

Samuel Delaunay – *Astronome amateur*

Je fais de l'astrophysique

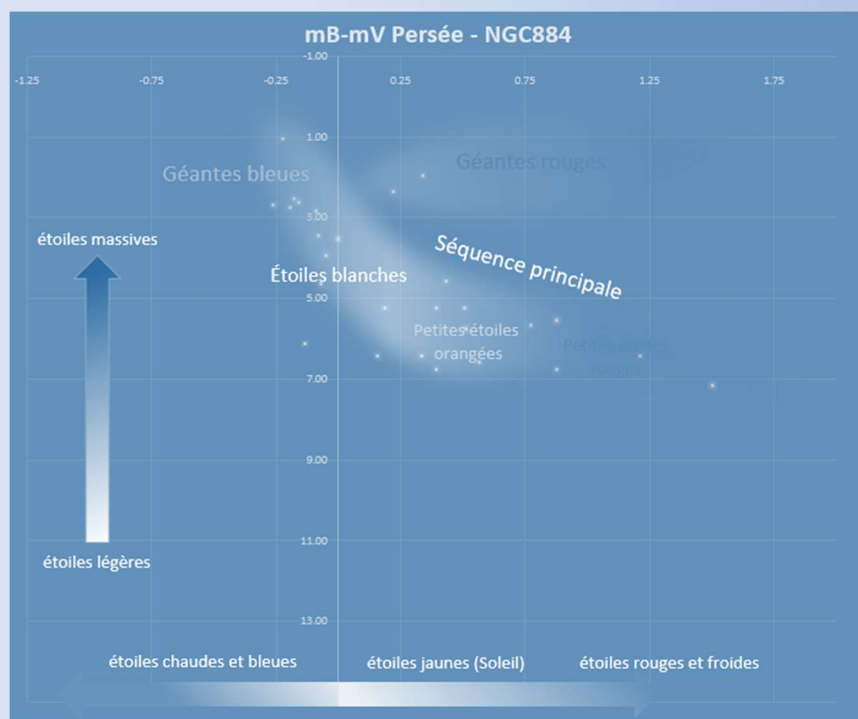
avec mon petit télescope

I do astrophysics with my little telescope

Livret I

Méthode pratique d'analyse d'un amas d'étoiles

Practical method for analyzing a star cluster



Tous droits réservés, dépôt enregistré à la Société des Gens de Lettre – Paris

Reproduction interdite sans autorisation de l'auteur

Édition 2026



Après 10 ans à observer le ciel aux jumelles puis avec une grande lunette, je me suis mis assez tardivement à l'astrophotographie en 2018.

Au départ, comme beaucoup, mon but était de faire de très belles photos qui pourraient déclencher en nous le même sentiment d'émerveillement que ces fantastiques vues des *Piliers de la Création* ou d'Orion qu'Hubble a popularisées.

Cet art est difficile, et rapidement, la seule voie de progrès est d'augmenter le nombre de pauses, dans une course sans fin vers un but inatteignable.

De même avec un petit télescope automatisé, le Seestar 50, on est rapidement pris dans un vertigineux exercice de course après le catalogue de Messier et de belles couleurs de nébuleuses.

De formation scientifique, et de par mon travail de gestion de contrats informatiques, j'aime ne pas seulement voir de belles images, mais surtout obtenir et analyser des données qui vont me permettre de comprendre.

C'est pourquoi depuis 2020, je tente de mesurer la luminosité des étoiles, détecter les mouvements d'un pulsar, mettre en évidence des disques protoplanétaires ou étudier la structure et la composition des galaxies.

Oui, il est possible de faire par nous-même quelques travaux de mesure et d'analyse. C'est pourquoi je partage mon expérience afin d'inciter les astronomes amateurs et étudiants en sciences qui voudraient évoluer vers la compréhension de ce qu'ils observent, à faire ces premiers pas dans l'astrophysique.

After 10 years of observing the sky with binoculars and then a large telescope, I took up astrophotography relatively late in 2018.

Initially, like many others, my goal was to take beautiful that could trigger in us the same sense of wonder as those fantastic views of the Pillars of Creation or Orion that Hubble popularized.

This art is difficult, and quickly, the only way to progress is to increase the number of pauses, in an endless race toward an unattainable goal.

Similarly, with a small automated telescope, the Seestar 50, one quickly finds oneself caught up in a dizzying exercise chasing the Messier catalog and beautiful nebula colors.

With a scientific background, and through my work in IT contract management, I enjoy not only seeing beautiful images, but above all obtaining and analyzing data that will allow me to understand. That's why, since 2020, I've been trying to measure the brightness of stars, detect the movements of a pulsar, identify protoplanetary disks, and study the structure and composition of galaxies.

Yes, it's possible to do some measurement and analysis work ourselves. That's why I'm sharing my experience to encourage amateur astronomers and science students who would like to take these first steps in astrophysics, as they seek to better understand what they observe.

Remerciements à :

Timothy S. Hamilton, astronome et professeur de physique à l'université Shawnee State, Ohio, qui m'a encouragé à écrire ce petit traité pratique.

Amaury Delaunay, étudiant en mathématiques qui a relu très attentivement la cohérence de mes propos.

Méthode pratique d'analyse d'un amas d'étoiles

Samuel Delaunay

Table des matières

Préambule : sur le but de nos travaux, les fondements de la méthode et les simplifications que nous y faisons.	4
1. Préparation des images	6
2. Premiers tests de mesures de luminosité.....	7
Appréciation de la limite des étoiles.....	7
« Seuillage » des luminosités	7
Critique du résultat.....	9
3. Test sur plusieurs types et tailles d'étoiles.....	11
Une étoile bleue	11
Une petite étoile orangée	12
Ajustement de la résolution.....	13
4. Mesure de plusieurs étoiles et consignation des résultats	15
5. Calculs	16
6. Diagramme de Hertzsprung-Russell.....	17
7. Interprétation et compréhension des résultats	18
8. Diagramme complet de Persée	20
9. Test sur d'autres amas d'étoiles	21
Un amas avec quelques grosses étoiles (M39)	21
Un amas avec des étoiles majoritairement jaunes (M6).....	24
10. Discussion sur les variations de notre facteur de correction liée à la distance.....	25
11. Utilisation des magnitudes apparentes et absolues pour estimer la distance	25
12. Analyse de Vega pour obtenir une donnée de référence sur les magnitudes apparentes....	27
13. Intégration des données de Vega au diagramme de Persée et étalonnage des calculs	27
14. Pentes de distribution des étoiles.....	28
15. Accidents dans la distribution des étoiles	32
Conclusion.....	33

Préambule : sur le but de nos travaux, les fondements de la méthode et les simplifications que nous y faisons.

Le but de l'analyse des amas d'étoiles est de caractériser chaque étoile en masse et en couleur. La couleur étant reliée à la température.

Si nous prenons la comparaison avec une ampoule lumineuse, pour caractériser la masse de l'ampoule, nous pouvons facilement la peser sur une balance. Avec une étoile, nous ne pouvons pas mesurer directement la masse en la posant également sur une balance !

Les seules choses que nous pouvons observer, c'est sa couleur et sa taille relative. La taille relative ne nous indique pas nécessairement sa masse : en effet, une étoile apparaissant comme très petite sur une image peut très bien être effectivement une petite étoile, mais aussi une très grosse étoile située très loin de nous.

Aussi, en étudiant des étoiles situées dans un amas, nous considérons qu'elles sont toutes à peu près à la même distance de nous, l'écart entre les étoiles étant négligeable par rapport à la distance de l'amas. Dès lors, leurs tailles relatives peuvent être établies, et la plus grosse étoile de l'amas identifiée. Ce sera un élément important pour calibrer le résultat de nos observations.

Concernant la couleur, nous pourrions faire un spectre détaillé de chaque étoile. Mais il y a une manière beaucoup plus simple : mesurer la luminosité dans le bleu et le vert, via la surface de l'étoile, que nous déduirons de mesures de diamètres apparents faites en pixels. Pour obtenir des images dans le bleu ou dans le vert des amas, nous ferons au plus simple, sans filtres colorés, en dissociant les couches RVB de l'image.

La catégorisation des étoiles repose ensuite sur un principe très simple : les étoiles jaunes à rouges émettent davantage dans le vert que dans le bleu, car le vert est plus proche du rouge dans le spectre. La différence de luminosité mesurée dans le bleu et le vert nous donnera, via un calcul mathématique, le type spectral de l'étoile.

Personnellement, j'utilise une grande lunette 152/900 avec un reflex numérique, et plus récemment un petit télescope automatisé Seestar 50 qui m'a servi à mettre au point ce guide. Certaines indications seront données par rapport au capteur du Seestar mais aisément adaptable à votre matériel. Je n'ai pas de lien avec la marque ZWO.

Nous savons que notre méthode présente une faiblesse : la mesure des masses est relative. Cependant, nous essaierons via la détermination du type spectral de la plus grosse étoile de chaque amas, de positionner précisément nos résultats dans une plage de valeurs réalistes de magnitudes.

Nous simplifierons au maximum cette question de l'échelle des masses en mettant en place un « facteur de correction » basé sur une observation pratique et une comparaison avec une donnée connue.

Volontairement, mon propos ne présente pas une méthode complète et définitive. Nous allons partir de mesures simples, critiquer nos résultats et affiner ensemble la méthode. Nous ferons preuve d'humilité en estimant la marge d'erreur de nos mesures et nos incertitudes sur les masses réelles. Cette exigence sera le fil conducteur de notre réflexion.

Pour chaque analyse, vous pourrez utiliser les fichiers mentionnés (images et tableaux Excel).

Bon courage à tous pour ***faire de l'astrophysique avec un petit télescope*** !

Tous les fichiers nécessaires pour effectuer les analyses sont disponibles ici :

<https://samueldelaunay.com/index.php/analyse-des-amas-detoiles/>

N.B : On peut aussi utiliser un logiciel spécialisé qui analyse automatiquement un amas tel que Siril avec un script dédié. Masi attention, siril ne fait que charger les données des étoiles à partir de la base de données Simbad. Aucune mesure physique n'est réellement faite à partir de votre image.

Preamble: explanation of the aim of our work, the foundations of the method and the simplifications we make.

The goal of star cluster analysis is to characterize each star in terms of mass and color. Color is related to temperature.

If we compare it to a light bulb, to characterize the mass of the bulb, we can easily weigh it on a scale. With a star, we cannot directly measure the mass by also placing it on a scale!

The only things we can observe are its color and relative size. Relative size does not necessarily tell us a star's mass: indeed, a star appearing very small in an image may very well be a small star, but it may also be a very large star located very far away from us.

Also, when studying stars located in a cluster, we consider them all to be roughly the same distance from us, the distance between the stars being negligible compared to the distance of the cluster. From then on, their relative sizes can be established, and the largest star in the cluster identified. This will be an important element in calibrating the results of our observations.

Regarding color, we could create a detailed spectrum of each star. But there is a much simpler way: measure the brightness in the blue and green regions, via the surface of the star, which we will deduce from measurements of apparent diameters made in pixels. To obtain images in the blue or green regions of clusters, we will proceed as simply as possible, without colored filters, by separating the RGB layers of the image.

The categorization of stars is then based on a very simple principle: yellow to red stars emit more in the green region than in the blue region, because green is closer to red in the spectrum. The difference in brightness measured in the blue and green regions will give us, via a mathematical calculation, the star's spectral type.

Personally, I use a large 152/900 refractor with a digital SLR, and more recently, a small automated Seestar 50 telescope, which I used to develop this guide. Some information will be given relative to the Seestar sensor, but it can easily be adapted to your equipment. I have no connection with the ZWO brand.

We know that our method has a weakness: mass measurement is relative. However, by determining the spectral type of the largest star in each cluster, we will attempt to precisely position our results within a range of realistic magnitude values.

We will simplify this issue of mass scale as much as possible by implementing a "correction factor" based on practical observation and comparison with known data.

I intentionally do not present a complete and definitive method. We will start with simple measurements, discuss our results, and refine the method together. We will demonstrate humility by estimating the margin of error of our measurements and our uncertainties regarding the actual masses. This scientific rigor will be the guiding principle of our thinking.

For each analysis, you may use the files mentioned (images and Excel tables).

Good luck to all of you in pursuing astrophysics with your small telescope!

Note: You can also use specialized software that automatically analyzes a cluster, such as Siril with a dedicated script. However, be aware that Siril only loads star data from the Simbad database. No actual physical measurements are performed on your image.

All the files needed to perform the analyses are available here:

<https://samueldelaunay.com/index.php/analyse-des-amas-detoiles/>

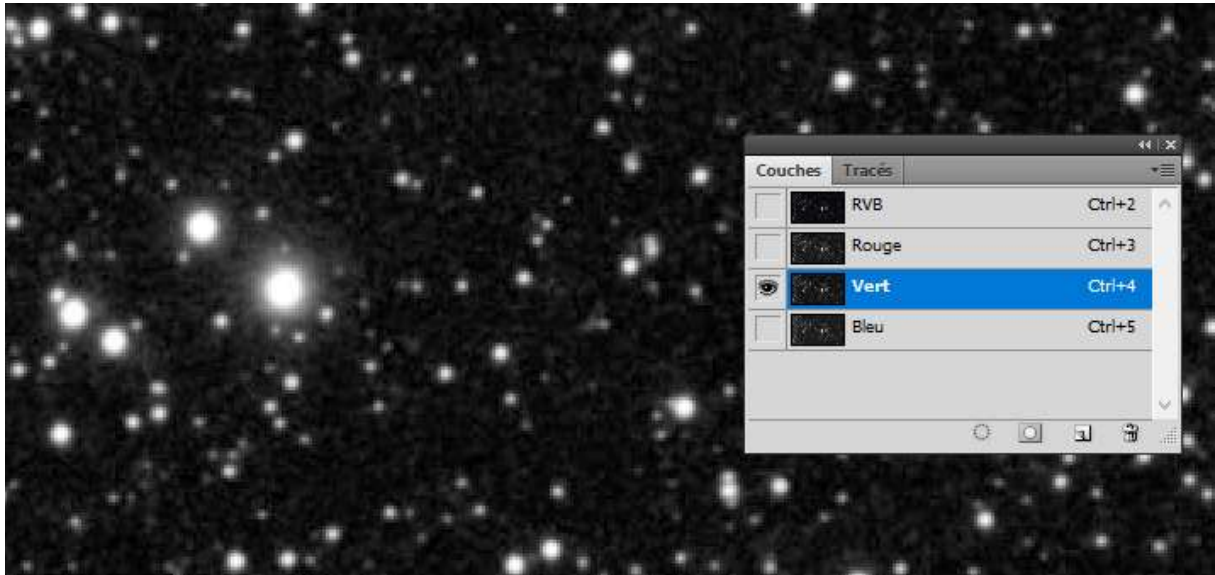
1. Préparation des images

Preparation of images

Ouvrir la photo d'un amas 20250917-Persée.jpg dans un logiciel type Photoshop (ou Gimp).

Open the photo of a cluster 20250917-Persée.jpg in a software like Photoshop (or Gimp).

Sélectionner la couche bleue : *(select the blue layer)*



La copier dans un nouveau fichier nommé [nom amas]-B

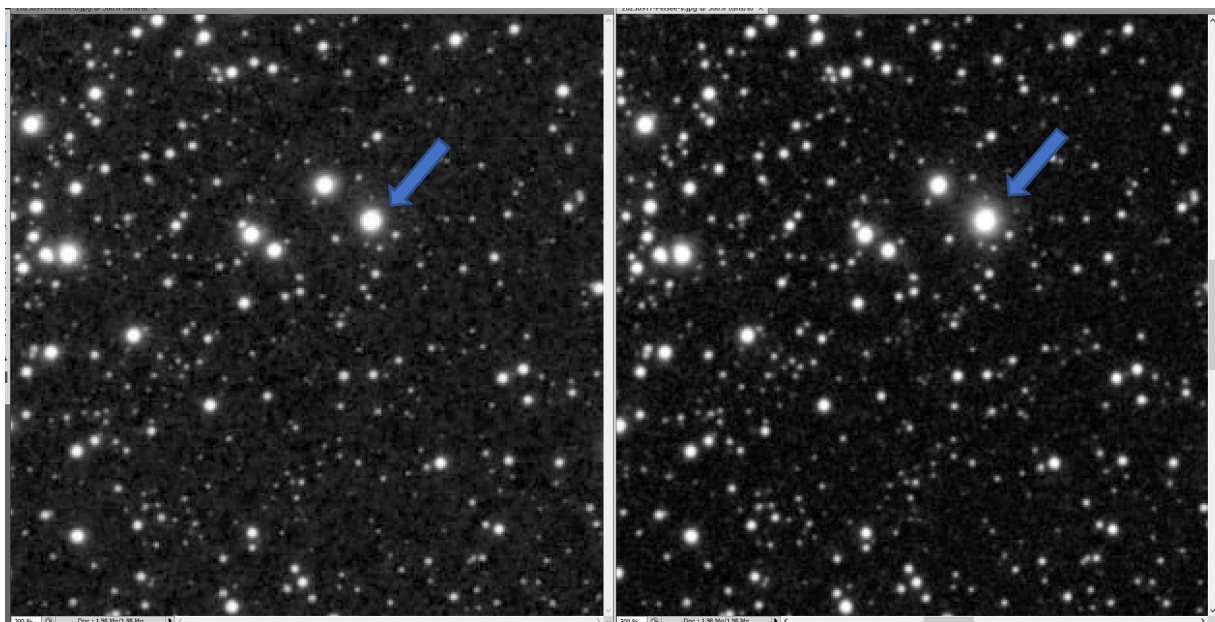
Copy it into a new file named [cluster name]-B

Faire de même avec la couche verte et nommer le fichier [nom amas]-V

Do the same with the green layer and name the file [cluster name]-V

Afficher les deux images en vis avis, avec le même cadrage et le même zoom, et repérer une première étoile à analyser :

Display the two images next to each other, with the same framing and the same zoom and locate a first star to analyze:



2. Premiers tests de mesures de luminosité

First brightness measurement tests

Appréciation de la limite des étoiles

Star Limit Evaluation

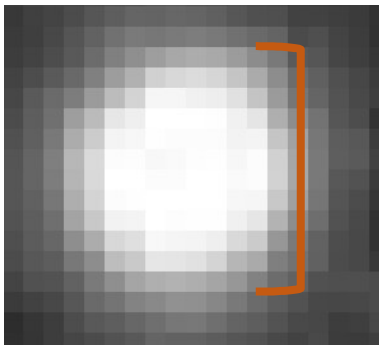
La luminosité dépendant de la surface de l'étoile (Cf. principe de la méthode), elle est donc également proportionnelle à son rayon.

Il nous suffit donc de mesurer les rayons en pixels : zoomons fortement sur une même étoile affichée simultanément pour sa couche bleue et sa couche verte de l'image.

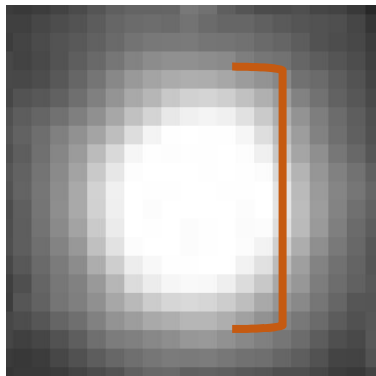
Since brightness depends on the star's surface area (see the principle of the method), it is also proportional to its radius.

We therefore simply need to measure the radii in pixels: let's zoom in closely on the same star, displaying both its blue and green layers of the image simultaneously.

Couche bleue : 12 pixels de haut



Couche verte : 14 pixels de haut



A priori cette étoile est plus lumineuse dans le vert que le bleu. Cependant, il y a une incertitude liée au fait que les bords de l'étoile sont un peu plus diffus dans le vert que dans le bleu, et qu'il y a une part d'interprétation visuelle dans la détermination du bord et donc du seuil de luminosité à partir duquel on considère qu'on est dans l'étoile.

A priori this star is brighter in green than in blue. However there is an uncertainty linked to the fact that the edges of the star are a little more diffuse in green than in blue, and that there is a part of visual interpretation in the determination of the edge and therefore of the brightness threshold from which we consider that we are in the star.

« Seuillage » des luminosités

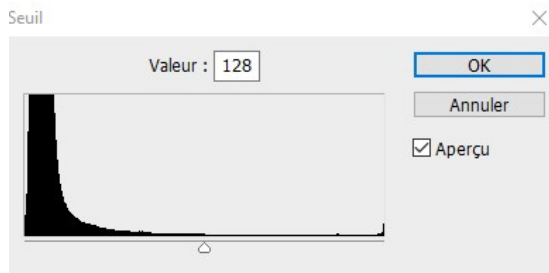
"Thresholding" of brightness

Il nous faut donc un traitement qui fasse ce travail de « seuillage » du niveau minimal de lumière à prendre en compte.

Essayons avec un seuillage de valeur « moyenne » appliquée avec la même valeur de paramètre sur chacune des images :

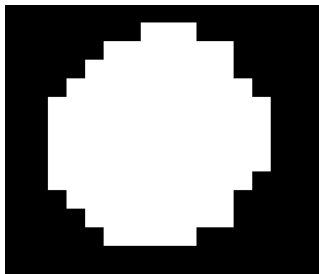
We therefore need a process that performs this "thresholding" task for the minimum light level to be taken into account.

Let's try an "average" thresholding value applied with the same parameter value to each of the images:

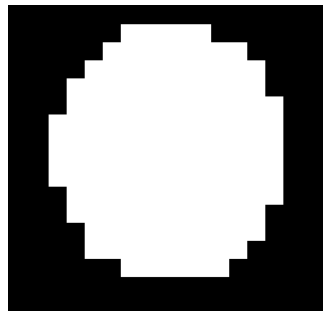


Nous obtenons :

Couche bleue : 12 pixels de haut



Couche verte : 14 pixels de haut

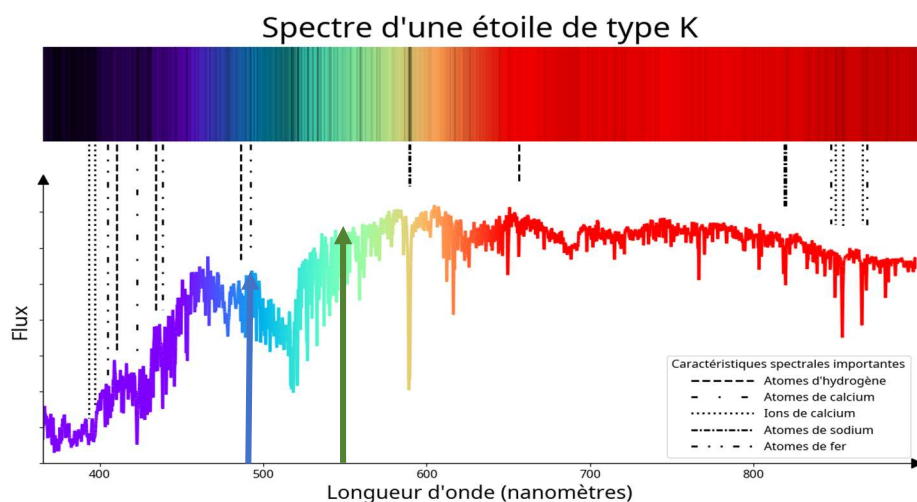


Nous confirmons les valeurs avant seuillage, mais cette fois-ci sans aucun doute.

Selon le principe de la méthode, une étoile plus verte que bleue a son spectre majoritairement du jaune au rouge :

We confirm the pre-thresholding values, but this time without doubt.

According to the principle of the method, a star that is more green than blue has a spectrum that is predominantly yellow to red:



Le niveau dans le vert (flèche verte) est supérieur à celui dans le bleu (flèche bleue).

Bien que nous n'ayons pas mesuré la luminosité de l'étoile dans le jaune, l'orange et le rouge, nous pouvons affirmer que cette étoile est probablement jaune, orange ou rouge et en aucun cas bleue.

The level in the green (green arrow) is higher than that in the blue (blue arrow).

Although we have not measured the star's brightness in the yellow, orange, and red regions, we can say that this star is probably yellow, orange, or red and definitely not blue.

Si nous regardons la couleur de l'étoile dans la photo couleur d'origine : elle a bien un halo orangé, à contrario de l'étoile située en haut à gauche qui paraît bleutée.

Ce halo orangé était plus visible dans la couche verte, d'où son aspect diffus.

If we look at the color of the star in the original color photograph, it clearly has an orange halo, unlike the star in the upper left, which appears bluish.

This orange halo was more visible in the green layer, hence its diffuse appearance.



Critique du résultat

Critique of the result

Nous venons de dire que nous étions plus assurés du résultat après le seuillage, et pourtant nous allons le discuter. Il en sera ainsi tout au long de notre travail, il faut avoir un regard critique sur les résultats et en mesurer la fiabilité pour au final être sûrs de nos conclusions.

We just said that we were more certain of the result after thresholding, and yet we are going to discuss it. This will be the case throughout our work; we must take a critical look at the results and measure their reliability in order to ultimately be sure of our conclusions.

Calcul du % de différence de taille mesurée

Nous avons 2 pixels d'écart entre les couches bleue et verte, soit $2/14 = 14,3\%$.

Calculating the % difference in measured size

We have a difference of 2 pixels between the blue and green layers, or $2/14 = 14.3\%$.

Calcul de la marge d'erreur moyenne sur les diamètres

Calculation of the average margin of error on the diameters

Le seuillage peut faire « basculer » un pixel de luminosité moyenne, dans le blanc ou dans le noir, selon qu'il est légèrement au-dessus ou en dessous du seuil.

Si nous prenons pour hypothèse que statistiquement, une fois sur deux le pixel dont la luminosité est la plus proche du seuil sera considéré comme noir, nous avons donc en moyenne 0,5 pixel qui pourrait être exclu à tort. Ce demi-pixel potentiellement en erreur est à comparer aux 2 pixels d'écart, ce qui fait une erreur possible de $0,5 / 2 = 25\%$ sur la différence de diamètre.

Nous verrons plus loin que pour le calcul final, nous utiliserons non pas le diamètre, mais la surface de l'étoile, que nous assimilerons à sa luminosité.

Thresholding can cause a pixel of average brightness to "toggle" into white or black, depending on whether it is slightly above or below the threshold.

If we assume that statistically, half the time the pixel whose brightness is closest to the threshold will be considered black, we therefore have an average of 0.5 pixels that could be wrongly excluded. This potentially erroneous half-pixel should be compared to the two pixels of difference, which results in a possible error of $0.5 / 2 = 25\%$ on the difference in diameter.

We will see later that for the final calculation, we will use not the diameter, but the surface area of the star, which we will equate to its brightness.

Calcul de la marge d'erreur moyenne sur les surfaces

Calculation of the average margin of error on surfaces

La surface mesurée dans le bleu est de $12 * 12 * \pi = 452,4$ pixels

La surface mesurée dans le vert est de $14 * 14 * \pi = 615,7$ pixels

Avec la formule de surface utilisant le carré du diamètre, une petite différence de diamètre se traduit par une différence plus importante sur les surfaces.

Différence de surface = 163,3 soit $163,3 / 615,7 = 26,5 \%$

*The area measured in blue is $12 * 12 * \pi = 452.4$ pixels*

*The area measured in green is $14 * 14 * \pi = 615.7$ pixels*

With the area formula using the square of the diameter, a small difference in diameter translates to a larger difference in area.

Area difference = 163.3 or $163.3 / 615.7 = 26.5\%$

Effet de l'erreur potentielle d'un demi-pixel sur une des images (ici la bleue) :

La surface mesurée dans le bleu est de $11,5 * 11,5 * \pi = 415,5$ pixels

La surface mesurée dans le vert est de $14 * 14 * \pi = 615,7$ pixels

Différence de surface = 199,5 soit $199,5 / 615,7 = 32,4 \%$

La marge d'erreur sur la surface de l'étoile bleue est de $452,4 - 415,2 = 37,2 / 452,4 = 8,2 \%$

La marge d'erreur sur la différence de surface est de $199,5 - 163,3 = 36,2 / 199,5 = 18 \%$.

C'est cette dernière marge d'erreur qui impactera potentiellement le résultat final.

Effect of a potential half-pixel error on one of the images (here the blue one):

*The measured area in the blue is $11.5 * 11.5 * \pi = 415.5$ pixels*

*The measured area in the green is $14 * 14 * \pi = 615.7$ pixels*

Area difference = 199.5 or $199.5 / 615.7 = 32.4\%$

The margin of error for the blue star's area is $452.4 - 415.2 = 37.2 / 452.4 = 8.2\%$

The margin of error for the area difference is $199.5 - 163.3 = 36.2 / 199.5 = 18\%$.

It is this last error that will potentially impact the final result.

En tant qu'astronome amateur, nous pouvons très bien considérer que c'est une performance honorable, du moins pour l'instant ! Nous verrons par la suite si notre marge d'erreur nous permet ou pas d'obtenir des analyses pertinentes.

As amateur astronomers, we can very well consider this a respectable performance, at least for now! We will see later whether our margin of error allows us to obtain relevant analyses or not.

3. Test sur plusieurs types et tailles d'étoiles

Test on several types and sizes of stars

Une étoile bleue

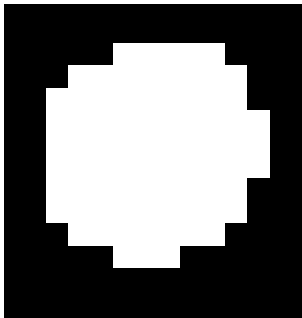
A blue star

Nous allons maintenant nous intéresser à l'étoile bleue située non loin de notre première étoile :

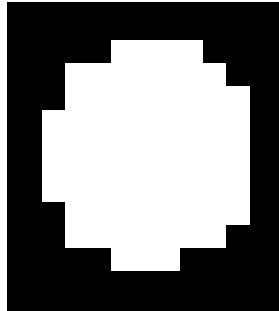
We will now look at the blue star located not far from our first star:



Couche bleue : 10 pixels de haut



Couche verte : 10 pixels de haut



Nous sommes surpris de trouver les mêmes valeurs ! Une étoile qui a les mêmes valeurs de luminosités pour les différentes couleurs est une étoile blanche. Après tout, il s'agit peut-être alors d'une étoile blanche ce qui est une chose possible.

Cependant, nous avons bien vu un halo bleu autour de l'étoile. Serait-ce un effet d'une aberration chromatique de l'objectif du Seestar ? S'agissant d'un triplet apochromatique, cela serait un peu étonnant.

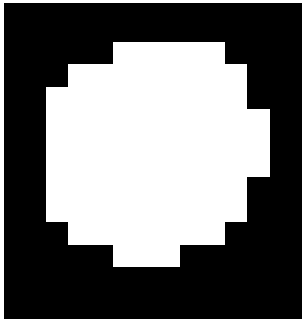
We're surprised to find the same values! A star that has the same brightness values for different colors is a white star. After all, it might be a white star, which is a possibility.

However, we did see a blue halo around the star. Could this be the result of chromatic aberration from the Seestar lens? Given that it's an apochromatic triplet, that would be a bit surprising.

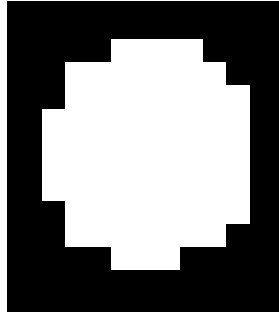
Si on observe les deux images après seuillage, la première paraît pourtant un peu plus grosse, du moins en largeur. Mesurons cela :

If we look at the two images after thresholding, the first one appears a little larger, at least in width. Let's measure this:

Couche bleue : 10 pixels de large



Couche verte : 9 pixels de large



En prenant deux mesures de diamètres, nous obtenons un diamètre moyen de 9,5 pixels pour l'étoile verte. L'étoile est donc bien légèrement plus bleue que verte.

Taking two diameter measurements, we get an average diameter of 9.5 pixels for the green star. The star is therefore slightly more blue than green.

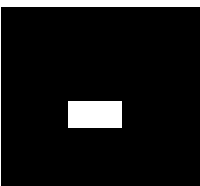
Une petite étoile orangée

A small orange star



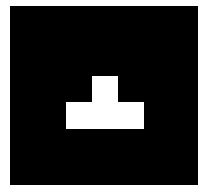
Couche bleue : 1 x 2 pixels

=> 1,5 pixels en moyenne



Couche verte : 2 x 3 pixels

=> 2,5 pixels en moyenne



Calcul du % de différence de taille mesurée : 1 pixels d'écart / 2,5 = 40 %

Calcul de la marge d'erreur : 0,5 pixel / 2,5 = 20 %

Sur une petite étoile, la marge d'erreur est d'une grandeur très importante par rapport à la différence mesurée.

Calculation of the % difference in measured size: 1 pixel difference / 2.5 = 40% Calculation of the margin of error: 0.5 pixels / 2.5 = 20%

On a small star, the margin of error is very large compared to the measured difference.

Si nous avions une meilleure résolution, avec des pixels deux fois plus petits, nous pourrions espérer réduire cette marge d'erreur à $0,25 / 2,5 = 10\%$.

La taille des images du Seestar est de 1920 x 1080 pixels.

Avec ma grande lunette 152/900 et mon reflex APS-C, pour un champ très proche, la taille des images est de 3456 x 2304 à 8 millions de pixels, taille d'image que j'utilise habituellement en ciel profond et pour les amas.

If we had better resolution, with pixels half as small, we could hope to reduce this margin of error to $0.25 / 2.5 = 10\%$.

The Seestar image size is 1920 x 1080 pixels.

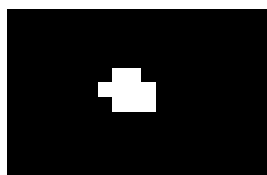
With my large 152/900 refractor and my APS-C DSLR, for a very close field, the image size is 3456 x 2304 at 8 million pixels, the image size I usually use for deep sky and clusters.

Examinons comment fonctionne notre méthode si on double la définition de l'image du Seestar en la passant à 3840 x 2160 (Les images des couches bleue et verte sont préparées et « seuillées » comme précédemment.).

Let's examine how our method works if we double the definition of the Seestar image to 3840 x 2160 (the images of the blue and green layers are prepared and "thresholded" as before.).

Couche bleue : 3 x 4 pixels

=> 3,5 pixels en moyenne



Couche verte : 5 x 6 pixels

=> 5,5 pixels en moyenne



Calcul du % de différence de taille mesurée : 2 pixels d'écart / 5,5 = 36,4 %

Calcul de la marge d'erreur : 0,25 pixel / 2 = 12,5 %

Nous avons obtenu une mesure plus précise de la différence de diamètre et réduit la marge d'erreur.

⇒ **Importance de la résolution sur la marge d'erreur**

Calculation of the % difference in measured size: 2 pixels difference / 5.5 = 36.4%

Calculation of the margin of error: 0.25 pixels / 2 = 12.5%

We obtained a more accurate measurement of the diameter difference and reduced the margin of error.

=> Importance of resolution on the margin of error

Ajustement de la résolution

Adjusting the resolution

Summary: we do the same with higher resolutions

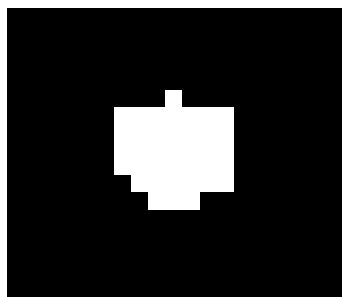
En augmentant encore la résolution, nous allons augmenter la précision de la mesure et réduire la marge d'erreur.

Jusqu'à quelle résolution aller ?

Passons l'image à 7680 x 4320 pixels, soit 4 fois plus de résolution.

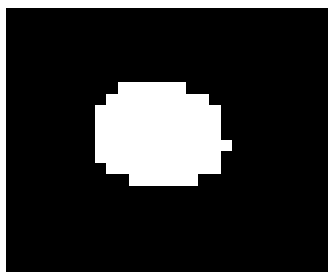
Couche bleue : 7 x 7 pixels

=> 7 pixels en moyenne



Couche verte : 8 x 11 pixels

=> 9,5 pixels en moyenne



Calcul du % de différence de taille mesurée : 2,5 pixels d'écart / 9,5 = 26,3 %

Calcul de la marge d'erreur : 0,125 pixel / 2,5 = 5 %

Résolution X8 :

Couche bleue : 13 x 16 pixels

=> 14,5 pixels en moyenne



Couche verte : 18 x 23 pixels

=> 20,5 pixels en moyenne

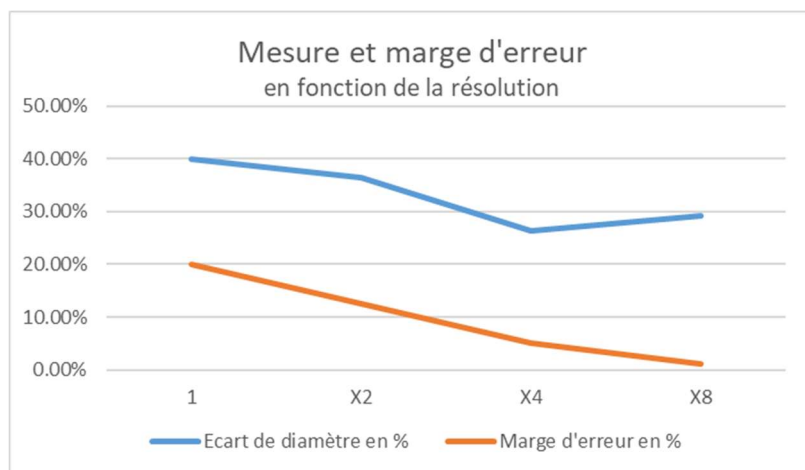


Calcul du % de différence de taille mesurée : 6 pixels d'écart / 20,5 = 29,3 %

Calcul de la marge d'erreur : 0,0625 pixel / 6 = 1 %

Nous obtenons, avec ces différentes résolutions, pour la mesure de cette petite étoile :

	Résolution native du Seestar S50		Résolution retenue	
Résolution	1	X2	X4	X8
Ecart de diamètre en %	40.00%	36.40%	26.30%	29.30%
Marge d'erreur en %	20.00%	12.50%	5.00%	1.00%



La résolution retenue est un compromis entre l'effort que demande la mesure de nombreux pixels et ce que je pense être une marge d'erreur acceptable pour un amateur.

The resolution chosen is a compromise between the effort required to measure many pixels and what I believe to be an acceptable margin of error for an amateur.

4. Mesure de plusieurs étoiles et consignation des résultats

Measurement of several stars and recording of results

Nous pouvons maintenant mesurer les luminosités de plusieurs étoiles de l'amas.

Afin de valider notre méthode, commençons par un nombre assez limité d'étoiles, mais de diverses tailles et couleurs. Il est important pour la suite de bien repérer et mesurer la plus grosse étoile de l'amas.

Il faut bien nous assurer au fur et à mesure que nous traitons les étoiles, d'être bien sûr que nous prenons en compte à chaque fois la même étoile dans chaque version de l'image.

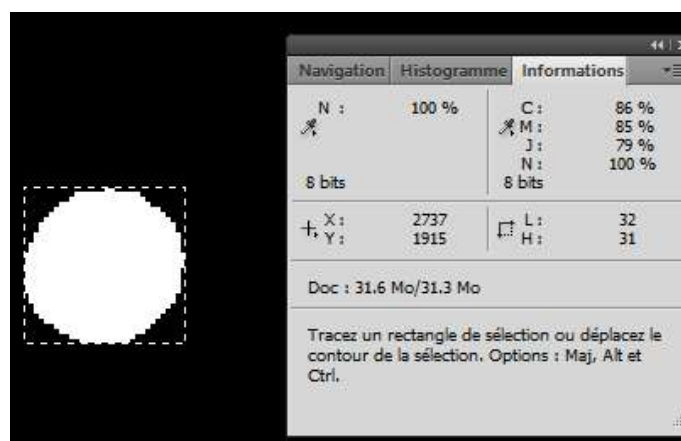
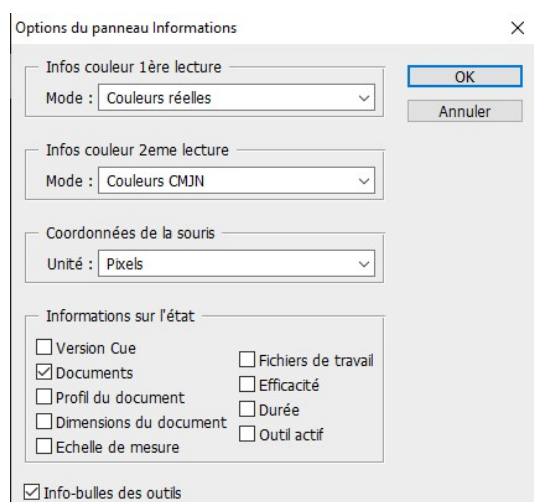
We can now measure the brightness of several stars in the cluster.

To validate our method, let's start with a relatively small number of stars, but with varying sizes and colors. It's important to correctly identify and measure the largest star in the cluster.

As we process the stars, we must be sure that we are considering the same star in each version of the image.

Pour compter plus facilement la largeur des étoiles en pixels, nous pouvons utiliser l'outil Sélection et afficher les informations en ayant paramétré l'affichage de la taille en pixels :

To more easily count the width of the stars in pixels, we can use the Selection tool and display the information by setting the size display in pixels:



Notons soigneusement les valeurs de diamètres dans le tableau (Persée.xlsx) :

		B				V				-2,5*log B -2,5*log V		
		pixels carré 14512.375				pixels carré 14512.375						
		largeur B	Hauteur B	Surface B	Correction	largeur C	Hauteur C	Surface C	Correction	mB	mV	mB-mV
Grosse étoile orange test	8,19	47	47	1734.94	0.12	53	57	2375.83	0.16	2.31	1.96	0.34
		43	40	1352.65	0.09	37	39	1134.11	0.08	2.58	2.77	-0.19
		10	9	70.88	0.00	12	12	113.10	0.01	5.78	5.27	0.51
		6	6	28.27	0.00	7	7	38.48	0.00	6.78	6.44	0.33
		10	10	78.54	0.01	12	12	113.10	0.01	5.67	5.27	0.40
Petite étoile test		7	7	38.48	0.00	12	9	86.59	0.01	6.44	5.56	0.88
Etoile blanche		27	27	572.55	0.04	27	27	572.55	0.04	3.51	3.51	0.00
Plus grosse étoile	6,53	91	94	6720.06	0.46	83	84	5475.99	0.38	0.84	1.06	-0.22

5. Calculs

Calculations

Les calculs sont très simples : à partir des diamètres mesurés, on calcule une surface en pixels carrés. On réduit ces surfaces avec un facteur de correction, et ensuite, on calcule les valeurs « mB » et « mV » pour obtenir leurs différences.

Le calcul des « mB » et « mV » utilise une fonction de logarithme décimal = $-2.5 \cdot \text{LOG}$ (surface corrigée).

The calculations are very simple: from the measured diameters, we calculate an area in square pixels. We reduce these areas using a correction factor and then calculate the "mB" and "mV" values to obtain their differences.

The calculation of "mB" and "mV" uses a decimal logarithm function = $-2.5 \cdot \text{LOG}$ (corrected area).

Notez qu'il y a un facteur de correction qui divise les valeurs obtenues. Ceci car en augmentant la surface mesurée via l'augmentation de la résolution, et vu la sensibilité d'une photo issue d'un empilement, nos valeurs de surface sont trop élevées pour être considérées comme des valeurs réalistes de magnitudes. Les calculs sont donc calibrés pour que le résultat soit dans une plage de valeurs correctes. Nous reviendrons plus tard sur cette calibration.

Note that there is a correction factor that divides the obtained values. This is because by increasing the measured surface area by increasing the resolution, and given the sensitivity of a photo from a stack, our surface values are too high to be considered realistic magnitude values. The calculations are therefore calibrated so that the result is within a range of correct values. We will come back to this calibration later.

Je ne suis pas mathématicien, mais je constate que la différence mB – mV ne dépend pas de la valeur de cette correction.

Par exemple, si on met une valeur à 100, on a toujours la valeur 0,34 pour notre première étoile.

I'm not a mathematician, but I note that the difference between mB and mV doesn't depend on the value of this correction.

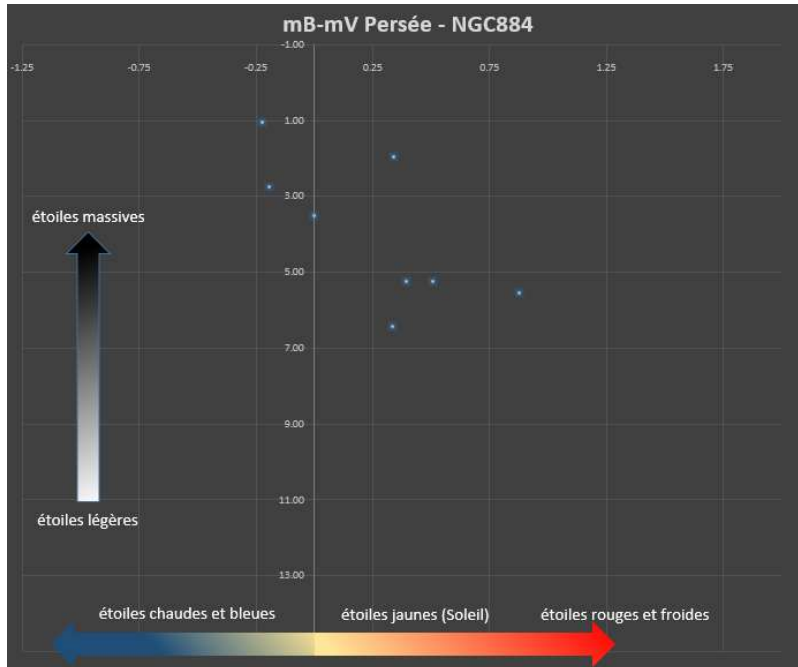
For example, if we set the value to 100, we still get a value of 0.34 for our first star.

		B				V				-2,5*log B -2,5*log V		
		pixels carré 100				pixels carré 100						
		largeur B	Hauteur B	Surface B	Correction	largeur C	Hauteur C	Surface C	Correction	mB	mV	mB-mV
		47	47	1734.94	17.35	53	57	2375.83	23.76	-3.10	-3.44	0.34

6. Diagramme de Hertzsprung-Russell

Le modèle de fichier propose un affichage graphique des résultats selon la méthode « Hertzsprung-Russell » :

The file template provides a graphical display of the results using the “Hertzsprung-Russell” method:



L'axe horizontal est basé sur la différence de luminosité dans le bleu et le vert ($mB - mV$) et renseigne la couleur de l'étoile. Cette valeur n'a pas de grandeur physique.

L'axe vertical est basé sur la luminosité dans le vert (mV) et représente la magnitude, assimilée à la masse. La valeur du facteur de correction a été établie de manière à ce que la plus grosse étoile mesurée soit dans la plage de magnitude absolue, et donc de masse, des étoiles géantes. C'est une hypothèse réaliste. D'où l'importance de mesurer la plus grosse étoile de l'amas pour calibrer notre graphe.

The horizontal axis is based on the difference in luminosity in the blue and green regions ($mB - mV$) and indicates the star's color. This value has no physical quantity.

The vertical axis is based on the luminosity in the green region (mV) and represents the magnitude, equated to the mass. The correction factor was set so that the largest star measured would be within the absolute magnitude, and therefore mass, range of giant stars. This is a realistic assumption. Hence the importance of measuring the largest star in the cluster to calibrate our graph.

La luminosité d'une étoile s'appelle la magnitude et, comme elle dépend en général de la masse de l'étoile, on l'assimile à la masse dans nos représentations. L'axe vertical des magnitudes représente donc également un axe des masses, bien que sans grandeur définie à ce stade.

The brightness of a star is called magnitude, and since it generally depends on the star's mass, we equate it with mass in our representations. The vertical magnitude axis therefore also represents a mass axis, although without a defined physical quantity at this stage.

Nous manipulons en fait trois types de magnitudes :

- Celle mesurée, dont la valeur dépend de nos conditions d'observation, de la résolution et de la sensibilité du capteur, du temps de pause ...
- La magnitude apparente, qui est la même que la précédente mais modifiée proportionnellement par rapport à une étoile de référence. La base du référentiel étant Vega à qui on attribue arbitrairement la magnitude zéro.
- La magnitude absolue, qui correspond à la quantité de lumière émise par l'étoile, indépendamment de la manière dont nous la mesurons et la percevons en fonction de la distance.

Nous essayons pour l'instant, au moyen de notre facteur de correction, de calibrer notre graphe sur la magnitude absolue supposée de la plus grosse étoile de l'amas.

We actually handle three types of magnitude:

- *The measured magnitude, whose value depends on our observation conditions, the resolution and sensitivity of the sensor, the exposure time ...*
- *The apparent magnitude, which is the same as the previous one but modified proportionally relative to a reference star. The basis of the referential being Vega to which magnitude zero is arbitrarily assigned.*
- *The absolute magnitude, which corresponds to the quantity of light emitted by the star, regardless of how we measure and perceive it as a function of distance.*

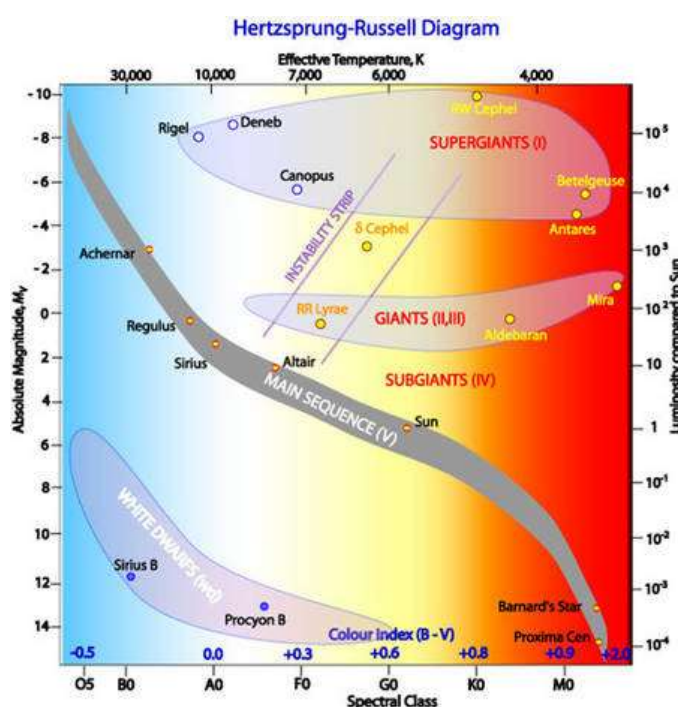
For now, using our correction factor, we are trying to calibrate our graph to the assumed absolute magnitude of the largest star in the cluster.

7. Interprétation et compréhension des résultats

Interpretation and understanding of results

Avec l'aide d'un graphique de référence, nous essayons de relier les étoiles à des catégories définies par des masses, couleurs, et par une évolution déterminée pour les étoiles dites de la « séquence principale » :

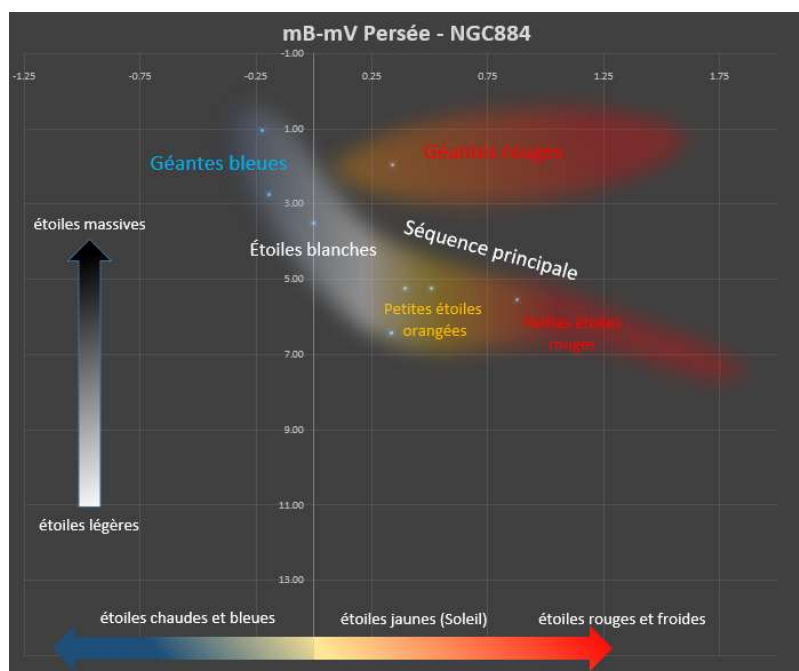
With the help of a reference graph, we try to link the stars to categories defined by masses, colors, and by a determined evolution for the so-called "main sequence" stars.



(Crédit : CSIRO Australia 2004)

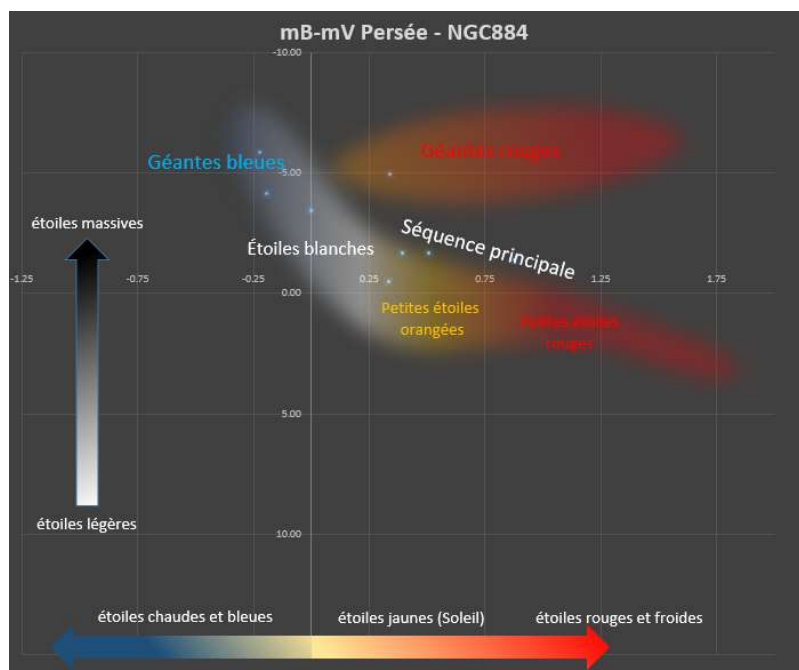
Sur notre diagramme, cela pourrait s'analyser comme cela :

On our diagram, this could be analyzed like this:



Si nous remettons à 100 la valeur du facteur de correction, le positionnement sur l'axe des couleurs n'est pas affecté :

If we reset the correction factor value to 100, the positioning on the color axis is not affected:



C'est quelque chose de très rassurant pour nous, car ce résultat ne dépend pas de la résolution, du temps d'exposition et de notre système optique (focale, f/d ...).

Seule la graduation de l'axe vertical des « mV » que nous relierons à la masse des étoiles est affectée. Cela veut dire que nos mesures de mV, et donc de masses, sont relatives et pas absolues, bien que nous essayons de les représenter dans une plage de valeurs réalistes.

Et voilà comment avec une méthode simple, nous pouvons analyser un amas d'étoiles.

Il y a une approximation assumée, liée à la marge d'erreur, et une estimation relative des masses, bien que nous ayons calibré réalistement l'échelle des masses avec une étoile présumée géante.

This is very reassuring for us because this result does not depend on resolution, exposure time, or our optical system (focal length, f/d, etc.).

Only the graduation of the vertical axis of the "mV" that we relate to the mass of the stars is affected. This means that our mV measurements, and therefore our masses, are relative and not absolute, although we try to represent them within a realistic range of values.

And this is how, with a simple method, we can analyze a star cluster.

There is an assumed approximation, linked to the margin of error, and a relative estimate of the masses, although we have realistically calibrated the mass scale with a presumed giant star.

8. Diagramme complet de Persée

Complete diagram of Perseus

Nous avons établi un modèle qui fonctionne avec ce que nous savons des types d'étoiles.

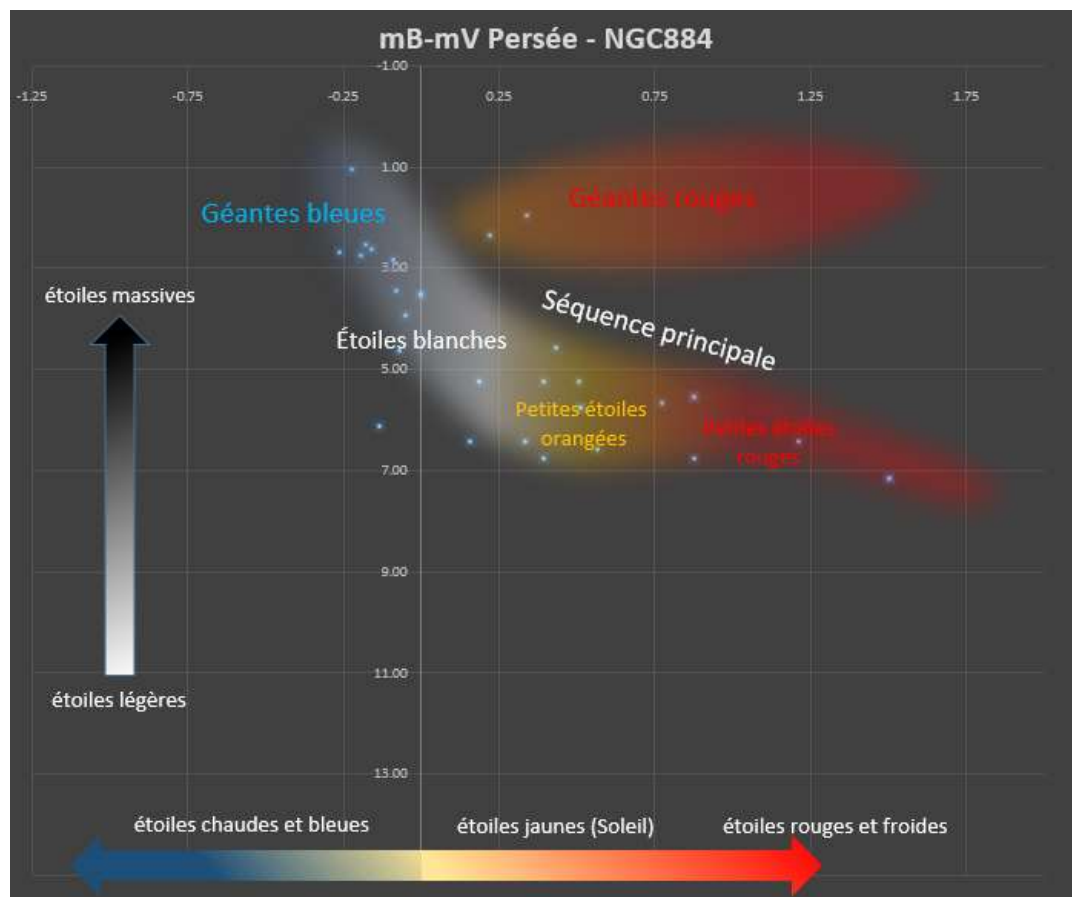
Néanmoins, afin de conforter notre interprétation, en particulier le chaînage et la cohérence de la séquence principale, il nous faut un plus grand nombre d'étoiles.

Cf. Persée-3.xlsx, avec une trentaine d'étoiles de NGC884, la séquence principale est bien définie et quasi-continue :

We have established a model that works with what we know about star types.

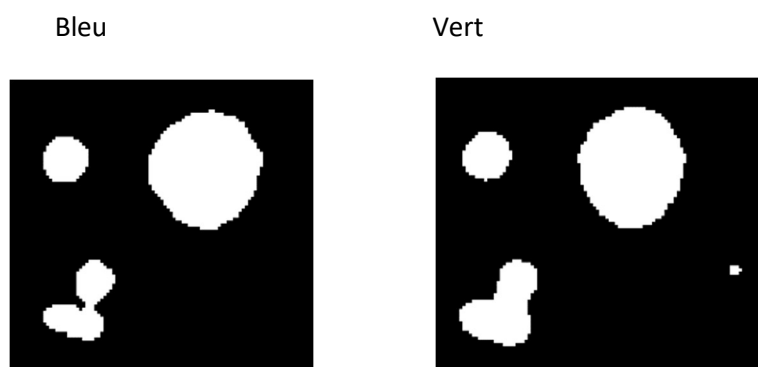
However, to confirm our interpretation, particularly the chaining and coherence of the main sequence, we need a larger number of stars.

See Perseus-3.xlsx; with around thirty stars of NGC884, the main sequence is well-defined and nearly continuous:



Il n'y a que pour les petites étoiles rouges que nous sommes un peu en difficulté : la résolution est encore insuffisante, et parfois, la fonction de seuillage supprime le signal bleu qui est plus faible que le vert :

It is only for the small red stars that we are in a bit of difficulty: the resolution is still insufficient, and sometimes the thresholding function suppresses the blue signal which is weaker than the green:



9. Test sur d'autres amas d'étoiles

Test on other star clusters

Un amas avec quelques grosses étoiles (M39)

A cluster with some large stars (M39)

Ici comme les étoiles sont assez grosses, l'image est analysée à la résolution initiale du Seestar qui est de 1920x1080 pixels. La marge d'erreur devrait être limitée et surtout, l'utilisation d'une résolution différente que précédemment va nous obliger à modifier notre facteur de correction, et à en évaluer la cohérence avec sa valeur précédente.

La surface de l'image étant 16 fois moindre, nous divisons par 16 ce facteur (Cf. M39.xlsx) :

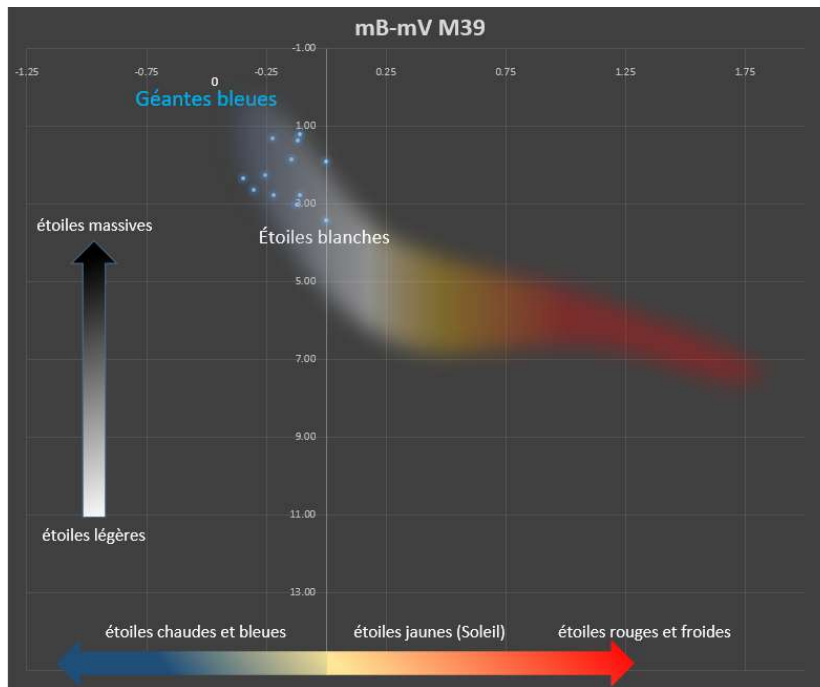
Here, since the stars are quite large, the image is analyzed at the original Seestar resolution of 1920x1080 pixels. The margin of error should be limited, and above all, using a different resolution than previously will force us to modify our correction factor and evaluate its consistency with its previous value.

Since the image area is 16 times smaller, we divide this factor by 16 (see M39.xlsx):

B				V						
		pixels carré	907.023438			pixels carré	907.0234375	-2,5*log B	-2,5*log V	
largeur B	Hauteur B	Surface B	Correction	largeur C	Hauteur C	Surface C	Correction	mB	mV	mB-mV

Ceci fait, nous mesurons les diamètres, consignons les résultats et observons le diagramme :

Once this is done, we measure the diameters, record the results and observe the diagram:



Nous obtenons une représentation de la masse des étoiles : un peu en dessous la masse des géantes bleues et au-dessus de la masse des étoiles blanches de la séquence principale.

Cette plage de valeur est un peu trop élevée, car l'étoile la plus lourde, HD 204626, est une étoile blanche de la séquence principale dont la magnitude absolue est proche de zéro.

Cf. L'article Wikipédia sur les types d'étoiles blanches de la séquence principale :

We obtain a representation of the mass of the stars: slightly below the mass of blue giants and above the mass of white main sequence stars.

This range of values is a little too high because the heaviest star, HD 204626, is a white main sequence star with an absolute magnitude close to zero.

See the Wikipedia article on types of white main sequence stars:

Type spectral	Masse ($M_{\odot}$)	Rayon ($R_{\odot}$)	Luminosité ($L_{\odot}$)	Température effective (K)	Indice de couleur (B - V)
A0V	2,18	2,193	38,02	9 700	0,00
A1V	2,05	2,136	30,90	9 300	0,04
A2V	1,98	2,117	23,99	8 800	0,07
A3V	1,86	1,861	16,98	8 600	0,10
A4V	1,93	1,794	13,49	8 250	0,14
A5V	1,88	1,785	12,30	8 100	0,16
A6V	1,83	1,775	11,22	7 910	0,19
A7V	1,81	1,750	10,00	7 760	0,21
A8V	1,77	1,747	9,12	7 590	0,25
A9V	1,75	1,747	8,32	7 400	0,27

Et l'article sur M39 :

And the article on M39:

Nom	Num #	α	δ	type
HD 204626 ²²	#1	21 ^h 28 ^m 24.4335 ^s	48° 26' 03.5292"	A2 E
HD 204917 ²³	#2	21 ^h 30 ^m 18.9360 ^s	48° 23' 27.0411"	A1V V
BD+47 3433 ²⁴	#3	21 ^h 30 ^m 33.3125 ^s	48° 17' 27.4364"	A2V C
BD+47 3438 ²⁵	#4	21 ^h 30 ^m 44.0529 ^s	48° 19' 54.8704"	A3:V C
HD 205073 ²⁶	#5	21 ^h 31 ^m 23.1746 ^s	48° 21' 23.3669"	A1p C
HD 205085 ²⁷	#6	21 ^h 31 ^m 30.5255 ^s	48° 16' 41.4387"	A3V C
HD 205116 ²⁸	#7	21 ^h 31 ^m 42.3843 ^s	48° 35' 04.6242"	A0III: C
HD 205117 ²⁹	#8	21 ^h 31 ^m 44.6503 ^s	48° 29' 03.6739"	A1p C

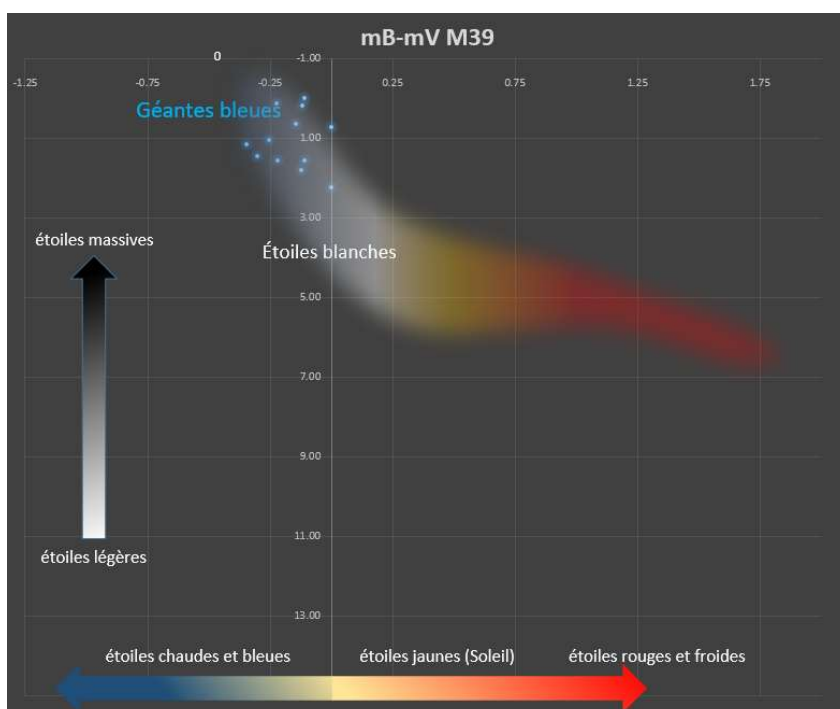
Si nous procédons à un ajustement du facteur de correction (Cf. M39-2.xlsx) :

If we make an adjustment to the correction factor (Cf. M39-2.xlsx):

B				V				$-2,5 \cdot \log B$ $-2,5 \cdot \log V$		
largeur B	Hauteur B	Surface B	Correction	largeur C	Hauteur C	Surface C	Correction	mB	mV	mB-mV

Le résultat est plus cohérent concernant la représentation de la masse, mais nos étoiles sont toujours un peu trop bleues :

The result is more consistent regarding the representation of mass, but our stars are still a little too blue:



Nous pouvons émettre deux hypothèses :

- Un niveau de luminosité un peu trop élevé dans le bleu dans les images du Seestar, et envisager une correction différenciée pour le bleu.
- ou
- Un niveau de luminosité un peu trop faible dans le vert dans les images du Seestar, et envisager une correction différenciée pour le vert.

Nous gardons cela comme étant un facteur à prendre potentiellement en compte, mais avant de changer notre modèle de correction, il nous faut l'éprouver sur d'autres amas.

We can make two assumptions:

- A slightly too high brightness level in the blue region in the Seestar images, and consider a differentiated correction for the blue region.

or

- A slightly too low brightness level in the green region in the Seestar images, and consider a differentiated correction for the green region.

We are keeping this as a potential factor to consider, but before changing our correction model, we should test it on other clusters.

Un amas avec des étoiles majoritairement jaunes (M6)

A cluster with mostly yellow stars (M6)

Ici, nous allons travailler avec des images à deux fois la résolution du Seestar. Là encore, il nous faut adapter le facteur de correction (Cf. M6.xlsx).

Par contre nous ne constatons pas de décalage vers le bleu. L'étoile la plus massive de l'amas, HD 160371 est une super-géante jaune. Étoile de type très rare et dont la durée de vie est très faible.

Elle fait partie des étoiles dites céphéides, dont les variations de luminosité sont liées à la masse.

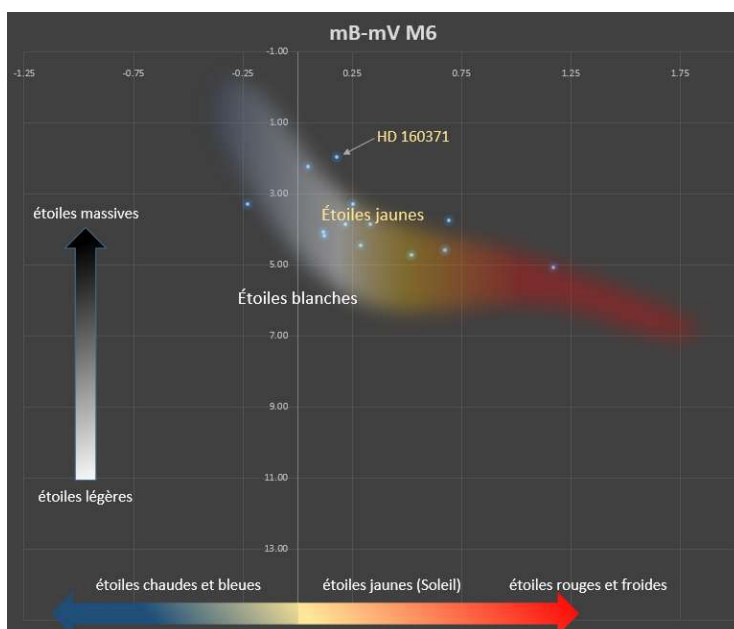
Sa magnitude absolue est de -2,85.

Here we will be working with images at twice the resolution of Seestar. Here again, we need to adjust the correction factor (see M6.xlsx).

However, we do not observe any shift towards blue. The most massive star in the cluster, HD 160371, is a yellow supergiant. This is a very rare type of star, and therefore its lifespan is very short.

It is one of the so-called Cepheid stars, whose brightness variations are related to mass.

Its absolute magnitude is -2.85.



10. Discussion sur les variations de notre facteur de correction liée à la distance

Discussion on variations in our distance correction factor

Nous avons vu avec M39 et M6 que notre facteur de correction était plus bas ou plus haut que ce que nous avons projeté en considérant uniquement les changements de résolution et donc de surface en pixels des étoiles.

Il y a en effet un autre facteur qui explique ces variations, la distance. Plus un amas est loin et plus la magnitude apparente augmente.

Pour rester dans une plage réaliste de magnitudes absolues, nous devons donc modifier à chaque fois la calibration de notre tableau pour se rapprocher de ce que nous connaissons sur une étoile de référence.

We saw with M39 and M6 that our correction factor was lower or higher than what we had projected by considering only changes in resolution and therefore in the pixel area of the stars.

There is indeed another factor that explains these variations: distance. The further away a cluster is, the more its apparent magnitude increases.

To remain within a realistic range of absolute magnitudes, we must therefore modify the calibration of our table each time to get closer to what we know about a reference star.

11. Utilisation des magnitudes apparentes et absolues pour estimer la distance

Use of apparent and absolute magnitudes to estimate distance

La différence entre la magnitude apparente et absolue s'explique donc par la distance de l'amas. Si on connaît ou évalue ses deux paramètres, on doit pouvoir estimer la distance de l'amas.

Reprenons l'étoile HD 204626 de M39.

Magnitude apparente (Cf. tableau Wikipédia) : 7,54

The difference between apparent and absolute magnitude is therefore explained by the cluster's distance. If we know or estimate these two parameters, we should be able to estimate the cluster's distance.

Let's take the star HD 204626 in M39.

Apparent magnitude (see Wikipedia table): 7.54

Nom	Num #	α	δ	type	P (mas)	d (pc)	$\mu\alpha^*$ (mas/an)	$\mu\delta^*$ (mas/an)	m_V	Rem
HD 204626 ²²	#1	21 ^h 28 ^m 24.4335 ^s	48° 26' 03.5292"	A2 E	3,4472 ± 0,0763	290 ± 6	-6,2	-20,205	7,54	

Magnitude absolue : nous ne la connaissons pas précisément, alors nous prenons celle moyenne de son type A2 : 0,07

Absolute magnitude: we do not know it precisely, so we take the average magnitude of its type A2: 0.07

Utilisons la **loi de Pogson** qui relie la différence entre les magnitudes apparentes et absolue, avec la distance en parsecs (dpc) :

Let's use Pogson's law which relates the difference between apparent and absolute magnitudes, with the distance in parsecs (dpc):

$$m - M = -5 + 5.\log (dpc)$$

Calculons **dpc** en transformant cette équation et en y mettant nos valeurs de magnitude :

Let's calculate dpc by transforming this equation and putting our magnitude values into it:

$$7,54 - 0,07 = -5 + 5.\log (\text{dpc})$$

$$7,47 = -5 + 5.\log (\text{dpc})$$

$$5.\log (\text{dpc}) = 7,47 + 5$$

$$5.\log (\text{dpc}) = 12,47$$

$$\log (\text{dpc}) = 12,47/5$$

$$\log (\text{dpc}) = 2,494$$

$$\text{dpc} = 10 \exp 2,294$$

$$\text{dpc} = 311,88896$$

$$\text{Distance en année lumières} = 311,88896 * 3,26 = 1\,016,76 \text{ Al.}$$

$$\text{Distance in light years} = 311.88896 * 3.26 = 1,016.76 \text{ LY.}$$

M39 est donné à 1070 Al de distance, notre calcul est précis à 5% prêt.

M39 is given at 1070 ly away, our calculation is accurate to a margin of 5%.

Nous n'avons cependant aucun mérite à obtenir ce résultat, car il est basé sur des données que nous n'avons pas obtenues de nous-mêmes.

Pour obtenir la magnitude absolue, il faudrait pouvoir faire un calcul de parallaxe, c'est hors de portée d'un petit télescope.

Pour obtenir la magnitude apparente, il faut corriger notre magnitude mesurée par rapport à une étoile de référence. Pour cela, il nous faut photographier et analyser Vega dans les mêmes conditions que M39, et intégrer les données de Vega dans notre graphe de M39 afin de repositionner l'ensemble des étoiles en cohérences avec la magnitude apparente de Vega.

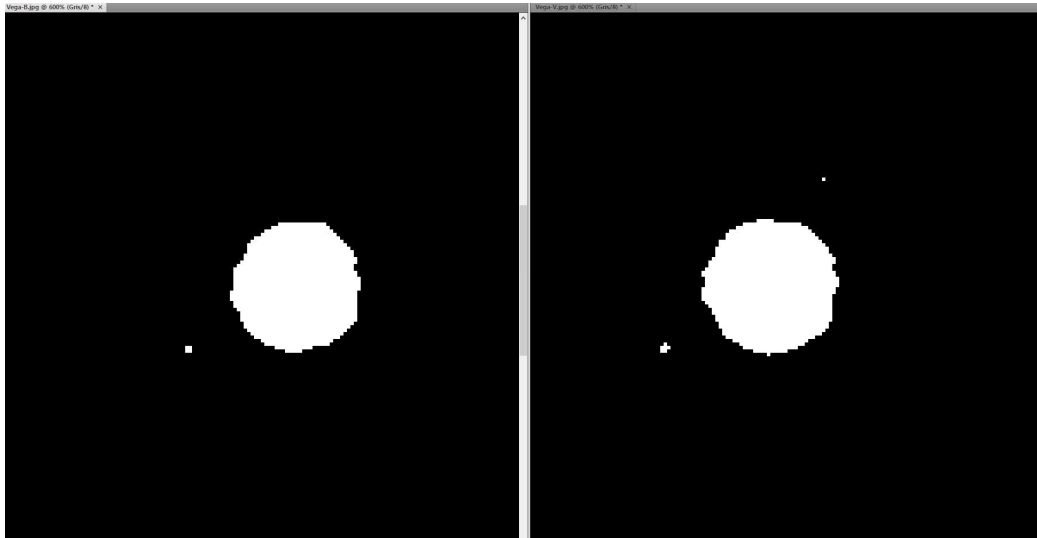
However, we have no credit for this result, as it is based on data we did not obtain ourselves.

To obtain the absolute magnitude, we would need to be able to perform a parallax calculation, which is beyond the reach of a small telescope.

To obtain the apparent magnitude, we must correct our measured magnitude relative to a reference star. To do this, we need to photograph and analyze Vega under the same conditions as M39, and integrate the Vega data into our M39 graph to reposition all the stars in accordance with Vega's apparent magnitude.

12. Analyse de Vega pour obtenir une donnée de référence sur les magnitudes apparentes

Vega analysis to obtain a reference data on apparent magnitudes



Résolution native

Dans le bleu : 38 x 38 pixels

Dans le vert : 40 x 40 pixels

Résolution X 2

Dans le bleu : 76 x 77 pixels donc 76,5 en moyenne

Dans le vert : 81 x 79 pixels donc 80 en moyenne

Résolution X 4

Dans le bleu : 153 x 153 pixels donc 153 en moyenne

Dans le vert : 158 x 157 pixels donc 157,5 en moyenne

13. Intégration des données de Vega au diagramme de Persée et étalonnage des calculs

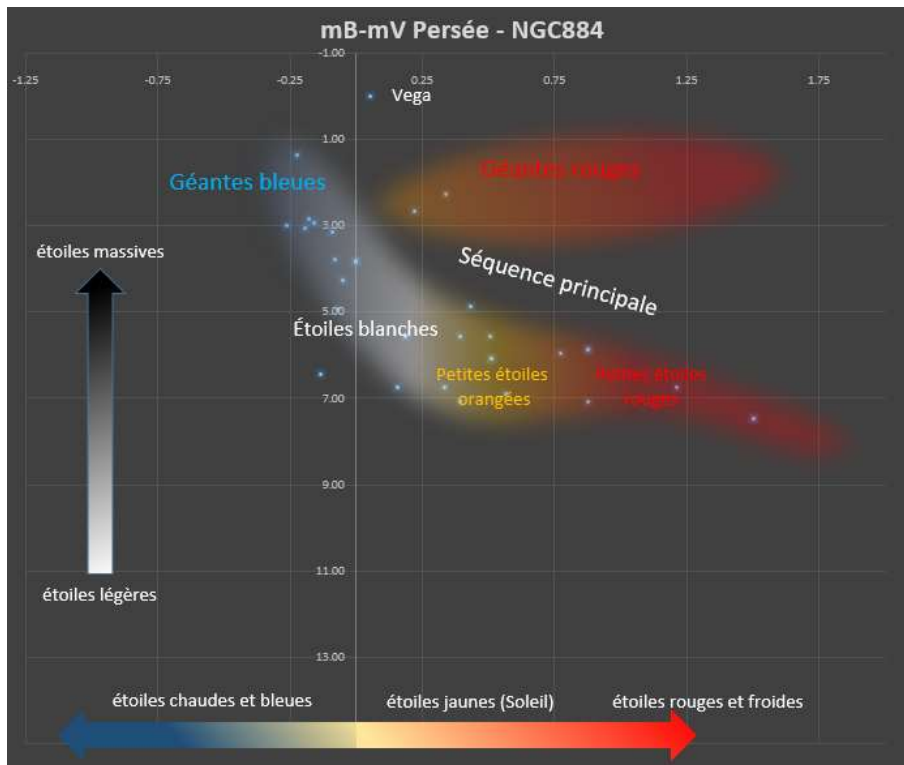
Integration of Vega data into the Perseus diagram and calibration of calculations

Les données de Vega sont ajoutées au tableau (Cf. Persée-4.xlsx, onglet Diagramme) :

	B				V				-2,5*log		
	largeur B	Hauteur B	Surface B	Correction	largeur C	Hauteur C	Surface C	Correction	mB	mV	mB-mV
Vega	153	153	18385.37	0.95	157	157	19359.26	1.00	0.06	0.00	0.06

Le facteur de correction est ajusté pour que $mV = 0$. Cela permet de calibrer l'ensemble des données et d'obtenir un graphique calibré sur la magnitude apparente de Vega :

The correction factor is adjusted such that $mV = 0$. This allows the whole data to be calibrated and to obtain a graph calibrated to the apparent magnitude of Vega:



Nous ne sommes maintenant pas obligés d'afficher Vega sur le graphique : il suffit de supprimer la formule en Q5 pour la faire disparaître.

Now we don't have to display Vega on the chart: just delete the formula in Q5 to make it disappear.

De la même manière, le diagramme de M39 est étalonné (Cf. M39-3.xlsx)

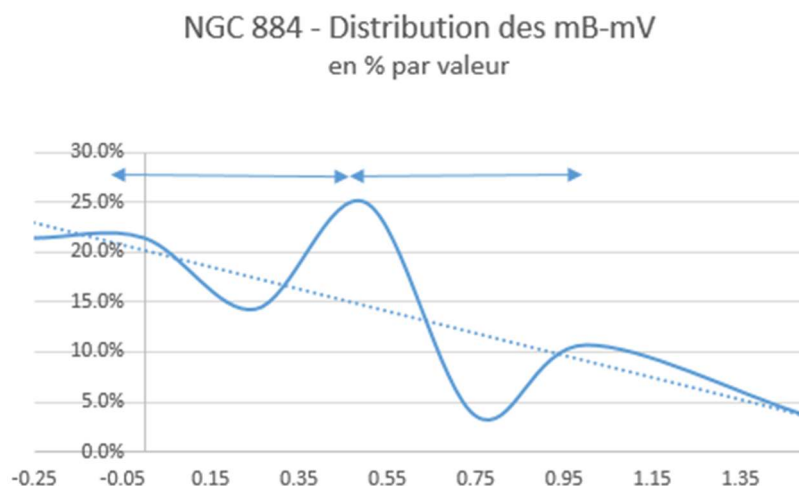
Similarly, the M39 diagram is calibrated (See M39-3.xlsx)

14. Pentas de distribution des étoiles

Star distribution slopes

Nous avons établi les différents types d'étoiles de l'amas NGC884, et je me pose la question de savoir si sur la séquence principale, la distribution est homogène ou pas (Cf. Persée-4.xlsx, onglet Distribution).

We have established the different types of stars in the NGC884 cluster, and I wonder whether on the main sequence, the distribution is homogeneous or not (Cf. Persée-4.xlsx, Distribution tab).



Il y a deux « trouées » et trois pics de distribution, séparés par une période d'environ 0,5 mB-mV. La pente globale est descendante.

Les zones où il y a moins d'étoiles pourraient être dues à un nombre insuffisant de mesures plus qu'à un phénomène physique.

S'il y a une cause physique à cette distribution hétérogène, cela pourrait être une formation des étoiles ou l'attraction d'étoiles extérieures à l'amas, en plusieurs phases.

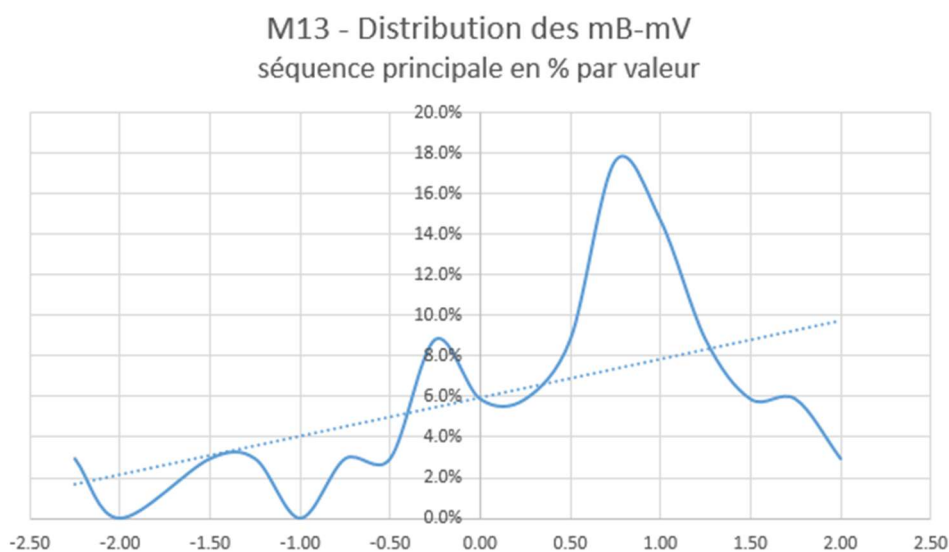
There are two "gaps" and three distribution peaks, separated by a period of approximately 0.5 mB-mV. THE overall slope is downward.

The areas where there are fewer stars could be due to an insufficient number of measurements rather than a physical phenomenon.

If there is a physical cause for this heterogeneous distribution, it could be star formation or the attraction of stars from outside the cluster, in several phases.

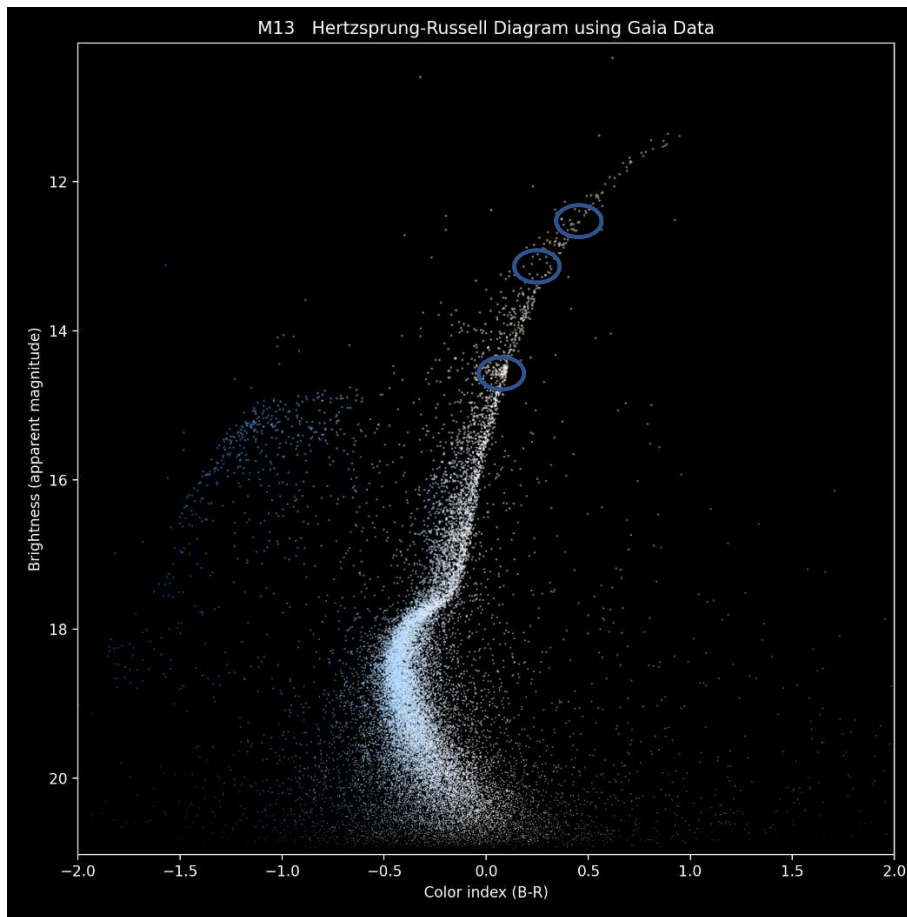
En reprenant des données obtenues sur l'amas M13, âgé de 13 milliards d'années, nous obtenons un profil différent, avec une pente globalement ascendante :

By taking data obtained on the M13 cluster, 13 billion years old, we obtain a different profile, with a generally upward slope:



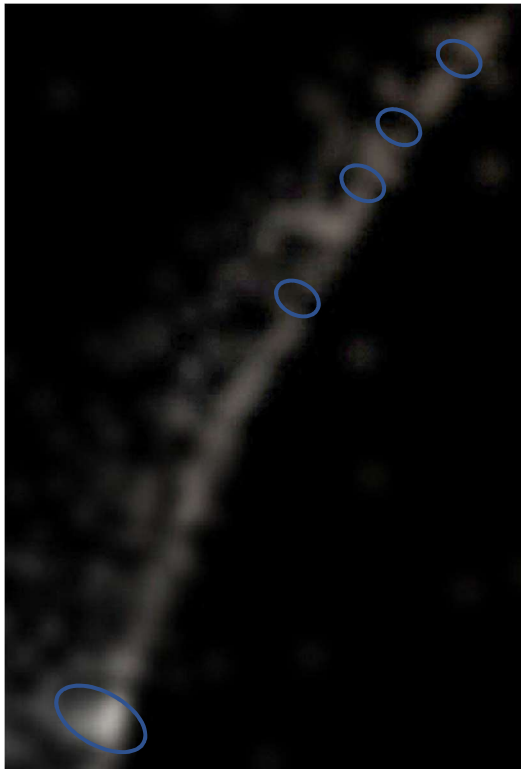
Un diagramme de référence (GAIA) montre bien de petites irrégularités le long de la séquence principale de M13, surtout sur la fin de la séquence, dans le rouge :

A reference diagram (GAIA) clearly shows small irregularities along the main sequence of M13, especially at the end of the sequence, in the red:



En floutant un peu le diagramme, on en distingue mieux les irrégularités dans la distribution :

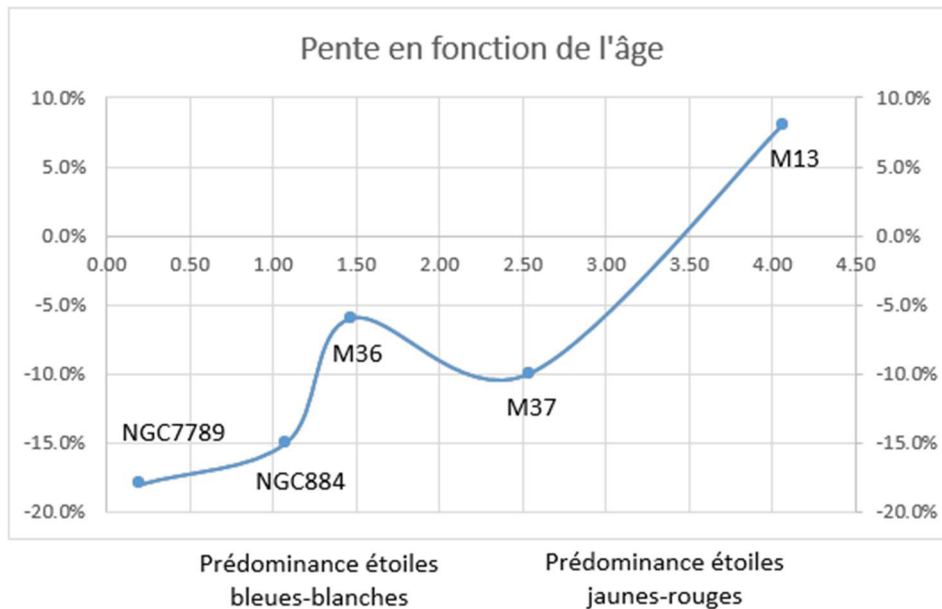
By blurring the diagram a little, we can better see the irregularities in the distribution:



En analysant les pentes de distribution de plusieurs amas et en exprimant cette pente en fonction du logarithme de l'âge, nous obtenons (Cf. Distributions-synthèse.xlsx, onglet « Pentes ») :

By analyzing the distribution slopes of several clusters and expressing this slope as a function of the logarithm of the age, we obtain (See Distributions-synthesis.xlsx, "Pentes" tab):

Amas	Age en Ma	Log Age	Pente tendance
NGC7789	1.6	0.20	-18.0%
NGC884	12.0	1.08	-15.0%
M36	29.4	1.47	-6.0%
M37	347.0	2.54	-10.0%
M13	11666.0	4.07	8.0%



Il y a bien une progression cohérente de la pente de distribution en fonction de l'âge. Au fur et à mesure du vieillissement des amas, les étoiles se déplacent le long de la séquence principale et finissent par être plus nombreuses dans le rouge.

Précision importante, seuls les amas pour lesquels une séquence principale était bien identifiée dans le diagramme H-R ont été retenus, et seules les données des étoiles de ces séquences principales utilisées pour cette analyse.

L'amas M36 a une pente de distribution qui paraît un peu trop élevée par rapport à notre modèle. Autrement dit, ses étoiles sont statistiquement un peu trop rouges par rapport à son âge.

D'après la littérature (<https://arxiv.org/abs/1110.4219>, « Dust discs around intermediate mass and Sun-like stars in the 16 Myr old NGC 1960 open cluster », R. Smith, R.D. Jeffries), un certain nombre d'étoiles de cet amas sont entourées d'un disque de poussière qui entraîne un rougissement apparent des étoiles.

There is indeed a consistent progression in the slope of the distribution as a function of age. As the clusters age, stars move along the main sequence and eventually become more numerous in the red.

Important precision, only the clusters for which a main sequence was well identified in the H-R diagram were retained, and only the data from the stars of these main sequences used for this analysis.

The M36 cluster has a distribution slope that seems a little too high compared to our model. In other words, its stars are statistically a little too red compared to its age.

According to the literature (<https://arxiv.org/abs/1110.4219>, "Dust discs around intermediate mass and Sun-like stars in the 16 Myr old NGC 1960 open cluster", R. Smith, R.D. Jeffries), a certain number of stars in this cluster are surrounded by a dust disc which causes an apparent reddening of the stars.

15. Accidents dans la distribution des étoiles

Nous avons vu avec NGC 884 et M13 que la distribution des étoiles selon leur mB-mV connaît des irrégularités, avec plusieurs pics.

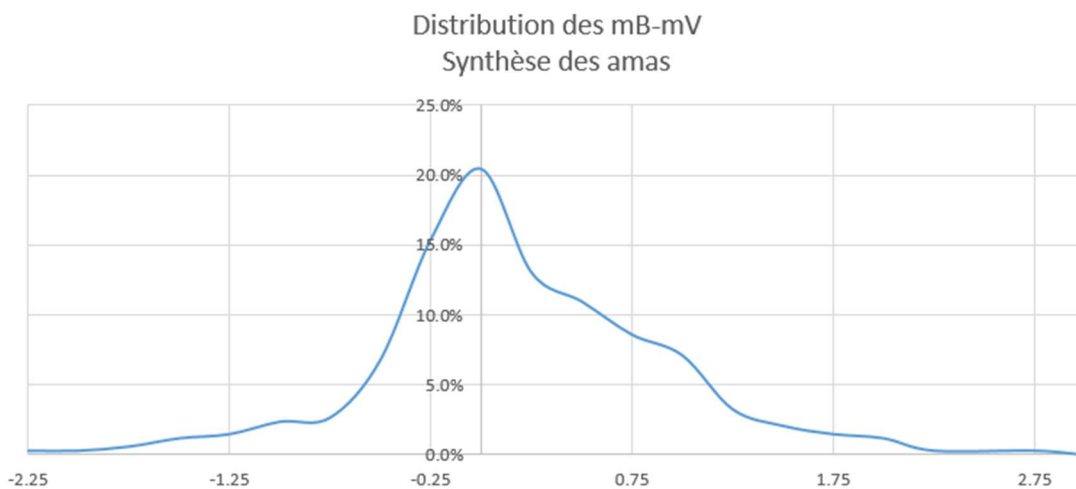
Cela peut très bien être dû à une incomplétude de nos mesures et il nous faudrait mesurer un très grand nombre d'étoiles pour nous en assurer.

En regroupant toutes les mesures de mB-mV faites sur une dizaine d'amas le résultat ne montre pas de tels accidents (337 étoiles mesurées, Cf. Distributions-synthèse.xlsx, onglet « Distribution ») :

We saw with NGC 884 and M13 that the distribution of stars according to their mB-mV experiences irregularities, with several peaks.

This may very well be due to an incompleteness of our measurements and we would have to measure a very large number of stars to be sure.

By grouping together all the mB-mV measurements made on around ten clusters, the result does not show such accidents (337 stars measured (see Distributions-synthèse.xlsx, "Distribution" tab) :



La distribution des étoiles est centrée sur un mB-mV de zéro et les étoiles de mB-mV supérieur à zéro sont majoritaires (61%).

Ces travaux devront être poursuivis et affinés afin de pouvoir en tirer des conclusions sur l'âge moyen des étoiles de notre galaxie.

Les accidents constatés dans la distribution des étoiles ne sont pas à éluder et devront également être précisés.

The distribution of stars is centered on an mB-mV of zero and stars with mB-mV greater than zero are in the majority (61%).

This work will need to be continued and refined in order to be able to draw conclusions about the average age of the stars in our galaxy.

The accidents observed in the distribution of stars cannot be avoided and must also be clarified.

Conclusion

Notre réflexion nous aura permis de commencer de manière très simple, tout en étant conscients de nos limites et des risques d'erreur.

Une interrogation sur les différents types de magnitude et la recherche d'une donnée de référence nous ont permis de calibrer assez simplement notre modèle après moult réflexions sur l'échelle des masses.

Cette autocritique et l'évaluation de la qualité de notre travail nous permettent d'obtenir une certaine satisfaction, car c'est la voie nécessaire à l'obtention de résultats crédibles.

Nous avons déroulé une méthode complète, depuis la mesure physique des diamètres des étoiles jusqu'à la compréhension du modèle de représentation des types d'étoiles et une expression des résultats réaliste, car calibrée sur un référentiel.

Nous avons essayé de pousser plus loin l'analyse des amas via une méthode d'analyse de distribution des étoiles.

Nous avons donc fait de l'astrophysique avec un petit télescope !

Our reflection allowed us to begin in a very simple way, while remaining aware of our limitations and the risks of error.

An inquiry into the different types of magnitude and the search for a reference data allowed us to calibrate our model quite simply after much reflection on the scale of masses.

This self-criticism and evaluation of the quality of our work allows us to achieve a certain satisfaction, as it is the necessary path to obtaining credible results.

We implemented a comprehensive method, from the physical measurement of star diameters to understanding the model representing star types and a realistic expression of the results because they are calibrated to a reference frame.

We tried to push the analysis of the cluster further via a method of analyzing the distribution of stars.

So we did astrophysics with a small telescope!