

AVEC NOS ÉLÈVES

Constellations en 3D

Pierre Causeret, pierre.causeret@wanadoo.fr

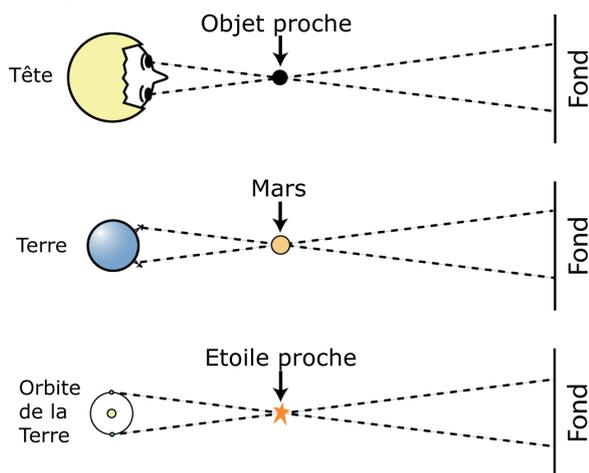
De nombreuses activités sont possibles pour montrer que les étoiles ne sont pas toutes à la même distance de nous. En voici quelques exemples, réalisables en bonne partie avec des élèves.

Lorsqu'on regarde le ciel, on n'a aucune idée des distances des étoiles. On parle d'ailleurs toujours de voûte étoilée et de sphère céleste comme si tous les astres étaient situés à la même distance de notre œil. On sait pourtant depuis près de deux siècles que ce n'est pas le cas. La première mesure de distance d'une étoile a été réalisée par Bessel en 1838 sur 61 Cygni par la méthode des parallaxes (voir encadré). Il avait trouvé une parallaxe d'environ 0,3", ce qui correspond à une distance de 10 années-lumière.

Comment mesurer la distance d'une étoile ?

La méthode des parallaxes

Que ce soit pour voir en relief avec nos deux yeux, pour mesurer la distance de Mars ou celle d'une étoile, on utilise toujours le même principe : un objet proche n'est pas vu au même endroit sur un fond lointain si on l'observe avec deux points de vue différents : les deux yeux (image du haut), deux observateurs éloignés sur Terre (image du milieu) ou deux observations distantes de 6 mois (image du bas).



Les étoiles sont tellement éloignées de nous qu'il faut que les deux observateurs soient à des distances importantes pour que le décalage soit mesurable. On utilise pour cela le mouvement de la Terre autour du Soleil et on effectue les mesures à 6 mois d'intervalle.

Ces mesures de parallaxe sont très délicates. On les effectue maintenant depuis l'espace. Avec les satellites Hipparcos puis Gaïa, on connaît précisément les distances de toutes les étoiles visibles à l'œil nu. Il est donc possible de représenter le ciel en 3D.

Les maquettes

C'est un moyen simple de représenter une constellation en 3D.

Maquettes du 1^{er} type

Il suffit d'avoir une image de la constellation et les distances des étoiles à représenter. L'image pourra être une photo ou une carte (provenant d'un atlas ou d'un logiciel). Les distances se trouvent facilement sur Internet (sur Wikipedia par exemple) ou avec un logiciel comme Stellarium (clic gauche sur une étoile). La Terre (l'observateur) est placée à une certaine distance de l'image, distance que l'on peut calculer si on veut que la constellation ait la bonne dimension apparente. Il ne reste plus qu'à placer chaque étoile à la bonne distance, entre la Terre et sa représentation sur la carte, à l'aide de ficelles par exemple.

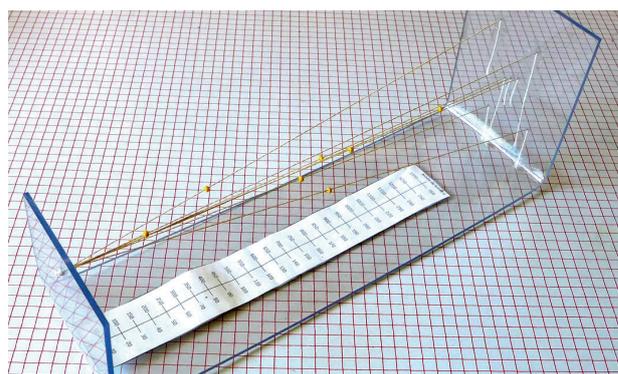


Fig.1. Représentation de la constellation d'Orion en 3D. On a utilisé ici une plaque de plexiglas pliée que l'on a percée aux positions des étoiles à droite et de la Terre à gauche. Les ficelles sont nouées côté Terre et fixées avec du ruban adhésif côté étoile. Sur chaque ficelle se trouve une perle que l'on a positionnée à la bonne distance de la Terre en utilisant l'échelle graduée en années-lumière. Si on place son œil à la place de la Terre, on retrouve la forme caractéristique d'Orion.

Dans ce type de maquette, on pourrait essayer de tenir compte de la luminosité et de la couleur des étoiles en prenant des perles de différentes tailles et de différentes couleurs.

Maquettes du 2^e type

Il n'est pas toujours facile de tendre des ficelles pour placer les étoiles. Il semble plus simple de les fixer à l'extrémité de piques verticales. Mais pour cela, il faut connaître leurs coordonnées cartésiennes (x, y, z) et ce, dans un repère convenablement choisi. Les voici pour les 7 étoiles principales de la Grande Ourse ainsi que pour l'observateur (extrait du HS11 sur les constellations).

Noms de l'étoile	x	y	z
Mérahk (bêta)	156	-33	36
Dubhe (alpha)	256	-45	55
Phekda (gamma)	166	-16	23
Megrez (delta)	164	-7	32
Alioth (epsilon)	163	10	29
Mizar (dzêta)	154	21	28
Benetnash (eta)	193	43	9
Observateur	0	0	40

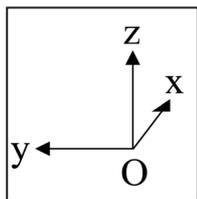
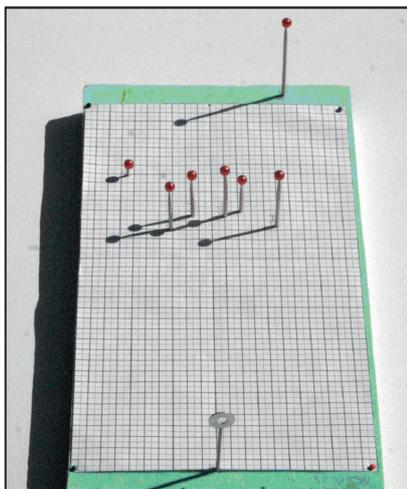


Fig.2. Ci-dessus, le repère dans lequel ont été calculées les coordonnées.

À droite, maquette réalisée avec ces coordonnées.



Si vous voulez représenter une autre constellation, il vous faudra calculer vous-même les coordonnées cartésiennes de vos étoiles. L'encadré de la colonne de droite vous indique la marche à suivre.

Maquettes du 3^e type

On peut aussi réaliser une maquette virtuelle de la constellation avec un logiciel de dessin 3D. Pour cela, on peut utiliser, comme dans les maquettes du 2^e type, les coordonnées cartésiennes des étoiles.

Il est possible ensuite d'ajouter quelques traits en reliant les étoiles entre elles par exemple, ou en

traçant des segments parallèles à (Oz) pour mieux voir le relief (figure 3).

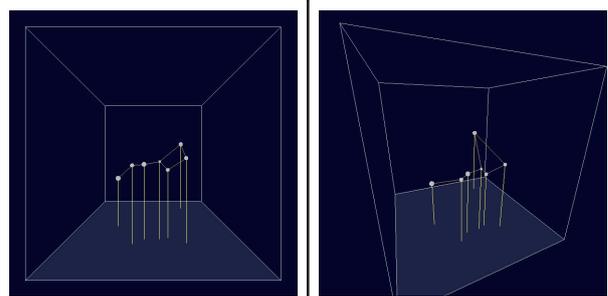


Fig.3. Deux images de la casserole faites avec le logiciel Processing (à gauche, vue depuis la Terre). Il est possible de faire tourner la constellation pour changer de point de vue.

Comment calculer les coordonnées cartésiennes des étoiles principales d'une constellation ?

1. On trouve les coordonnées sphériques des étoiles que l'on veut représenter avec un logiciel type Stellarium, avec Wikipedia ou encore le CDS de Strasbourg (voir encadré page suivante). Rappel : l'ascension droite α est l'équivalent de la longitude sur Terre et la déclinaison δ l'équivalent de la latitude.

2. On choisit les coordonnées du « centre » C de la constellation (sur la voûte céleste, indépendamment des distances). Pour la Grande Ourse, on pourra faire une moyenne des coordonnées.

3. On effectue un changement de repère pour que [OC], de l'observateur au centre C, devienne l'axe des abscisses. Pour cela, il faut effectuer :

a. Une rotation d'angle $-\alpha_C$ (l'ascension droite de C) autour de [Oy]. Pas de problème, seule l'ascension droite change : pour chaque étoile, on remplace α par $\alpha - \alpha_C$.

b. Une rotation d'angle $-\delta_C$ (la déclinaison de C) autour de [Oy]. C'est un peu plus compliqué. On peut :

- calculer les coordonnées cartésiennes dans le repère précédent :

$$X1 = d \times \cos \delta \times \cos \alpha ;$$

$$Y1 = d \times \cos \delta \times \sin \alpha ;$$

$$Z1 = d \times \sin \delta$$

- puis effectuer la rotation en coordonnées cartésiennes en utilisant ces formules :

$$X2 = X1 \cos(-\delta_C) - Z1 \times \sin(-\delta_C) ;$$

$$Y2 = Y1 ;$$

$$Z2 = X1 \sin(-\delta_C) + Z1 \times \cos(-\delta_C).$$

La stéréoscopie

Nous percevons le relief parce que nos deux yeux voient deux images différentes. Pour voir une constellation en relief, il suffit de créer deux images, une par œil. Mais pour que ces deux images soient différentes, il faut éloigner suffisamment nos deux yeux, de quelques années-lumière, 4 al par exemple. Dans le repère de la figure 2, on prendra $y = 2$ pour l'œil gauche et $y = -2$ pour l'œil droit.

Pour les calculs, nous utiliserons les coordonnées cartésiennes des étoiles, celles des maquettes précédentes.

Quelles sont les opérations à effectuer pour avoir la vue de l'œil gauche ?

1. L'œil gauche devient l'origine du repère. Pour un espacement des yeux de 4 années-lumière, on enlève 2 al aux « y ».
2. On crée ensuite une image 2D en projetant les étoiles sur un plan perpendiculaire à la ligne de visée (Ox). L'image de l'étoile est à l'intersection de la droite œil - étoile et de ce plan.

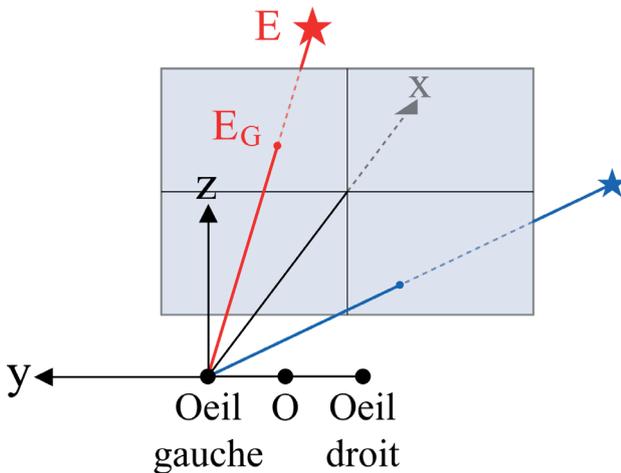


Fig.4. Création de l'image pour chaque œil.

Les calculs

(X2, Y2, Z2) sont les coordonnées cartésiennes d'une étoile E.

1. Changement d'origine

Pour l'œil gauche $XG1 = X2$; $YG1 = Y2 - 2$; $ZG1 = Z2$.

2. On cherche les coordonnées du point d'intersection avec un plan parallèle à yO_Gz , on choisit le plan d'équation $x = 1$.

Équation de $(O_G E)$: $x/XG1 = y/YG1 = z/ZG1$.

On en déduit les coordonnées (XG2, YG2, ZG2) de E_G : $XG2 = 1$; $YG2 = YG1/XG1$; $ZG2 = ZG1/XG1$.

On peut afficher le résultat dans un plan en prenant $xg = -YG2$, $yg = ZG2$.

Même chose pour l'œil droit avec XD1, YD1, ZD1...

Une fois les calculs faits, on peut en faire des images en utilisant un logiciel de dessin. Mais comment utiliser les deux images obtenues ?

Sans lunette

La figure 5 page suivante montre les deux images obtenues pour la casserole, l'une pour l'œil gauche, l'autre pour l'œil droit. Elles sont espacées d'un peu plus de 3 cm. Comme nos yeux sont séparés de 6 à 7 cm, on peut regarder l'image de gauche avec l'œil gauche et l'image de droite avec l'œil droit. Avec un peu d'entraînement, on voit la casserole en relief.

Comment utiliser les données du Centre de Données Astronomiques de Strasbourg

Aller sur le site <http://cdsweb.u-strasbg.fr>. Cliquer sur VizieR Taper Hipparcos dans la fenêtre Find catalogs, cliquer sur Find puis sur I/239/hip_main (The Hipparcos Main Catalogue)

Choisir les cases à cocher. Il faut au minimum :

- HIP (n° de catalogue Hipparcos, pratique pour identifier les étoiles) ;
- RA (right ascension ou ascension droite), en h, min, s ou en en degrés ;
- DE (déclinaison) en degrés ;
- Vmag (magnitude visuelle entre 500 et 600 nm) ;
- Plx (parallaxe en milliseconde d'arc, notée « mas » pour milli arc second).

Pour éviter d'avoir toutes les étoiles du catalogue Hipparcos, il faut faire un choix. Si on ne veut que les étoiles brillantes, dans la ligne Vmag, colonne Constraint, taper : <5 (il y en a quand même plus de 1600).

Il faut maintenant télécharger le fichier. Pour cela, dans la colonne de gauche préférence, on choisit un nombre maximal d'étoiles (on peut mettre unlimited) puis un format, prendre par exemple ;-Separated-Values ou XML + CSV (à tester suivant votre tableur). On peut aussi cocher J2000 (les coordonnées sont calculées en J2000) et décimal (coordonnées en degrés décimaux).

Il faut cliquer ensuite sur SUBMIT (en haut ou en bas de la page) pour enregistrer 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. Pour le récupérer, il faut d'abord lancer votre tableur (Open Office, Libre Office, Excel...), puis faire fichier/ouvrir et 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 que la ligne de titre (RAJ2000...) et supprimer les lignes d'unités ;
- supprimer les colonnes inutiles (ne garder que RAJ2000, DEJ2000, HIP, Vmag, Plx) ;
- repérer les étoiles que l'on veut conserver. Pour cela, on peut utiliser le numéro Hipparcos, que l'on trouve avec un logiciel type Stellarium ou sur Wikipedia. Par exemple, les 7 étoiles de la casserole sont :
Dubhe (n° 54061), Merak (n° 53910), Phekda (n° 58001), Megrez (n° 59774), Alioth (n° 62956), Mizar (n° 65378) et Alkaid (n° 67 301). On pourra noter leur nom dans le tableur ;
- supprimer les étoiles inutiles.

Vous avez maintenant vos étoiles et leurs coordonnées. Il manque encore la distance. Celle-ci, en parsec, est l'inverse de la parallaxe en seconde d'arc. Ou encore :
distance en parsec = 1000/(parallaxe en mas).

Il suffit de créer une colonne distance dans votre tableur pour effectuer ces calculs (il faudra peut-être avant remplacer dans les nombres les «.» par des «,»).

Si on veut la distance en année-lumière : 1 pc = 3,26 al.

Dubhe, l'étoile la plus haute sur la droite apparaît beaucoup plus éloignée que les autres. On peut voir aussi que Benetnash ou Alkaïd, la première à partir de la gauche, est plus éloignée que la deuxième, Mizar.

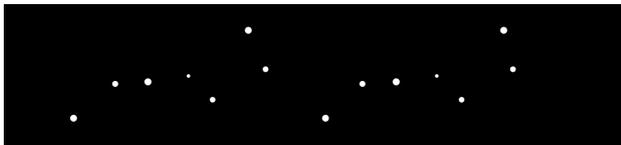


Fig.5. Les deux images de la Grande Ourse, l'une pour l'œil gauche et l'autre pour l'œil droit. Placez-vous à une vingtaine de cm de l'image et laissez vos yeux vagabonder jusqu'à ce que les deux images se superposent. Vous verrez alors trois casseroles, celle du milieu étant en relief. Il faut parfois un peu de temps pour y arriver. Si vous avez du mal, vous pouvez mettre un carton entre les deux yeux jusqu'à l'écran.

Avec les lunettes rouge cyan

L'œil gauche avec le filtre rouge ne doit voir que l'image calculée pour l'œil gauche de même que l'œil droit avec le filtre cyan ne doit voir que l'image calculée pour l'œil droit. Chaussez vos lunettes rouge cyan pour faire quelques tests avec une étoile rouge R et une étoile cyan C.

Sur fond blanc



Avec le filtre rouge, R disparaît en partie, C est presque noir.

Avec le filtre cyan, R est noir, C est clair mais ne disparaît pas complètement.

Sur fond noir



Avec le filtre rouge, R est clair mais C ne disparaît pas totalement.

Avec le filtre cyan, C est clair mais R est seulement assombri.

Avec quelques essais, on voit qu'un fond sombre tirant sur le violet permet de mieux faire disparaître C avec le filtre rouge et R avec le filtre cyan. Il est aussi possible de modifier légèrement les couleurs des étoiles.

Tout dépend des filtres utilisés ainsi que de l'imprimeur (ou du réglage de l'écran pour une image visualisée à l'écran).

Pour voir la Grande Ourse en relief, il suffit donc de dessiner l'image de l'œil gauche en rouge, celle de

l'œil droit en cyan et de les superposer sur fond violet avec un léger décalage (figure 6).

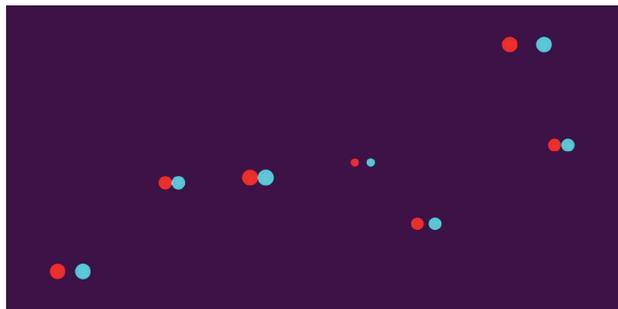


Fig.6. La Grande Ourse en relief, à regarder avec les lunettes rouge cyan. Il faut prendre un peu de temps pour voir apparaître le relief. Il peut rester néanmoins des images « fantômes » dues au fait que les filtres ne sont pas parfaits (et les couleurs choisies non plus).

Avec seulement 7 étoiles, on s'est débrouillé pour que les étoiles soient disjointes. Mais si une étoile rouge et une étoile cyan se chevauchent, de quelle couleur faut-il colorier l'intersection ? En blanc parce qu'elle doit être vue par les deux yeux.

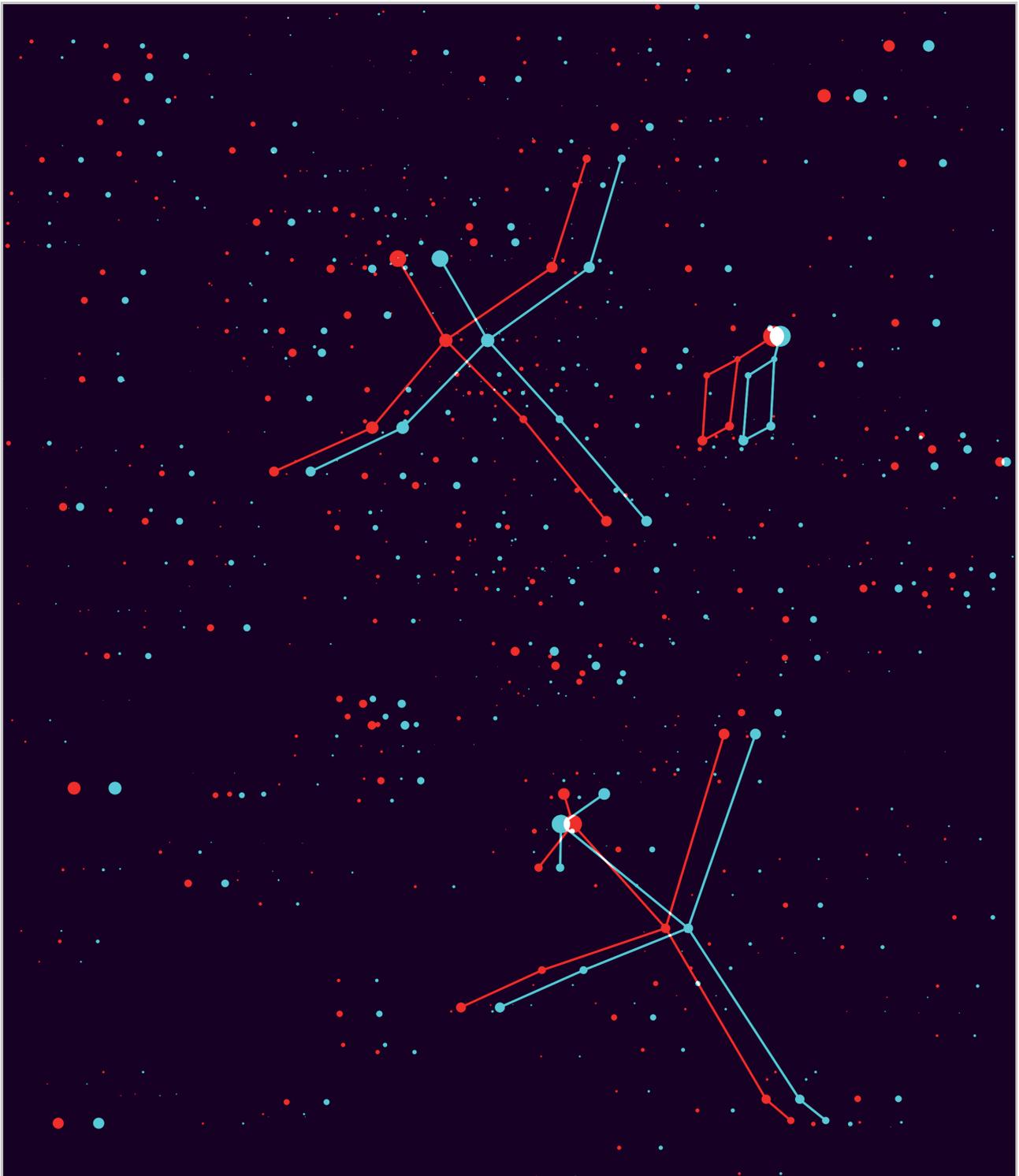


Fig.7. Avec les traits reliant les étoiles, on voit mieux le relief. Les intersections rouge cyan sont en blanc.



Fig.8. Atelier constellations en 3D aux journées nationales de l'APMEP 2016 à Lyon.

Et voici, pour terminer, une carte du ciel d'été en relief, comme vous ne le verrez jamais... On peut reconnaître le triangle d'été avec Véga, Deneb et Altair. On a pris un écartement des yeux d'une année-lumière ici. Véga (25 al) et Altair (17 al) apparaissent en premier plan. Pour faire ce type d'image, il faut récupérer les coordonnées et les distances des étoiles sur un tableur, via le CDS de Strasbourg par exemple. Les données sont ensuite traitées et l'image réalisée par ordinateur.



Vous trouverez sur le site pour les abonnés numériques :

- une feuille de calcul pour déterminer les coordonnées cartésiennes des étoiles pour chaque œil ;
- une animation avec la Grande Ourse en relief (figure 3).

