

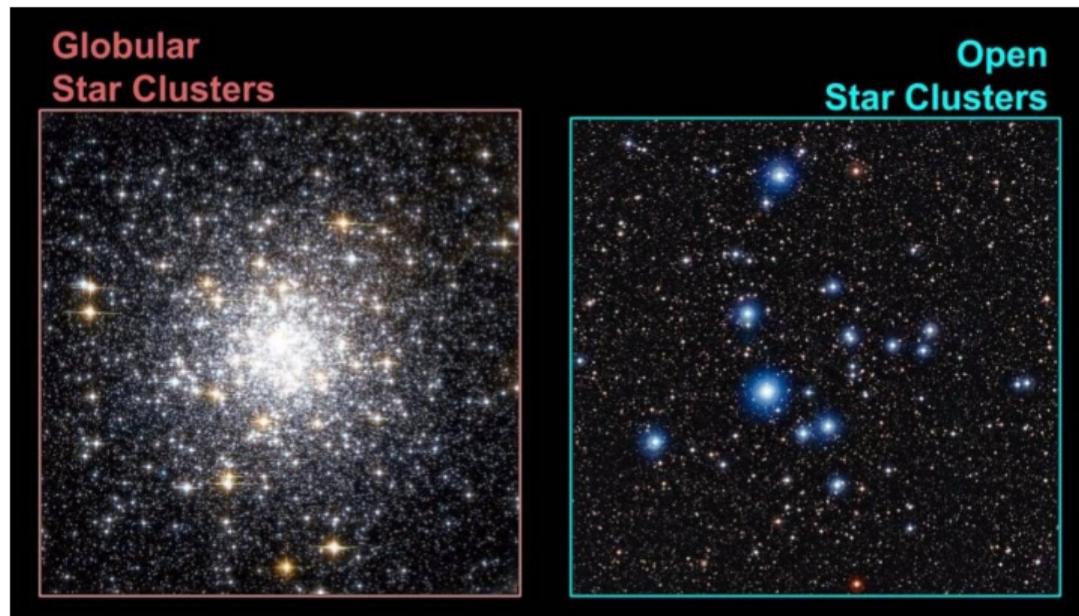
Understanding stellar associations and clusters with constrained theoretical models

Simon Perrier

Encadré par Monsieur BOILY et Monsieur GUILLOUT

Faculté de Physique et d'Ingénierie de Strasbourg

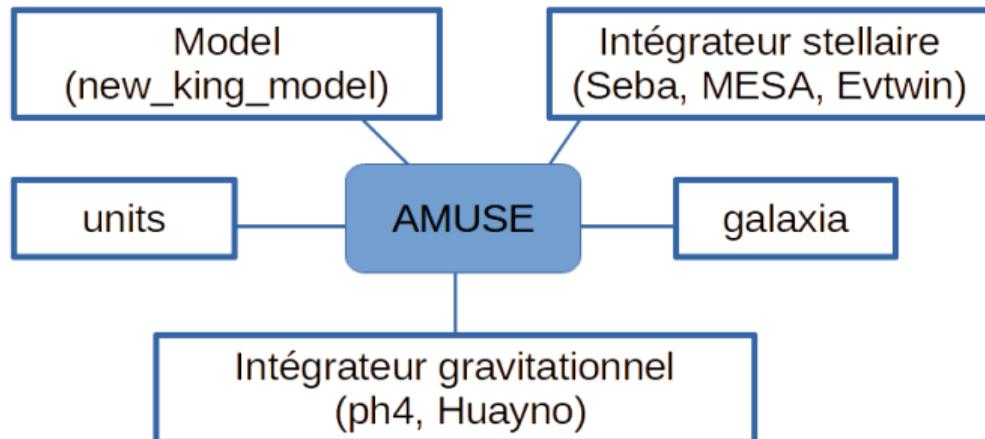
Mercredi 29 Mai 2024



Objectif :

- Simulation d'un amas d'étoiles avec un potentiel extérieur
- Passer des données de simulation à une photo semblable à celle prise avec le télescope

- 1 Méthodologie
- 2 Intégrateur stellaire
- 3 Intégrateur gravitationnel
- 4 Système binaire
- 5 Simulation avec un potentiel extérieur
- 6 Passer d'une simulation à une photo



Génération des masses des étoiles selon le modèle Salpeter
Intégrateur stellaire = évolution de la masse au cours du temps



Pour la séquence principale :

$$L \propto M^{3.5}$$

$$R \propto M^{0.8}$$

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \text{ avec } \sigma \text{ la constante de Stefan-Boltzmann}$$

Quel intégrateur stellaire à utiliser et pour quelle situation ?

Table 3.2. Comparison of the Four Available Stellar Evolution Codes in AMUSE

Name	t_{CPU}	M/M_{\odot}	R/R_{\odot}	L/L_{\odot}	T/K
MESA	0:35.29	0.996	4.11	8.01	4792
EVTWIN	3:20.07	0.993	18.6	98.0	4212
SSE/BSE	0:0.63	0.999	2.58	3.40	4884
SeBa	0:0.62	0.999	2.58	6.40	4878

Notes. Here, we calculated the evolution of a $1 M_{\odot}$ solar metallicity star to an age of 11.75 Gyr. For `EVTWIN`, the $1 M_{\odot}$ star turned into a white dwarf slightly after this. The runs were performed on a 2.4 GHz Core-i7 processor. CPU times are measured in hours:minutes.

Conclusion : Utilisation de SeBa pour toute situation

Intégrateur gravitationnel : Fonctionnement

Intégrateur gravitationnel = évolution des étoiles dans l'espace au cours du temps

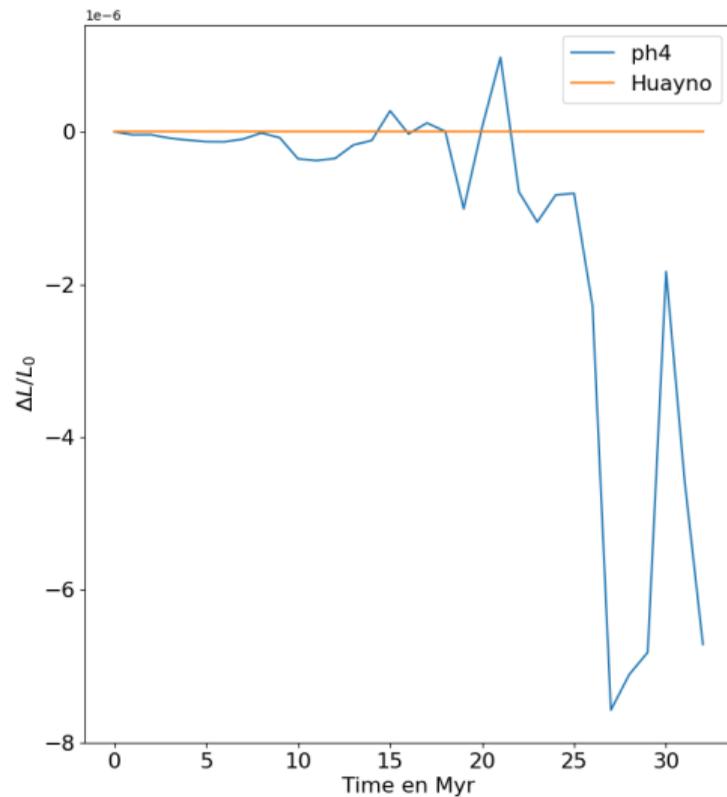
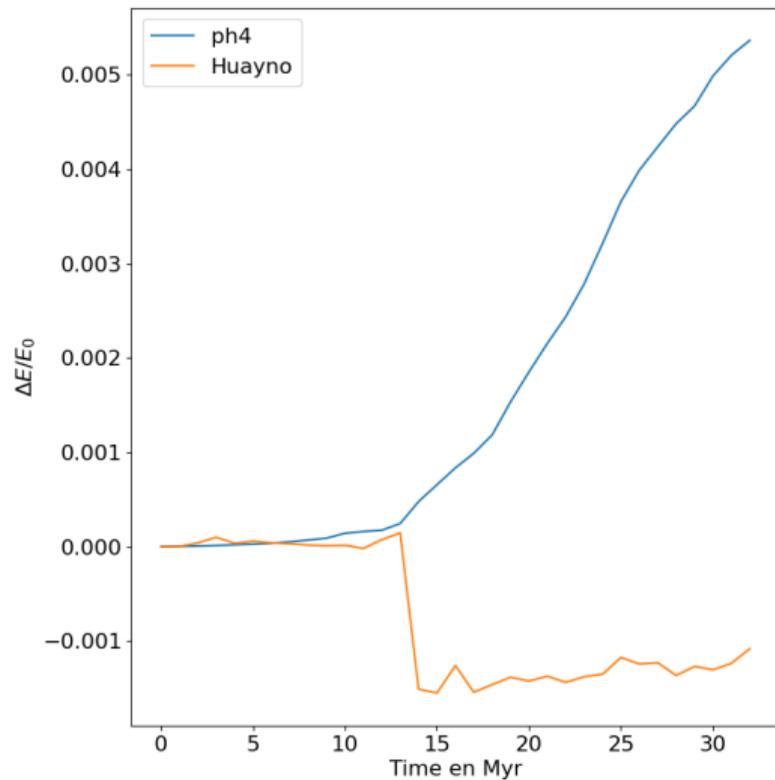
Basée sur la relation de Newton $m\vec{a} = \sum_i \vec{F}_i$

Conservation dans le temps du moment angulaire et énergie totale

Moment angulaire $\vec{L} = m\vec{r} \wedge \vec{v}$

Énergie totale $E = E_m + E_c$

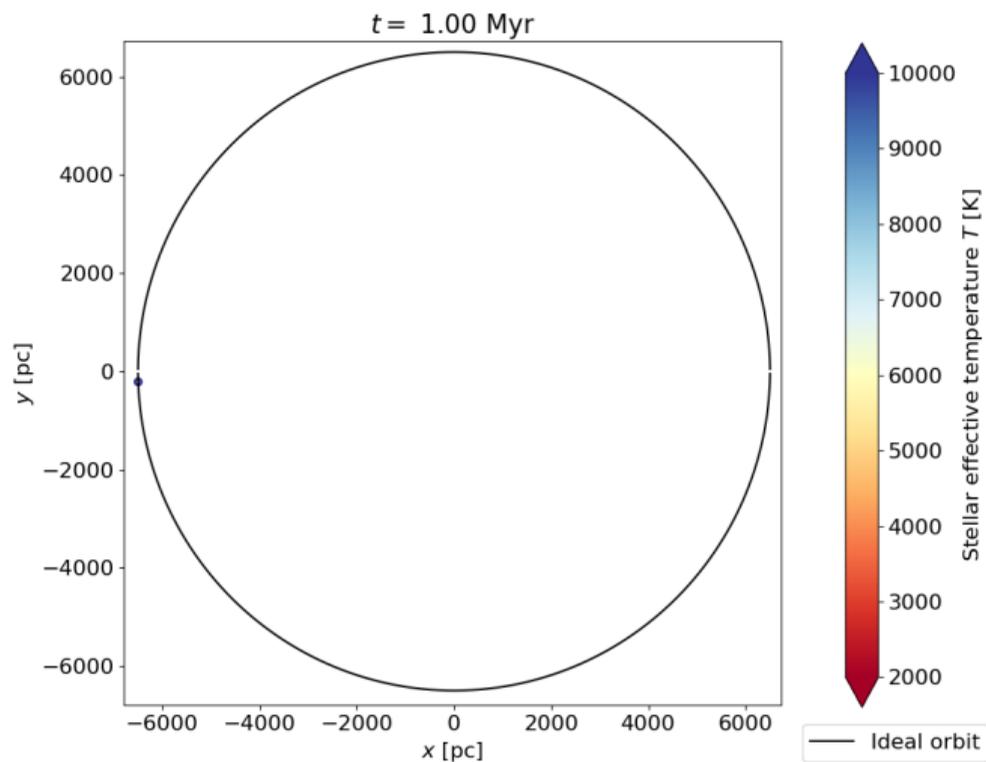
Comparaison ph4 et Huayno



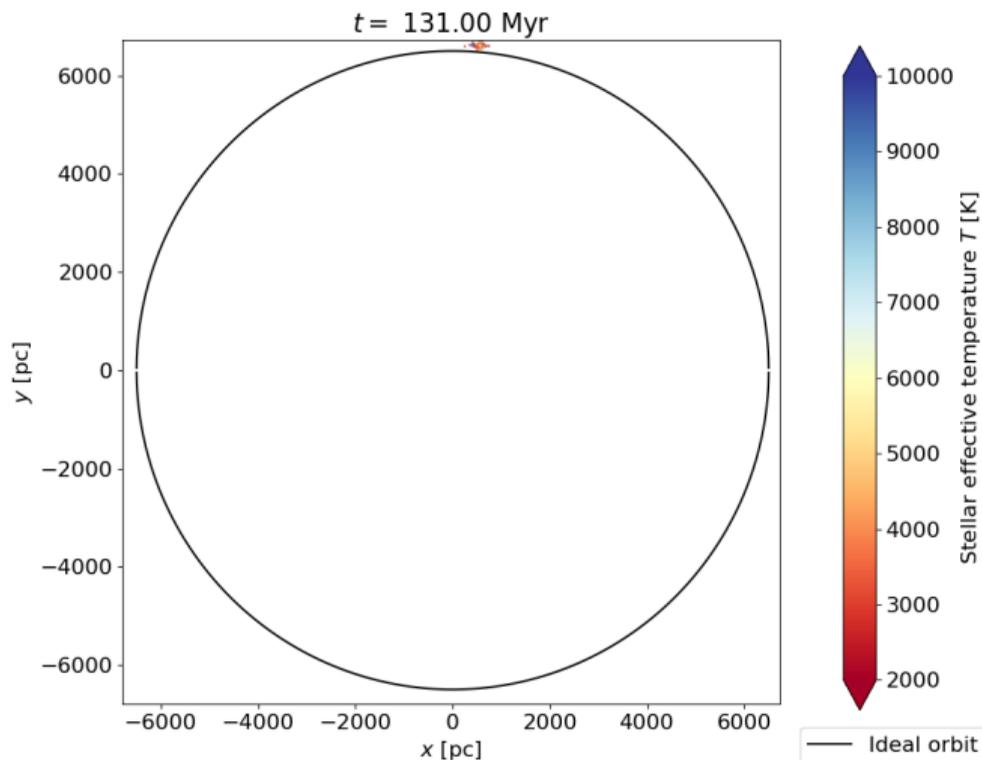
Problème : Les systèmes binaires ralentissent énormément les simulations
Comment les détecter ?

- Utilisation de la fonction `pair_detection` dans `conditions_stopping`
- Création d'une fonction pour détecter deux étoiles trop proches

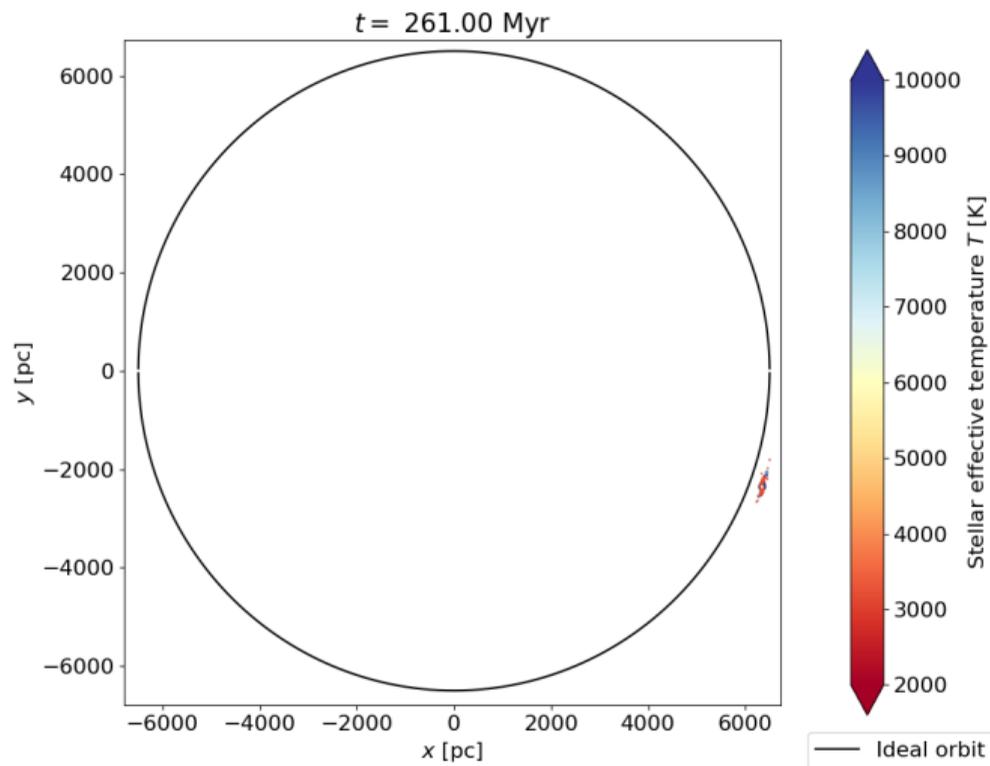
Simulation avec un potentiel extérieur



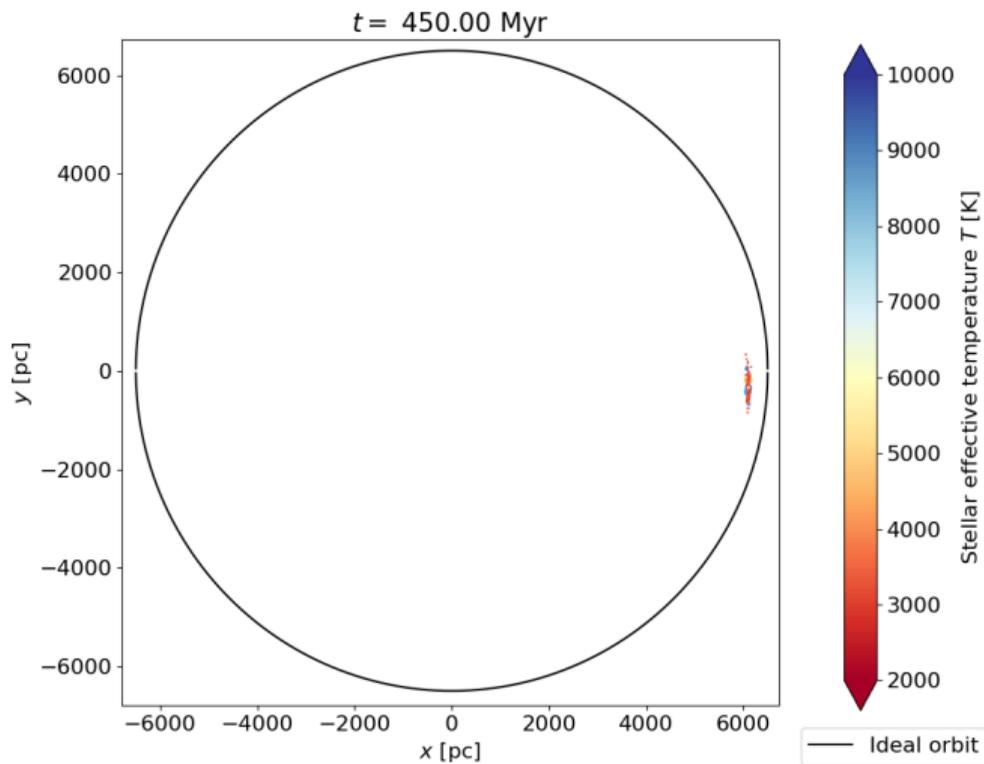
Simulation avec un potentiel extérieur



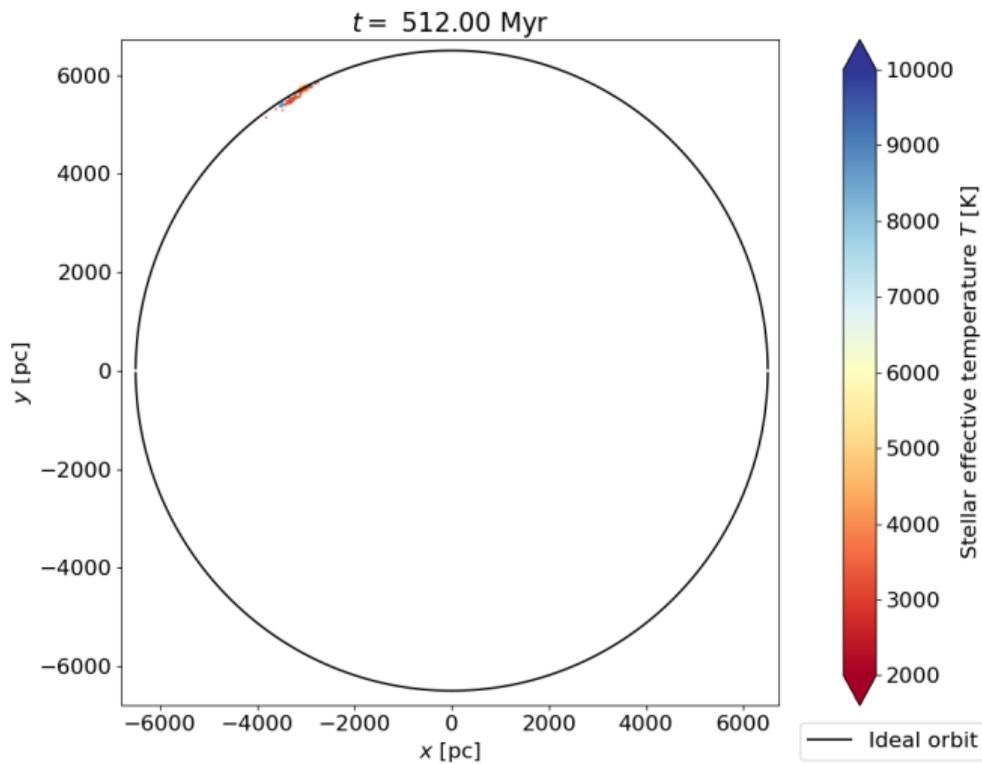
Simulation avec un potentiel extérieur

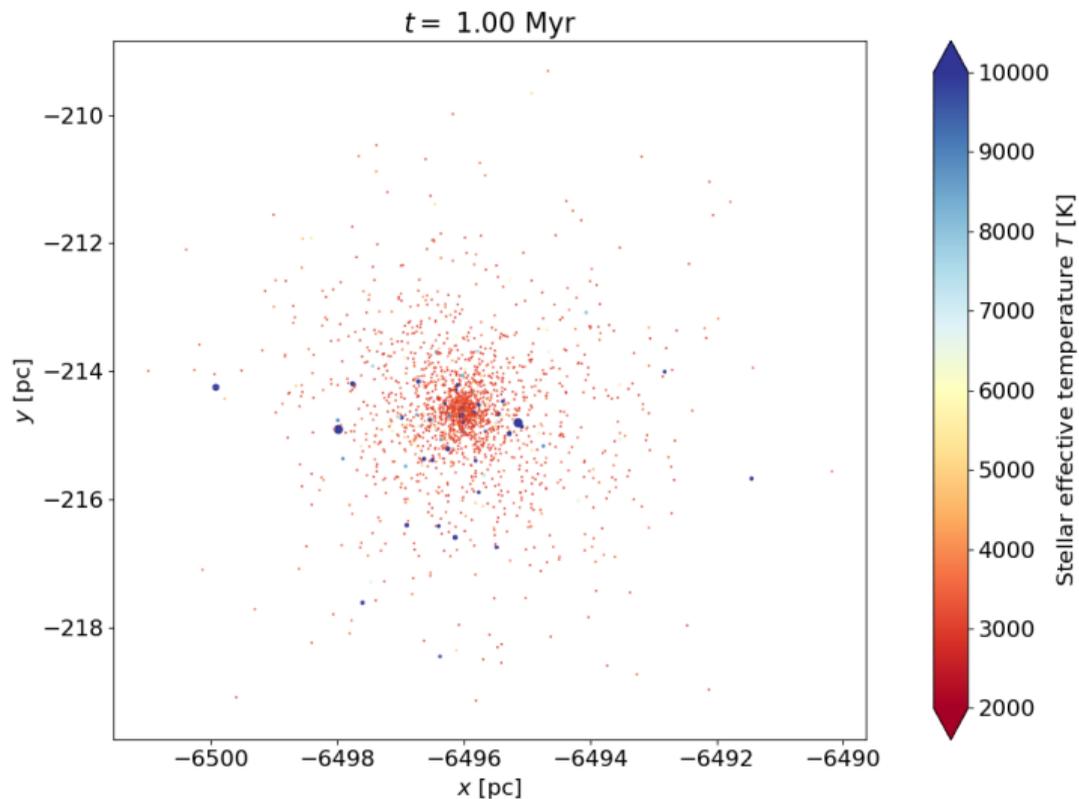


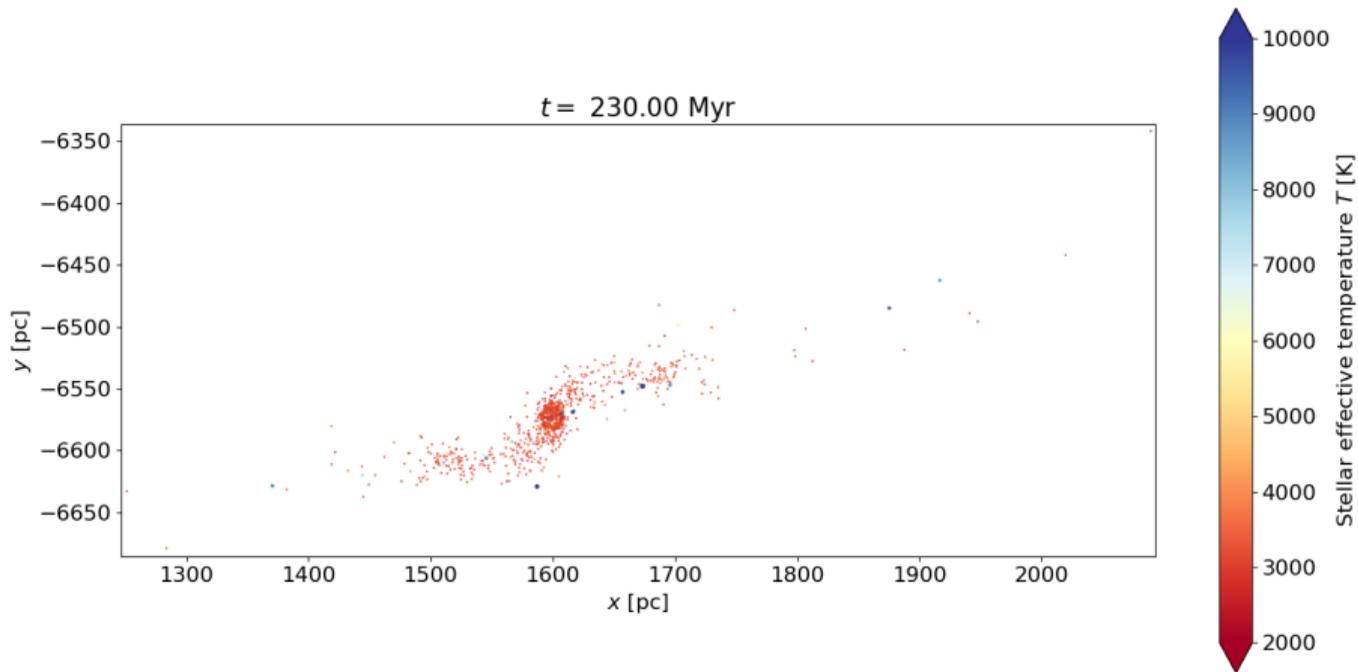
Simulation avec un potentiel extérieur



Simulation avec un potentiel extérieur

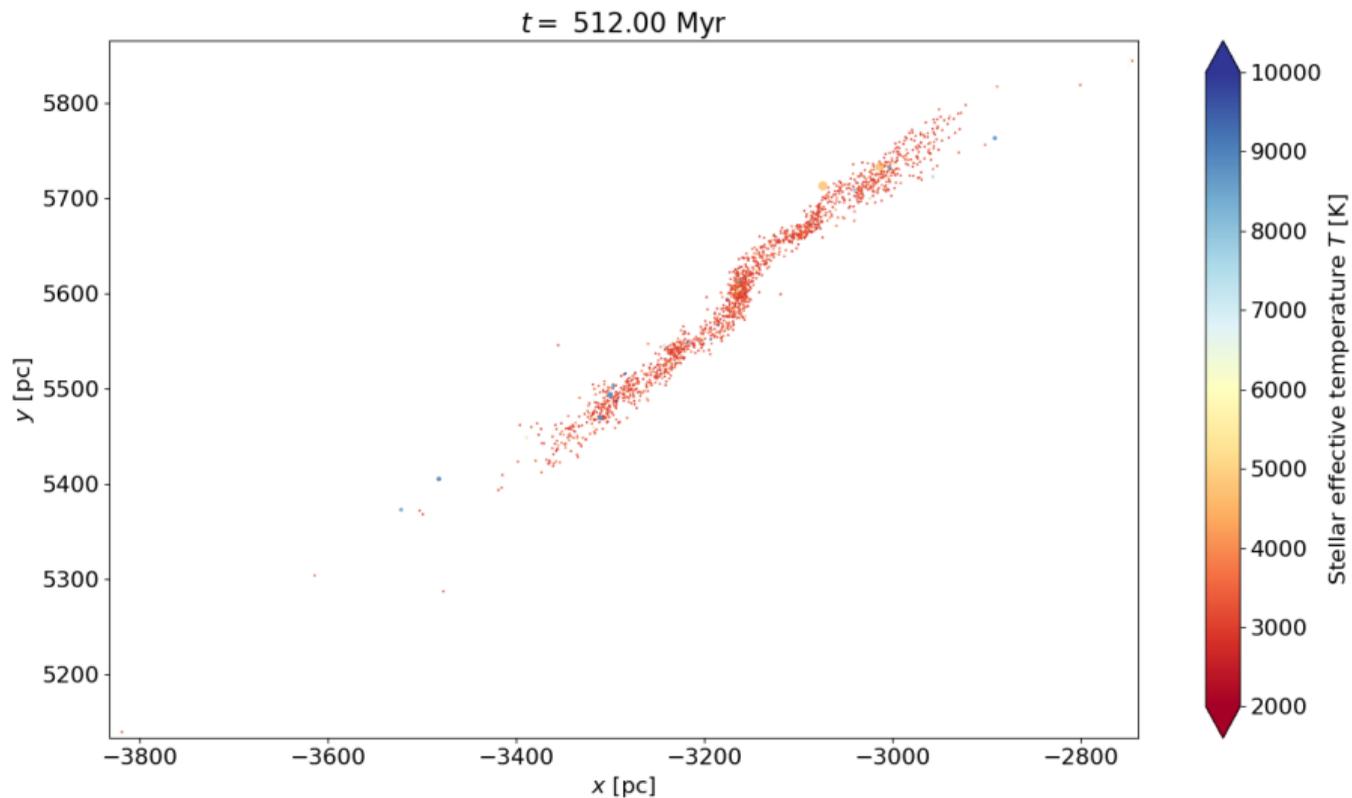




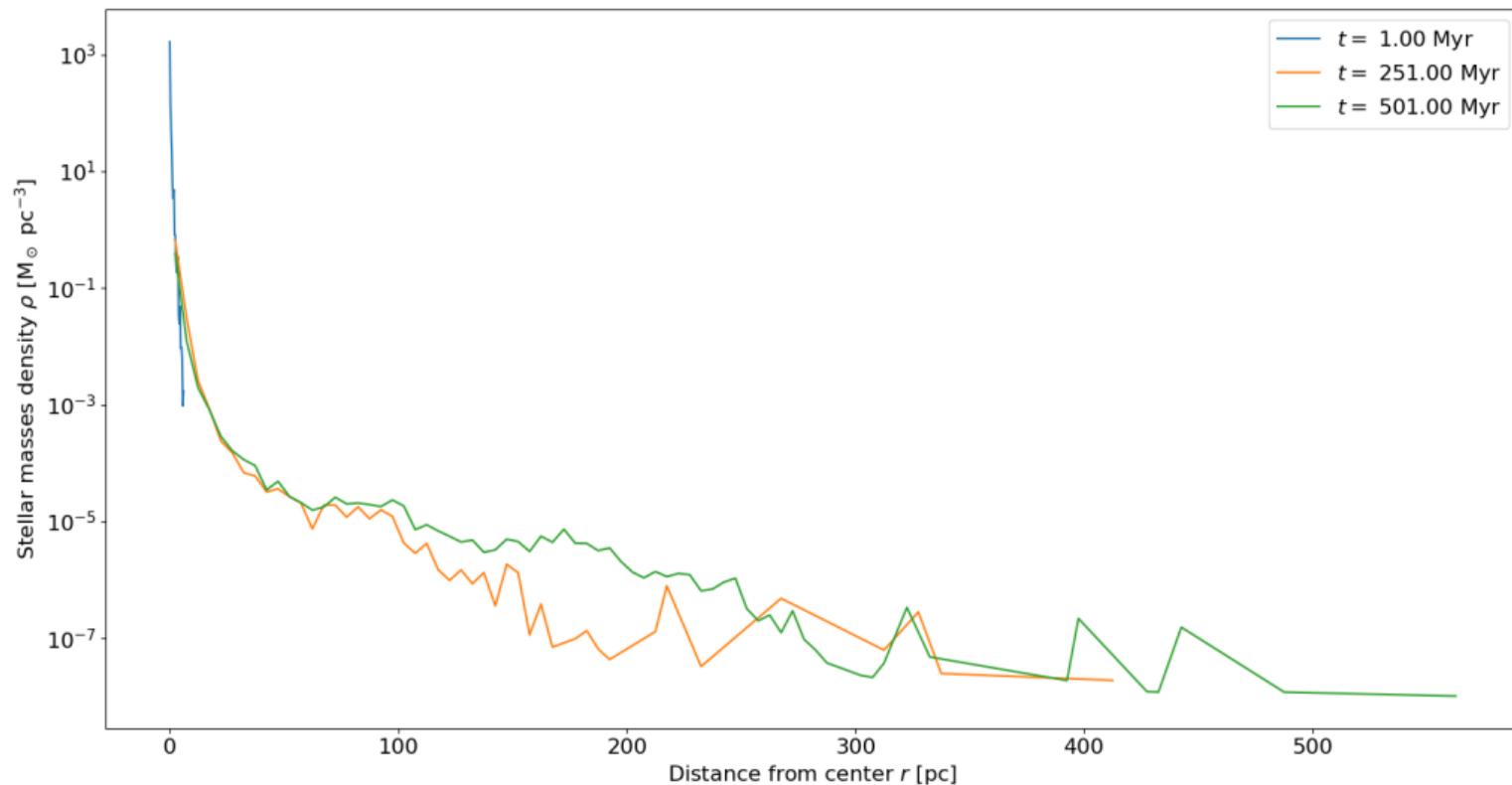


Taille réelle de M11 environ 7,5 pc
Taille cœur simulation environ 20 pc

Amas d'étoiles



Etallement dans le temps



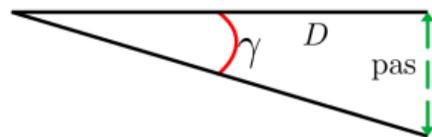
Passer d'une simulation à une photo

Caméra QSI 632

Dimension : largeur 2184 px, hauteur 1472 px

$\gamma = 0,512$ arcsec par pixel

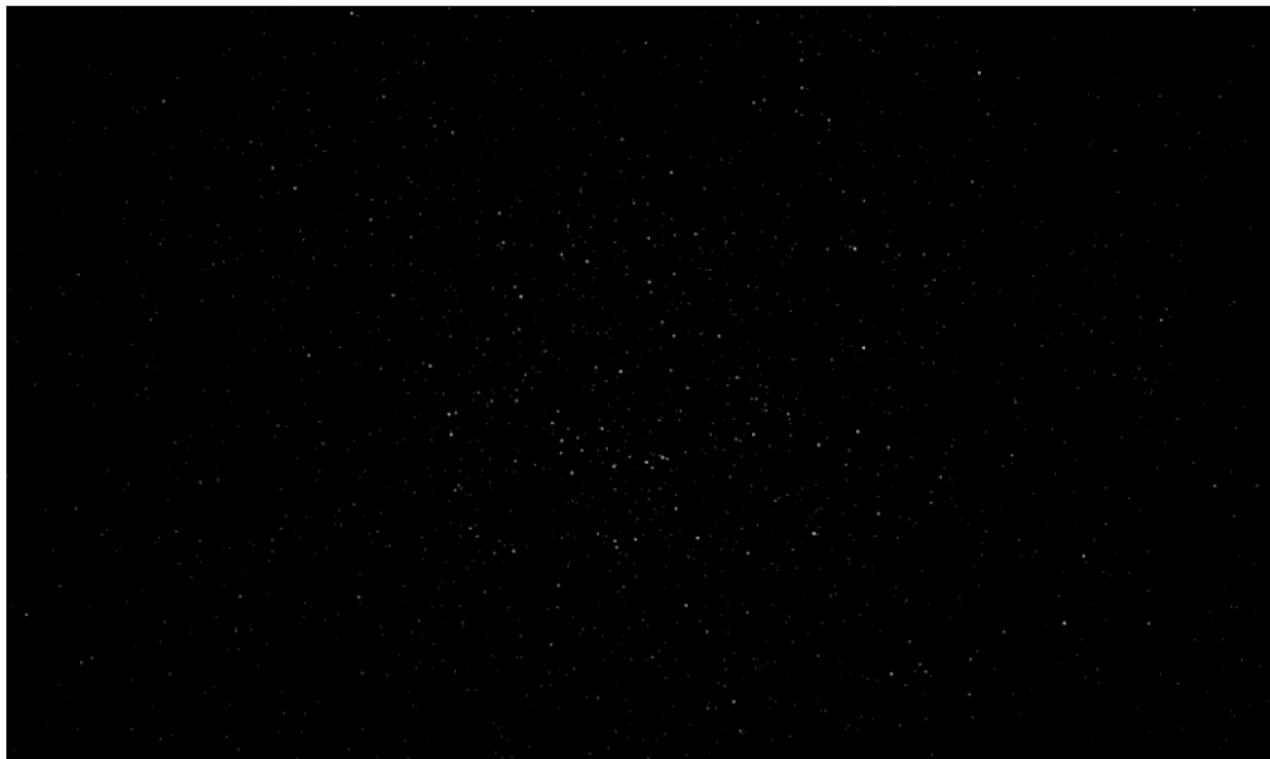
Calcule du pas en parsec, on utilise la parallaxe



$$\text{pas} = D \times \tan \left(\frac{\gamma \times \pi}{3600 \times 180} \right)$$

Utilisation d'une Fonction Gaussienne avec sigma 0.6



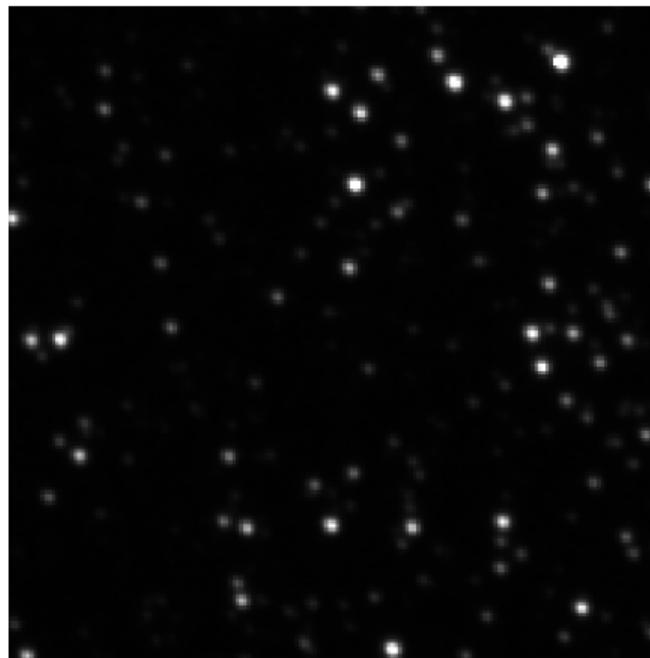


Résultat : Image Réelle





Zoom de l'image modélisée



Zoom de l'image réelle

Simulation :

- Taille de l'amas plus importante que la réalité

Photo :

- Modélisation est assez réaliste
- Problème de contraste : problème photo ou problème modèle de répartition des masses de la simulation

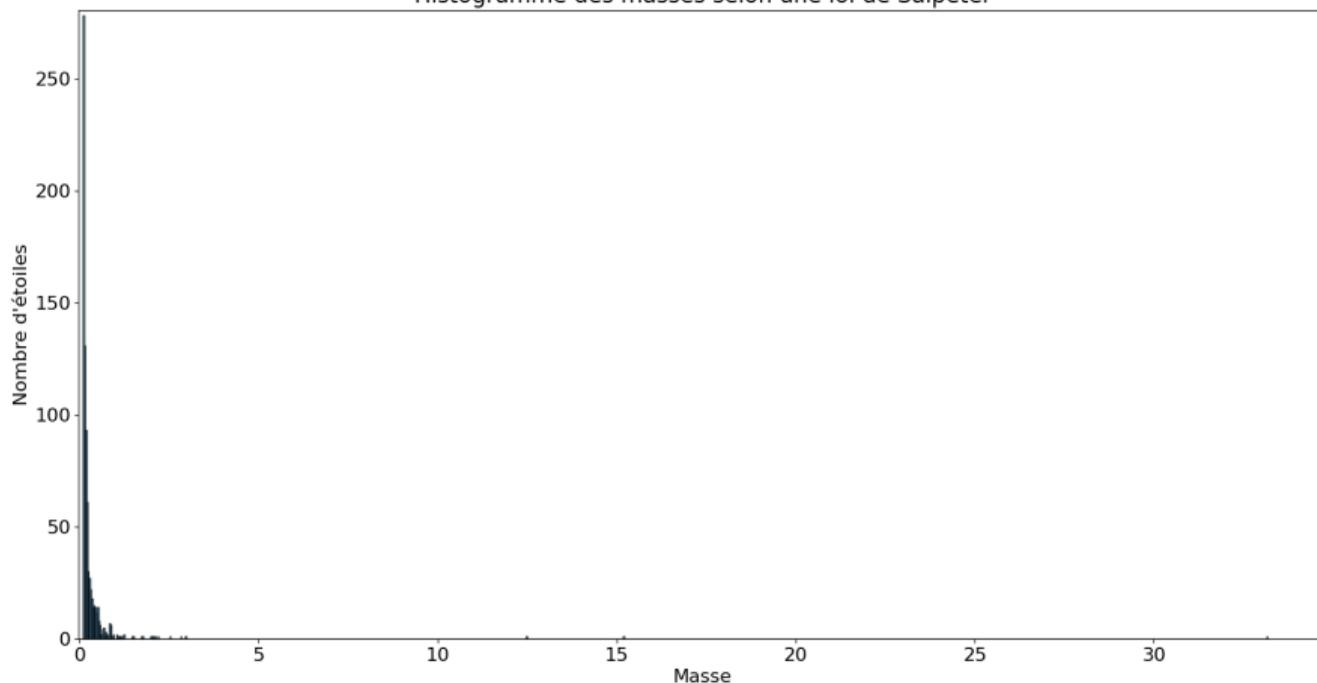
Suite? :

- Refaire la procédure d'extraction
- Création d'un diagramme HR et faire un fitage
- Pouvoir comparer les données théoriques avec les résultats de Yaël

- [1] Simon Portegies Zwart, Steve McMillan, Stefan Harfst, Derek Groen, Michiko Fujii, Breandán Ó. Nualáin, Evert Glebbeek, Douglas Hoggie, James Lombardi, Piet Hut, Vangelis Angelou, Sambaran Banerjee, Houria Belkus, Tassos Fragos, John Fregeau, Evghenii Gaburov, Rob Izzard, Mario Jurić, Stephen Justham, Andrea Sottoriva, Peter Teuben, Joris van Bever, Ofer Yaron, and Marcel Zemp. A multiphysics and multiscale software environment for modeling astrophysical systems. , 14(4) :369–378, May 2009.
- [2] S. Portegies Zwart, S. L. W. McMillan, E. van Elteren, I. Pelupessy, and N. de Vries. Multi-physics simulations using a hierarchical interchangeable software interface. *Computer Physics Communications*, 184(3) :456–468, March 2013.
- [3] Simon Portegies Zwart and Steve McMillan. *Astrophysical Recipes ; The art of AMUSE*. IOP Publishing, 2018.
- [4] F. I. Pelupessy, A. van Elteren, N. de Vries, S. L. W. McMillan, N. Drost, and S. F. Portegies Zwart. The Astrophysical Multipurpose Software Environment. , 557 :A84, September 2013.
- [5] Simon Portegies Zwart. AMUSE : Astrophysical Multipurpose Software Environment. Astrophysics Source Code Library, record ascl :1107.007, July 2011.
- [6] S. F. Portegies Zwart and F. Verbunt. Population synthesis of high-mass binaries. , 309 :179–196, May 1996.
- [7] S. Toonen, G. Nelemans, and S. Portegies Zwart. Supernova Type Ia progenitors from merging double white dwarfs. Using a new population synthesis model. , 546 :A70, October 2012.
- [8] Ivan R. King. The structure of star clusters. I. an empirical density law. , 67 :471, October 1962.
- [9] Ivan R. King. The structure of star clusters. II. Steady-state velocity distributions. , 70 :376, June 1965.
- [10] Ivan R. King. The structure of star clusters. III. Some simple dynamical models. , 71 :64, February 1966.
- [11] Ivan R. King. The structure of star clusters. IV. Photoelectric surface photometry in nine globular clusters. , 71 :276, May 1966.
- [12] Ivan R. King, Jr. Hedemann, Edmund, Steven M. Hodge, and Raymond E. White. The Structure of Star Clusters. V. Star Counts in 54 Globular Clusters. , 73 :456, August 1968.
- [13] H. C. Plummer. On the problem of distribution in globular star clusters. , 71 :460–470, March 1911.
- [14] Laia Casamiquela, Ricardo Carrera, Lola Balaguer-Núñez, Carme Jordi, Cristina Chiappini, Teresa Antoja, and Núria Miret-Roig. Chemical and dynamical analysis of Open Clusters from OCCASO data. The case of NGC 6705. In Cristina Chiappini, Ivan Minchev, Else Starkenburg, and Marica Valentini, editors, *Rediscovering Our Galaxy*, volume 334, pages 124–127, August 2018.
- [15] Mark R. Krumholz, Christopher F. McKee, and Joss Bland-Hawthorn. Star clusters across cosmic time. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 57(1) :227–303, 2019.
- [16] Simon Portegies Zwart and Steve McMillan. *Astrophysical Recipes*. 2514-3433. IOP Publishing, 2018.
- [17] Yongjun Jiao, François Hammer, Haifeng Wang, Jianling Wang, Philippe Amram, Laurent Chemin, and Yanbin Yang. Detection of the keplerian decline in the milky way rotation curve. *Astronomy amp ; Astrophysics*, 678 :A208, October 2023.
- [18] Timothé Roland. *Identification et analyse des structures stellaires émergent des régions de formation d'étoiles*. PhD thesis, 2021. Thèse de doctorat dirigée par Boily, Christian M. et Cambresy, Laurent Astrophysique Strasbourg 2021.
- [19] Jürgen Jänes, Inti Pelupessy, and Simon Portegies Zwart. A connected component-based method for efficiently integrating multi-scalen-body systems. *Astronomy amp ; Astrophysics*, 570 :A20, October 2014.
- [20] Duncan A. Forbes and Terry Bridges. Accreted versus in situ milky way globular clusters. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, February 2010.

La fonction de Salpeter définie par $\xi(M) = \xi_0 M^{-2.35}$ où $\xi(M)$ est le nombre d'étoiles par unité de masse.

Histogramme des masses selon une loi de Salpeter



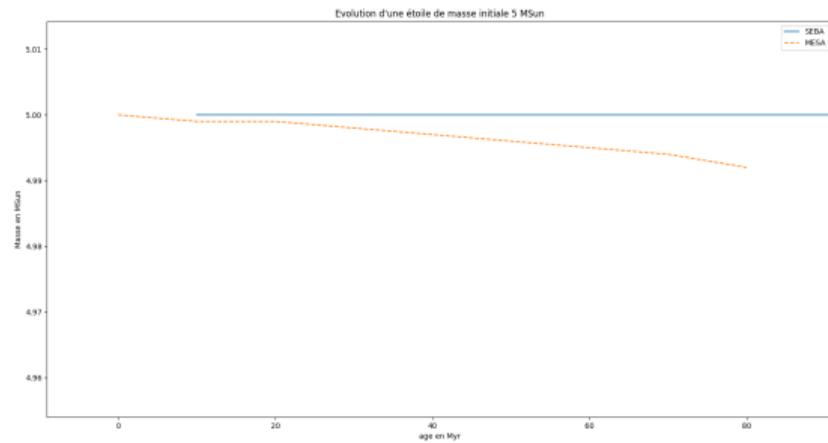
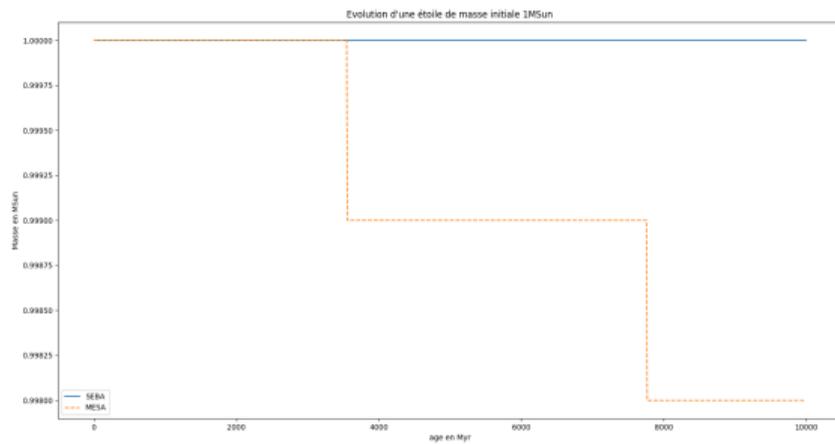
Détection d'étoiles éjectées hors de l'amas

Création d'une fonction qui prend en compte la distance de l'étoile à l'amas (éloignement du centre gravitationnel) et une vitesse supérieure à la vitesse de libération

$$v_{liberation} = \sqrt{\frac{2GM_{amas}}{D}}$$

où G la constante gravitationnelle, D la distance de l'étoile au centre de gravitation, M_{amas} la masse de l'amas sans l'étoile qu'on étudie

Différence entre SeBa et Mesa



Différence entre SeBa et EVtwin

