage du Soleil au méridien du lieu de l'observation. Au cours de l'année, le passage du Soleil au méridien d'un lieu (à midi) varie avec un écart qui peut aller jusqu'à 16 minutes. Cette variation est due à l'inclinaison de la Terre sur l'Ecliptique et à l'excentricité de l'orbite terrestre.

De ce fait, le Soleil ne passe au méridien à midi juste que 4 fois par an: le 15 Avril, le 14 Juin, le 1 Septembre, le 25 Décembre (léger décalage à cause des années bissextiles). Pour les autres jours, il faut tenir compte de ce que l'on appelle « l'équation du temps » (= le temps solaire moyen - le temps solaire vrai). Les cadrans solaires donnent le temps solaire vrai.

94- *Qu'appelle-t-on le Temps Universel ?*

C'est le temps moyen de Greenwich, où passe le méridien terrestre pris conventionnellement pour origine des longitudes terrestres: Le méridien 0 des 24 fuseaux horaires.

95- *Qu'appelle-t-on le Temps Civil ?*

Le Temps Civil est basé sur les fuseaux horaires qui déterminent l'heure usuelle en fonction du temps solaire moyen pour les différentes longitudes terrestres.

Le Temps Civil est fixé par des décrets (temps légal) qui le déplacent artificiellement pour des raisons de commerce et d'échange avec les nations voisines.

96- *Qu'appelle-t-on le Temps Sidéral ?*

C'est le temps compté par le déplacement des Etoiles sur la voûte céleste en raison du mouvement diurne. C'est le temps mis par une étoile pour revenir au méridien, d'un jour à l'autre. Ce temps n'est pas le même que le temps solaire.

Le jour solaire est plus long que le jour sidéral du fait que la Terre se déplace autour du Soleil. En un lieu donné, le méridien du lieu retrouve l'étoile avant le Soleil. La différence est de 3m 56s, correspondant à la différence du jour solaire (24h) et du jour sidéral (23h 56m 4,091s).

On distingue le temps sidéral de Greenwich (qui correspond à l'ascension droite des Etoiles) et le temps sidéral Local, défini par le passage d'une étoile au méridien d'un lieu.

97- *Comment passe-t-on du temps solaire au temps sidéral et inversement ?*

Par le rapport qui exprime le temps sidéral au temps solaire moyen: 23h 56m 4s / 24h soit 0,9972696 ou, inversement: 1,0027379.

Ce rapport est également donné par la fraction suivante:

$$365,2422 / 366,2422$$

et inversement, différence entre l'année solaire et l'année sidérale.

98- *Qu'est-ce que le Crépuscule ?*

C'est le temps qui suit le coucher du Soleil jusqu'à ce que la nuit soit noire. L'obscurité de l'atmosphère devient totale lorsque le Soleil est à 18° au-dessous de l'horizon. C'est ce que l'on appelle le Crépuscule Astronomique, plus long que le crépuscule nautique (12°) et que le crépuscule civil (6°).

99- *Qu'appelle-t-on les Jours Juliens ?*

C'est le compte des jours qui se sont écoulés depuis que l'Empereur Jules César a fixé le Calendrier Romain, avec les années bissextiles. Il a déterminé alors une origine des temps, qu'il a fixée au 1er Janvier 4713 av. Jésus-Christ, à 12h.

Le nombre des jours juliens au 1er Janvier 2000 sera de 2 451 545. Notons que les historiens passent directement de l'année -1 à l'année 1, alors que les astronomes comptent l'année 0; pour ces derniers, l'origine des jours juliens remonte à l'an - 4712.

100- *Quelle est la règle du Calendrier Grégorien ?*

Les années bissextiles (bis-sex = 2 fois 6, soit 366 j.), une tous les quatre ans, établies par Jules César, n'équilibrent pas exactement le calendrier avec la position de la Terre autour du Soleil.

Si l'année terrestre était de 365,25 jours exactement, on gagnerait un jour entier tous les 4 ans; mais l'année terrestre est de 365,24219... jours.

Il a donc fallu améliorer le calendrier de Jules César. Le Pape Grégoire XIII le fit en l'année 1582 où l'on est passé directement du 4 au 15 Octobre pour rattraper le retard qui s'était accumulé depuis Jules César (10j.). (En France le décret fut appliqué du 9 au 20 Décembre).

Il prescrivit que désormais les années séculaires ne seraient pas bissextiles (comme 1800, 1900), mais que l'année séculaire multiple de 400 le serait (comme 2000, 2400). Cette disposition permet d'équilibrer le calendrier pour de nombreux siècles.

101- *Qu'est-ce que l'Unité Astronomique ?*

L'Unité Astronomique (UA) est la distance Terre-Soleil, prise pour unité, ou plus exactement le demi-grand axe de l'orbite terrestre. Sa valeur exacte est 149 597 870 km, arrondi à 149,6 millions de km (ou même à 150 millions de km).

102- *Qu'est-ce qu'une Année de Lumière ?*

L'année de lumière (AL) est la distance parcourue par la lumière en un an. Sachant que la lumière fait 300 000 km par seconde, l'année de lumière équivaut à 10 000 milliards de km environ, ou à 66 666 UA environ.

103- *Quelle est l'Etoile la plus proche de nous ?*

C'est l'étoile principale de la Constellation du Centaure, Alpha Centauri, dont la distance est de 4,34 AL (Hipparcos: 4,4 AL). Ainsi il faudrait 4,34 ans pour l'atteindre à la vitesse de la lumière. Que dire à une vitesse inférieure! Alpha Centauri est dans l'hémisphère Sud. C'est la deuxième étoile brillante de cet hémisphère, après Canopus.

104- *Quelle est la distance moyenne entre les étoiles ?*

Dans la région du Soleil, la distance moyenne entre les étoiles est de 7,7 AL. Si l'on représente ces étoiles par des petites perles de 1 mm de diamètre, lumineuses et diversement colorées, elles sont alors écartées de 77 km.

105- *Qu'est-ce que la Parallaxe ?*

Parallaxe = déplacement. C'est la possibilité que l'on a de connaître la profondeur de l'espace, c'est-à-dire la distance, en se déplaçant.

Ainsi, par exemple, tous les passagers de la SNCF constatent, en voyant défiler le paysage sous leurs yeux, que les arbres sont d'autant plus proches de la voie qu'ils se déplacent apparemment plus vite. Ils apprécient ainsi les différents plans du paysage.

L'écartement des 2 yeux donne également la sensation du relief, car on voit le même objet sous 2 angles différents, avec l'oeil droit et avec l'oeil gauche. C'est une parallaxe.

Ainsi l'on peut connaître la distance de la Terre à la Lune en la regardant de 2 lieux différents et suffisamment écartés sur la surface terrestre. On fait alors une mesure trigonométrique qui permet de calculer sa distance. De même pour les planètes, pour le Soleil.

Pour les étoiles proches, on utilise la distance de la Terre au Soleil (150 millions de km) et son déplacement autour du Soleil. On apprécie ainsi leur distance par l'angle sous lequel on verrait, depuis l'Etoile, la distance Terre Soleil. En un an l'étoile semble donc se déplacer sur le ciel, du double de cet angle.

106- *Qu'est-ce que le Parsec?*

C'est la distance à laquelle il faut se situer dans l'espace pour voir l'Unité Astronomique (la distance de la Terre au Soleil) sous un angle de une seconde. D'où le nom de Parsec = parallaxe-seconde (Pc). Cette distance est égale à 3,26 AL.

107- *Qu'est-ce que le Mouvement Propre d'une étoile ?*

Aucune Etoile n'est fixe dans l'Espace, mais elle participe au mouvement général de rotation différentielle de la Galaxie autour de son centre. Ce mouvement, selon l'échelle humaine est très lent. Il est toutefois appréciable et mesurable, surtout pour les étoiles proches du Soleil. La vitesse du Soleil dans la Galaxie est de 250 km/s; il accomplit un tour en 250 millions d'années environ, entraînant avec lui tout le système solaire.

108- *Que signifie le mot « Apex » ?*

L'Apex est le point de la sphère céleste vers lequel se dirige le Soleil, à la vitesse de 19,6 km/s, par rapport aux étoiles proches. Ce point se situe dans la constellation d'Hercule (coordonnées: $\alpha \approx 18h$, $\delta \approx 30^\circ$).

109- *Qu'est-ce qu'une Seconde d'Arc ?*

C'est la division du degré en 3600 parties égales. L'arc, ou angle d'une seconde est très petit: c'est celui sous lequel on voit 1 cm à 2,16 km de distance. Il faut savoir que les parallaxes d'étoiles sont toutes inférieures à la seconde d'arc. C'est dire leur éloignement. L'écartement des étoiles doubles est souvent inférieur à la seconde d'arc.

110- *Quel rapport y a-t-il entre la seconde d'arc et la seconde de temps ?*

Dans la détermination des longitudes célestes on utilise les secondes de temps, alors que pour les latitudes on utilise des unités d'angles, ou d'arcs. Le facteur de conversion des unités est déterminé par la fraction $360^\circ / 24$. Une heure = 15 degrés. Une étoile située sur l'Equateur parcourt en une heure 15° dans le ciel. Une minute de temps vaudra 15' d'arc, une seconde de temps 15'' d'arc. En une seconde de temps, une étoile située sur l'Equateur céleste parcourt dans le ciel 15 secondes d'arc.

111- *Qu'est-ce que la Magnitude Apparente d'une Etoile ?*

Comme le mot l'indique, la Magnitude Apparente détermine l'éclat de l'Etoile que l'oeil perçoit. Cet éclat dépend de deux facteurs: de la puissance intrinsèque de l'Etoile et de sa proximité. L'éclat de l'Etoile diminue en fonction du carré de la distance, il augmente en fonction de la température et de la surface de l'Etoile.

Les anciens parlaient de la « grandeur » des étoiles. Les étoiles de 1ère grandeur étaient les plus lumineuses, celles de deuxième grandeur un peu moins, et ainsi de suite. Aujourd'hui encore, les étoiles de la 1ère magnitude, (ou même de magnitude 0 ou négative), sont les plus brillantes. Le nombre qui exprime la magnitude d'un astre est d'autant plus petit que l'astre est plus lumineux. On précise assez bien les dixièmes de magnitude, très difficilement les centièmes.

112- *Qu'est-ce que la Magnitude Absolue ?*

La Magnitude Absolue est un nombre qui détermine l'éclat intrinsèque d'un astre. Cet éclat intrinsèque nous apparaîtrait réellement si toutes les étoiles étaient à la même distance: les plus brillantes seraient toujours les plus puissantes. On fixe donc une distance standard, située à 10 parsecs, soit 32,6 AL, pour déterminer la Magnitude Absolue.

La magnitude absolue de l'astre sera donc l'éclat apparent qu'il aurait à cette distance. Ainsi le Soleil, à cette distance, aurait une magnitude absolue (et apparente) de 4,7; il serait encore visible à l'oeil nu, comme une étoile faible.

113- Comment passe-t-on d'une magnitude à la suivante ?

Par une échelle logarithmique: une différence de 5 magnitudes indique une luminosité 100 fois plus grande ou 100 fois plus petite. La racine cinquième de 100 est 2,5119. On dit, pour simplifier, que pour passer d'une magnitude à l'autre, l'éclat est divisé ou multiplié par 2,5. Ainsi une étoile de 1^{ère} magnitude est 2,5 fois plus lumineuse qu'une étoile de 2^{ème} magnitude, une étoile de 5^{ème} magnitude 2,5 fois moins lumineuse qu'une étoile de 4^{ème} magnitude...

114- Peut-on connaître la luminosité d'une Etoile ?

Lorsque l'on connaît la magnitude absolue de l'Etoile (M_e), on peut évaluer la luminosité de l'Etoile (L) par rapport à la luminosité du Soleil prise pour unité. Ainsi nous saurons que l'Etoile est 2 fois, 20 fois, 5 000... fois plus lumineuse que le Soleil, ou moins lumineuse. La formule est la suivante:

$$L = 2,5^{(M_s - M_e)} \text{ où } M_s \text{ est la magnitude absolue du Soleil} = 4,7$$

La luminosité de l'étoile dépend de sa surface ($4.\pi.R^2$) et de la 4^{ème} puissance de sa température T^4 . On peut donc écrire, pour avoir la luminosité en Watts (si R est exprimé en mètre):

$$L = 4 \pi R^2 T^4 \sigma \quad \text{où } \sigma \text{ (Sigma), constante de Stéfán} = 5,6.10^{-8} \text{ W}$$

115- Quelle est la luminosité du Soleil ?

La luminosité du Soleil est déterminée par sa puissance, laquelle est égale à $4. 10^{23}$ Watts. La Terre ne reçoit qu'une portion infime de cette énergie: 1400 Watts par mètre carré. Ce qui n'est pas rien!

116- Qu'appelle-t-on le « Module de distance » ?

Quand on connaît la magnitude absolue (M) et la magnitude apparente (m) d'un astre, on peut calculer sa distance (D). Ou bien, quand on connaît la distance et la magnitude apparente (que l'on connaît toujours), on peut calculer la magnitude absolue. La formule est la suivante:

$$M - m = 5 - 5 \log(D) \text{ où } D \text{ est exprimée en parsec.}$$

117- Comment s'explique le rayonnement des Etoiles ?

La puissance du rayonnement du Soleil et des étoiles était inexplicable avant que l'on ait découvert l'énergie produite par la fission ou la fusion nucléaire des atomes, dans les conditions de température et de pression qui règnent dans les régions centrales des Etoiles.

Nous pouvons aujourd'hui expliquer ce rayonnement et même prévoir quelle sera la durée de vie d'une étoile, compte tenu de sa masse et de sa température.

118- Qu'appelle-t-on la « Nucléosynthèse » ?

Ce mot vient du grec NUCLEOS = Noyau , SYNTHÈSE = Assembler. La Nucléosynthèse explique l'origine des noyaux atomiques qui sont le cœur des 92 éléments (ou atomes) dont est constituée toute la matière, aussi bien sur la Terre que dans l'univers: hydrogène, hélium, carbone, oxygène, fer, platine, or, etc... Cette synthèse s'effectue à l'intérieur des Etoiles où les températures et les pressions sont suffisantes pour que les atomes les plus légers puissent fusionner en atomes plus lourds (jusqu'au groupe du fer). Les éléments les plus lourds sont formés lors de l'explosion des supernovae.

119- Quelle est son utilité ?

La nucléosynthèse nous permet de comprendre la vie et l'histoire des Etoiles, et de connaître un peu mieux les secrets de la matière et de ses diverses propriétés.

120- Comment peut-on connaître les éléments qui composent une Etoile ?

Par l'analyse spectrale de la lumière émise par l'Etoile. Le rayon de l'Etoile vient frapper un prisme qui forme « l'Arc-en-Ciel » de l'Etoile. La lumière de l'étoile est ainsi décomposée et l'on voit apparaître, non seulement les 7 couleurs, mais des raies obscures ou brillantes, à des endroits précis du spectre.

Ces raies sont comme la signature des éléments qui composent l'étoile, à une température donnée. Par l'étude précise de ces raies, on connaît la composition des étoiles et leur température. Les spectres sont enregistrés sur plaques photographiques ou par d'autres procédés photoélectriques.

121- Qu'est-ce qu'un Spectre en Emission ? en Absorption ? en Continu ?

Un Spectre en Emission est celui qui montre des raies (ou bandes) brillantes sur le fond continu du spectre; en Absorption lorsqu'il montre des raies (ou bandes) sombres. Les raies en émission révèlent des températures très élevées.

L'absorption indique que la lumière a traversé un gaz plus froid, le même que celui qui émet. Si bien que le spectre en absorption nous renseigne sur l'étoile, sur l'enveloppe qui l'entoure et, même, sur les gaz interstellaires que le rayon lumineux rencontre sur son passage.

Le spectre en émission révèle, au contraire, une absence d'enveloppe et de gaz. Le Spectre Continu est celui qui ne comporte pas de raies. Ce spectre est rare; il se produit lorsque les atomes sont totalement ionisés par la température. Les électrons libres, qui vibrent d'une façon désordonnée, émettent aussi un spectre continu.

122- *Qu'est-ce qu'un Atome Ionisé ?*

Un Atome Ionisé a perdu un ou plusieurs électrons périphériques. De ce fait il n'est plus équilibré et l'atome a une charge positive, correspondant au nombre d'électrons manquants.

L'hydrogène n'ayant qu'un électron, ne peut être ionisé qu'une fois: son noyau alors s'identifie au proton. D'autres éléments peuvent être fortement ionisés (Carbone, Azote, Oxygène, Fer etc...). C'est dans la couronne solaire que l'on a observé des atomes fortement ionisés, en raison de la température très élevée de la couronne: ainsi le « Coronium » qui est du fer 14 fois ionisé.

123- *Quelle est la composition première des Etoiles ? Que donne alors la fusion ?*

L'hydrogène semble être l'élément premier de la matière, donc de la formation des Etoiles. Il constitue plus de 80% de notre Soleil et des étoiles en général. La fusion des atomes d'hydrogène donne l'hélium. Cette réaction émet une très grande énergie consécutive à la « perte de masse » (voir question ci-dessous).

Cette fusion atomique hydrogène-hélium est à la base de la plupart des Etoiles qui se rangent dans la « série principale ». Cette fusion n'est possible que si la température centrale de l'étoile dépasse le million de degré et la densité 1 gr/cm^3 .

124- *Qu'appelle-t-on la « Perte de Masse » ?*

Lorsque 4 noyaux d'hydrogène fusionnent pour former un atome d'hélium, composé de 2 protons et de 2 neutrons, la masse résultante de l'atome d'hélium est plus faible que la masse initiale des 4 noyaux d'hydrogène. La fusion a transformé la différence en énergie.

Ainsi notre Soleil perd-il 4 millions de tonnes par seconde, transformant 600 millions de tonnes d'hydrogène en 596 millions de tonnes d'hélium. Cette perte de masse correspond à son rayonnement. Elle explique la puissance des Etoiles, mais aussi la stabilité des éléments; en effet, cette perte est d'autant plus importante que l'élément offre plus de résistance à la fusion ou à la fission, donc est plus stable. C'est l'atome de fer qui offre la plus grande stabilité.

125- *Qu'est-ce qu'une Proto-étoile ?*

Lorsque la matière, gaz et poussière, se concentre sous l'effet de la gravitation, on obtient une masse obscure qui s'échauffe graduellement. Lorsque cette masse commence à émettre dans l'infrarouge, on parle de pré-étoile. Lorsqu'elle devient visible, on parle de proto-étoile. Ce n'est pas encore une étoile; les réactions nucléaires ne sont pas encore amorcées

(chaleur et luminosité sont dues à la contraction gravitationnelle) . La proto-étoile est toujours très grosse: rayon de 10 à 15 milliards de km. Elle va se contracter très vite et, si la masse est suffisante (supérieure à 0,08 masse solaire), devenir une étoile.

126- *Qu'est-ce qu'une Naine Blanche ?*

La Naine Blanche est une étoile très petite, dont la densité est très élevée, de l'ordre du million (par rapport à l'eau): 1 cm³ pèse 1 tonne ! L'étoile s'est effondrée sur elle-même; la matière y est comprimée et la température centrale, quoique très élevée, n'est plus suffisante pour provoquer une fusion susceptible de vaincre, par sa puissance de radiation, la force gravitationnelle.

L'étoile n'est plus active; les réactions nucléaires se sont éteintes. Ses dimensions ont été divisées par 100: la naine blanche n'est pas plus grosse que notre Terre.

Elle se refroidit peu à peu, mais très lentement; sa chaleur rémanente provient de sa compression. Sa couleur qui, au départ, peut être bleue si l'étoile est massive, chute peu à peu vers le rouge et le rouge de plus en plus sombre. Une étoile dont la surface n'émet plus de lumière est une naine noire; elle est inobservable. On connaît 600 naines blanches.

127- *Qu'est-ce qu'une Naine Brune ?*

On donne ce nom à des astres intermédiaires entre les planètes et les étoiles; astres dont la masse, au moment de sa formation, n'a pas été suffisante pour élever la température à un niveau tel que la fusion de l'hydrogène aurait pu s'amorcer. Leur masse se situe entre 1/50 (0,02) et 1/12 (0,08) de la masse du Soleil.

En deçà, nous avons affaire à des planètes, au delà, à des étoiles. La plus grosse planète de notre système solaire, Jupiter, ne représente que le millième de la masse du Soleil! La liste des candidates « Naines Brunnes » est encore assez restreinte; la dernière en date, « Kelu 1 », détectée à 30 AL de notre système solaire, au moyen du télescope chilien de La Silla, aurait une masse de 0,06 masse solaire et une température de surface de 1700°C.

128- *Combien y a-t-il de Familles d'étoiles ?*

On distingue 7 Familles principales d'étoiles, qui correspondent assez bien aux 7 couleurs de l'arc-en-ciel. Voici leurs noms, peu poétiques, dans l'ordre décroissant du bleu au rouge: O, B, A, F, G, K, M (« O! Be A Fine Girl, Kiss Me! »). A quoi on ajoute 3 sous-familles R, N, S qui représentent des étoiles M, à bandes moléculaires de carbone et d'oxyde de Zirconium.

Les étoile de « Wolf - Rayet » représentent aussi une famille exceptionnelle, W, caractérisée par une très forte température (100 000° en surface) et des raies spectrales en émission.

129- A quoi correspondent ces Familles ?

Ces Familles correspondent à la température de la surface de l'Etoile. Les étoiles les plus chaudes, de l'ordre de 40 000 degrés, sont de couleur bleue, du côté des courtes longueurs d'onde. Les plus froides, de l'ordre de 3 000 degrés, sont de couleur rouge, du côté des grandes longueurs d'onde. La plus grande partie du rayonnement de l'étoile se situe ainsi dans la couleur qu'elle émet. Pour notre Soleil, le maximum de rayonnement est dans le jaune.

130- Pourquoi y a-t-il des étoiles plus chaudes que d'autres ?

La température dépend de la masse initiale qui a formé l'étoile: plus la masse est importante, plus l'étoile est chaude; et aussi de l'évolution de l'étoile au cours du temps: si l'étoile se dilate, elle se refroidit; si elle se contracte, elle s'échauffe.

131- Combien y a-t-il de Classes d'étoiles ?

Initialement on a parlé d'étoiles naines, normales et géantes. Par la suite, on a été amené à considérer 6 Classes d'étoiles. Ce sont les naines (classe VI), les étoiles de la série principale (V), les sous-géantes (IV), les géantes (III), les géantes brillantes (II) et les supergéantes (I). Une 7ème classe particulière (VII) désigne les naines blanches.

132- A quoi correspondent ces Classes ?

A des étoiles distinctes essentiellement par leur volume et leur densité. On explique ces diversités par l'histoire et l'âge des étoiles.

133- Qu'est-ce que le Diagramme Hertzsprung-Russel ? (Figure 133)

C'est un graphique sur lequel on porte en abscisse la température de l'Etoile, c'est-à-dire sa famille et en ordonnée sa magnitude absolue (de + 15 à - 9), équivalente à sa luminosité. On voit ainsi que les Etoiles ne se répartissent pas n'importe où sur le graphique. La grande majorité se groupe suivant une diagonale: les plus puissantes sont les étoiles O très chaudes, les moins puissantes les étoiles M « froides ».

Les étoiles chaudes et puissantes sont beaucoup moins nombreuses que les étoiles de température moyenne comme notre Soleil. Les étoiles rouges petites et faibles sont très nombreuses. Pratiquement, comme la température dépend de la masse, on voit que les étoiles sont d'autant moins nombreuses qu'elles sont plus massives.

Cependant, on voit se ranger sur le diagramme, au-dessus de la diagonale et horizontalement, des étoiles appartenant à toutes les familles et qui sont d'autant plus puissantes qu'elles sont plus hautes sur le diagramme. Si, par exemple, une étoile rouge de 3 200° peut atteindre une magnitude de -7, ou une étoile jaune de 6 000° une magnitude de -9, c'est assurément qu'elles sont très grosses, car la luminosité d'une étoile dépend non seulement de sa température, mais aussi de sa surface.

Nous avons donc là des étoiles « géantes et supergéantes » qui se rangent ainsi; leur densité évidemment est très faible. Les étoiles dites normales, de la « série principale », qui transforment leur hydrogène en hélium, sont sur la diagonale.

Les « naines blanches » quant à elles sont en bas du diagramme et dans toutes les familles: leur surface est petite; elles ne rayonnent qu'en fonction de leur température.

134- *Que fait-il apparaître ?*

Le diagramme Hertzsprung-Russel, du nom des 2 astronomes qui l'ont réalisé, fait donc apparaître les différentes classes d'étoiles. Il est très précieux car on se rend compte ainsi, non seulement de la diversité des étoiles, mais aussi de leur évolution dans le temps, en fonction des différents stades de leur nucléosynthèse.

On sait aujourd'hui qu'une étoile de la série principale va, soit descendre vers les naines blanches si ses réactions nucléaires s'éteignent, soit monter vers les géantes si d'autres réactions nucléaires, après la phase hydrogène-hélium, s'allument. On peut ainsi connaître la vie de chaque étoile. Ainsi, notre Soleil deviendra-t-il une géante rouge lors de sa phase Hélium-Carbone.

135- *Peut-on chiffrer l'Age des Etoiles ?*

Oui, en tenant compte des certitudes scientifiques acquises actuellement, soit par l'observation, soit par les théories de la nucléosynthèse. Une étoile « jeune » a environ 60 à 100 millions d'années, telles les étoiles des Pléiades. Une étoile comme le Soleil brille depuis 4 ou 5 milliards d'années. Les étoiles moins massives que le Soleil, qui consomment très lentement leur hydrogène, peuvent avoir 100 milliards d'années. Une étoile a une vie d'autant plus courte qu'elle est plus massive, car elle évolue alors plus rapidement.

136- *Qu'est-ce qu'une Nova ? une Supernova ?*

On appelle « Nova » = nouvelle, une étoile qui apparaît brusquement dans le ciel, en raison d'une augmentation rapide et énorme de son rayonnement, de l'ordre de 10 000 à 100 000 fois. Les plus brillantes peuvent atteindre la magnitude -10. Cet éclat soudain est dû à une explosion qui a éjecté une partie de la surface de l'étoile dans l'espace (inférieure à 1‰ de sa masse).

Fréquence: 30 novae par an dans notre Galaxie (estimation). On distingue les novae rapides, les novae lentes, les novae récurrentes. Il s'agit toujours, semble-t-il, d'explosions au sens d'un système double. L'échange de matière entre les 2 étoiles serait explosif.

Une Supernova est une étoile qui explose plus violemment encore et dont la puissance de rayonnement est multipliée par 100 millions et plus. Les plus puissantes peuvent atteindre la magnitude -20. De ce fait, les novae et les supernovae peuvent être visibles de très loin, et même dans des Galaxies lointaines. La supernova éjecte la plus grande partie de sa masse dans l'espace (jusqu'à 90%). Fréquence 4 ou 5 par siècle dans notre Galaxie (estimation).

Ce sont toujours des étoiles massives qui explosent, souvent instables, ou enrichies en éléments lourds qui servent de détonateur. L'explosion se produit généralement lors de phase nucléaire nécessitant une grande énergie. Au moment de l'explosion, il y a formation de nombreux éléments lourds.

Les supernovae sont de deux types principaux: explosion complète de naines blanches, ou explosion d'étoiles massives parvenues au stade du fer.

137- *Qu'est-ce qu'une Nébuleuse Planétaire ?*

On appelle de ce nom une Etoile qui a un diamètre apparent, semblable à celui d'une planète. En fait c'est une étoile entourée d'une enveloppe gazeuse ionisée et brillante, qui s'étend très loin dans l'espace.

Une Nébuleuse Planétaire est le résidu actuel de l'explosion d'une étoile de faible masse (< 4 masses solaires), survenue lors de l'allumage (ou flash) de l'hélium. L'étoile peut perdre jusqu'à la moitié de sa masse. On en connaît environ 1500.

138- *Qu'est-ce qu'un Pulsar ?*

C'est un astre qui émet, dans le domaine radio, des impulsions très rapides, dont la période peut être inférieure à la seconde. Les Pulsars se trouvent souvent au centre des supernovae; ils représentent ce qui reste de l'étoile, de son « coeur » très riche en éléments lourds et en fer. Sous l'effet de la gravitation ce reste s'est brutalement effondré sur lui même, l'étoile n'a plus que quelques dizaines de km de diamètre et sa rotation est devenue extrêmement rapide. En 1992, 550 Pulsars étaient répertoriés.

Les dimensions de l'étoile ont été divisées par 10 000; On a émis l'hypothèse que sous de telles pressions, protons et électrons des atomes fusionnent en neutrons! Sa densité est énorme, de l'ordre de cent millions à un milliard de tonnes par cm³, son champ magnétique de l'ordre de 10¹² Gauss (mille milliards de fois celui du Soleil)!

La combinaison d'une vitesse élevée de rotation et d'un champ magnétique extrêmement intense engendre les ondes radio détectées par nos radio-télescopes ainsi, pense-t-on, qu'un cône de lumière qui balaye l'espace et que les astronomes enregistrent sous forme d'impulsions, de pulses, d'où le nom de pulsar donné à ces corps « exotiques ». Il est possible, aussi, que cette pulsation soit due à une vibration élastique de toute l'étoile.

139- *Qu'est-ce qu'une Nébuleuse ?*

Ce nom désigne des nébulosités permanentes dans les espaces célestes. Elles furent observées dès l'invention de la lunette, et déjà répertoriées par Herschel et Messier.

Aujourd'hui on réserve à ce terme les nuages de matière et de gaz interstellaires, brillants telle la nébuleuse d'Orion, ou obscurs telle la Tête de Cheval. Ces Nébuleuses sont de véritables « pépinières » où se forment et naissent les étoiles de notre Galaxie, par milliers et dizaines de milliers. Ainsi la nébuleuse d'Orion peut donner naissance à 10 000 étoiles !

140- *Qu'est-ce qu'un Amas Ouvert ?*

On appelle Amas Ouvert un groupement d'étoiles dans l'espace, qui n'a pas de structure géométrique régulière. L'un d'entre eux est visible à l'oeil nu: les Pléiades.

Les amas ouverts sont le résultat d'une nébuleuse après sa « condensation » en étoiles. On les dits « ouverts » parce que les étoiles s'écartent les unes des autres, si bien qu'au cours du temps, l'amas « se dilue » dans l'espace. On en compte plus d'un millier. Ils ont plusieurs dizaines d'AL. de diamètre.

141- *Qu'est-ce qu'un Amas Globulaire ?*

Un Amas Globulaire est un groupement d'étoiles, satellite de notre Galaxie et des galaxies en général, dont l'aspect sphérique est très caractéristique.

Un amas globulaire peut contenir plusieurs centaines de milliers d'étoiles, en équilibre stable les unes par rapport aux autres. Ce qui est une grande merveille! Ils ont plusieurs centaines d'AL. de diamètre.

On en connaît environ 150 autour de notre Galaxie, tel l'amas d'Hercule qui contient 200 000 étoiles.

142- *Qu'est-ce qu'une Etoile Variable ?*

On appelle Etoile Variable une étoile dont l'éclat varie d'une manière observable en peu de temps, quelques heures à plusieurs mois. Certaines varient d'une manière périodique régulière, d'autres sont semi-régulières, d'autres encore tout-à-fait irrégulières.

Ces variations sont dues soit à des causes externes: nuages obscurs, matière éjectée, éclipse par une seconde étoile..., soit à des causes internes liées à une instabilité de l'étoile qui n'a pas encore atteint sa « vitesse de croisière »: étoile en formation, ou bien qui n'a pas su réguler son énergie dans le temps. Les 2 plus célèbres sont Delta Céphée et Mira Ceti. On en connaît plus de 30 000.

143- Citez quelques types d'Etoiles Variables ?

Parmi les variables régulières on cite, du nom de leur chef de file, les Céphéïdes, les RR Lyrae, les W Virginis... (variation de rayon), les Algolides, (à éclipses). Parmi les semi-régulières, on cite principalement les Mira Ceti, les RV Tauri... (expulsion de matière); parmi les irrégulières, les T Tauri, les UV Ceti... (étoiles en formation). Il en existe d'autres types... Citons, entre autres, les R Coronae Borealis qui varient, non par une augmentation mais par une diminution d'éclat.

144- Qu'est-ce qu'une Etoile Double ?

On appelle Etoile Double (ou multiple) deux (ou plusieurs) Etoiles qui sont proches sur la voûte céleste. On distingue les "doubles physiques" - ou binaires - qui sont liées entre elles par la gravitation , et qui, au cours du temps se déplacent l'une par rapport à l'autre sur des orbites elliptiques, et les "doubles optiques" qui sont proches apparemment sur la voûte céleste mais à des profondeurs différentes dans l'espace.

On estime que plus de la moitié, voire les 2/3, des étoiles du ciel sont doubles ou multiples. Actuellement 70 000 sont recensées. Un millier seulement présentent un mouvement relatif certain. La période des binaires peut aller de quelques heures pour les doubles spectroscopiques (révélées doubles par le spectre) à plusieurs milliers d'années pour des étoiles écartées. Un couple dont l'orbite a pu être calculée est dit orbital.

145- Quelle est l'utilité de leur étude ?

L'étude des étoiles doubles permet d'accéder à la connaissance de la masse des Etoiles. On s'applique en effet à connaître leur orbite par la mesure, au cours du temps, de leur écartement et de leur position par rapport au Nord. L'orbite et la période étant connues, on peut calculer leurs masses par la troisième loi de Képler, à condition toutefois de connaître la distance de l'étoile.

146- Qu'est-ce que la Matière Interstellaire ?

C'est la matière en suspension entre les étoiles: elle est très ténue, irrégulièrement répartie, d'autant plus abondante que les galaxies sont irrégulières. Elle se compose principalement d'hydrogène neutre ou ionisé, de noyaux d'atomes (rayons cosmiques), de molécules en partie identifiées

et de poussières obscures, mais qui peuvent être rendues lumineuses par le voisinage d'une étoile. La densité moyenne du milieu interstellaire est de 1 atome par 10 cm^3 .

147- *Qu'appelle-t-on les étoiles de Population II, de Population I ?*

Les étoiles dites de Population II sont considérées comme les plus anciennes, composées presque entièrement d'hydrogène, avec une absence de métaux. Les étoiles de Population I, sont au contraire des étoiles enrichies en métaux, métaux qu'elles ont puisés dans la matière interstellaire qui les a formés.

148- *Y a-t-il plusieurs Générations d'étoiles ?*

Oui, sans doute, puisque certains éléments lourds se trouvent dans des Etoiles - tel le Soleil - dont la masse et la température ne sont pas suffisantes pour les former.

Ces éléments se trouvaient donc déjà dans la Nébuleuse qui a donné naissance à l'étoile. Cette nébuleuse a été enrichie en éléments lourds par l'explosion antérieure d'étoiles capables de les former. Ainsi notre Soleil est au moins de la 2ème génération !

149- *Qu'est-ce qu'une Galaxie ?*

Une Galaxie est à elle seule un « Univers ». Lorsque nous regardons le ciel nocturne nous y voyons les étoiles de notre Galaxie, avec pendant les mois d'été la Voie Lactée qui est La Galaxie vue sur la tranche. D'où l'on déduit que notre Galaxie est un immense disque d'étoiles liées entre elles par la gravité, qui tourne sur lui-même.

Le centre de la Galaxie est dans la direction de la constellation du Sagittaire. On voit clairement qu'il est renflé et constitue le « bulbe » central.

Si maintenant nous regardons le ciel avec un télescope, nous voyons, surtout dans la région des pôles galactiques moins riches en étoiles, d'autres galaxies lointaines aux formes variées. On a pu les identifier comme telles grâce aux puissants télescopes de notre siècle. Elles sont évidemment situées en dehors de notre Galaxie. Ainsi l'Univers est peuplé de galaxies.

150- *Quels sont les principaux Types de galaxies ?*

Les galaxies sont très variées: elles peuvent être petites, composées seulement d'un milliard d'étoiles, ou géantes composées de milliers de milliards d'étoiles ! (jusqu'à 10.000 milliards !).

On distingue les galaxies elliptiques, de forme ovoïde; les galaxies spirales (et lenticulaires), telle la nôtre, classées suivant l'enroulement de leur bras autour du bulbe central, et suivant la présence ou non d'un bras transversal (galaxies barrées); et les galaxies de forme irrégulière. Les plus nombreuses (80%) sont les spirales et lenticulaires (aplaties mais sans bras), 5% seulement d'irrégulières.

151- Décrivez un peu notre Galaxie ? (Figure 151)

Situons-nous d'abord dans la Galaxie: le Soleil est à 30 000 AL. du centre, dans un sous-bras appelé le bras d'Orion. Il est très près de l'Equateur galactique, à 50 AL. environ au-dessus. Notre Galaxie a un diamètre de 100 000 AL., une épaisseur inférieure à 3 000 AL., le bulbe central atteignant quant à lui 16 000 AL. Elle semble composée de 2 bras principaux, les bras de Sagittaire-Carène et de la Règle, doublés de 2 bras secondaires, les bras de l'Ecu-Croix et de Persée.

Ces bras s'enroulent dans le sens rétrograde (celui des aiguilles d'une montre). La rotation de la Galaxie est différentielle. On estime que la Galaxie contient environ 200 milliards d'étoiles, plus jeunes dans les bras (étoiles bleues), plus vieilles dans le bulbe (étoiles rouges). On explique par une « onde de densité » la formation de ces bras.

Le bulbe de la Galaxie reste encore très énigmatique, du fait qu'il nous est en partie voilé par des nuages obscurs. On l'étudie surtout en radio. Il semble composé de plusieurs anneaux concentriques de gaz, d'hydrogène, de nuages moléculaires, en expansion. Le coeur proprement dit a un diamètre de 30 AL.. limité par un disque de poussières et de molécules en rotation très rapide. Il contient, entre autres, une très importante source radio appelée « Sagittarius A », qui coïncide bien avec le centre galactique, d'un diam_tre de 30 UA (0"0035) qui renfermerait à elle seule quelques 3 millions de masses solaires de matière!

152- Combien compte-t-on de galaxies ?

Le plus grand catalogue de galaxies, celui de Lick, en contient 1 million ! Elles apparaissent infailliblement sur les plaques photographiques, en fonction du temps de pose. On a pu enregistrer ainsi, dans les régions les plus favorables à l'observation, une galaxie par minute carrée, jusqu'à la magnitude 21. Jusqu'à la magnitude 29, on compte maintenant 200.000 galaxies, sur une surface de ciel grande comme la Lune - soit 1 million par degré carré. C'est énorme !

153- Quelle est la densité de la matière galactique ?

Stupéfaction lorsque l'on a pu évaluer la densité moyenne de notre galaxie et des galaxies en général! Elle est de l'ordre de 10^{-24} g/cm³, extrêmement faible. Ainsi, si toute la matière galactique, contenue en majeure partie dans les étoiles, était uniformément répartie dans la galaxie, nous aurions

seulement un gramme de matière par cube d'espace de 1 000 km d'arête (environ 1 atome/cm³).

154- Les galaxies sont-elles réparties uniformément dans l'Univers ?

On compte en moyenne une galaxie tous les 3 millions d'AL. Si, pour donner une idée de l'échelle, on les représente par des assiettes de différentes tailles, elles sont alors écartées les unes des autres de 30m.

Mais elles ne sont pas réparties uniformément dans l'Espace; elles sont groupées en amas et ces amas eux-mêmes en superamas. Le diamètre moyen des amas est de 10 millions d'AL., des superamas de 100 millions d'AL. Les premiers peuvent contenir jusqu'à plusieurs milliers de galaxies, les seconds plusieurs centaines d'amas. Le catalogue photographique de Zwicky contient 10.000 amas.

155- Décrivez un peu notre amas local ?

Notre amas local n'est pas très gros. Son diamètre est de 6 millions d'AL. environ, il contient une trentaine de galaxies, dont les deux plus grosses sont Andromède et la Nôtre; 3 spirales, 4 irrégulières, une vingtaine d'elliptiques, surtout naines. Sa masse est estimée à 700 milliards de soleils. Il tourne sur lui-même autour d'un centre de gravité commun. Sa force dynamique est 4 fois plus grande que sa force gravitationnelle.

156- Qu'est-ce que le vide intergalactique ? Dites sa densité.

Le vide intergalactique est celui de l'espace entre les galaxies. On estime que ce vide est de 10⁻³¹ g/cm³. Très faible! Ainsi il y aurait en moyenne un gramme de matière par cube d'espace de 300 000 km d'arête (1 atome/15 m³).

157- Qu'appelle-t-on la « Constante Cosmologique » ?

Cette expression a été inventée par Einstein, à l'époque où l'univers était considéré comme statique, car on n'avait pas encore découvert la fuite des galaxies. Le principe de la gravitation universelle suppose que les galaxies s'attirent les unes les autres, et qu'elles tendent à se rassembler. Il faut donc supposer une force contraire à la gravitation qui les maintient dans l'Espace.

Cette force a été appelée la « Constante cosmologique ». Du fait que les galaxies sont en expansion, il faut admettre que cette force est plus grande que la gravitation.

158- L'Univers est-il statique ou en expansion ?

La question est aujourd'hui tranchée. C'est depuis les années 1920 que Hubble a découvert, étudié et mesuré la vitesse de fuite des galaxies. On a rapidement constaté que plus une galaxie est éloignée plus sa vitesse de

fuite est grande. Il y a donc accélération. Ce qui oblige à penser qu'il y a une force, non seulement initiale, mais constante et permanente qui pousse les galaxies.

159- *Qu'est-ce que le Décalage vers le rouge ?*

Lorsqu'un astre est en mouvement radial par rapport à la Terre, sa vitesse se compose avec celle de la lumière, de sorte que s'il se rapproche, la longueur d'onde de la lumière devient plus courte, et l'on a un décalage des raies du spectre vers le violet, et dans le cas inverse, lorsque l'astre s'éloigne la longueur d'onde devient plus grande et l'on observe un décalage des raies vers le rouge.

On mesure ce décalage au microscope sur le spectre. Pour les galaxies, il s'agit toujours d'un « décalage vers le rouge », « redshift » en anglais, donc d'un éloignement.

160- *Qu'est-ce qu'un Quasar ?*

Ce mot « quasi-star » = semblable à une étoile, a désigné des objets célestes mystérieux dont le spectre était étrange. Il devint identifiable lorsque l'on vit qu'il correspondait à une vitesse d'éloignement extrêmement grande, qui entraînait un décalage énorme, qui transportait dans le domaine visible les raies de l'ultraviolet.

On découvrit donc que ces objets étaient non pas des étoiles, mais des galaxies extrêmement puissantes, dites galaxies actives, si lointaines qu'elles n'apparaissent plus que comme des points. D'où leur nom. On en connaît 6.000.

Il arrive que le domaine visible, qui couvre une octave, de 350 à 700 nm environ (nm = nanomètre, 1nm = 10 angstrôm), passe entièrement dans l'infrarouge. Le spectre est alors décalé d'une ou plusieurs octaves, indiquant une vitesse de fuite « apparente ? » égale à une ou plusieurs fois celle de la lumière.

161- *Qu'est-ce qu'une Source superluminique ?*

On désigne ainsi des galaxies ou des quasars, présentant une structure double, dont les deux composantes s'écartent l'une de l'autre, au cours du temps, à des vitesses « apparentes ? » supérieures à celles de la lumière. D'où leur nom.

162- *Qu'est-ce que la Constante de Hubble ?*

C'est le rapport qu'il y a entre la vitesse de récession d'une galaxie et sa distance. Nous l'avons dit: plus une galaxie s'éloigne, plus sa vitesse augmente. Gérard de Vaucouleurs, spécialiste de la question, écrivait en 1995: « Presque tous les experts, une quasi-unanimité si l'on excepte

Sandage et Tamman (qui tiennent pour 55 km/s), ainsi que les nouvelles méthodes et les nouveaux instruments, convergent vers une valeur (de cette constante) de 85 km/s et par Mégaparsec ». Lui-même l'établit à 85 ± 3 ou 4).

Prenons cette valeur: cela signifie qu'une galaxie qui est à un mégaparsec, c'est à dire à un million de parsecs (= 3,26 millions d'AL.) s'éloigne à 85 km/sec. Qu'une galaxie qui est à 2 Mpc. s'éloigne 2 fois plus vite, à 170 km/s. Si elle est à 10 Mpc. elle s'éloigne à une vitesse de 850 km/s etc... Cette vitesse de fuite est facilement décelable par le décalage vers le rouge.

Si une galaxie paraît s'éloigner à 300 000 km/s, elle devrait se situer à 11,5 milliards d'AL. En fait elle était à cette distance il y a 11,5 milliards d'années, puisque la lumière a mis ce temps là pour nous arriver. (Si $H = 55$ km/s, elle pourrait être à 19,5 milliards d'AL.)

Dernières nouvelles (06 et 07/97): L'exploitation des relevés astrométriques effectués par le satellite Hipparcos, ainsi que la prise en compte de la métallicité des Céphéïdes conduisent à devoir confirmer une valeur de la constante de Hubble, centrée autour de 70km/s/Mpc.

Les astrophysiciens mettent beaucoup d'espoir dans le projet Gaïa (Un Hipparcos doté d'une vue plus perçante), annoncé pour le début du siècle prochain et qui devrait leur permettre d'affiner leurs estimations.

163- *Qu'appelle-t-on le Rayonnement 3K ?*

K est la première lettre du mot Kelvin, par lequel on évalue les températures absolues, à partir de -273° centigrades (= 0 absolu). Le Rayonnement 3K est donc un rayonnement à -270°C . C'est la température du ciel profond, sensible dans toutes les directions. Ce rayonnement est détectable en radio, sur des longueurs d'ondes centimétriques et décimétriques.

Comment expliquer cette « chaleur » de l'espace?

D'une part, le vide intergalactique n'est pas absolu, nous l'avons vu, mais « rempli » d'hydrogène qui a sa vibration propre. D'autre part, le rayonnement qui s'échappe des galaxies « réchauffe » inévitablement l'univers. Comme l'univers, à très grande échelle, est tapissé de galaxies, leur rayonnement global peut nous être encore accessible alors qu'elles nous sont totalement invisibles. D'aucuns interprètent ce rayonnement comme étant le résidu énergétique de l'explosion originelle (Big-Bang).

164- *Qu'appelle-t-on la Force de Radiation ?*

C'est la force du rayonnement qui explique comment une étoile, composée uniquement de gaz, peut cependant résister à l'énorme gravité qu'engendre sa masse.

L'étoile ne s'effondre pas sur elle-même, mais elle se maintient grâce aux réactions nucléaires qui transforment une partie de sa masse en énergie. Certaines étoiles « couronnées » maintiennent en suspension autour d'elles une immense auréole de matière. Cette Force de Radiation, chargée de photons, d'électrons et de particules, s'échappe des étoiles et, partant, des galaxies. Ainsi faut-il en tenir compte pour expliquer la dynamique de l'Univers. (Solution possible au problème de la masse manquante).

165- *L'Univers a-t-il une structure fondamentale ?*

Il semble bien que oui! Les découvertes les plus récentes ont montré que, au-delà des superamas, l'univers s'uniformise en une structure dite en « alvéole » ou « en nid d'abeilles ».

Cette structure se présenterait comme l'armature de notre ciel, les superamas se situant sur les facettes et les arêtes de cette structure, par ailleurs vide.

166- *Qu'appelle-t-on la « Masse Manquante » ?*

L'Univers, nous le savons, est en expansion. Cela signifie que la « force cosmologique » qui pousse les galaxies est plus forte que la force de gravitation qui tend à les ramener. Le mouvement peut-il s'inverser? Il faudrait pour cela que la masse de l'Univers soit beaucoup plus considérable. D'où cette idée de Masse Manquante ou cachée.

Semblablement, l'on constate que la force de dispersion à l'intérieur des amas de galaxies et même des galaxies est beaucoup plus importante que la force de cohésion (= la gravitation). Comment se comporte la force de gravitation à très grande échelle? Nous ne le savons pas.

167- *Pourquoi le ciel est-il noir ?*

Pour plusieurs raisons, la première est que l'éclat des astres décroît avec le carré de la distance, ce qui signifie que même si les astres couvrent tout le ciel - ce qui est vrai à grande échelle - seules les plus proches seront visibles. Ensuite parce que la fuite des galaxies fait tomber leur rayonnement dans les parties basses du spectre, de sorte que tout le visible descend dans l'infrarouge et les ondes radio.

168- *Les « Trous Noirs » existent-ils ?*

On appelle « Trou Noir » un objet hypothétique d'une masse si considérable que la vitesse de libération v serait supérieure à 300 000 km/s et qu'aucun rayonnement ne pourrait s'en extraire. Il est donc, par définition, invisible. D'où le non de « trou noir ». Dans un tel objet, la compression est telle que la matière est réduite à l'état de particules élémentaires: quarks, électrons, photons. Cette notion a été pour la première fois introduite par le mathématicien français Pierre-Simon Laplace, dans son ouvrage « Exposition du Système du Monde », publié en « l'AN IV de la République » (1796).

Elle était d'autant plus hypothétique, qu'ignorant tout de la nature des étoiles et de leur mode de fonctionnement, il avait dû imaginer une étoile d'un diamètre égal ou supérieur à 250 fois celui de notre soleil, pour obtenir un objet d'une masse suffisante pour que l'attraction gravitationnelle empêche tout rayonnement d'en sortir!

Les connaissances acquises, en astrophysique et physique nucléaire, nous permettent aujourd'hui d'imaginer des corps d'une densité infiniment plus élevée qui augmenteraient encore leur masse par accrétion de matière arrachée aux étoiles proches (cannibalisme) et pourraient en fin de compte et en supposant une densification dite relativiste, satisfaire aux critères de « trou noir ».

On pense aujourd'hui qu'un « trou noir » peut signaler sa présence par la luminosité de son disque d'accrétion. Ainsi les centres galactiques très lumineux deviennent paradoxalement de bons candidats ! Mythe ou réalité ?

Qu'il existe des « Centres Gravitationnels » très massifs, la chose est certaine; ils peuvent toutefois s'expliquer autrement que par la présence d'un « Trou noir ». L'hypothèse du trou noir suppose que la matière est infiniment compressible, ce qui reste à démontrer.

169- Que serait la « Régénération de la Matière » ?

Aux thèses qui soutiennent l'hyperdensification de la matière, s'opposent d'autres thèses reposant sur une évolution différente des « résidus » de supernovae, et des coeurs galactiques. L'atome le plus stable, le fer, (numéro atomique 26) peut, dans de tels "centres gravitationnels", se briser en 13 noyaux d'hélium, (numéro atomique 2), puis ceux-ci se briser à nouveau, et redonner le proton d'hydrogène.

Cette hypothèse est appuyée par le fait que l'on a observé des flux très puissants d'hydrogène s'échapper à grande vitesse du coeur des galaxies. Y aurait-il un tel « marteau-pilon » au centre des galaxies?

Les étoiles éteintes, qui ont tendance plus que les autres à tomber vers le coeur des galaxies, du fait qu'elles sont petites et massives, s'y trouveraient « volatilisées » et ramenées à l'hydrogène natif, c'est-à-dire au proton. Cette « Régénération » conférerait aux galaxies une certaine pérennité, voire peut être, "l'immortalité".

170- Qu'appelle-t-on les « Mirages Gravitationnels » ?

Les Mirages Gravitationnels sont des phénomènes optiques observés et enregistrés par divers appareils photométriques, qui montrent la duplication d'un même objet lointain, lorsque son rayonnement se trouve dévié et focalisé par une masse qui intercepte leur chemin jusqu'à nous. Si la lumière est « massive », il est normal qu'elle soit déviée par la gravitation, comme le pensait déjà Newton.

Pour satisfaire à ses équations, Einstein a déclaré que le photon n'avait aucune masse (sinon le « radical relativiste » lui donnerait une masse infinie). Einstein explique le phénomène des mirages par la "courbure de l'espace" au voisinage d'un objet massif. La lumière émise par un objet lointain situé derrière un objet massif suit naturellement cette courbure.

171- Qu'appelle-t-on « l'Antimatière » ?

Cette expression exprime l'hypothèse de certains chercheurs, qui en observant des particules de même masse et de charges contraires, ont pensé que l'on pourrait avoir des noyaux de matière chargés négativement, ceinturés d'électrons positifs.

172- Qu'est-ce que le Champ Electromagnétique de l'Univers ?

C'est l'hypothèse de Maxwell, qui s'est toujours confirmée depuis: que le vide intergalactique, si poussé soit-il transmet la lumière et toutes les longueurs d'onde connues du rayonnement. Pour expliquer que le rayonnement, donc l'énergie, puisse ainsi se transmettre dans l'immensité vide des Espaces célestes, il faut concevoir que le rayonnement est porté par un Champ, à la fois électrostatique et électromagnétique, ébranlé par ces vibrations de diverses fréquences du rayonnement. Mais il est impossible de mesurer la grandeur de ce champ hors du système solaire. On peut penser qu'il n'est pas uniforme et qu'il varie fortement au voisinage des étoiles...

173- Qu'est-ce que l'hypothèse du Big-Bang ?

C'est l'idée du Chanoine Lemaître lorsqu'il a voulu expliquer la fuite des galaxies. Selon lui et ceux qui l'ont suivi, l'Univers aurait commencé par une explosion originelle, à partir de laquelle toute la matière dont il est aujourd'hui constitué, se serait formée: elle se serait en quelque sorte « condensée » à partir de l'énergie initiale.

Cette hypothèse aujourd'hui largement exploitée n'explique pas tout:

- ni l'accélération des galaxies au cours du temps,
- ni l'absence de trace de ce fameux Big-Bang qui demeure invisible aussi loin que l'on regarde dans l'univers, donc dans le temps,
- ni l'absence des éléments lourds qui infailliblement auraient dû se former lors de cette formidable explosion,
- ni l'absence d'antimatière qui, dans une telle hypothèse, devrait être aussi abondante que la matière... etc...

174- Qu'est-ce que l'hypothèse de la « Création Continue » ?

C'est l'hypothèse avancée par Fred Hoyle, lorsque l'on put avoir une idée de la population de l'univers en galaxies et mesurer sa densité. Or la densité de

l'univers est uniforme: il y a autant de galaxies dans un cube d'espace proche (proche aussi dans le temps) que dans un cube d'espace lointain (lointain aussi dans le temps).

Cependant il y a expansion donc, logiquement, une diminution de la densité au cours du temps. On ne peut expliquer cette disparité de la nature que par la « Création continue » de la matière.

Création à partir de l'énergie - comme on s'en est fait aujourd'hui quelque idée avec nos accélérateurs de particules. Telle fut l'idée de Fred Hoyle. Ainsi les Etoiles transformeraient la masse en énergie et l'Univers l'énergie en masse: le photon en proton.

Qu'arrive-t-il si, entre 2 galaxies fort éloignées, le champ électromagnétique devient trop faible pour « porter » l'énergie rayonnante ? Se transforme-t-elle en masse? On a découvert de grands nuages d'hydrogène par leur rayonnement sur la longueur d'onde de 21 cm. Ces grands nuages peuvent ensuite donner naissance aux galaxies.

Reste, dans les deux hypothèses, à expliquer l'énergie initiale. Mais la science peut-elle répondre à cette question?

175- Quelle est la densité moyenne de l'Univers ?

La densité moyenne de l'univers est le rapport de sa masse à son volume. Nous ne connaissons ni sa masse totale, ni son volume total; mais dans la région déjà explorée de l'univers, soit jusqu'à une distance avoisinant 10 milliards d'AL., on peut établir que la densité moyenne de l'Univers est de 3×10^{-31} g/cm³. Soit: un gramme de matière par cube d'espace de 100 000 km d'arête (1 atome/ 5 m³).

Cette densité, nous le voyons, est très faible. L'univers n'est en fait qu'une immense dentelle dont la finesse serait extrême. Cette constatation peut nous aider à comprendre la fuite des galaxies car, si l'univers est si léger, un souffle de radiation suffit à les pousser. Or la puissance de radiation des galaxies est formidable, puisqu'on peut encore les voir à des milliards d'AL.

176- Qu'est-ce que la Relativité ?

La relativité est une théorie basée sur les équations de Lorentz (1853 - 1928), dans laquelle seule la vitesse de la lumière est invariante, alors que le temps et l'espace n'ont plus de valeur absolue.

Conséquence: Un corps - comme par exemple une galaxie - qui atteindrait la vitesse de la lumière aurait une dimension nulle et une masse infinie (et le temps, pour lui, s'arrêterait).

Déduction: Le photon qui va à la vitesse de la lumière ne peut avoir de masse. Aucun corps ne peut dépasser la vitesse de la lumière.

Voici les deux formules relativistes qui conduisent à la contraction de l'espace (= de l'objet en mouvement), et à la dilatation du temps. Ces formules ont été établies par Lorentz et exploitées par Einstein dans sa « relativité restreinte » parue en 1905 et sa « relativité générale » 1917. (Le fameux « radical relativiste » se trouve au dénominateur)

$$x' = (x - vt) / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$$

$$t' = t(1 - v/c) / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$$

formules dans lesquelles

c \Rightarrow vitesse de la lumière

v \Rightarrow vitesse du corps en mouvement

x' \Rightarrow nouvelle valeur de x

t' \Rightarrow nouvelle valeur de t

177- L'Univers est-il fini ou infini ?

That is the question! Aucune science ne peut répondre à cette question, puisque nous ne connaissons ni le commencement, ni les limites de l'Univers. Ce qui est certain, c'est que tout ce que nous voyons: étoiles et galaxies, se situe dans le passé. Par conséquent, s'il est une limite que nous pouvons fixer dans l'espace et le temps, c'est l'observateur!

Ce qui est également certain, c'est que l'Univers est beaucoup plus grand que ce que nous en voyons.

En effet, considérons une galaxie qui est à 10 milliards d'AL. Nous la voyons telle qu'elle était et où elle était il y a 10 milliards d'années. Mais depuis, elle a filé et accéléré! Une galaxie qui va à la vitesse de la lumière est vue à 20 milliards d'AL. (pour H = 50 km/s).

Dans l'hypothèse relativiste, elle ne peut aller plus vite ni plus loin. L'observation de L'Univers s'arrête; à cette distance le temps et les dimensions de la galaxie s'annulent.

Dans l'hypothèse non relativiste, la même galaxie a doublé sa distance, soit 40 milliards d'AL. et même plus que doublé si nous tenons compte toujours de l'accélération, etc... Elle dépasse donc largement la vitesse de la lumière!

Toutefois, si la force cosmologique qui pousse les galaxies est la pression de radiation - ce qui expliquerait bien qu'elles « se fuient » les unes les autres - et qu'il y a accélération, on peut penser que l'Univers est fini dans un temps fini; mais que, comme l'expansion perdure, il est infini dans un temps infini.

178- Qu'est-ce qu'une Lunette Astronomique ? (Figure 178)

La Lunette Astronomique - ou réfracteur - est composée pour l'essentiel de deux lentilles convergentes, l'une appelée objectif et l'autre oculaire. L'objectif forme à son foyer, une image réelle de l'objet situé à l'infini. L'oeil de l'observateur examine cette image à travers l'oculaire, agissant comme une loupe, et la voit grossie, dans le rapport des distances focales de l'objectif et de l'oculaire. Les plus grandes lunettes ont été construites à la fin du siècle dernier, pour l'observation des planètes et, surtout, Mars.

Deux des plus grandes du monde sont en France à Meudon et à Nice. Le diamètre de leur objectif est respectivement de 83 et de 76 cm.

Les grandes lunettes américaines, de Lick et de Yerkes, ont des objectifs de 91 et 102 cm de diamètre.

179- Qu'est-ce qu'un Télescope ? (Figure 179)

L'objectif du Télescope - ou réflecteur - est un miroir concave qui forme l'image réelle à son foyer. A l'aide d'un miroir diagonal, situé dans le tube du télescope, le faisceau réfléchi convergent est dévié vers l'oculaire et vers l'oeil de l'observateur. Le télescope a été inventé par Newton. D'autres télescopes, Cassegrain, projettent l'image à l'aide d'un second miroir, convexe, à travers un trou central pratiqué dans le miroir principal.

Les plus grands télescopes ont été, pendant de longues années, celui du Mont Palomar (USA), avec son miroir de 5m de diamètre, et celui du Caucase, de 6m. Ces télescopes faisaient appel à des miroirs taillés dans des blocs de verre de forte épaisseur, représentant une masse de verre considérable (42 tonnes de miroir et 650 tonnes pour l'ensemble de la partie mobile du télescope du Caucase).

La technique s'est maintenant orientée vers des miroirs de plus faible épaisseur, reposant sur des tables de supportage par l'intermédiaire de vérins pilotés par ordinateur et permettant de corriger en permanence les déformations dues à la flexibilité des miroirs, ainsi qu'aux inhomogénéités de température, par exemple. Il a été ainsi possible de réaliser des télescopes de très grand diamètre. Les 2 « Keck », installés à Hawaï par l'Université et l'Institut de Technologie de Californie, disposent chacun d'un miroir de 10m de diamètre, constitué par l'assemblage de 36 miroirs hexagonaux de 1,8m de diagonale.

Les Européens -ESO- installent au Chili, le VLT (very large telescope), plateforme d'observation, constituée de 4 télescopes équipés de miroirs de 8m de diamètre, chacun de ceux-ci reposant sur un assemblage de 150 vérins.

Certains télescopes, comme par exemple le CFHT, Télescope Franco-Canadien de 3,6m de diamètre - également installé à Hawaï, sont équipés d'une optique adaptative, destinée à corriger les perturbations induites par les turbulences atmosphériques. Cette optique adaptative fait appel à un

petit miroir déformable, installé au voisinage du foyer du télescope et monté sur des « vérins piézo-électriques » à très court temps de réponse (de l'ordre de la milliseconde). Un système informatique complexe, de mesures, de calculs et d'élaboration des ordres de configuration du miroir, permet de corriger, en temps réel, les déformations de l'image et d'atteindre les performances théoriques du télescope.

180- *Qu'appelle-t-on Objectif et Oculaire d'un instrument ?*

L'Objectif est la lentille ou le miroir dirigé vers le ciel, l'Oculaire est le système optique (diverses lentilles pour avoir une image achromatique - sans irisation) , situé proche de l'oeil de l'observateur.

181- *Qu'est-ce que le Foyer et la Distance Focale ?*

Le Foyer d'un miroir concave ou d'une lentille convergente, est le lieu de l'espace où viennent converger les rayons d'un astre situé à l'infini. La Distance Focale est la distance qui sépare le miroir de son foyer ou la lentille de son foyer.

182- *Qu'est-ce qu'un Miroir Sphérique, Parabolique ?*

Un Miroir Sphérique est une surface concave qui épouse une portion de sphère. Un Miroir Parabolique est un miroir dont le centre coïncide avec le sommet d'un paraboloïde de révolution. Les rayons qui viennent de l'infini et qui sont réfléchis sur un miroir sphérique ne convergent pas tous exactement au foyer, mais ils dessinent une petite courbe appelée « caustique », en avant du foyer.

Par contre, les rayons qui viennent de l'infini et qui sont réfléchis sur un miroir parabolique, convergent exactement au foyer. Il faut donc toujours paraboliser les miroirs pour avoir une image nette.

183- *Qu'appelle-t-on: Axe Optique, Axe Horaire, Axe de Déclinaison d'un Instrument ?*

L'Axe Optique est la perpendiculaire commune à l'oculaire et à l'objectif, élevée en leur centre. L'Axe Horaire est l'axe autour duquel tourne la monture du télescope. Il est établi parallèle à l'axe de la Terre, de manière à garder l'astre fixe dans le champ du télescope. Le tube du télescope enfin bascule autour de l'Axe de Déclinaison, de manière à ce que l'on puisse l'orienter vers les diverses latitudes célestes.

184 - *Qu'est-ce que la Position Azimutale ou Equatoriale d'un instrument ?*

L'instrument est en Position Azimutale lorsqu'il peut tourner autour d'un axe vertical et que le tube peut basculer de l'horizon au zénith.

L'instrument est en Position Equatoriale lorsqu'il peut tourner autour d'un axe parallèle à l'axe de la Terre (axe des pôles) et que le tube peut basculer de l'équateur céleste aux pôles célestes suivant les diverses déclinaisons des astres.

185- Citez quelques types de montures ?

On cite la monture « en berceau », lorsque le tube du télescope est porté par deux barres couplées et orientées suivant l'axe polaire. La monture « allemande », où le tube est porté par un bras équilibré par un contrepoids. La monture sur « plan équatorial », où le télescope tourne sur un plan incliné parallèle à l'équateur terrestre. La monture « à fourche », où le tube du télescope est porté par une fourche orientée suivant l'axe polaire. Etc...

186- Qu'est-ce qu'un Hélioscope ? un Héliostat ?

Un Hélioscope est un appareil optique spécialement aménagé pour l'étude du Soleil.

Un Héliostat est un appareil qui permet de projeter les rayons solaires en un point fixe, malgré le mouvement de la Terre.

187- Qu'est-ce qu'un Coronographe ?

C'est un système optique situé dans le tube du télescope ou de la lunette, qui occulte le disque solaire, comme lors d'une éclipse totale, afin que l'on puisse soit observer soit photographier ou filmer la couronne solaire.

188- Qu'est-ce que « l'Interférométrie » ?

C'est l'observation d'un astre que l'on obtient en faisant interférer le rayon qui en provient sur 2 ou plusieurs miroirs espacés les uns des autres. On obtient ainsi des franges d'interférence, d'où l'on peut ensuite déduire des mesures d'une grande précision.

L'exploitation interférométrique des signaux reçus par des radiotélescopes placés en orbite terrestre et de ceux captés par leurs homologues implantés sur les cinq continents devrait permettre l'obtention de pouvoirs de résolution supérieurs (jusqu'à 10^4 fois) à celui des meilleurs télescopes optiques.

189- Qu'est-ce que la Photométrie ?

Comme le nom l'indique c'est la mesure, aussi précise que possible, de la quantité de lumière donc d'énergie rayonnante qui nous vient des astres. On distingue la photométrie visuelle, par comparaison avec des étoiles standard, et la photométrie instrumentale, où la lumière est mesurée par divers procédés: plaques photographiques, galvanomètres, compteurs de particules, etc...

190- Qu'est-ce que la Polarimétrie ?

Un polarimètre est un appareil qui permet de voir, de photographier et de mesurer dans quel plan de vibration, perpendiculaire à l'axe optique, se situe la plus grande partie d'un rayonnement. La polarimétrie est utilisée pour l'étude de la matière interstellaire.

191- Qu'est-ce que la Spectroscopie, ou Spectrographie ?

La Spectroscopie, ou -graphie, est l'étude, visuelle ou photographique, du spectre de la lumière, c'est-à-dire de sa décomposition suivant les différentes couleurs, ou fréquences, que lui impose la traversée d'un prisme ou la réflexion sur un réseau. Le spectre ainsi obtenu est ensuite analysé, ses raies identifiées; ce qui permet de connaître la nature des étoiles. La spectrographie est la base de l'Astrophysique.

192- Qu'est-ce que l'Astrophotographie ?

C'est l'art et la technique que les astronomes doivent connaître pour se livrer avec succès à la photographie des objets célestes. Voici une formule intéressante pour évaluer le temps de pose T:

$$T = B (f/D)^2 / S$$

où f/D est le rapport de la focale au diamètre de l'objectif, S la sensibilité en ASA du film utilisé et B un coefficient de brillance: 0,005 pour la pleine lune, 0,025 premier quartier, 200 éclipse de lune, 0,10 Saturne, 1000 nébuleuse d'Orion, etc...

193- Qu'est-ce que la « Tache de Diffraction » ?

La lumière étant un phénomène vibratoire, il en résulte qu'elle ne peut se concentrer en un point géométrique de dimension nulle, quelle que soit la perfection du miroir. Mais un objet ponctuel, comme une étoile, forme au foyer du miroir une petite tache, dont le disque central est très brillant et se trouve entouré d'anneaux de diffraction, causés par la nature ondulatoire de la lumière. Le rayon du disque central - ou faux disque - dépend de la longueur d'onde « Lambda » (λ) de la lumière et du rapport f/D de l'instrument (f = longueur focale, D = diamètre de l'objectif), selon la formule suivante:

$$r = 1,22 \lambda f/D \text{ (on prend en général } \lambda = 0,55 \text{ microns)}$$

$$\text{Ex. Si } f/D = 6, \quad r = 4,02 \text{ microns}$$

194- Comment calculez-vous le Grossissement de votre instrument ?

Le Grossissement G de l'instrument est le rapport des distances focales f et f' de l'objectif et de l'oculaire. $G = f/f'$. Il peut également s'exprimer par le rapport O/O' (O = diamètre de l'objectif, O' = diamètre du cercle oculaire - image donnée de O par l'oculaire - également appelé pupille de sortie).

Dans le cas particulier où l'objectif et l'oculaire de l'instrument ont la même ouverture numérique (même valeur de F/D), le grossissement peut également s'exprimer par le rapport des diamètres D de l'objectif et d de l'oculaire: $G = D/d$.

Le grossissement exprime un rapport de surfaces: le rapport de la surface de l'image, et de la surface de l'objet observé. Un objet grossi 100 fois est vu sous un diamètre apparent agrandi d'un facteur 10.

195- Qu'appelle-t-on le Grossissement Equipupillaire ?

C'est le grossissement qui fournit une image qui peut entrer dans la pupille de l'oeil lorsque, pendant la nuit, elle se dilate à 6 mm environ. La pupille de sortie de l'instrument est alors égale à la pupille de l'oeil. Ce grossissement se trouve aisément par le rapport $D/6$ (D = diamètre de l'objectif en mm).

196- Qu'appelle-t-on le Champ de l'instrument ?

C'est l'angle sous lequel l'observateur voit la portion du ciel que lui découvre l'instrument. Cette portion de ciel est d'autant plus petite que le grossissement G est plus fort. Elle dépend également du champ O donné par l'oculaire lui-même. Ainsi le Champ de l'instrument est le rapport O/G .

197- Qu'appelle-t-on la Limite de Résolution théorique d'un instrument ?

Une image est résolue lorsque l'on en voit distinctement toutes les parties. Il n'est pas possible, en raison de la diffraction de la lumière, d'avoir une image nette au-delà d'un certain grossissement, car le grossissement grossit aussi la tache de diffraction. Cette Résolution se produit à 0,85 du rayon r du faux disque. On l'exprime généralement, non pas en microns, mais en secondes d'arc. Pour ce faire, il faut considérer l'angle sous-tendu par $0,85 r$ dans l'instrument. Cet angle p dépend uniquement de la focale f de l'objectif:

$$\tan p = 0,85 r/f, \text{ d'où l'on tire } p.$$

198- Qu'appelle-t-on Grossissement Résolvant ?

L'oeil normal sépare deux objets jusqu'à une minute d'arc. Or, nous l'avons vu, la limite de résolution théorique s'exprime en secondes d'arc. Il faut donc grossir jusqu'à la minute pour que l'oeil puisse voir les deux objets séparés. Ce grossissement s'appelle le Grossissement Résolvant. Il est obtenu par l'oculaire. Pour le connaître, il suffit d'établir le rapport: $60''/p$, p étant la limite de résolution théorique exprimée en secondes d'arc.

199- Quelle doit être la Précision Optique d'un instrument astronomique ?

C'est la perfection avec laquelle doivent être taillées et polies les surfaces optiques pour qu'elles ne présentent aucun défaut qui altère les images. Pour un télescope de bonne qualité, cette précision doit être au moins du dixième de la longueur d'onde moyenne de la lumière ($\lambda/10$). Ce qui signifie que la surface doit être juste à 1/20 000 mm, soit 0,05 micron près.

200- Qu'est-ce que la « Caméra Electronique » ?

C'est un appareil inventé vers les années 1950, qui permet de transformer un rayonnement lumineux de photons en un flux d'électrons, que l'on peut ensuite amplifier et canaliser.

201- Que sont les « Capteurs CCD » ?

Ce sont des appareils modernes qui enregistrent l'intensité de la lumière en captant et en comptant les photons, de sorte que l'on obtient une valeur numérique pour chaque point de l'image. Le capteur CCD est très sensible, et peut atteindre rapidement les quantités de lumière enregistrables.

Mais il est composé de « pixels », c'est-à-dire de petits tubes récepteurs qui doivent être extrêmement fins si l'on veut avoir des images fines et précises. On se rapproche ainsi de la structure de la rétine, où les cônes et les bâtonnets sont précisément des pixels récepteurs de la lumière sous diverses longueurs d'onde.

202- Avez-vous tout compris ? - Oui !...