

AVEC NOS ÉLÈVES

Comment réaliser son diagramme HR ?

Pierre Causeret, Esbarres

À partir du fichier du satellite Hipparcos du centre de données astronomiques de Strasbourg, Pierre Causeret vous propose de réaliser votre propre diagramme HR et en profite pour rappeler quelques notions de base sur le sujet.

Certains astronomes amateurs mesurent des indices de couleur et font de la classification spectrale. Il ne s'agit pas de cela ici, mais simplement de créer son diagramme Hertzsprung-Russell à partir de données de professionnels.

Dans un diagramme HR, on peut trouver en abscisse le type spectral de l'étoile, sa température de surface ou encore son indice de couleur B-V. En ordonnée, c'est l'éclat de l'étoile, en général en magnitude absolue. Ces différentes notions sont définies dans l'encadré en fin d'article.

Une fois le repère fixé, chaque étoile peut être placée dans le diagramme. Il peut être intéressant de faire plusieurs diagrammes pour différents ensembles d'étoiles : les étoiles brillantes puis les étoiles proches par exemple.

Voici les différentes étapes à suivre pour réaliser votre diagramme HR.

Obtenir un fichier d'étoiles

Le centre de données astronomiques de Strasbourg (CDS) regroupe tous les catalogues possibles et imaginables d'étoiles. Nous utiliserons le fichier du satellite Hipparcos qui contient plus de 100 000 étoiles.

1. Aller sur le site cdsweb.u-strasbg.fr.
2. Cliquer sur VizieR.
3. Taper Hipparcos dans la première fenêtre et cliquer sur I/239/hip_main (The Hipparcos Main Catalogue)
4. Choisir les cases à cocher. Il faut au minimum :
 - Vmag (magnitude visuelle entre 500 et 600 nm) ;
 - Plx (parallaxe en milliseconde d'arc, notée « mas » pour milli arc second) ;
 - B-V (indice de couleur).

On pourra demander d'autres renseignements comme les erreurs sur la parallaxe (e_Plx) et sur le B-V (e_B-V) ou encore le type spectral, ce qui permettra de vérifier le diagramme HR avec certaines étoiles.

Pour éviter d'avoir toutes les étoiles du catalogue Hipparcos, il faut faire un choix.

On peut ne prendre que les étoiles visibles à l'œil nu. Dans ce cas, taper dans la ligne Vmag, colonne Constraint : <6.5 (il y en a quand même plus de 8 000).

<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	DEdms	(char)	Decimation m
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	Vmag <6.5	mag	(n) Magnitude (phot.mag:em
<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	VarFlag		(n) [1,3] Coars

Si on veut n'avoir que les étoiles proches, de distance inférieure à 50 parsecs, donc de parallaxe supérieure à 0,02" ou 20 mas (voir encadré parallaxe), on tapera dans la ligne Plx, colonne Constraint : >20 (après avoir supprimé la contrainte sur la magnitude). On obtiendra un peu plus de 7000 étoiles dont 20 % seulement sont dans le fichier des étoiles de magnitude <6,5. Ce qui montre qu'il y a énormément d'étoiles faibles proches.

Il faut maintenant télécharger le fichier. Pour cela, dans la colonne de gauche préférence, on peut choisir un nombre maximal d'étoiles (vous pouvez mettre unlimited) puis un format (prendre par exemple XML + CSV). Il faut cliquer ensuite sur SUBMIT (en haut ou en bas de la page) pour enregistrer le fichier.

Préparer le fichier

On obtient un fichier d'extension tsv. Il s'agit d'un fichier texte, les données sont séparées ici par des points-virgules. Vous pourrez l'ouvrir avec Open Office, Libre Office ou Excel. Il faut choisir données délimitées par des points virgules (tous les tableurs savent le faire).

Première opération, nettoyer le fichier :

- supprimer les premières lignes d'explication. Pour le tri futur, on peut ne garder qu'une ligne de titre (RAJ2000...) et supprimer les lignes d'unités ;
- supprimer les colonnes A et B (ascension droite et déclinaison, sans intérêt ici).

Ensuite, pour pouvoir traiter les données, il faudra peut-être remplacer tous les points par des virgules,

suivant la configuration de votre ordinateur. Pour cela, sélectionner le fichier, puis dans Edition cliquer sur remplacer.

Il faut aussi nettoyer le fichier des lignes contenant des valeurs aberrantes ou inexploitables :

- trier les lignes suivant le critère plx et supprimer toutes les lignes avec une parallaxe négative (au début) ou sans parallaxe (à la fin) ;
- trier les lignes suivant le critère B-V et supprimer les quelques étoiles sans B-V.

Il restera quelques valeurs erronées. On pourra supprimer les lignes affectées de trop grandes erreurs ($e_{B-V} > 0.1$ ou $e_{plx}/plx > 1$) mais il y en a beaucoup.

Enregistrer alors votre fichier avec une extension classique (ods, xls...). Il est prêt à l'emploi.

Réaliser les calculs

Pour placer une étoile dans le diagramme HR, il nous faut son abscisse, c'est l'indice de couleur B-V que l'on a récupéré, mais aussi son ordonnée, c'est la magnitude absolue M, et celle-ci nous manque. Il nous faut la calculer. Deux formules sont à utiliser (expliquées dans l'encadré en fin d'article) :

- la première pour calculer la distance d, en parsec :

$$d = 1/(plx \text{ en "}) \text{ ou } d = 1\,000/(plx \text{ en mas}) ;$$

- la seconde pour calculer la magnitude absolue M connaissant sa magnitude visuelle m et sa distance d (formule du module de distance) :

$$m - M = 5 \log d - 5.$$

On pourra créer deux colonnes dans notre tableur, la première pour calculer d ($=1\,000/plx$) et la seconde pour calculer M ($= Vmag - 5 \log d + 5$).

Ceux qui veulent trouver directement M montreront que $M = m - 10 + 5 \times \log plx$ (plx en mas).

Les formules ayant été recopiées vers le bas, nous avons maintenant tous les renseignements pour réaliser notre diagramme.

A	B	C	D	E
Vmag	Plx	B-V	d	M
6,32	1,23	-0,31	813,00813	-3,23047444
5,18	2,52	-0,274	396,825397	-2,8129973
2,24	2,22	0,269	429,184549	5,95322029

Le fichier étant lourd, on peut l'alléger en ne gardant que ce qui sera utile. Avant de supprimer les colonnes Vmag et plx, il faut copier les valeurs de la magnitude absolue dans une nouvelle colonne (sélectionner la colonne magnitude absolue puis faire un collage spécial « valeurs »). Vous pouvez alors supprimer les colonnes inutiles (Vmag, plx et les calculs de d et de M) tout en gardant la colonne B-V ainsi que la valeur de M.

Tracer le diagramme HR

Pour placer plusieurs milliers d'étoiles, un graphique tracé à la main risque de prendre du temps. C'est l'avantage de notre époque qui connaît l'informatique...

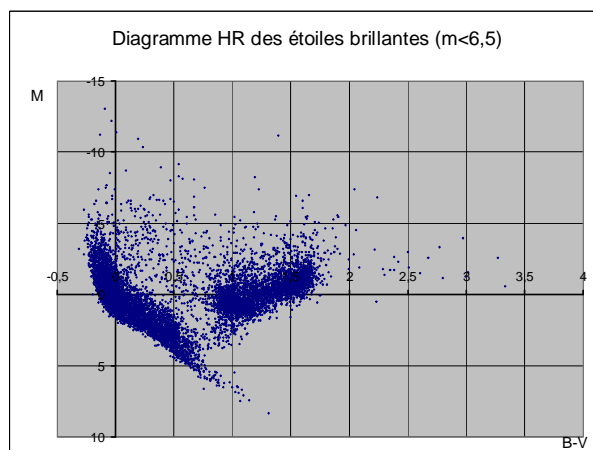
Plusieurs outils existent, les tableurs, qui savent tracer des graphiques, mais aussi divers logiciels qui sont capables de lire des données et de faire du dessin.

Avec le tableur

Sélectionner les deux colonnes, B-V et M et demander à votre tableur de vous faire le diagramme. Vous choisirez « nuage de points ».

Problème : l'axe des ordonnées (M) est gradué dans le sens croissant, alors que, traditionnellement, les faibles magnitudes (étoiles les plus brillantes) sont en haut. Pour pallier ce problème, une fois le graphique affiché, cliquer sur l'axe des Y (bouton droit, format de l'axe) et choisir valeurs en sens inverse (dans Échelle).

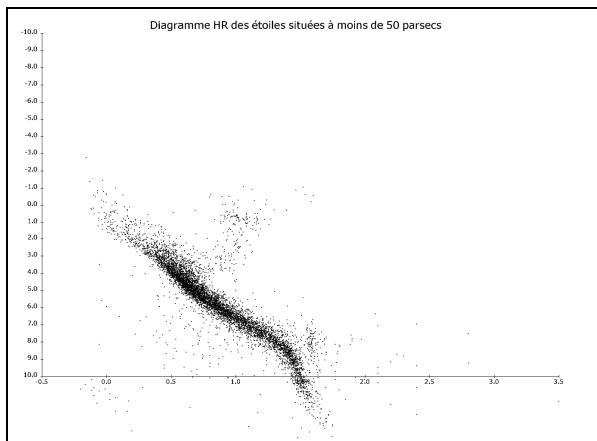
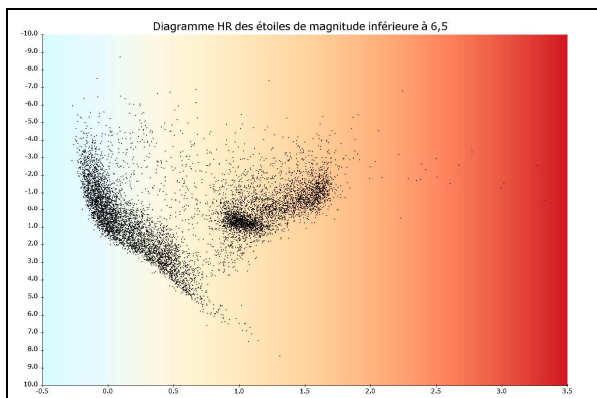
Pour que le diagramme soit plus clair, on peut diminuer la taille de chacun des « points » (clic droit sur le graphique, format des séries de données, taille).



Avec processing

Processing est un logiciel gratuit de programmation orienté sur le dessin. Sa programmation est beaucoup plus facile que le C et il possède de nombreuses possibilités. Le premier diagramme a été réalisé avec le fichier des étoiles brillantes ($Vmag < 6,5$). On y a ajouté de la couleur, de manière approximative. Il faudrait trouver une correspondance précise entre l'indice de couleur et la couleur de l'étoile pour tenter de faire un fond réaliste.

Le deuxième diagramme représente les étoiles proches ($plx > 20$). On peut être surpris de la différence entre les deux.



Exploitation des tracés

On peut se demander pourquoi il existe une telle différence entre le diagramme HR des étoiles brillantes et celui des étoiles proches. Sur le deuxième diagramme, on a volontairement laissé les axes au même emplacement que sur le premier.

Prenons par exemple les étoiles bleues ($B-V < 0$) : elles sont nombreuses et brillantes sur le 1^{er} diagramme, quasiment absentes sur le second. Pour les étoiles rouges ($B-V > 1$), elles sont nombreuses sur les deux diagrammes mais de nature différente : brillantes sur le premier ($M < 3$), peu lumineuses sur le second ($M > 5$). C'est évidemment l'échantillon qui a changé.

Comment conclure ? Les étoiles rouges sont-elles majoritairement brillantes ou peu lumineuses ? Et quelle est la différence entre une étoile rouge brillante et une rouge peu lumineuse ?

Pour répondre tout d'abord à la deuxième question, prenons deux étoiles rouges de même indice de couleur (1,6), mais de magnitude absolue très différente :

- HIP104060 (ksi du Cygne) avec $M = -4,1$;
- HIP74995 avec $M = 11,6$, une étoile faible de la Balance située à 6 parsecs.

Les deux étoiles ayant le même indice de couleur, elles ont la même température de surface.

La loi de Stefan indique que la puissance émise par unité de surface d'une étoile est proportionnelle à la puissance 4 de la température. HIP104060 et HIP74995 ont la même température, elles ont donc la même puissance au m². Si la première est plus brillante que la deuxième, c'est donc qu'elle est plus grosse. On peut même calculer le rapport de leur rayon. On trouve 1000 ! (voir encadré). La première est une géante rouge, la seconde une naine rouge.

Rapport des rayons de HIP104060 et de HIP74995

On appelle E l'éclat d'une étoile, S son aire, M sa magnitude absolue et R son rayon.

Pour HIP104060 $M_1 = -2,5 \log E_1 + \text{constante}$

Pour HIP74995 $M_2 = -2,5 \log E_2 + \text{constante}$

$M_1 - M_2 = -2,5(\log E_1 - \log E_2) = -2,5 \log(E_1/E_2)$;

$M_1 - M_2 = -4,1 - 11,6 = -15,7$

donc $-15,7 = -2,5 \log(E_1/E_2)$

d'où $E_1/E_2 = 10^{(15,7/2,5)} \approx 10^6$

L'éclat est proportionnel à la surface de l'étoile donc au carré du rayon :

$E_1/E_2 = (R_1/R_2)^2 = 10^6$ d'où $R_1/R_2 = 10^3$

HIP104060 est donc 1 000 fois plus grosse que HIP74995 !

On peut répondre maintenant à la première question, les étoiles rouges sont-elles majoritairement brillantes ou peu lumineuses ?

Tout dépend de quelles étoiles on parle :

- dans les étoiles visibles à l'œil nu, les rouges sont principalement des géantes rouges, lumineuses ;
- mais dans un volume donné, on a beaucoup plus de naines rouges, des petites étoiles de la séquence principale, peu lumineuses. Et pourtant, le catalogue Hipparcos a sans doute oublié des naines rouges proches trop peu lumineuses.

Il est d'ailleurs surprenant de voir que l'environnement proche du Soleil est rempli de naines rouges invisibles à l'œil nu.

Deux remarques pour terminer :

Si vous voulez retrouver dans le ciel une étoile de votre fichier, le plus simple est de relever son numéro du catalogue Hipparcos et de l'indiquer dans un logiciel de type planétarium comme Stellarium. Vous cherchez par exemple quelle est l'étoile la plus à gauche dans notre diagramme HR (donc la plus bleue et la plus chaude) ; le fichier du CDS vous indique HIP27204, code que vous tapez en recherche dans Stellarium et vous trouvez μ de la Colombe, sous Orion.

Si vous désirez refaire ces diagrammes, vous trouverez les fichiers ainsi que le programme sous Processing sur le site du CLEA (pour les abonnés numériques, à l'adresse clea-astro.eu).