LE MENSUEL DE RÉFÉRENCE DES SCIENCES DE L'UNIVERS

L'ASTRONOMIE

www.lastronomie.fr

SOCIÉTÉ ASTRONOMIQUE DE FRANCE

UNE BRÈVE HISTOIRE DE L'ASTROPHYSIQUE

BELGIQUE : 7,50 € - LUXEMBOURG : 7,40 € - SUISSE : 10,90 CHF - MAR : 71 MAD

N° 201 / FÉVRIER 2026

L 13765 - 201 - F: 6,80 € - RD

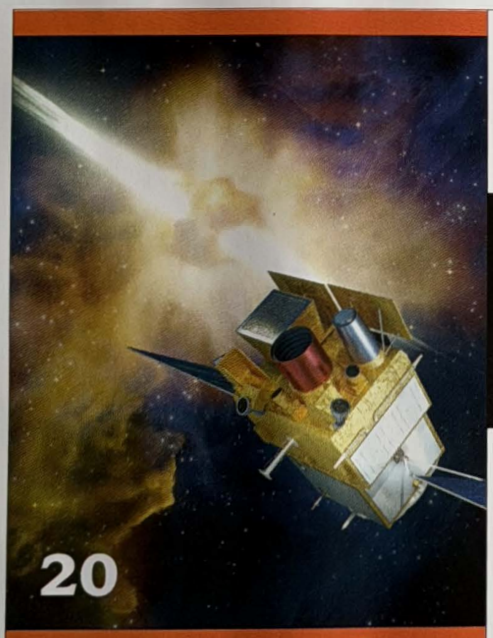
ZOOM SUR **LES PLANÈTES GÉANTES GLACÉES**

DIX TÉLESCOPES BRAQUÉS SUR UNE LOINTAINE **SUPERNOVA**

LUNE **OBSERVER LA MER DES HUMEURS**

Crédit : NASA

SOMMAIRE n°201



ACTUALITÉS

6 Des décharges électriques sur Mars
• *Thérèse Encrenaz*

10 Analyse comparative des poussières de Ryugu et Bennu
• *Janet Borg*

14 Une source d'eau dans les mini-Neptunes
• *Frédéric Deschamps*

18 Les projets de l'Esa pour les prochaines années
• *Marie-Claude Paskoff*

20 Une supernova observée à l'époque très lointaine de la réionisation de l'Univers
• *Fabrice Mottez*

ZOOM

24 Les géantes glacées : des mondes à découvrir
• *Thérèse Encrenaz*

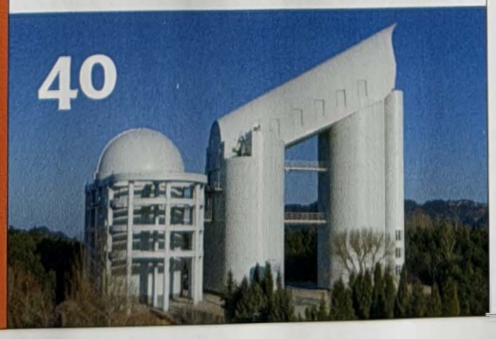
HISTOIRE

32 La nature des astres : une brève histoire de l'astrophysique
• *James Lequeux*

36 Une femme érudite et les sciences au XIXe siècle : Victorine de Chastenay
• *Colette le Lay et Isabelle Lémanon-Waxin*

INSTRUMENTATION

40 Relevés scientifiques et développement futur du télescope LAMOST
• *Ali Luo*



OBSERVATIONS & TRAVAUX

44 Mise en évidence de la précession des équinoxes et de l'équation du temps par simple observation des levers des astres
• *Gilbert Vincent*

OBSERVER LE CIEL

50 Balades lunaires : la mer des Humeurs
• *Robert Cacault*

L'OBJET DU MOIS

54 La nébuleuse NGC 2261
• *Gilles Sautot et Éric Evrard*

58 Éphémérides de février

À LIRE ÉGALEMENT

62 Portraits célestes
• *Denis Joye*

66 Associations : 1 062 communes labellisées « villes et villages étoilés »
• *Christophe Martin-Brisset*

68 La vie de la SAF : Jean-Philippe Uzan et James Lequeux à l'honneur
• *Roland Lehoucq et Fabrice Mottez*

69 Livres

72 Agenda

→ **Abonnez-vous** page 13

 | Gilbert VINCENT | Professeur de physique à l'université Grenoble Alpes | Société astronomique de France et commission des Cadrans solaires

MISE EN ÉVIDENCE DE LA PRÉCESSION DES ÉQUINOXES ET DE L'ÉQUATION DU TEMPS PAR SIMPLE OBSERVATION DES LEVERS DES ASTRES

Les levers et couchers incitent *a priori* plus à la contemplation qu'à une approche scientifique. Pourtant, en notant simplement les heures des couchers et levers du Soleil et d'autres astres, il est possible de tracer le profil des reliefs environnants et de mettre en évidence des phénomènes qui relèvent plutôt de calculs et de mesures astronomiques précises comme l'équation du temps ou la précession des équinoxes.

Il est assez rare de pouvoir observer le premier ou le dernier rayon d'un lever ou d'un coucher de Soleil au bord de la mer à cause des masses nuageuses souvent présentes à l'horizon ; en revanche, si ces observations sont réalisées sur un fond de massif montagneux, les chances de bénéficier d'un ciel clair sont bien plus élevées.

Résidant à Biviers, dans l'Isère, près de Grenoble, je dispose d'une vue sur la chaîne de Belledonne, orientée nord-est-sud-ouest, idéale pour les levers. Elle affiche une altitude située entre 2 000 m et 3 000 m, sa distance s'échelonne de 13 km à 36 km et sa hauteur apparente est comprise entre 10 degrés pour les sommets proches et 3 degrés pour les plus lointains ; la *figure 1* en présente un détail. Quant aux couchers, ils sont observés vers l'ouest sur les massifs du Vercors et de la Chartreuse.

J'observe le Soleil dans de petites jumelles avec un filtre adéquat. Pour la Lune, les planètes et les étoiles, j'utilise aussi des jumelles ou un petit télescope ; ces instruments permettent en particulier d'effectuer des observations au crépuscule, moment où l'on distingue à la fois le relief et l'astre, ce qui rajoute un « relief » et une dynamique saisissants.

Le profil des reliefs et la prédiction

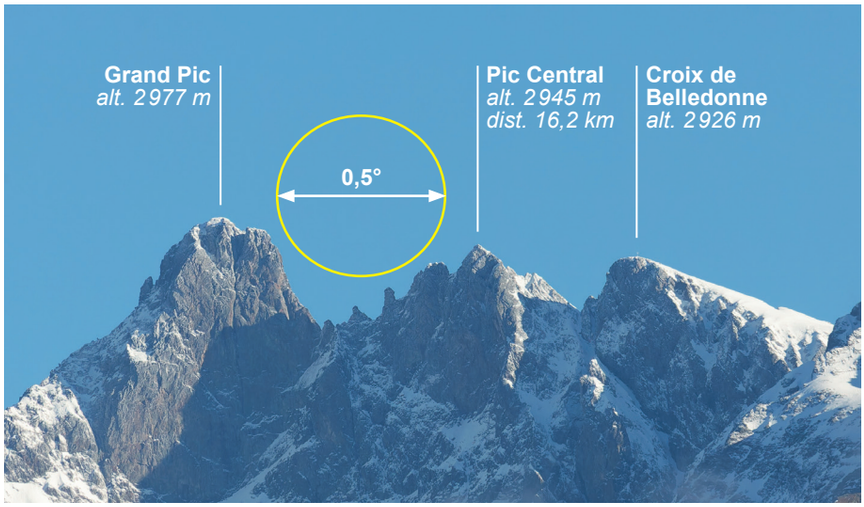
Pour un lieu, une date et un instant donné *H*, la position d'un astre est fixée. Il est de nos jours aisé d'en connaître la hauteur *h* au-dessus de l'horizon et l'azimut *Az* (direction, ou encore cap pour les marins) : un simple smartphone suffit et, si besoin, on pourra consulter le site remarquable du Service Espace de l'Observatoire de Paris (imcce.fr). Ainsi, pour chaque événement, on dispose de trois grandeurs : heure (*H*), azimut (*Az*) et hauteur (*h*) auxquels il convient d'ajouter le diamètre apparent du Soleil et de la Lune.

En notant à la seconde près l'instant *H* des levers de Soleil et en calculant les couples *Az*, *h* correspondants, on obtient un ensemble de points (fig. 2) qui révèle le profil du massif où ont lieu ces levers, en l'occurrence celui de Belledonne.

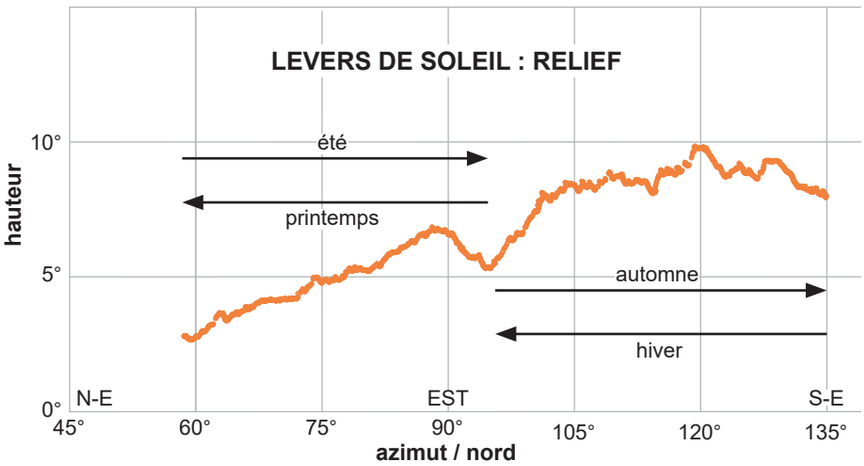
Les autres astres peuvent aussi être mis à contribution, ce qui nous amène à apporter quelques précisions. Les étoiles nous apparaissent ponctuelles et les planètes sont considérées comme telles en estimant le temps moyen du lever, qui n'excède pas quelques secondes. Pour le Soleil, le début du lever (premier rayon) ou la fin du coucher (dernier rayon) sont assimilés au point supérieur de l'astre, une fin de lever (dernier contact) ou début de coucher (premier contact) au point inférieur. La démarche est identique pour la Lune, mais excepté lorsqu'elle est pleine ou quasi pleine, seul peut être exploité le premier rayon ou le dernier, en fonction de la phase lunaire.

La *figure 3* montre un détail du relief de la chaîne de Belledonne obtenu par *h*(*Az*) où figurent tous les astres contributeurs. On remarque que la courbe générée par les planètes se glisse naturellement entre les débuts et fins des levers du Soleil ou de la Lune.

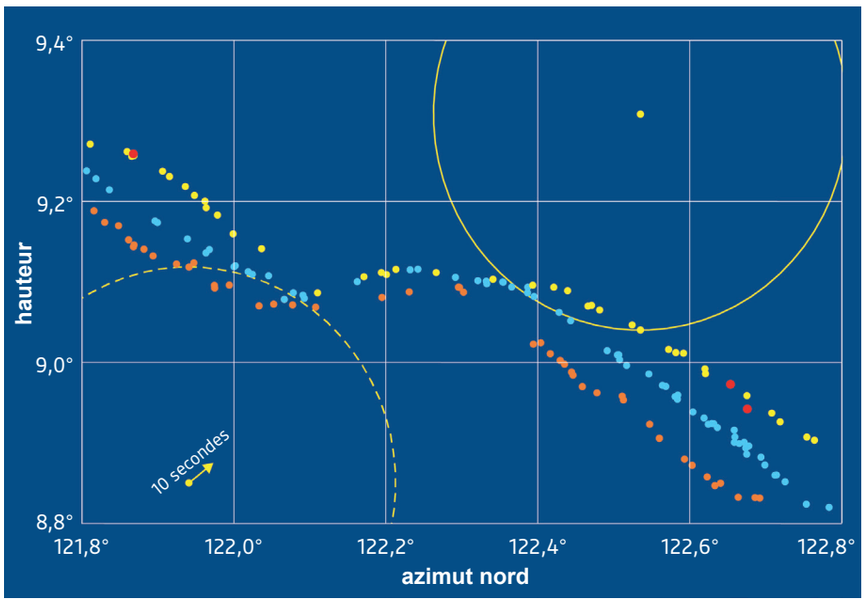
Depuis 1990, en un bon tiers de siècle, nous avons compilé près de 14 000 événements ; ils concernent les astres les plus visibles, mais aussi les satellites de Jupiter ! Avec l'accumulation des mesures, la prédiction des événements est de plus en plus précise et il nous est aujourd'hui possible, dans la grande majorité des cas, de les prévoir à deux ou trois secondes près : les Belledonne sont devenues « transparentes » ! Succès garanti pour l'animation de soirées avec les levers de la Lune, des planètes et des étoiles.



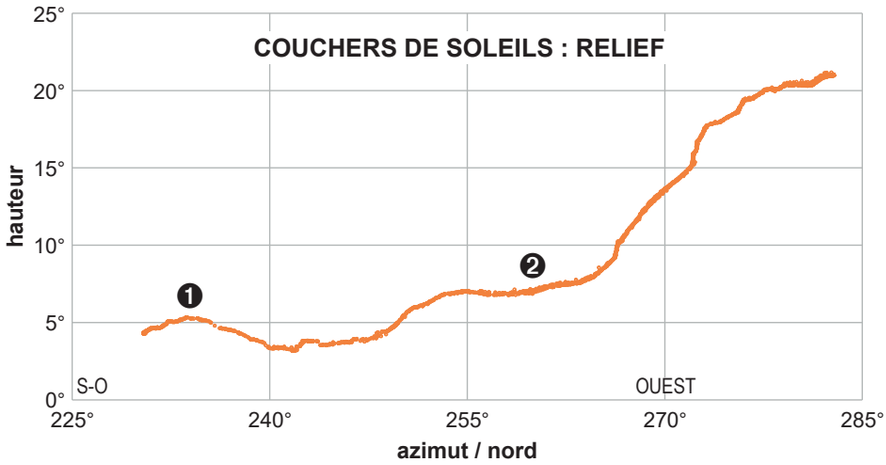
1. Le Pic Central, notre candidat au test de la précession, entouré du Grand Pic et de la Croix de Belledonne. L'échelle angulaire est donnée par un Soleil fictif de 0,5 degré de diamètre apparent. Photo prise depuis le lieu d'observation. (Crédit J.-L. Tissot, 2023)



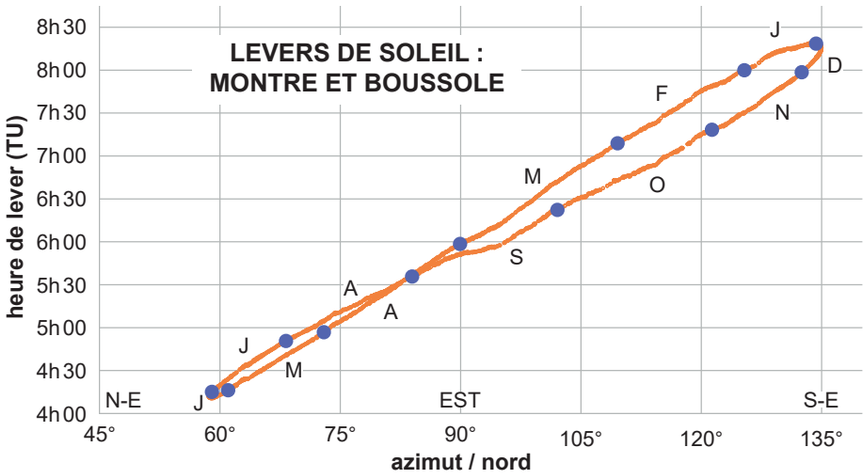
2. Profil d'une grande partie du massif de Belledonne en portant la hauteur *h* du point haut du Soleil en fonction de son azimut *Az* (du cap) de son centre à l'instant de son lever. Il est constitué de près de 3600 « Soleils », fruit de 35 années d'observation. La Lune et les planètes permettent d'élargir ce profil (points non reportés ici).



3. Détail du relief de la chaîne de Belledonne (arête sud de la Grande Lance). Les ronds orange correspondent au sommet du Soleil à l'instant du premier rayon et les ronds jaunes au bas du Soleil au moment du dernier contact (en rouge pour la Lune). Les ronds bleus indiquent les positions de plusieurs planètes à leur lever (Vénus, Mars, Jupiter et Saturne).
Le cercle jaune en pointillé représente le Soleil du 3 novembre 2023 à 7 h 19 min 23 s (en temps universel) à l'instant du premier rayon et le cercle jaune continu à la fin du lever à 7 h 22 min 28 s. Ces deux Soleils tangentent les ronds bleus des planètes réputées décrire finement le relief de par leur faible dimension. De petites dispersions sont visibles provenant de plusieurs origines : position de l'observateur, référence de temps disponible, marge d'appréciation de l'instant de l'événement, neige plus ou moins abondante, petit effet des variations de pression et de température sur la réfraction.



4. Même type de représentation que celui de la *figure 2*, cette fois pour 2 200 couchers du Soleil. Ces relevés vont du Vercors ❶ à la Chartreuse ❷, cette dernière étant beaucoup plus proche du lieu d'observation.



5. Heure du premier rayon de Soleil représenté en fonction de l'azimut du centre du Soleil. Pour un même point (*Az*, *h*) de lever de la *figure 2*, cette heure varie suivant les saisons, jusqu'à 30 minutes (voir l'écart entre février et octobre-novembre). La courbe en 8 que l'on observe traduit l'avance ou le retard du Soleil par rapport à un Soleil fictif moyen qui culminerait tous les jours à la même heure de nos montres (voir *figure 6*).

Les couchers des astres sont justiciables du même traitement : la *figure 4* représente le profil du relief obtenu à partir des heures de coucher du Soleil.

L'équation du temps

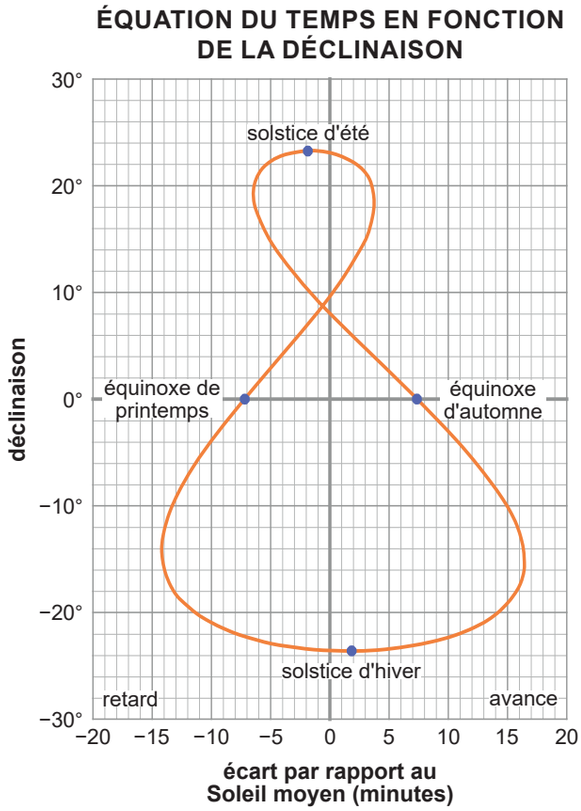
Une autre utilisation des trois grandeurs mentionnées précédemment consiste à tracer l'heure de lever *H* de l'astre en fonction de l'azimut *Az* de ce même lever (fig. 5). Pour des raisons de commodité, comme pour la *figure 2*, l'azimut a été calculé en utilisant les éphémérides du Soleil, mais il faut noter qu'avec une boussole, il n'y aurait besoin d'aucun calcul ! La courbe se présente avec une hystérésis, formant un 8 ! À première vue, cela semble curieux, car à un point donné du relief correspond une seule et même déclinaison du Soleil (sa hauteur au-dessus de l'équateur qui varie suivant les saisons de −23° 26' à +23° 26'). Sachant que la déclinaison d'un astre et la latitude du lieu suffisent à déterminer le laps de temps entre son lever et son passage au sud (au méridien), on pourrait penser qu'à un point du relief correspond une seule et même heure de lever. Ce n'est pas ce que l'on observe et c'est donc que l'heure de passage du Soleil au sud est variable en fonction des saisons ; le graphique indique que ces écarts peuvent aller jusqu'à une demi-heure.

Par un simple calcul de trigonométrie sphérique, sans utilisation d'éphémérides, il est possible de s'affranchir de l'effet du relief. Notons que l'azimut et la hauteur nécessaires à ce calcul, que nous tenons de la *figure 2*, pourraient très bien être mesurés avec un théodolite, donc de manière totalement expérimentale. Cette déconvolution conduit à la *figure 6* qui correspond aux 3 600 points associés aux premiers rayons de Soleil de la *figure 2*. Cette courbe en 8 est connue sous le nom d'équation du temps ; elle est visualisée sur la méridienne des cadrans solaires.

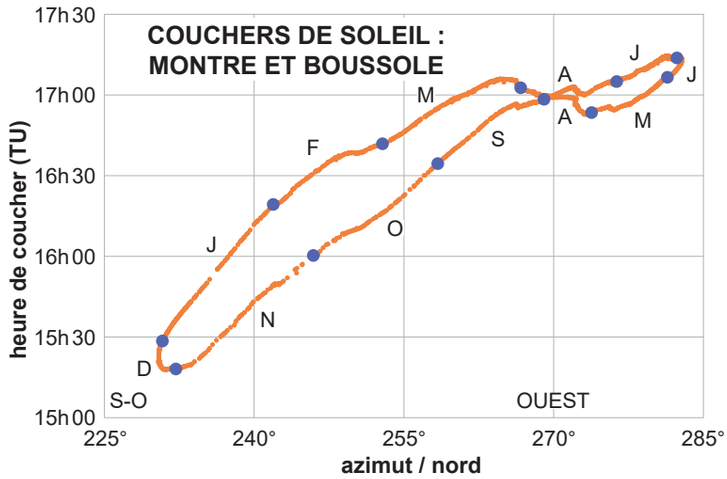
Précisons que cette déconvolution n'est présentée que pour établir le lien entre l'hystérésis constatée sur la *figure 5* et l'équation du temps, et ne constitue en aucun cas une méthode précise pour établir cette dernière !

Une courbe similaire avec hystérésis est obtenue en traçant les heures de coucher en fonction de l'azimut (fig. 7). On remarquera qu'au printemps et en été, l'heure de coucher est relativement constante autour de 17 h TU, le corollaire étant une équation du temps très malmenée. Malgré cela, une déconvolution conduirait à un tracé tout à fait superposable à celui de la *figure 6*. Il existe en fait une manière de supprimer toute hystérésis : lire l'heure sur un cadran solaire (fig. 8) !

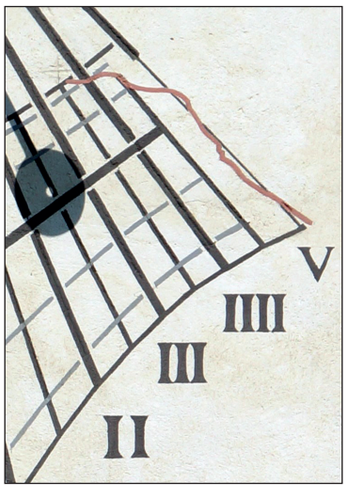
Cette équation du temps n'est pas sans quelques petites conséquences pratiques. En effet, si le jour le plus court a bien lieu pour le



6. Équation du temps obtenue par déconvolution des 3 600 points de la courbe de la *figure 5* en introduisant l'effet du relief visible sur la *figure 2*. Elle est représentée en fonction de la déclinaison du Soleil, c'est-à-dire de sa hauteur au-dessus du plan de l'équateur terrestre. Sous cette présentation, c'est une courbe universelle, valable en tout point de notre Terre, pour des dizaines, voire centaines d'années à une minute près.
Les excursions de plus ou moins un quart d'heure autour de l'heure moyenne résultent de la trajectoire elliptique de la Terre autour du Soleil qui induit des variations de sa vitesse et de la projection de ce mouvement sur l'équateur terrestre. Cette courbe est également celle que l'on trouvera dans la littérature, ou sur Internet en recherchant « analemme ».



7. Heures du dernier rayon de Soleil en fonction de l'azimut où l'on retrouve la demi-heure d'écart entre février et octobre-novembre. Noter la très faible amplitude des heures de coucher au printemps et en été, propriété locale, cela va de soi.



8. Détail du cadran solaire de l'église de Biviers (Isère), créé en 2020. Le fait d'utiliser les heures solaires supprime l'hystérésis, ce qui est assez évident, la courbe des couchers n'étant en fait que la projection du profil des reliefs sur le cadran, l'œilleton du style jouant le rôle de centre d'inversion, un peu comme le ferait un objectif photo. Ce sont nos montres régulières qui engendrent les écarts !
Remarque : les couchers de Soleil (courbe rouge) s'écartent étonnamment peu de la cinquième heure solaire pendant une grande partie de l'année. Cette particularité était connue des paysans du village qui, en désignant des champs alentour, parlaient des « prés de cinq heures ».

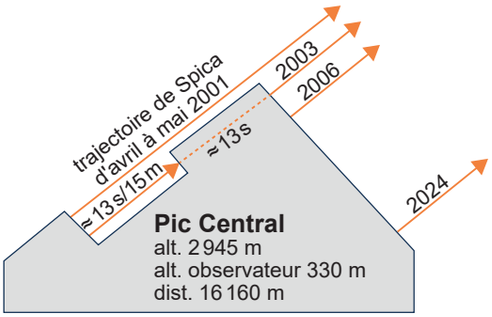
solstice d'hiver (21-22 décembre), celui où le Soleil se couche le plus tôt se situe, sous la latitude de Paris, vers le 10-11 décembre, d'où l'adage « pour la Sainte-Luce (13 décembre), les jours croissent d'un saut de puce », et le lever de Soleil le plus tardif a lieu les premiers jours de l'année. Vers la mi-janvier, toujours sous la latitude de Paris, les couchers ont crû de près d'une demi-heure alors que les levers sont toujours aussi tardifs, avec seulement cinq minutes de gain. Un scénario semblable, mais moins prononcé, a lieu autour du solstice d'été.

La précession des équinoxes

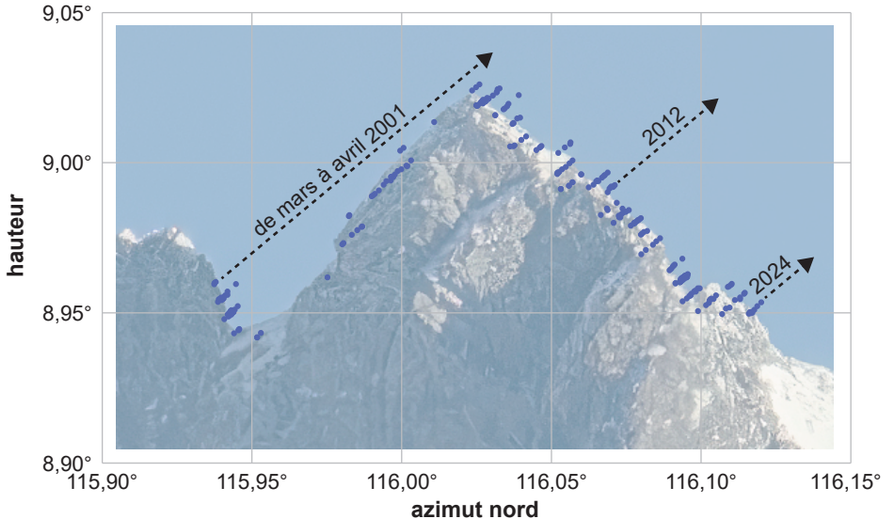
L'observation des levers qui suit concerne le Pic Central de Belledonne (voir fig. 1). Jusqu'en 2001, l'étoile Spica s'y levait une seule fois. Puis, les quatre années suivantes, elle se levait puis se couchait et se levait à nouveau, pour encore une année plus tard présenter un lever unique : son lieu de lever s'était donc déplacé.

La lente modification du point de lever est liée au mouvement de toupie de l'axe de rotation de la Terre. Cet axe décrit un cône en 26 000 ans et se traduit par un basculement du ciel : dans 13 000 ans, ce ne sera plus notre « fidèle » étoile Polaire qui indiquera le nord, mais Véga, la belle étoile qui culmine l'été. De manière plus savante, on parle de précession à laquelle est liée la bien connue précession des équinoxes.

Cette précession d'une période de 26 000 ans peut donc être observée sur un laps de temps très court, de l'ordre de deux à trois ans en ce qui nous concerne. La chance a voulu que l'étoile Spica (ou Épi, de la Vierge), une de celles dont le décalage du lever avait intrigué nos ancêtres observateurs (voir *l'Astronomie* nº 24, février 2010, p. 27, « 1 000 ans d'astronomie à Bougie et en Kabylie »), se lève sur le Pic Central (fig. 1) qui présente un profil particulier schématisé sur la *figure 9*. Spica est une étoile assez lumineuse, facilement



9. Représentation schématique du profil du Pic Central de Belledonne avec différentes trajectoires de l'étoile Spica. En 2001, un lever unique était observé. De 2002 à 2005, le lever était suivi d'une disparition-réapparition et, à partir de 2006, un lever simple était à nouveau observé. La précession des équinoxes est ainsi mise en évidence en peu de temps, sans aucun instrument de mesure !



10. Contour du sommet du Pic Central de Belledonne dessiné par près de 300 levers de Spica, généralement observés en mars et avril, durant 24 années. Les trains de points de ces deux mois d'une année sont quasi alignés et correspondent aux positions astronomiques *Az* et *h* de Spica à l'heure de son apparition ou disparition.
Il n'y a pas eu de relevé en 2018. En 2022, une petite échancrure nous a gratifié de quelques levers-disparitions-apparitions, le tout sur un laps de temps de trois à quatre secondes.
Pour chaque année, la dispersion des points est de l'ordre de deux secondes de temps (voir la légende de la *figure 3*). Leur coïncidence avec la photo prise depuis le poste d'observation est très satisfaisante. (Crédit photo : J.-L. Tissot, nov. 2023)

observable en début de nuit en mars et avril : il n'y a donc besoin d'aucun instrument ni de veille tardive pour constater cet effet ! D'autre part, l'observation d'une étoile, quelle qu'elle soit, est grandement facilitée par le fait que, d'un jour sur l'autre, il suffit d'enlever quatre minutes et d'ajouter quatre secondes pour la retrouver à la même position.

En procédant de manière identique à celle utilisée pour la *figure 2*, à partir des heures d'apparition-disparition, nous avons pu reconstituer précisément le contour du sommet du Pic Central (fig. 10). Pour avoir une idée plus large de la précession, précisons que Spica se levait sur le Grand Pic en 1900 et émergera de la Croix de Belledonne en 2060 (fig. 1).

D'autres étoiles nous ont permis de « voir » la précession, comme Fomalhaut qui, année après année, a balayé la Croix de Chamrousse et les installations des remontées mécaniques qui y convergent. En revanche, le lieu de lever de Sirius, l'étoile la plus lumineuse du ciel après le Soleil, se déplace de manière beaucoup moins sensible sur le relief (voir encadré).

Conclusion

L'observation des levers et des couchers du Soleil, de la Lune, des planètes et des étoiles permet d'approcher le profil d'un relief et d'anticiper très précisément ces événements, mais aussi de mettre en évidence l'équation du temps et d'illustrer l'existence de la très lente précession des équinoxes sur un intervalle de seulement quelques années. Le lecteur qui bénéficie d'un horizon ou d'un édifice adéquat pourra aisément s'imprégner par la pratique de ces notions semblant parfois abstraites. ■

L'auteur remercie sa famille pour ses nombreux relevés.

POSITION DES ÉTOILES ET PRÉCESSION

La position des astres dans le ciel est repérée par leur déclinaison δ et leur ascension droite α, grandeurs respectivement équivalentes à la latitude et à la longitude sur Terre.

Les étoiles dont l'ascension droite est proche de 6 h (Sirius 6 h 45 min) ou 18 h changent peu de déclinaison δ, mais essentiellement d'ascension droite α ; c'est l'heure de lever et du coucher qui est affectée. Il faudrait donc associer des calculs à des mesures de temps pour mettre la précession en évidence (une minute pour Sirius de 2000 à 2024).

Les étoiles qui se situent autour de α = 0 h (Fomalhaut : 22 h 58 min) ou 12 h (Spica : 13 h 25 min) sont relativement stables en ascension droite et c'est leur déclinaison qui varie, positivement pour Fomalhaut qui a ainsi traversé la Croix de Chamrousse du sud vers le nord, négativement pour Spica dont le point de lever sur le Pic Central s'est propagé vers le sud.