

ARTICLE DE FOND - RÉALISATION

VOYAGE D'ÉTÉ AU PAYS DES AMAS GLOBULAIRES

Pierre Le Fur, MPSI, ISEN Toulon,
formateur en astronomie, académie de Nice

Résumé : Comment réaliser une maquette du halo galactique avec un peu de carton, des pics à brochettes et des boules de polystyrène. On se fera aider par Messier et Shapley.

1. Par une nuit sans Lune de juillet

Après la dernière lueur du couchant.

Un petit nuage clair entouré de deux compagnons stellaires se devine dans la lunette-chercheur du télescope. Il se détache sur le fond d'un ciel provençal mais citadin. Je manœuvre la "raquette" d'ascension droite et la mollette de déclinaison de mon vieux Célestron 8. Le petit objet diffus vient se centrer délicatement sur le réticule trop visible car éclairé par cette obscure clarté qui semble venir du ciel mais qui n'a d'autre origine que la forte pollution lumineuse de l'agglomération toulonnaise.

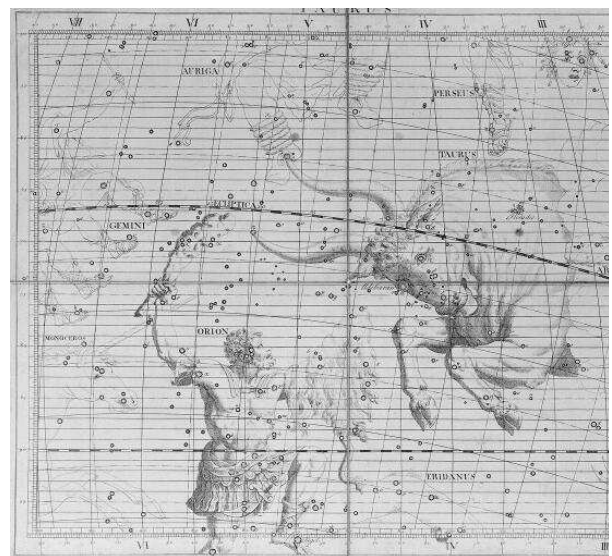
Mais l'objet "Messier 13" apparaît malgré tout en plein champ de l'oculaire du télescope ; et la vision de ce subtil nuage d'étoiles perdu entre deux compagnons stellaires du géant Hercule reste admirable.

Je recueille une image qui diffère totalement de ces clichés colorés et spectaculaires obtenus aux télescopes géants. Ici tout est finesse et fluidité : cet amas globulaire se détache timidement du fond presque noir des espaces infinis. L'œil balaye le champ de vision, s'aguerrit minute après minute, jusqu'à détecter distinctement et individuellement une première étoile, une deuxième, puis dix, puis vingt. Enfin la splendeur délicate de ce groupe de milliers d'astres agglutinés en cet endroit du ciel apparaît et s'impose à la rétine comme un paquet de photons vieux de 25 000 ans. À cet instant seulement, on peut ressentir la fabuleuse distance qui nous sépare de ces soleils géants. Seule cette expérience de vie donne un fragile aperçu des colossales distances astronomiques.

Ces longues minutes de paix et de communion avec l'univers sont celles de Flammarion ou de Messier. Aucun clic sur Internet ne pourra apporter une aussi forte impression de contact "réel" avec le ciel.

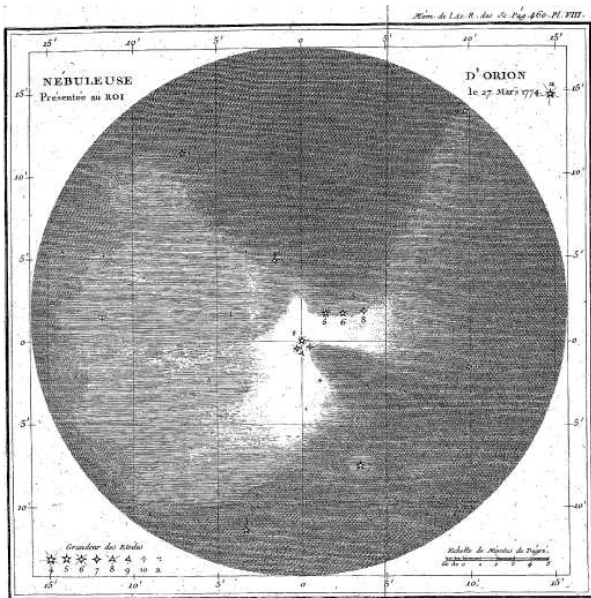
Une merveilleuse carte aux trésors.

Mais qui nous a conduit ici, dans ce voyage à travers la constellation d'Hercule ? Ce sont les John Flamsteed, Charles Messier et leurs successeurs moins connus comme Antonin Beckvar. Ces savants ont réalisé des cartes précises devenus nos guides de cabotages célestes au gré des étoiles doubles, variables et autres amas globulaires.



Carte de Flamsteed
<http://www.gallica.bnf.fr>

Ces cartes aux trésors ne sont pas que des repères, des chemins tracés dans le ciel. Elles constituent elles mêmes des oeuvres d'art comme celles de Flamsteed et de Messier qui y traçaient la route des astres chevelus (voir ci-dessus). Elles sont aussi le lieu des rêves éveillés des astronomes amateurs qui consultent encore celle plus récente de Beckvar ("Atlas of the Heavens" - 1950 académie tchécoslovaque des sciences), pour préparer leurs observations comme ces chasseurs de comète modernes (Don Machholz a ainsi découvert la comète "1986 e").



Carte de la nébuleuse d'Orion "présentée au roi"
Louis XV par Messier (Gallica)

2. Messier, guide du voyage

Un peu d'histoire

Retrouvons dans les mémoires de l'Académie des Sciences les pages écrites par Messier, le "furet" des comètes [1] qui oeuvra au milieu du XVIII^e siècle pour établir "un catalogue des nébuleuses et des amas d'étoiles que l'on découvre parmi les étoiles fixes au-dessus de Paris". Ce texte daté du 16 février 1771 nous est accessible grâce à la téléconsultation et le téléchargement, mis en ligne par la merveilleuse grande bibliothèque de France (site: <http://www.gallica.bnf.fr>).

En voici l'extrait concernant la "nébuleuse" M 2 du Verseau, deuxième de son catalogue:

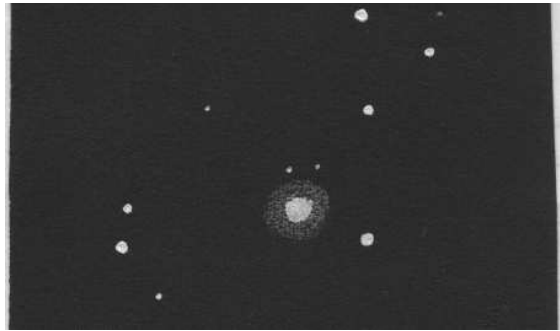
Le 11 Septembre 1760, je découvris dans la tête du Verseau une belle nébuleuse qui ne contient aucune étoile; je l'examinai avec un bon télescope Grégorien de 30 pouces de foyer, qui grossissoit cent quatre fois; le centre en est brillant, & la nébulosité qui l'environne est ronde; elle ressemble assez à la belle nébuleuse qui se trouve entre la tête & l'arc du Sagittaire: elle peut avoir 4 minutes de diamètre d'un grand cercle; on la voyoit très-bien avec une lunette ordinaire de 2 pieds: je comparai son passage au

Bien qu'observant pour le compte de l'observatoire de la Marine, l'instrument qu'il emploie reste modeste, puisque c'est un télescope à miroir métallique, d'environ 75 cm de focale, dont l'ouverture ne doit guère dépasser 10 à 15 cm.

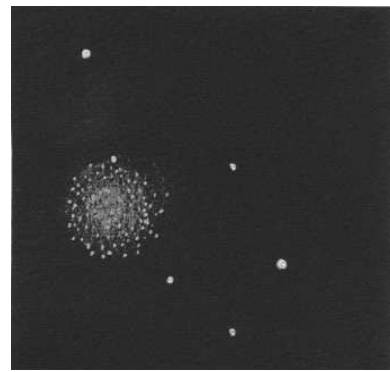
Il apparaît donc clairement, qu'un amateur d'astronomie très modestement équipé pourra sans difficulté comparer ses observations à celles de Messier et se projeter 250 ans en arrière.

Comparaison avec les observations d'amateur :

Intéressons nous à deux amas globulaires typiques : le deuxième du catalogue de Messier "M 2" du Verseau et M 22 du Sagittaire. Les deux dessins obtenus à l'oculaire d'un télescope d'amateur de 10 cm de diamètre, en banlieue d'une ville de moyenne importance, montre les deux aspects classiques : celui d'un amas globulaire non résolu en étoiles et le fourmillement de têtes d'épingles lumineuses d'un globulaire résolu. Comparons aux



Observations de l'auteur au télescope de 100 mm :
(grossissement 45, 09/1972)
M2 non résolu en étoiles



M22 est résolu en étoiles.
(grossissements 72 et 112, 07/1972)

observations de Messier notées dans son catalogue :

TABLE des Nébuleuses, ainsi que des amas d'Étoiles, que l'on découvre parmi les Étoiles fixes sur l'horizon de Paris; observées à l'Observatoire de la Marine.

ANNÉES & JOURS.	ASCENSION droite.	DÉCLINAISON.	DIAM.	INDICATION DES NÉBULEUSES & amas d'Étoiles.
	D. M. S.	D. M. S.	D. M.	
1758. Sept. 12	80. 0. 33	21. 45. 27. B.	...	nébuleuse placée au-dessus de la corne méridionale du Taureau.
1760. Sept. 11	320. 17. 0	1. 47. 0. A.	0. 4	nébuleuse sans étoile, dans la tête du Verseau.

M 2 : deuxième ligne du catalogue de Messier : on peut lire "sans étoile".

Il apparaît clairement que l'amateur d'aujourd'hui dispose d'instrument de haute qualité optique, par rapport à ceux de Messier : les étoiles de M 22 sont visibles pour l'amateur et non pour Messier.

5	275. 28. 39	24. 6. 11. A.	0. 6	nébuleuse sans étoile, entre l'arc & la tête du Sagittaire.
20	265. 42. 50	18. 45. 55. A.	0. 15	amas d'étoiles entre l'extrémité de l'arc du Sagittaire & le pied droit d'Ophiucus, très-près de l'étoile 65 ^e d'Ophiucus, suivant le catalogue de Flamsteed.
20	270. 26. 0	18. 26. 0. A.	1. 30	amas d'étoiles qui contient beaucoup de nébulosité près de l'extrémité de l'arc du Sagittaire, sur le parallèle de l'amas précédent.
20	274. 25. 0	19. 5. 0. A.	0. 10	amas de petites étoiles dans le voisinage des deux précédents, entre la tête & l'extrémité de l'arc du Sagittaire: cet amas ne contient aucune nébulosité.

M 22 : première ligne de cet extrait du catalogue, à la date du 5 juin 1764, on peut encore lire : "sans étoile, entre l'arc et la tête du Sagittaire".
M 22 n'est pas résolu en étoiles.

Messier pouvait-il différencier un amas globulaire d'une nébuleuse ? Il donne lui-même la réponse en décrivant ses observations de l'amas d'Hercule ("M" 13^e du catalogue) le plus spectaculaire et sans doute l'un des plus faciles à identifier comme agglomération stellaire :

La nuit du 1^{er} au 2 Juin 1764, j'ai découvert une nébuleuse dans la ceinture d'Hercule, je me suis assuré qu'elle ne contient aucune étoile; l'ayant examinée avec un télescope Newtonien de quatre pieds & demi, qui grossissoit soixante fois, elle est ronde, belle & brillante, le centre plus clair que les bords: on l'aperçoit avec une lunette ordinaire d'un pied, elle peut avoir de diamètre trois minutes de degré: elle est accompagnée de deux étoiles, l'une & l'autre de la neuvième grandeur, placées, l'une au-dessus, l'autre au-dessous de la nébuleuse, & peu éloignées. J'ai déter-

Cette nuit de juin 1764, aucune résolution en étoiles n'aura été possible. Mais s'y intéressait-il vraiment, puisque son catalogue n'avait pour but que d'éviter les confusions "nébuleuses"/comète lors des longues traques à l'astre chevelu ? N'a-t-il pas découvert treize comètes ?

Notre guide nous aura indiqué les emplacements de ces amas parmi les étoiles. Et ces "nébuleuses" n'ont de globulaire que leur aspect sphérique, au-delà de toute idée de leur nature physique.

Nous voilà avec une carte à deux dimensions riches d'objets mystérieux, prêts à les explorer ; comme l'ont fait avant nous les meilleurs observateurs amateurs [2].

3. De Messier à Shapley

La troisième dimension

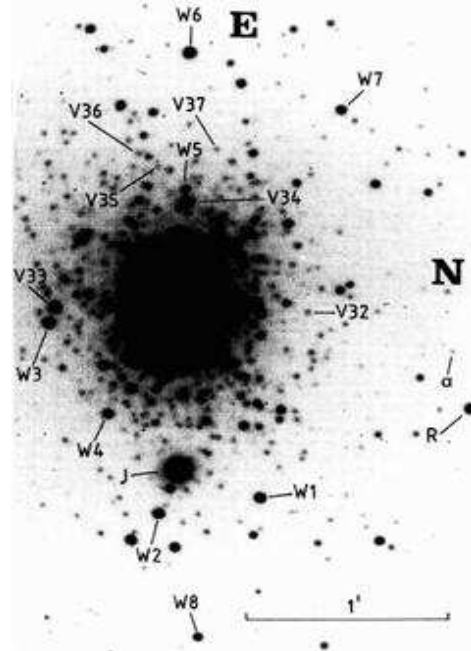
Mais au-delà de l'observation naturaliste voire poétique de ces objets du ciel "profond", une grande inconnue occulte notre compréhension des images télescopiques, voire notre ressenti : quelles tailles réelles ont ces groupements stellaires serrés ?

Pour répondre à cette question, connaître leurs distances au système solaire paraît impératif.

Comment accéder à cette troisième dimension ?

Si au XIX^e siècle, les Herschel (William, Caroline et John) construisirent des instruments suffisamment puissants pour résoudre nombre de ces amas globulaires, il fallut attendre le début du XX^e siècle pour estimer leur distance [3].

La méthode des RR Lyrae.



Quelques RR Lyrae dans un amas

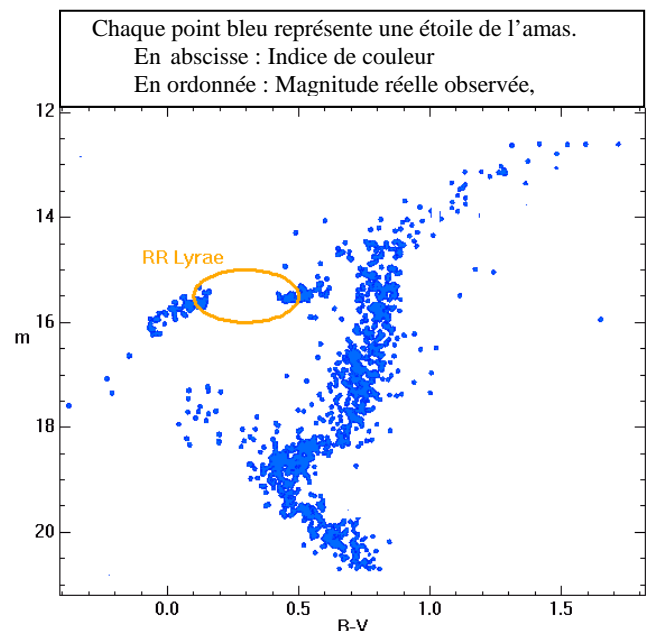
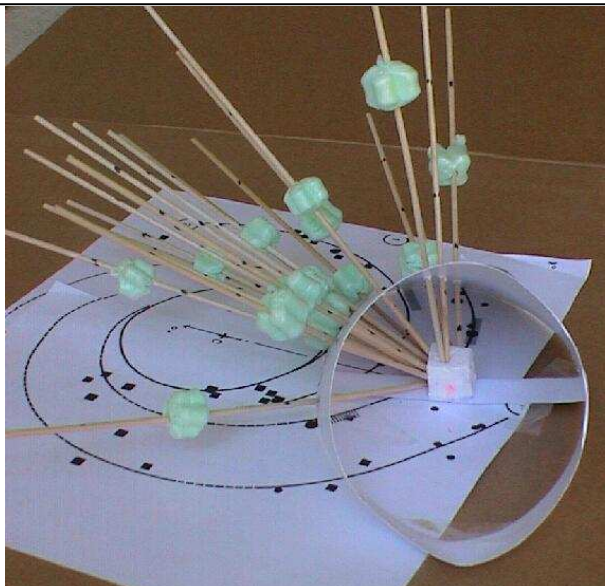


Diagramme de Hertzsprung Russel d'un amas globulaire : il met en évidence le "trou" des RR Lyrae. Dans cet exemple, leur magnitude observée est donc de 15 environ, or leur magnitude absolue est statistiquement constante et vaut 0,6.

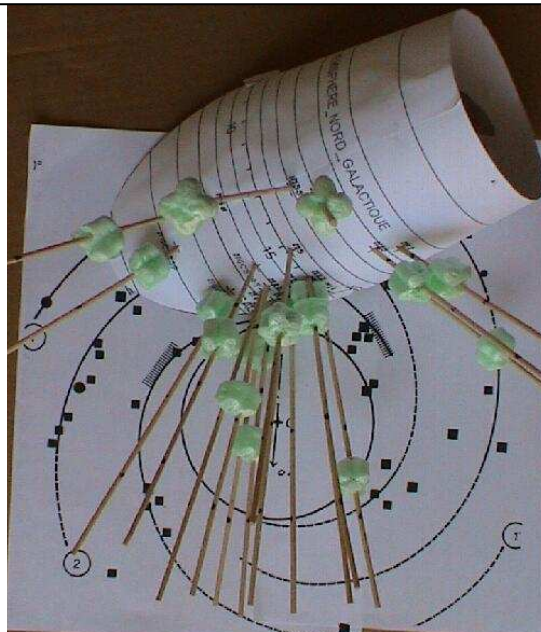
la distance en parsec –hors absorption– [4] est alors : $d=10^{(1+(15-0,6)/5)}=6\ 920\ \text{parsecs}=22\ 500\ \text{a.l.}$

C'est dans l'étonnante variabilité de certaines étoiles que réside le secret ; découverte par Miss Leavitt en 1912, la relation période-luminosité des étoiles "céphéïdes", permet de calibrer la luminosité intrinsèque de ces astres (magnitude absolue), et par comparaison avec leur éclat réel (magnitude observée), d'en déduire leur distance [4]. Malheureusement celles-ci sont peu présentes dans les amas globulaires et ce sont leurs proches "cousines", les variables d'amas RR Lyrae, qui ont

été utilisées. Les travaux de Shapley (1915-20), au Mont Wilson [5], ont permis de connaître ainsi la situation spatiale des amas globulaires par rapport à notre galaxie, donc de déterminer leur distance. Cette question est abordée d'une manière interactive et ludique sur le site de l'observatoire de Paris pour son Diplôme Universitaire "Fenêtre Sur l'Univers" accessible à tous, y compris les non inscrits aux cours [6].



Maquette du halo galactique, vue du pôle céleste Nord : chaque boule verte représente un amas globulaire. Les pics sont centrés sur la position du Soleil (cube de polystyrène blanc) [10]. On distingue la schématisation des bras spiraux de la Voie Lactée. Le bras du Sagittaire "frôle" à gauche le cube-soleil. Le bras externe de Persée est visible au premier plan.



Maquette du halo galactique, vue du pôle galactique Nord : le cylindre de carton centré sur le Soleil, guide les pics. Le bras n°2 de la Galaxie est le bras intermédiaire Écu-Croix. Celui du Sagittaire dont le départ est visible au-dessus du précédent à gauche est, ici, en grande partie caché par le cylindre de carton.

4. Une maquette 3D du halo galactique

Le principe.

Nous voilà prêts à réaliser une maquette en trois dimensions qui synthétise les positions relevées par Messier ou Herschel et les données de distance, plus récentes, obtenues par Shapley.

Le principe est simple : on matérialise la direction du Soleil vers les amas globulaires par une tige de bois. On place sur celle-ci une boule de polystyrène à une position convenable dépendant d'une échelle de distance préalablement définie.

On peut y adjoindre le schéma des bras spiraux de notre Voie Lactée [7].

Pour des raisons de commodité on ne représente que la moitié de l'espace. La Voie Lactée découpe le ciel en deux parties [10], les deux hémisphères galactiques. On ne retient que la moitié du ciel où se trouve le pôle nord céleste (la Polaire), c'est-à-dire l'hémisphère galactique nord.

La réalisation.

Les pics à brochettes sont gradués en utilisant l'échelle : $5\text{cm} \triangleq 10\,000$ années de lumière. Les distances Soleil/amas proviennent d'une base de données sur l'internet [9] ou de l'ouvrage [2].

Le cylindre de carton découpé en biais a un diamètre d'environ 12,5 cm et 25 cm dans sa plus grande longueur. Voir le "patron" page 7 (figure 1) qui doit être agrandi puis replié sur lui-même. Ensuite on le découpe suivant la sinusoïde figurant le plan de la Voie Lactée. Cette carte du ciel en projection "aphylactique centrale" ou gnomonique [8] est graduée en déclinaison de -70° à $+70^\circ$ et en ascension droite de 0 à 24 h. On y a placé les positions des amas globulaires découverts par Messier, en ne retenant que ceux situés dans l'hémisphère galactique nord.

Malheureusement Messier ne pouvait pas observer les "nébuleuses" situées trop près de l'horizon ; en

particulier les amas globulaires de l'hémisphère céleste sud (et galactique nord). Quatre amas brillants ont donc été rajoutés à la liste historique : NGC 5897 (W. Herschell), 6356 (W. Herschell), 5986 (Dunlop) et 5139 (Halley). Messier aurait pu les observer sous une latitude plus faible que celle de Paris. Seule la vingtaine d'objets observables avec les moyens de Messier ont été retenus, sur les presque 75 amas globulaires galactiques nord actuellement répertoriés [9].

La direction du centre galactique est indiquée, pour orienter le cylindre par rapport à la carte de la Voie Lactée.

La carte de la Voie Lactée (figure 2) est agrandie pour que la distance Soleil/centre galactique soit de 15 cm (soit 30 000 années de lumière environ, à l'échelle des "brochettes").

On assemble le tout avec de la colle, des ciseaux et de la patience.

L'exploitation

Au premier coup d'œil on constate que le nuage d'amas tourne le dos à la constellation d'Orion et s'étire vers le centre de la Galaxie, dans la direction du Sagittaire. Ces amas sont fortement liés à notre univers-île, par la force de gravitation. Nous comprenons ainsi pourquoi c'est par un soir d'été et non d'hiver qu'il nous fallait explorer ce halo d'amas globulaires : le Sagittaire culmine dans le ciel d'été en début de soirée, alors qu'Orion domine le ciel d'hiver.

Les plus éloignés, comme M 53, approchent le pôle galactique, au contraire des plus proches comme M 10 qui sont presque dans le plan de la Voie Lactée : l'absorption par les poussières interstellaires se fait sentir dans les directions proches du plan galactique.

D'autre part, on comprend pourquoi l'éclat de M13 reste remarquable : la distance au Soleil est moyenne (25 000 a.l.) mais sa lumière subit peu l'absorption de par sa haute latitude galactique. Quant au proche "Omega" du Centaure (NGC 5139 : 18 500 a.l.), on l'observe dans une direction à angle droit de celle du centre galactique, l'absorption intervient peu, son éclat en est accru. Enfin, les amas de Messier ne constituent qu'une partie de la sphère constituant le halo galactique. Pour explorer l'ensemble du halo, il devient nécessaire de monter en magnitude et donc d'utiliser des moyens beaucoup plus puissants (recherches au Mont Palomar après 1950).

5. Le doux parfum des temps anciens.

Cette maquette en carton nous permet d'appréhender le réel, de matérialiser nos idées sur la répartition spatiale de ces astres magnifiques. Certes elle n'a pas la poésie des cartes anciennes dans son aspect peu soigné ou ce matériau peu "noble" qu'est le carton. Mais nous l'avons vu, elle contient le résultat de siècles de recherches astronomiques et aura été un bon prétexte pour découvrir les travaux de Messier ou Shapley. Alors, par un beau soir d'été, en observant ces étoiles groupées en sphères de lumière et en désignant sur notre maquette le lieu de notre curiosité, un doux parfum des temps anciens monte à notre esprit. On imagine Shapley fixer une plaque photographique sur une platine d'un des télescopes du Mont Wilson en cet été 1915. On devine, en ce beau mois de juin 1764, Messier lire à la lueur d'une lanterne les coordonnées d'une "nébuleuse" sur la monture de bronze, finement graduée, de son télescope grégorien. Nous ressentons cet extraordinaire héritage scientifique, artistique et humain que nous devons transmettre à la génération montante. L'envie de partager ces instants subtils de contact visuel avec les étoiles s'impose à nous.

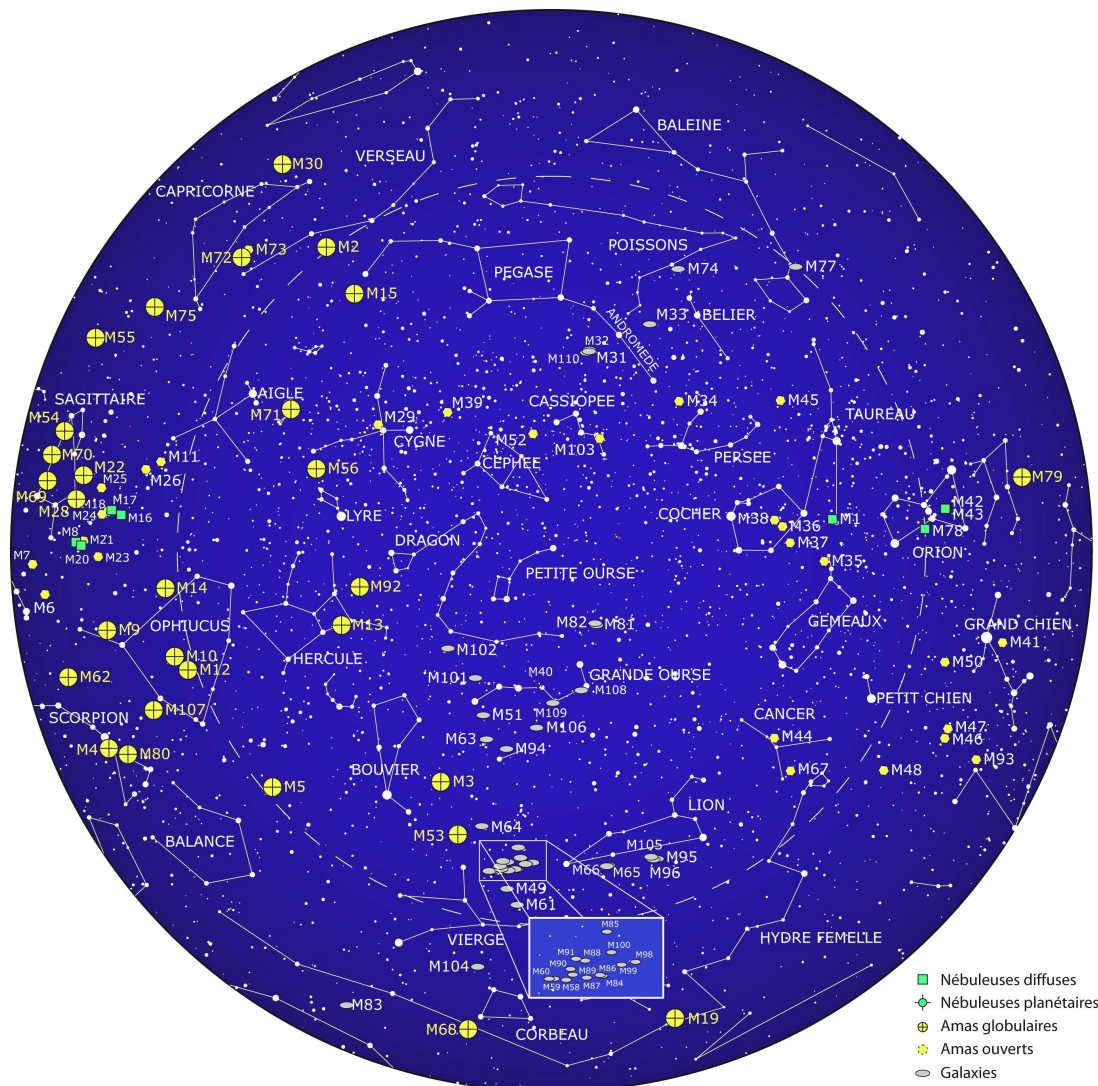
Enfin, ces photons captés par nos yeux nous ramènent à l'époque reculée d'une préhistoire où le ciel était peuplé de divins mystères.

Bibliographie :

- [1] "Les comètes : mythes et réalités", p 146, M. Festou, P. Verron, J.C. Ribes, chez Flammarion 1985.
- [2] "Les objets de Messier", S. O'Meara, chez Broquet, 2002.
- [3] "Les étoiles" A. Secchi, chez Félix Alcan, 1895.
- [4] "Initiation à l'astronomie", p 90, A. Acker, chez Masson, 1982.
- [5] "L'astronomie", p 379, L. Rudaux et G. de Vaucouleurs, chez Larousse, 1950
- [6] <http://media4.obspm.fr/public/FSU/>
- [7] "La galaxie, l'univers extragalactique", p 102, bureau des longitudes, chez Gauthier-Villars, 1980.
- [8] "Référentiels et mouvements de satellites", p 21, Cahiers Clairaut n° 108, hiver 2004-05.
- [9] <http://www.seds.org/~spider/spider/MWGC/mwgc.html>
- [10] <http://www.datasync.com/~rsf1/fun/sm-new.htm>



Un amas globulaire photographié, par l'auteur, sur 103 AO à l'aide d'un Célestron 8.



Cette carte peut être téléchargée sur le site du CLEA

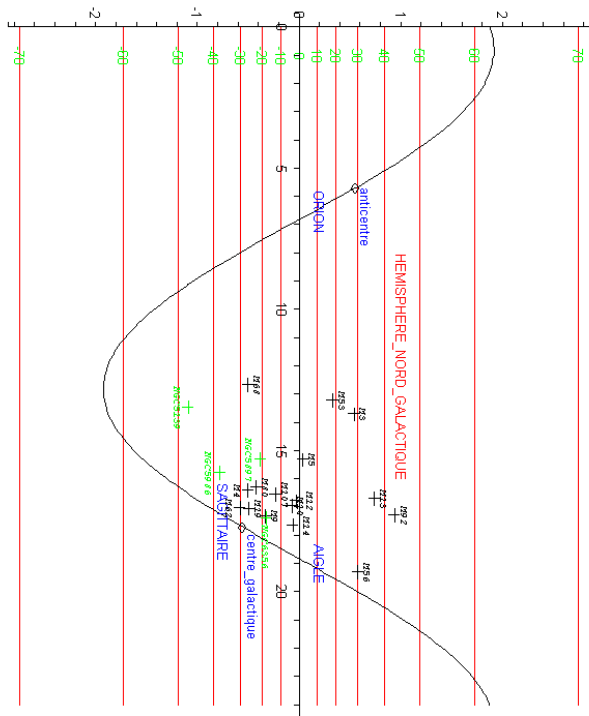


Figure 1- à photocopier et agrandir
(24 h d'ascension droite pour 40 cm environ)

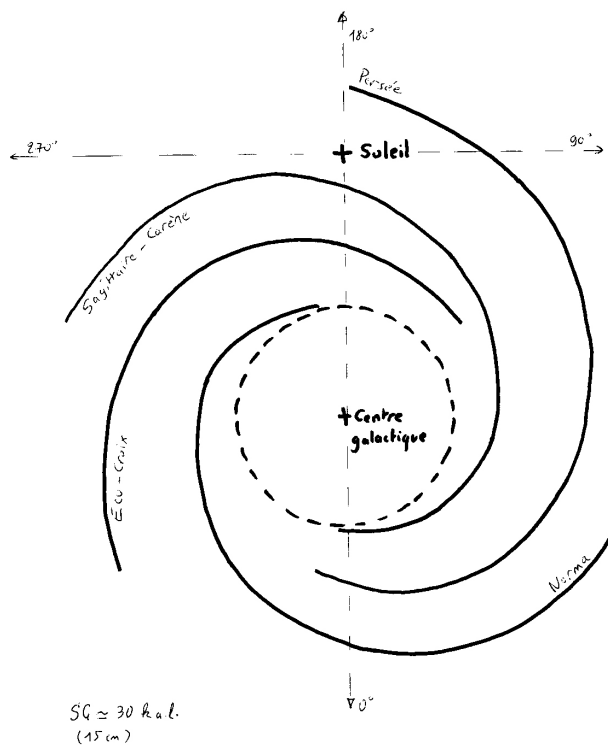


Figure 2- à photocopier et agrandir (Soleil-
Centre Galactique~15cm).d'après [6].

Vous trouverez ces deux images à l'échelle 1 sur le site du CLEA

Shapleyet le Soleil n'est plus au centre

Jean Ripert

Au début du XX^e siècle, les distances des galaxies et des amas globulaires étaient inconnues. C'était l'époque du "Grand Débat", controversé sur la structure de l'Univers : les "nébuleuses" (galaxies) faisaient-elles partie de la Voie Lactée ou étaient-elles des "univers-îles" ?

En étudiant les céphéides (étoiles variables, référence δ Céphée ou RR Lyrae, on ne distinguait pas les deux catégories à l'époque), Henrietta Leavitt trouva une relation entre leur période et leur luminosité.

Harlow Shapley (1885-1972) utilisa la parallaxe statistique (due au mouvement du système solaire dans la Galaxie) de certaines de ces variables pour calibrer la relation période-luminosité.

Cette relation eut une grande importance dans l'arpentage de l'Univers. En effet, il est possible de déterminer la période de la variation de l'éclat d'une céphéide et à partir de la relation période-luminosité, d'en déduire sa luminosité intrinsèque. La comparaison de cette luminosité intrinsèque à la luminosité apparente de l'étoile permet d'en déduire sa distance.

Shapley appliqua la relation aux céphéides de près de 70 amas globulaires. Il détermina ainsi leurs distances (sans tenir compte de l'absorption). Les amas étaient bien plus loin que prévu, (la Voie Lactée aussi devenait gigantesque). Connaissant les coordonnées des amas par rapport à la Terre, il établit une carte à trois dimensions (1917). La plupart des amas entouraient la constellation du Sagittaire. L'ensemble des amas avait une répartition sphérique, mais le centre n'était pas le Soleil. Shapley délogeait le Soleil de sa place centrale dans la Voie Lactée où l'avait mis Herschel.

Mais lors de la rencontre publique organisée par Hale en 1920 sur le "Grand Débat", Shapley soutenait que les nébuleuses (galaxies) étaient situées au voisinage de la Voie Lactée, alors que Curtis pensait l'inverse. Plusieurs années plus tard, Hubble apporta la preuve que Curtis avait raison. Ainsi va l'histoire de l'astronomie et des sciences.

Un astéroïde porte le nom de Shapley : le n° 1123 Shapleya.

Voir à l'adresse suivante les différents articles (en bref, compléments, activité) dans lunap (l'univers à portée de main) réalisé par le CLEA : <http://www.ac-nice.fr/clea/lunap/html/Amas/AmasEnBref.html>