

AVEC NOS ÉLÈVES

Images de la rétrogradation de Mars

Jean-Michel Vienney, vienney_j_m@orange.fr

Depuis de longues années, le CLEA recueille des photos de Mars au milieu des constellations pour suivre sa rétrogradation. Jean-Michel Vienney nous propose ici deux utilisations possibles et originales de cette bibliothèque d'images.

Les campagnes de prises de vues Les rétrogradations de Mars

Depuis qu'ils observent le ciel, les hommes ont été intrigués par le mouvement de quelques luminaires qui se déplaçaient de manière curieuse parmi les étoiles au voisinage de l'écliptique, dans la bande du zodiaque, chemin apparent annuel du plus brillant d'entre eux, le Soleil.

Ils ont repéré que de temps en temps, ces astres « errants », appelés pour cette raison planètes, au lieu de se déplacer d'une nuit à l'autre d'ouest en est par rapport aux étoiles de la sphère céleste, s'arrêtaient pour repartir d'est en ouest, s'arrêter à nouveau, et enfin reprendre leur mouvement dans le sens habituel.

Les plus curieux ont de plus constaté que ce phénomène de rétrogradation se reproduisait régulièrement, mais qu'à chaque fois la trajectoire apparente de la planète était un peu différente, formant parfois une boucle, d'autres fois un S, ou encore un Z (figure 1).

Ils ont aussi pu constater, en la comparant à celle des autres étoiles, que la brillance de ces luminaires était variable, passant par un maximum au milieu de la rétrogradation¹ puis, après Galilée remarquer que, contrairement aux étoiles, ils pouvaient être résolus dans un instrument d'optique et que leur diamètre apparent variait dans des proportions notables, passant lui aussi par un maximum vers le milieu de la rétrogradation.

La modélisation et l'explication de ces phénomènes ont évidemment constitué un des moteurs qui ont motivé les plus grands astronomes pour aboutir finalement à notre connaissance du Système solaire.

¹ Pour Mars, Jupiter et Saturne. Pour Vénus et Mercure, le milieu de la rétrogradation correspond à la conjonction inférieure, moment où la planète devient invisible.

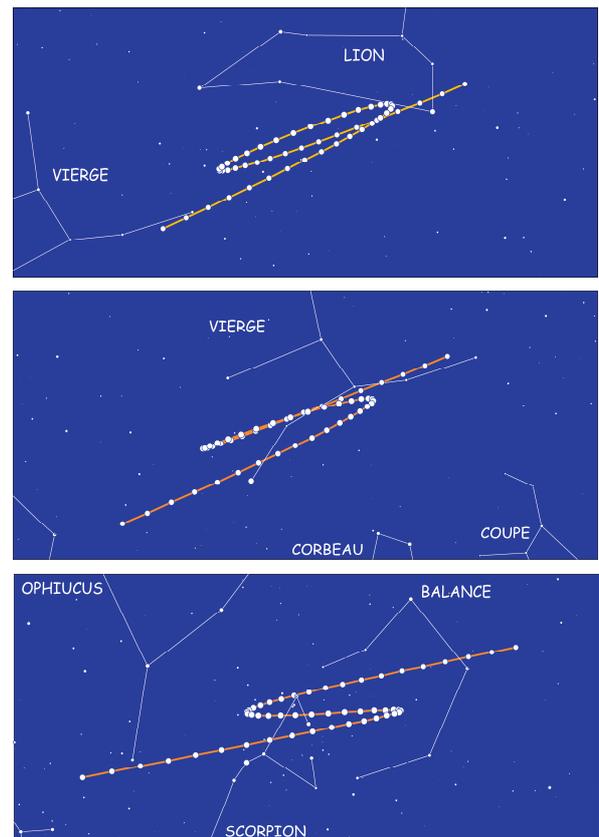


Fig.1. Les rétrogradations de Mars de 2012, 2014 et 2016.

Parmi les planètes dont le mouvement a été ainsi disséqué avec attention, Mars occupe une position particulière : c'est elle qui a permis à Kepler, en utilisant les mesures très précises de son maître Tycho Brahe, de trouver que la meilleure manière d'expliquer son mouvement était de supposer que son orbite était une ellipse dont le Soleil n'occupe pas le centre, mais un des foyers, mettant à bas le dogme jusqu'alors admis de l'universalité du mouvement circulaire uniforme².

² Voir par exemple les nos 151-152 des Cahiers Clairaut.

Pourquoi suivre ces rétrogradations ?

La connaissance du Système solaire fait bien sûr partie de la culture du grand public et des programmes à tous les niveaux de l'enseignement. Dans les médias et à l'école, on parle de la conquête spatiale, on montre de superbes images des planètes, on apprend au collège et au lycée le modèle héliocentrique et la loi de la gravitation, et dans les classes à vocation scientifique les lois de Kepler et de Newton. Mais si la plupart de nos élèves ont déjà vu de très belles images des planètes et savent assez souvent les reconnaître sur ces dernières, peu d'entre eux savent dire dans quelles circonstances on peut éventuellement les observer depuis la Terre : sont-elles visibles à l'œil nu ? Quand peut-on les voir ? À quoi ressemblent-elles ? Comment peut-on les distinguer des étoiles ?

La recherche des réponses à ces questions doit autant que possible donner lieu à des activités d'observation, pour pouvoir les confronter aux prédictions de modèles qui souvent peuvent rester simples, surtout si on les appuie sur la réalisation de maquettes qui permettent de visualiser les différents mouvements dans l'espace. Le but essentiel étant ici d'asseoir la connaissance du Système solaire en ne se limitant pas à des recherches documentaires, mais en s'appuyant sur des observations que les élèves peuvent faire eux-mêmes dans leur environnement quotidien, ou à partir de documents qu'ils peuvent avoir au moins partiellement réalisés eux-mêmes.

Comment s'y prendre ?

Aujourd'hui la technologie des appareils photographiques permet d'obtenir assez aisément des images du ciel nocturne : il suffit de disposer d'un appareil et d'un pied photo pour faire des poses de quelques secondes et obtenir des images sur lesquelles on peut distinguer assez d'étoiles pour mettre en évidence le mouvement apparent de la planète visée par rapport aux étoiles. Il n'est évidemment pas interdit à ceux qui ont plus de moyens ou d'expérience de tenter de faire apparaître plus d'étoiles en faisant des photos avec des poses plus longues avec un suivi équatorial ou en additionnant plusieurs poses courtes (voir figure 2).

Il est en revanche plus difficile d'obtenir une série de poses assez complète et homogène pour en extraire l'allure de la trajectoire apparente de la planète sur le ciel, ou mieux encore de confronter la boucle observée aux résultats prédits par un modèle (même s'il est en fait possible, en utilisant les lois de Kepler et de Newton, de remonter à tous les paramètres de l'orbite à partir de trois images sous

réserve qu'elles soient convenablement datées et qu'on soit capable d'en extraire précisément les coordonnées de la planète).

C'est la raison pour laquelle, dès le siècle dernier, bien avant l'apparition de la photo numérique, le CLEA a réalisé à partir des images prises par Daniel Toussaint en 1990-91 une série de diapositives permettant de montrer la rétrogradation (elles sont toujours disponibles sur le site de vente).

En 2005, Francis Berthomieu a eu l'idée d'utiliser les possibilités offertes par le site Internet et la photographie numérique pour lancer la première campagne de suivi photographique : un calendrier permettant d'accéder à l'image du jour quand elle était disponible.

Suite au succès de cette première récolte d'images, l'expérience a été renouvelée lors de chaque nouvelle rétrogradation : en 2007-2008, 2009-2010, 2011-2012, 2013-2014.

Au cours du temps, les techniques et le matériel ont évolué, les photographes ont amélioré leur technique et l'équipe s'est étoffée, si bien que la campagne 2015-2016 qui vient de s'achever et est encore en cours de dépouillement a permis de recueillir plus de 250 images provenant d'au moins 6 observateurs dont plusieurs dans l'hémisphère sud, avec un point de vue très différent. Lorsque plusieurs images étaient proposées pour le même jour, une seule a été mise en ligne sur le calendrier, mais toutes les autres seront mises à la disposition des adhérents sur le site dès que leur classement sera terminé (voir clea-astro.eu/avec-nos-eleves/observations).

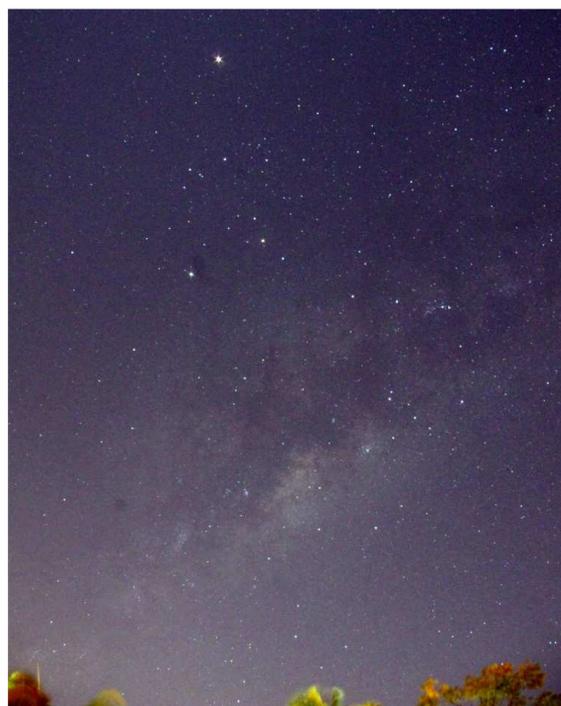




Fig.2. Deux photos de Mars prises le même jour, le 14 juin 2016, la première (page précédente) depuis La Réunion (photo Michel Vignand) et la deuxième depuis le Sud de la France (photo Ghislain Bernard). Ces deux images ont été faites avec un appareil photo sur pied fixe.

Pour vous aider à vous y retrouver, sur chacune des photos, le point le plus lumineux est Mars, le suivant est Saturne et la tête du Scorpion avec ses pinces est entre les deux. Mais les deux images ne sont pas orientées de la même manière...

Exploitations possibles en classe ou en atelier astro

Deux activités sont proposées ici. La première donne les coordonnées de Mars, indispensables pour construire sa trajectoire (voir article suivant). La seconde permet de visualiser la rétrogradation de Mars.

Extraire des coordonnées d'une image

Plusieurs logiciels permettent de réaliser automatiquement la réduction astrométrique, c'est à dire l'extraction des coordonnées célestes des objets visibles sur une image du ciel. L'usage de cette fonction n'est cependant pas très simple et peut parfois demander de nombreux tâtonnements. La situation est encore plus délicate lorsque des nuages, ou surtout la Lune viennent jouer les perturbateurs.

Dans le logiciel IRIS³, par exemple, il faut en premier lieu avoir téléchargé un catalogue stellaire (disponible en ligne), puis donner les coordonnées équatoriales du centre de l'image, la taille des pixels du capteur, la distance focale de l'objectif, et parfois ajuster le niveau de détection des étoiles et la magnitude limite des étoiles à utiliser dans le catalogue. Ceux de nos lecteurs qui voudraient tenter l'aventure pourront trouver sur le site du CLEA des tutoriels et quelques conseils et astuces⁴.

³ IRIS est un logiciel libre de traitement d'images astronomiques. On peut le télécharger, ainsi que son abondante documentation, sur le site de l'auteur, Christian Buil www.astrosurf.com/buil/iris/iris.htm

⁴ Sur clea-astro.eu/lunap/photographie.

Il y a bien sûr des alternatives comme le logiciel Aladin disponible sur le site de l'université de Strasbourg⁵ qui permet, en pointant quelques étoiles d'une image, de la superposer à une carte du ciel, le logiciel All SkyPlateSolver⁶, ou le site d'astrométrie <http://nova.astrometry.net> capable de fournir en quelques minutes les coordonnées équatoriales du centre d'une image et un fichier au format .fits dans l'en-tête duquel sont enregistrés les coefficients de polynômes permettant de passer des coordonnées (x,y) aux coordonnées équatoriales (alpha, delta) correspondantes. Reste à disposer d'un logiciel capable d'exploiter ces données...

Pour notre part, c'est en utilisant IRIS que nous avons finalement extrait les coordonnées de Mars des images choisies par Francis Berthomieu dans les archives du CLEA pour tenter de reconstruire l'orbite de Mars en utilisant la même méthode que Kepler.

Date	Ascension droite	Déclinaison	Longitude	Latitude
04/01/2006	2 h 35 min 49 s	+16° 54' 58"	+41° 54'	+1° 35'
21/11/2007	6 h 53 min 6 s	+24° 48' 5"	+102° 2'	+1° 55'

Exemple de coordonnées pour deux photos espacées de 687 jours. Les coordonnées équatoriales proviennent des photos grâce à IRIS, les coordonnées écliptiques sont calculées à partir des deux précédentes. Il s'agit de coordonnées topocentriques (le centre du repère est l'observateur) très peu différentes des coordonnées géocentriques pour un astre lointain comme Mars.



Fig.3. Copie d'écran d'IRIS avec le résultat de la réduction pour le 17 mai 2016. Sur la photo les étoiles reconnues ont été automatiquement entourées par IRIS. Dans la fenêtre des résultats : coordonnées du centre du champ (fournies par l'utilisateur) puis résultats des calculs effectués par le logiciel (lignes 1 à 7). Une fois la réduction effectuée, il suffit d'encadrer un objet sur l'écran (ici Mars) pour obtenir ses coordonnées.

Il ne faut pas enfin perdre de vue que l'échantillonnage de l'image (ici de l'ordre de 1' par pixel) et les déformations géométriques induites par l'objectif de courte focale font que, même si les logiciels d'astro-

⁵ aladin.u-strasbg.fr/

⁶ www.astrogb.com/astrogb/All_Sky_Plate_Solver.html

métrie sont capables de déterminer la position du centre de la tache correspondant à une étoile à une fraction de pixel près on ne peut espérer, à partir d'un champ couvrant plusieurs dizaines de degrés une détermination à mieux que quelques minutes d'arc près. Il est toutefois possible d'améliorer significativement cette précision en reprenant l'astrométrie sur une petite portion de l'image.

Pourquoi et comment rendre deux images superposables ?

Une des activités proposées pour suivre le mouvement apparent et reconstituer la boucle de rétrogradation consiste à superposer les photos prises à des dates différentes. Or, même en prenant beaucoup de précautions (même observateur, même appareil, mêmes réglages), il est très difficile de photographier exactement le même champ avec la même orientation et les défauts géométriques liés aux objectifs rendent parfois cette superposition difficile, à fortiori si les images viennent de provenances différentes. Heureusement l'informatique peut venir à notre secours : on peut en effet assez facilement appliquer à deux images des transformations géométriques (morphing) afin de les faire coïncider. Il sera alors possible, par exemple, d'utiliser la réduction astrométrique de la première image pour relever les coordonnées des astres dans toutes les images ainsi alignées.

Pour réaliser cette opération avec le logiciel IRIS, on utilise la fonction QR3 [Image1] [Image2] où Image1 est l'image de référence, et Image2 l'image à transformer. À l'appel de cette fonction, IRIS affiche l'image de référence sur laquelle on pointe quelques étoiles bien réparties (au moins 6). Après validation, l'image à modifier est affichée et on y pointe les mêmes étoiles. On obtient finalement une image superposable à l'image de référence.

On peut à cette occasion régler les niveaux de visualisation et, en utilisant la fonction de flou sélectif « Sblur [Sigma] [Gamma] » (sigma règle l'intensité du flou et gamma la sensibilité à la brillance), étaler un peu les étoiles selon leur magnitude. On met ainsi en évidence les étoiles les plus brillantes, ce qui facilite grandement la reconnaissance des constellations. Ceux de nos lecteurs qui voudraient pratiquer cet exercice pourront trouver sur le site du CLEA des tutoriels (voir clea-astro.eu/lunap/photographie).

On pourra ainsi réaliser, à partir de quelques images bien choisies, un diaporama à projeter au tableau pour introduire une séance de TD et faire découvrir aux élèves que parmi tous les astres visibles sur la première diapositive, il y en a un qui se déplace d'une nuit à l'autre, puis reconstruire sa trajectoire

apparente (on envoie un élève volontaire au tableau pour pointer les positions consécutives). Une réflexion peut alors s'engager sur la manière dont les anciens ont pu très tôt distinguer les planètes des étoiles, le mouvement diurne observé au cours d'une même nuit dans le référentiel terrestre et le mouvement « annuel » observé d'un jour à l'autre sur la sphère céleste dans le référentiel géocentrique. On peut alors projeter le même champ stellaire à l'aide du logiciel Stellarium à la date de la première diapositive puis, à l'aide de combinaison de touches [Alt +] avancer dans le temps par pas d'un jour sidéral ([Alt -] pour revenir en arrière) : les étoiles restent bien immobiles et on voit la planète se déplacer de jour en jour.

On peut aussi aisément construire une séquence animée à l'aide du logiciel gratuit VirtualDub (www.virtualdub.org). Il suffit de renommer toutes les images précédemment alignées avec un nom constitué d'un préfixe suivi d'un numéro suivant l'ordre chronologique (par exemple RM_1, RM_2...). Sous VirtualDub on sélectionne la première image (menu « Fichier/Ouvrir un fichier Vidéo ») et on obtient après validation un film qu'on n'a plus qu'à enregistrer au format .AVI après avoir éventuellement appliqué un filtre pour redimensionner les images, réglé leur fréquence, et choisi un codec pour ne pas obtenir un fichier trop volumineux. Des animations de ce type sont disponibles dans la section Lunap du site du CLEA (article [retroMars](#)).

Si enfin on aime manipuler les logiciels de traitement d'images, on peut les superposer comme des calques et reconstruire la trajectoire apparente sur une image unique. Avec Gimp par exemple, il a suffi de charger en tant que calques la série d'images, de régler pour chacune le niveau du fond, de masquer la Lune ou des objets trop brillants, ou encore de réduire la taille d'une tache trop étalée par la brume, puis de superposer tous les calques en utilisant la fonction « éclaircir seulement ». On peut alors parfois avoir d'heureuses surprises, comme par exemple sur les images de la rétrogradation de 2013-2014 où on voit nettement apparaître les trajectoires de deux nouveaux objets mobiles : il s'agit des planètes naines Vesta et Cérès (figure 4).

Il arrive enfin souvent que sur les images individuelles on distingue en pointillé la trajectoire des avions qui ont traversé le champ, ou celle de satellites artificiels. Un défi s'impose alors, surtout si les photos sont précisément datées : tenter de les identifier en allant faire des recherches sur des sites spécialisés comme CalSky (calsky.com) ou Heavens Above (heavens-above.com).



Fig.4. Rétrogradation de Mars en 2014, avec de plus le déplacement de Cérès et Vesta. La boucle de rétrogradation n'apparaît pas très clairement. Pour comprendre le déplacement de Mars, on pourra comparer avec le schéma de la figure 1b.



Fig.5. Rétrogradation de Mars (au centre et à droite de l'image) ainsi que de Saturne (en haut à gauche) en 2016. 79 images ont été superposées. La rétrogradation de Mars est bien visible et correspond tout à fait au schéma 1c.