

CP AMAS GLOBULAIRES SOURCES

A. SITES GÉNÉRAUX

1) Images par Hubble

- page d'accueil des images prises par HST (4 pages au total)

https://esahubble-org.translate.goog/images/archive/category/starclusters/?search=globular+cluster&_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=fr&_x_tr_hl=fr&_x_tr_pto=rq

2) Liste des AG galactique

- catalogue de Harris 2010 :

<https://physics.mcmaster.ca/~harris/mwgc.dat>

- catalogue de Holger-Baumgardt, en anglais 2023 :

<https://people.smp.uq.edu.au/HolgerBaumgardt/globular/>

B. DÉFINIR UN AG

1) Yael NAZÉ Université de Liège

- partie 1 :

<http://www.ago.ulg.ac.be/PeM/Docs/AmasGlobulaire1.pdf>

voir p 23 & sv : utilité des AG en astrophysique

- partie 2 :

<http://www.ago.ulg.ac.be/PeM/Docs/AmasGlobulaire2.pdf>

2) Paola di Matteo

- conférence-papier de la vidéo de Paola Di Mateo de 2022 :

<https://www.planetastronomy.com/special/2023-special/09nov/Gaia-SAF-PdM.html>

- conférence février 2024 :

<https://www.college-de-france.fr/sites/default/files/media/document/2024-02/Combes%202023-2024%20-%20Cours%205%20f%C3%A9vrier%20Di%20Matteo.pdf>

3) Corinne Charbonnel 2014 :

- vidéo conférence :

<https://www.youtube.com/watch?v=hkqKIPgOUTo&t=8s>

4) Françoise Combe :

- amas d'étoiles : formation, dissolution , 2024

<https://www.college-de-france.fr/sites/default/files/media/document/2024-02/Combes%202023-2024%20-%20Cours%205%20f%C3%A9vrier.pdf>

très technique mais intéressant/aux grandes idées de l'exposé

5) Astronet.ru

- image + explications en anglais à partir de NGC 6355 Oph:

<http://www.astronet.ru/db/xware/msg/1876641>

+ liens intéressants vers différents AG

6) ESA/HST

- qu'est-ce qu'un AG ? en français :

https://esahubble-org.translate.goog/wordbank/globular-cluster/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=fr&_x_tr_hl=fr&_x_tr_pto=rq

7) Astrosurf

<http://www.astrosurf.com/luxorion/menu-astrophysique.htm>

<http://www.astrosurf.com/luxorion/univers-amas-stellaires2.htm>

8) Astronomia

https://astronomia.fr/3eme_partie/amas.php

9) Handprint.com

<http://www.handprint.com/ASTRO/galaxy.html#globclusters>

10) Starwalk.space

15 amas visibles à l'œil nu

<https://starwalk.space/fr/news/naked-eye-star-clusters-list#m45-ou-les-pl%C3%A9iades-messier-45>

11) Différences AO/AG

<https://socratic.org/questions/what-is-the-difference-between-open-clusters-and-globular-clusters>

12) Britannica.com

<https://www.britannica.com/science/globular-cluster>

13) Etude de M3 contenant bcp de choses intéressantes

<http://www.christophe-louis-mele.fr/m3/>

14) cosmovision

<https://www.cosmovisions.com/amgl.htm> avec notamment évaporation

15) science des AG

<https://www.simonhanmer52.ca/globular-clusters.html>

C. CARACTÉRISTIQUES

1) Histoire de la découverte

- Synthèse rapide mais intéressante des AG :

http://www.soaslyon.org/images/Histoire_des_amas_globulaires_SAL.pdf (avec diagramme HR de M3)

2) Description générale

a) Des densités extrêmes

Diamètre des AG :

- Une proximité de $\frac{1}{2}$ semaine lumière dans l'AG NGC 6397 :

<https://esahubble.org/images/opo0321a/>

- Corinne Charbonnel 2014 :

<https://www.youtube.com/watch?v=hkqKIPq0UTo&t=8s>

- complément vidéo 2023 :

<https://www.lematin.ch/story/luni-de-geneve-pourrait-avoir-perce-le-secret-des-amas-detoiles-105628023406>

- pourquoi les AG sont-ils si stables ?

https://astronomia.fr/3eme_partie/amas.php

Stabilité d'un amas globulaire

Les amas globulaires existent depuis des milliards d'années, la troncature de la Séquence Principale le prouve. De plus, ils ont une densité très supérieure à celle du disque de la galaxie. Comment les interactions gravitationnelles entre leurs étoiles n'ont-elles pas, depuis longtemps, provoqué soit leur rupture, soit leur effondrement ?

L'explication est assez récente. Elle tient dans la répartition de l'énergie (cinétique et potentielle) entre les étoiles de l'amas.

Lorsque 3 étoiles passent à proximité, on montre que l'une d'entre elles perd de l'énergie au profit d'une autre. Alors, celle qui a perdu de l'énergie peut se mettre en orbite autour de la troisième, alors que celle qui en a gagné est éjectée au loin. De telles rencontres à trois sont assez fréquentes du fait de la densité, et la formation des couples stellaires aussi. On s'attend donc à observer davantage de couples à l'intérieur d'un amas globulaire que dans le disque de la galaxie.

- Effondrement gravitationnel des AG :

<https://perso.ensta-paris.fr/~perez/Recherche/EffGrav.php>

- équilibre viriel:

<https://perso.ensta-paris.fr/~perez/Recherche/Plummer/DYNGAL.pdf> §4.2 2004

b) sphéricité

- équilibre de King, sphéricité, stabilité des AG :

https://www.cidehom.com/question.php?_q_id=5011

c) Une répartition et des orbites extérieures à la VL

- Orbites de 4 AG en vidéo :

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2018/04/Globular_clusters_and_dwarf_galaxies_orbiting_the_Milky_Way Gaia

- en images :

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2018/04/Gaia_s_globular_clusters_and_dwarf_galaxies_with_orbits Gaia

<https://esahubble.org/images/opo0210e/>

- distribution des AG dans la VL :

https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-the-spatial-distribution-of-the-Milky-Way-Globular-Clusters-around-the_fig1_271855063

- comment Shapley a déterminé la position de la T dans la galaxie ?

<https://faculty.ung.edu/jjones/ast1020home/galcentlab.htm>

+ <https://dailyscience.be/24/04/2020/il-y-a-un-siecle-le-soleil-quittait-le-centre-de-la-galaxie/>

+

https://fi-edu.translate.goog/en/news/case-files-harlow-shapley?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=fr&_x_tr_hl=fr&_x_tr_pto=rq

+ <https://pg-astro.fr/grands-astronomes/apogee-de-l-astrophysique/harlow-shapley.html>

+ <https://www.britannica-com.translate.goog/biography/Harlow-Shapley>

Shapley a rejoint le personnel de l'observatoire du mont Wilson (Pasadena, Californie) ; il a étudié la distribution des amas globulaires ; il a découvert que ces amas sont des groupes immenses et denses d'étoiles, certains contenant jusqu'à 1 000 000 de membres. Il a découvert que sur les 100 amas connus à l'époque, un tiers se trouvait dans les limites du Sgr. En utilisant le concept nouvellement développé selon lequel les RR Lyrae révèlent avec précision leur distance par leur période de variation et leur luminosité apparente, il a découvert que les amas étaient répartis approximativement dans une sphère dont le centre se trouvait dans le Sagittaire. Comme les amas supposaient une disposition sphérique, il était logique de conclure qu'ils se regroupaient autour du centre de la Galaxie ; à partir de cette conclusion et de ses autres données de distance, Shapley a déduit que le Soleil se trouve à une distance d'environ 50 000 années-lumière du centre de la Galaxie ; ce chiffre a été corrigé plus tard à 30 000 années-lumière. Avant Shapley, on pensait que le Soleil se trouvait près du centre de la Galaxie. Ses travaux, qui ont conduit à la première estimation réaliste de la taille réelle de la Galaxie, ont ainsi constitué une étape importante dans l'astronomie galactique.

+ https://www.persee.fr/doc/barb_0001-4141_1972_num_58_1_63270

en français et en détail

[cartes en 3D montrant distribution des AG / au soleil](#)

<https://calgary.rasc.ca/globulars.htm>

- en comparaison : distribution d'AO :

<https://astronomy.ua.edu/undergraduate-program/course-resources-astronomy/lab-exercise-8-cosmic-distributions-and-the-galactic-ecology/star-cluster-distributions-i/>

<https://astronomy.ua.edu/undergraduate-program/course-resources-astronomy/lab-exercise-8-cosmic-distributions-and-the-galactic-ecology/star-cluster-distributions-ii/>

- distribution dans le halo de la VL :

pourquoi les AG sont dans le halo ?

[https://www-astronomy-com.translate.goog/science/why-are-open-clusters-and-globular-clusters-found-in-different-](https://www-astronomy-com.translate.goog/science/why-are-open-clusters-and-globular-clusters-found-in-different-places/? x_tr sl=en& x_tr tl=fr& x_tr hl=fr& x_tr pto=rq& x_tr hist=true)

[places/? x_tr sl=en& x_tr tl=fr& x_tr hl=fr& x_tr pto=rq& x_tr hist=true](https://www-astronomy-com.translate.goog/science/why-are-open-clusters-and-globular-clusters-found-in-different-places/? x_tr sl=en& x_tr tl=fr& x_tr hl=fr& x_tr pto=rq& x_tr hist=true)

décembre

2023

- Conférence/papier de la vidéo de P Di Mateo :

<https://www.planetastronomy.com/special/2023-special/09nov/Gaia-SAF-PdM.html>

- une orbite excentrique :

<https://sciencepost.fr/amas-globulaire-plonge-vers-centre-voie-lactee/>

d) Classification de Shapley & Sawyer

Plus utilisée par les pro

<http://clubregulus.free.fr/classification.html>

e) Age : utilisation du diagramme HR

<https://esahubble.org/images/potw1534a/>

- description du diagramme HR de M5 :

https://craq-astro.ca/phy1971/chap_pdf/chap17b.pdf (page 8)

- ensemble de diagramme HR pour différents AG**** :

<https://vanderbei.princeton.edu/images/NJP/HRdiagMatlab.html>

- généralités/diag HR

https://craq-astro.ca/phy1971/chap_pdf/chap17b.pdf

- diagramme HR M13 :

<https://www.apod.tv/collection/les-couleurs-et-les-magnitudes-de-m13/>

- diagramme de M55 :

<https://www.college-de-france.fr/sites/default/files/media/document/2024-02/Combes%202023-2024%20-%20Cours%205%20f%C3%A9vrier.pdf> p10/54 à comparer avec M13

- 3 nouveaux AG découverts :
<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/astrophysique-voie-lactee-3-nouveaux-amas-globulaires-decouverts-24258/> (avec estimation de leur âge)
- M71 un AG confondu pendant longtemps avec un AO mais dont l'âge des étoiles le définit finalement comme AG :
<https://esahubble.org/images/opo1325b/>
- M92 Her : l'AG le plus vieux de la VL :
<https://www.ca-se-passe-la-haut.fr/2023/06/nouvelle-estimation-de-lage-du-plus.html>
- AG fossile :
https://www.keckobservatory.org/fossil_star_clusters_reveal_their_age/
- un AG jeune : NGC 1818 GNM :
https://www.cidehom.com/apod.php?_date=010311
- des AG jeunes dans une galaxie elliptique géante : NGC 1275 Per :
https://www.cidehom.com/apod.php?_date=010311 +
<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/univers-ces-amas-globulaires-jeunes-surprennent-astronomes-78258/>

f) métallicité

- <https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9tallicit%C3%A9>
- NGC 6496 une métallicité très élevée
<https://esahubble.org/images/potw1622a/>
 - découverte d'un courant d'étoiles à très faible métallicité :
<https://www.cnrs.fr/fr/presse/decouverte-de-la-structure-stellaire-la-moins-metallique-de-la-voie-lactee> avec image (voir bq images)
 - différence de métallicité dans un AG :
<https://www.pourlascience.fr/sd/astrophysique/les-amas-globulaires-pollues-par-des-etoiles-supermassives-25286.php> (Charbonnel)
 - AG le plus pauvre :
<https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/vvv-cluster-001-lamas-globulaire-le-plus-pauvre-en-metaux-des-regions-internes-de-la-voie>

g) distances 1pc = 3,26AL

- généralités sur indicateurs de distance :
http://www.christophe-louis-mele.fr/documents/indicateurs_distance.pdf
- étoiles variables pulsantes (notamment pour expliquer M3)
http://physique.unice.fr/sem6/2014-2015/PagesWeb/PT/Etoile/etoiles_variables.php
- voir aussi la relation période/luminosité qui permet de calculer la distance :
<http://physique.unice.fr/sem6/2014-2015/PagesWeb/PT/Etoile/photometrie.php#14>
- formule du module de calcul de la distance par la luminosité :
vidéo comment calculer la distance des étoiles : 7 49 38 mn

h) luminosité

- loi de Stefan-Boltzmann calcul de la luminosité :
https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Stefan-Boltzmann
- cours sur la luminosité/raies spectrales/classes de luminosité :
https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/pages_classification-spectrale/impression.html

3) origines et formation

a) Généralités

- Revue d'American scientist 1998 :
<https://www.americanscientist.org/article/the-formation-of-star-clusters>
- revue l'astronomie juin 2018 :
<https://lastronomie.fr/wp-content/uploads/2020/04/LAstronomie-117-Amas-globulaires.pdf>
- exemple de formation dans les galaxies des antennes NGC 4038 & 4039 Françoise Combes :
<https://www.college-de-france.fr/sites/default/files/media/document/2024-02/Combes%202023-2024%20-%20Cours%205%20f%C3%A9vrier.pdf> p20 et sv/54
- généralités :
<https://www.sexten-cfa.eu/event/the-formation-of-globular-clusters-at-high-and-low-redshift/>

b) Dans la VL

- Image d'artiste montrant la VL il y a 12,7 Mds d'années : un océan d'AG
<https://esahubble.org/images/opo0210h/>
- étoiles super massives dans protoamas globulaires C Charbonnel :
<https://www.rts.ch/info/sciences-tech/14010387-de-gigantesques-soleils-ont-brille-dans-les-amas-detoiles-tres-anciens.html>
- pic de formation des AG dans VL :
<https://www.ca-se-passe-la-haut.fr/2020/06/dou-viennent-les-amas-globulaires-de.html>

c) En dehors de la VL

- protoamas dans galaxie très jeune :
<https://www.sci.news/astronomy/webb-proto-globular-clusters-early-universe-13043.html> juin 2024
<https://www.science-et-vie.com/ciel-et-espace/surprise-et-etonnement-james-webb-capture-un-cluster-detoiles-dans-larc-des-gemmes-cosmiques-une-galaxie-naissante-photos-141338.html>
- ESA communiqué :
https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Webb/Webb_captures_star_clusters_in_Cosmic_Gems_arc

d) Par collision de galaxies

- <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/astronomie-hubble-revele-chapelets-centaines-amas-etoiles-crees-collisions-galactiques-111445/>
- article de fond : avec image à utiliser :
<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/galaxie-restes-galaxie-devorees-voie-lactee-retrouvees-astronomes-84222/>
- reste de AG dans galaxie naine hyperdenses
<https://www.nature.com/articles/s41586-023-06650-z>

e) Par « capture » d'AG de galaxies naines :

- <https://universemagazine.com/en/the-milky-way-steals-most-of-the-globular-clusters-from-its-neighbors/>

L'astronomie moderne affirme que toutes les grandes galaxies, y compris notre Voie lactée, se sont formées en absorbant des galaxies ou des amas d'étoiles plus petits. Cela signifie que certains amas globulaires qui se trouvent actuellement dans notre galaxie sont probablement des restes d'autres galaxies. Ces galaxies ont ensuite été absorbées par la Voie Lactée ou éventuellement extraites de galaxies satellites indépendantes, telles que les Nuages de Magellan.

La Voie Lactée abrite un grand nombre de galaxies satellites, parmi lesquelles les célèbres Nuages de Magellan et des galaxies moins connues, comme la galaxie naine de la constellation du Fourneau et la galaxie naine Antlia 2 dans la Machine Pneumatique (Ant). Mais toutes ces galaxies naines ne sont pas complètement indépendantes. Certaines d'entre elles, comme la galaxie naine sphérique du Sagittaire, se révèlent sensiblement allongés ou déformés - leur forme ressemble davantage à des flux d'étoiles qu'à des structures galactiques organisées. Cela indique qu'ils sont désormais sous l'influence gravitationnelle en raison du processus de fusion avec la Voie Lactée.

La découverte de ces courants de marée a contribué à résoudre une mystérieuse observation : de nombreux amas globulaires entourant notre galaxie ont un âge similaire, tandis que d'autres sont relativement jeunes. Les astronomes ont suggéré que cela était possible grâce au fait que ces jeunes amas étaient formés par des galaxies naines relativement jeunes. Au fil du temps, de plus en plus de preuves ont été recueillies pour étayer cet argument.

En 2002, les astronomes étudiant l'amas globulaire NGC 5634 ont remarqué qu'il se déplaçait dans le courant de marée de la galaxie naine du Sagittaire. Son mouvement et sa teneur relativement faible en métaux correspondaient également à d'autres caractéristiques d'une galaxie naine.

Depuis, les astronomes ont trouvé des preuves convaincantes que plusieurs amas sphériques supplémentaires sont également associés à cette galaxie qui souffre des marées. Ils comprennent AM 4, Arp 2, Pal 12, NGC 2419, NGC 4147, Terzan 7, Terzan 8, Whiting 1. Parallèlement, d'autres courants de galaxies naines déchirées ont été découverts, comme le courant Helmi, Gaia-Encelade et autres.

Les astronomes pensent également que certaines des galaxies naines les moins endommagées en orbite autour de la Voie lactée pourraient avoir apporté une contribution importante à la formation d'amas sphériques, et peut-être même en « voler » certains.

Simulation de « vols »

Dans des études récentes, les scientifiques ont appliqué une approche différente. Ils ont notamment examiné comment diverses galaxies entourant la Voie lactée et absorbées par celle-ci pouvaient échanger des amas sphériques. Dans leur premier article, ils ont créé des modèles de galaxies naines hypothétiques sur différentes orbites autour de la Voie lactée pour étudier la facilité avec laquelle leurs amas pourraient être séparés de leurs galaxies hôtes.

Ils ont conclu que le pourcentage de clusters pouvant être séparés variait entre 12 % et 93 %. Les chances de séparation des amas seraient plus élevées s'ils avaient des orbites elliptiques qui les amèneraient à proximité de leurs galaxies hôtes. Mais si la galaxie était plus massive, elle pourrait mieux contenir ses amas.

Sur la base de ces simulations, les auteurs des articles ont suggéré qu'au moins deux amas globulaires pourraient provenir d'une galaxie naine de la constellation du Fourneau, quatre du Grand Nuage de Magellan, deux du Petit Nuage de Magellan et 14 de la galaxie naine sphérique du Sagittaire.

Dans leur deuxième étude, ils ont abordé la question différemment, en étudiant les propriétés orbitales de 154 amas globulaires et en les comparant avec les caractéristiques de 41 galaxies naines en orbite autour de la Voie lactée, ainsi que de certains courants de marée.

En utilisant uniquement ces caractéristiques, les auteurs ont identifié 14 amas globulaires associés à la galaxie naine sphérique du Sagittaire, ce qui a confirmé les résultats d'études antérieures. Cependant, leurs résultats ne coïncident pas avec d'autres études sur l'origine de ces clusters. Cinq amas, que les auteurs considéraient auparavant comme associés à la galaxie naine du Sagittaire, ne possédaient pas suffisamment de paramètres pour être considérés comme « volés ».

Imprécisions dans les simulations

Néanmoins, ils ont identifié quatre nouveaux amas globulaires qui n'étaient auparavant pas associés à la galaxie. Ils ont cependant une forte probabilité d'y être associés, ainsi que six autres avec une probabilité plus faible. L'étude a également identifié six clusters probablement issus du Grand Nuage de Magellan. De manière générale, leurs travaux montrent que 29 (19 %) des amas globulaires connus ont des caractéristiques assez similaires à celles des galaxies naines et indiquent leur origine.

Les auteurs admettent que leurs modèles sont quelque peu simplifiés, car ils ne reproduisent pas entièrement la structure tridimensionnelle complexe des galaxies naines.

f) A partir des super amas stellaires

<https://fr.wikipedia.org/wiki/R136>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Superamas_stellaire

https://fr.wikipedia.org/wiki/NGC_1569 (avec 2 superamas en photos)

4) Disparition

- Yaël Nazé AG 2 p14-15-16

- Par friction dynamique dans le halo :

Composition du halo : <https://www.observatoiredeparis.psl.eu/le-mystere-de-l-origine-du.html>

- Par échappement d'étoiles F Combes avec création d'un trou noir éventuel :

<https://www.college-de-france.fr/sites/default/files/media/document/2024-02/Combes%202023-2024%20-%20Cours%205%20f%C3%A9vrier.pdf> p 36 et sv/54

- destruction d'AG :

https://www.sciencesetavenir.fr/espace/voie-lactee/un-amas-globulaire-dechire-par-la-voie-lactee-identifie_146320 +

<https://www.cieletespace.fr/actualites/la-voie-lactee-est-en-train-de-dechiqueter-l-amas-globulaire-m92>

- destruction d'AG par perturbation gravitationnelle de la VL : le cas de Palomar 5

<https://gepi.obspm.fr/actualites/article/courants-stellaires-dans-le-halo> (voir aussi la carte de la VL avec les courants stellaires dans le halo)

+ <https://www.syfy.com/syfy-wire/this-star-cluster-is-slowly-being-taken-over-by-black-holes-in-a-billion-years-theyll-kill> (en anglais)

- disparition d'AG et reste de galaxie :

<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/galaxie-restes-galaxie-devorees-voie-lactee-retrouvees-astronomes-84222/>

- anneaux d'étoiles autour de la VL :

<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/astronomie-decouverte-anneaux-etoiles-encerclent-notre-galaxie-11994/>

5) bestiaire

a) des couleurs différentes (voir oméga Centauri dans bq image)

<https://hubblesite.org/contents/media/images/2009/25/2609-Image.html>

b) Existence de pulsar dans des AG

<https://esahubble.org/images/opo0319c/> (au sein de M4) +

<https://esahubble.org/images/opo0319j/> + <https://esahubble.org/images/opo0319i/> +
<https://esahubble.org/images/heic0201a/> NGC 6397
http://messier.obspm.fr/more/m004_hst.html M4 avec exo planète

c) Existence de trou noir dans des AG

- Mayall II ou G1 :
<https://esahubble.org/images/opo0218c/>
+ <https://esahubble.org/images/opo0218a/> + <https://esahubble.org/images/opo9506a/> (M15)
- Découverte d'un TN intermédiaire dans M4 (2023)
<https://www.science-et-vie.com/ciel-et-espace/trou-noir-de-masse-intermediaire-amas-globulaire-messier-4-hubble-105216.html>
- cimetière dans NGC 6397
<http://www.iap.fr/actualites/laune/2021/PetitsTrousNoirs/cimetiere-detoiles.html> (2021)
- CNRS TN intermédiaire dans M4 ?*****
<https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/la-nature-mysterieuse-du-coeur-de-lamas-detoiles-messier-4> juin 2023
- TN dans NGC 6397 et 3201
<https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/chasser-des-trous-noirs-dans-un-cimetiere-detoiles> juin 2022

d) Les trainardes bleues

- Dans 47 Tuc :
<https://esahubble.org/images/opo9735c/>
<https://esahubble.org/images/opo9735a/>
- vidéo concentration des TB dans l'AG :
<https://esahubble.org/videos/heic1221a/>
- TB : des étoiles vampires (Pour la science novembre 2011) :
<https://www.pourlascience.fr/sd/astrophysique/trainardes-bleues-des-etoiles-vampires-11124.php>
<https://www.pourlascience.fr/sd/astrophysique/trainardes-bleues-des-etoiles-vampires-11124.php>

e) Les naines blanches

Dans M4 : <https://esahubble.org/images/opo9532a/>
Diagramme HR dans M4 : <https://esahubble.org/images/opo0210f/>

f) Des planètes extrasolaires dans les AG

M4 : <https://esahubble.org/images/opo0319e/>

g) Des étoiles très chaudes dans M15

<https://esahubble.org/images/opo9313a/>

h) Des nébuleuses planétaires : très rares

i) Des RR Lyrae

https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/pages_etalonnage-primaire/rr-lyrae_impression.html

j) Matière noire

- De la MN dans les AG de la galaxie naine Fornax ? :

<https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/de-la-matiere-noire-dans-les-amas-globulaires>

k) Vieillesse des AG

- ESO : des étoiles révèlent les secrets de l'éternelle jeunesse, 2012 :

<https://www.eso.org/public/france/news/eso1252/>

- évolution des étoiles au sein de 47 Tuc : schéma

<https://esahubble.org/images/opo1325c/> +

<https://hubblesite.org/contents/media/images/2013/25/3199-Image.html?news=true>

- vieillissement étoiles : naines blanches dans l'AG NGC 6397

<https://esahubble.org/images/opo0742a/> + <https://esahubble.org/images/opo0321b/>

+ <https://esahubble.org/news/heic1221/> (comment vieillissent les AG ?)

- un AG très jeune : NGC 1783

<https://esahubble.org/images/potw1534a/> (2015)

traduit de l'anglais

En mesurant la couleur et la luminosité d'étoiles individuelles, les astronomes peuvent déduire l'âge global d'un amas et une image de son histoire de formation d'étoiles. NGC 1783 aurait moins d'un milliard et demi d'années, ce qui est très jeune pour les amas globulaires, qui ont généralement plusieurs milliards d'années. Durant cette période, on pense qu'elle a connu au moins deux périodes de formation d'étoiles, séparées par 50 à 100 millions d'années.

Ce flux et reflux de l'activité de formation d'étoiles est un indicateur de la quantité de gaz disponible pour la formation d'étoiles à un moment donné. Lorsque les étoiles les plus massives créées lors de la première explosion de formation explosent sous forme de supernovæ, elles rejettent le gaz nécessaire à la formation d'autres étoiles, mais le réservoir de gaz peut ensuite être reconstitué par des étoiles moins massives qui durent plus longtemps et libèrent leur gaz moins violemment. Une fois que ce gaz s'est écoulé vers les régions centrales denses de l'amas d'étoiles, une deuxième phase de formation d'étoiles peut avoir lieu et une fois de plus, les étoiles massives à courte durée de vie éliminent tout gaz restant. Ce cycle peut se poursuivre plusieurs fois, moment auquel le réservoir de gaz restant est considéré comme trop petit pour former de nouvelles étoiles.

- des étoiles d'âges différents dans le même AG : NGC 2808 Car, 31300AL

<https://esahubble.org/images/heic0708b/> (2007)

traduit de l'anglais

Les astronomes ont été surpris lorsque Hubble a repéré trois générations d'étoiles dans l'amas globulaire NGC 2808. La découverte est très différente de l'image standard d'un amas globulaire. Pendant des décennies, les astronomes ont pensé que les étoiles en amas se formaient au même moment, au même endroit et à partir du même matériau, et qu'elles co-évoluaient depuis des milliards d'années.

Chaque point de ce graphique représente une étoile de NGC 2808. L'axe vertical représente la luminosité (telle que mesurée via le filtre proche infrarouge F814W de Hubble) des étoiles (les étoiles les plus brillantes près du sommet). L'axe horizontal représente les couleurs des étoiles, avec des étoiles plus bleues à gauche et plus rouges à droite (magnitude bleue moins magnitude proche infrarouge). Les trois lignes courbes colorées, rouge, verte et bleue, représentent les trois générations stellaires différentes présentes dans l'amas globulaire.

l) En dehors de la VL

- des milliers d'AG dans l'amas de galaxies Abell 1656 :
<https://esahubble.org/images/potw1849a/>
+ <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/univers-hubble-debusque-160000-amas-globulaires-coeur-abell-1689-49045/>
- Double AG dans le GNM :
<https://esahubble.org/images/heic0108a/>
<https://esahubble.org/images/heic1317b/>
- la galaxie « étincelles » :
<https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1920135/embargo-galaxie-sparkler-amas-etoiles-canucs>
<https://www.utoronto.ca/news/researchers-reveal-galaxy-sparkling-universe-s-oldest-star-clusters>
- la Voie Lactée, en héberge près de deux cents, la Galaxie d'Andromède environ 500, tandis que 15'000 amas globulaires ont été recensés dans la galaxie elliptique géante M87, dans l'amas Virgo. :
<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/astronomie-voie-lactee-3-nouveaux-amas-globulaires-decouverts-24258/>

D. INDIVIDUALISATION

a) Liste AG

<http://www.astronet.ru/db/xware/search.html?words=globular+Cluster>

b) M30/Cap « de la Méduse »

<http://messier.obspm.fr/f/m030.html>

c) Amas globulaire NGC 6388

<https://www.eso.org/public/france/images/eso1252b/> 2012

d) NGC 3201 const de la Voile

<https://www.eso.org/public/france/images/ngc3201/> 2018

e) Omega Centauri NGC 5139

w Centauri :

https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Luxembourg/Le_nouveau_catalogue_de_donnees_Gaia_revele_des_lentilles_rares_des_noyaux_d_amas_et_des_donnees_scientifiques_imprevues

voir les liens en bas à gauche (Toucan, Hercule, M15, NGC 2419, NGC 1850)

www.astronet.ru/db/xware/msg/1176029

<https://esahubble.org/images/heic0910g/>

très intéressante description en anglais du cœur de omega Cent en séparant les étoiles/âge → à utiliser

<https://www.cbc.ca/news/science/canucs-jwst-globular-clusters-1.6599300>

f) 47 Tuc

<http://www.astronet.ru/db/xware/msg/1920096>

g) M13 Her

<http://www.astronet.ru/db/xware/msg/1907255>

h) M15 Peg

<http://www.astronet.ru/db/xware/msg/1902611>

i) Palomar 13

<http://spider.seds.org/spider/MWGC/pal13.html>

<https://www.starscapeimaging.com/Palomar%2013/Palomar13.html>

Palomar 13, également connu sous le nom de Pal 13, est un amas globulaire qui orbite dans le halo de la Voie Lactée. C'est l'un des AG les plus faibles connus et brille à une magnitude de 13,7. Les étoiles individuelles les plus brillantes de l'amas sont de magnitude 17. Il est également très petit avec un diamètre de seulement 1,8 arc min. L'image ci-dessus est un recadrage en pleine résolution de Pal 13. Pal 13 est le petit amas flou près du centre avec environ 50 étoiles faibles visibles. Pal 13 est vraiment loin, à une distance estimée à 82 mille années-lumière. L'orbite de Pal 13 est très excentrique, ce qui signifie que certaines parties de l'orbite la rapprochent du centre galactique. Cela se produit tous les 1 à 2 milliards d'années. La dernière fois que cela s'est produit, c'était il y a 70 millions d'années. Chaque fois qu'il se rapproche, la gravité a tendance à tirer sur l'amas. En fait, certaines études montrent que la prochaine fois qu'il s'approchera pourrait être la dernière. La version complète non recadrée de cette image mesure près de 2 degrés et montre de nombreuses galaxies d'arrière-plan pâles et une galaxie plutôt brillante appelée NGC 7479. Voir l'image annotée ici. Assurez-vous de consulter l'image non recadrée en pleine résolution dans le lien ci-dessus ou en cliquant sur l'image elle-même. En parcourant l'image, vous verrez de nombreuses galaxies faibles et une quantité surprenante de poussière moléculaire. L'arrière-plan est en fait plein de légère poussière, ce qui contribue probablement à obscurcir un peu Pal 13. J'ai laissé l'arrière-plan de l'image annotée un peu plus clair afin que vous puissiez facilement distinguer la poussière d'arrière-plan. La galaxie NGC 7479 mérite elle aussi son propre look. Il est situé dans le coin droit de l'image plein format. NGC 7479 est une galaxie spirale barrée de magnitude 11,6 et distante de plus de 100 millions d'années-lumière.