

Les supernovae : l'événement du 24 février 1987

Autor(en): **Meynet, Georges**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **45 (1987)**

Heft 219

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-898832>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Les Supernovae: l'événement du 24 février 1987

1. Introduction

L'observation de la supernova dans le Grand Nuage de Magellan du 24 février dernier constitue un événement majeur pour la communauté astronomique. Pourquoi un tel émoi autour d'une étoile qui a explosé à 156'000 années lumière de chez nous? Quels sont les premiers renseignements que l'on peut tirer des observations déjà disponibles? Que savons-nous enfin des mécanismes responsables de ces gigantesques feux d'artifice qui illuminent le ciel? Dans ce qui va suivre, des éléments de réponse à ces différentes questions vont être présentés, le but étant de mieux comprendre la portée et l'importance de cette découverte.

2. La Supernova la plus proche depuis Képler

Parmi les nombreuses supernovae répertoriées jusqu'à ce jour, l'explosion observée dans le Grand Nuage de Magellan jouit d'un statut privilégié en raison de sa proximité. Cela fait plus de trois cents ans qu'une supernova n'avait été découverte dans un voisinage aussi proche du système solaire. La dernière visible dans notre Galaxie fut observée par Képler en 1604. Elle ne se trouvait qu'à 30'000 années lumière environ, mais à cette époque, seules des observations à l'oeil nu purent être effectuées, la lunette astronomique n'apparaissant qu'en 1610. Aujourd'hui nous disposons d'un grand nombre d'appareils sophistiqués pour scruter le ciel et actuellement la plupart d'entre eux sont braqués sur la supernova 1987A. Ainsi, pour la première fois, une supernova proche est observée avec les moyens technologiques dont nous disposons. Bien sûr, de nombreuses autres explosions d'étoiles ont été détectées par nos télescopes modernes. Plus d'une centaine de supernovae ont pu être étudiées depuis les années 1930. Cependant ces événements ont tous eu lieu dans d'autres galaxies, autrement dit dans des régions très lointaines où des observations fines sont difficiles voire impossibles à mener. Cette fois-ci l'explosion s'est produite près de chez nous, dans la banlieue de la Voie Lactée. De plus le fait qu'elle ait eu lieu dans le Grand Nuage de Magellan, dont la distance est bien connue, augmente encore l'intérêt de cette découverte.

3. Généralités sur les Supernovae

Que savons-nous à ce jour des supernovae? Sans être exhaustifs, nous allons présenter ci-dessous quelques points importants permettant de mieux cerner ce phénomène. Comme nous venons de le voir l'essentiel de nos connaissances provient de l'observation des galaxies extérieures; ces observations nous donnent principalement accès à deux types de données. D'une part nous pouvons connaître la courbe de lumière, c'est-à-dire la manière dont la lumière émise par l'astre évolue avec le temps et d'autre part nous avons la possibilité de faire l'analyse spectrale de cette lumière. Cette seconde mesure donne des renseignements sur la nature de la matière éjectée dans l'espace lors de l'explosion ainsi que sur les vitesses d'éjection. Ces observations ont permis de distinguer deux types de supernovae.

Les courbes de lumière des supernovae de type I forment un groupe assez homogène, avec les caractéristiques suivantes: après un maximum de luminosité qui peut atteindre plusieurs milliards de fois la luminosité du Soleil, elles présentent une décroissance rapide qui dure environ 1 mois, après quoi la diminution de luminosité se fait plus lente. Les spectres de supernovae de type I révèlent une abondance élevée d'éléments lourds et une relative absence d'hydrogène. Les supernovae de type II présentent des courbes de lumière beaucoup plus irrégulières avec la présence de plateaux et parfois de maxima secondaires. Leurs spectres présentent des abondances tout à fait analogues à celles des étoiles ordinaires ou du milieu interstellaire. Le lieu d'origine distingue également les deux types de supernova. Si les supernovae de type I apparaissent avec une fréquence comparable aussi bien dans les galaxies spirales que dans les galaxies elliptiques, les supernovae de type II ne sont observées en général que dans les bras des galaxies spirales.

Pour les deux types de supernovae l'énergie mise en jeu lors de l'explosion est de l'ordre de 10^{51} ergs. Si l'on fait la somme de toute l'énergie émise sous forme de rayonnements électromagnétiques durant l'explosion, on obtient une valeur de l'ordre de 10^{49} ergs. Donc le rayonnement émis ne constitue qu'une faible proportion (un pour cent environ) de l'énergie totale d'une supernova. Une grande partie de l'énergie réside dans l'énergie cinétique de la matière éjectée, dont la vitesse peut dépasser 10'000 km par seconde. Au moins dans le cas des supernovae de type II, une encore plus grande quantité d'énergie est emportée par les neutrinos, ces particules sans masse (ou de très faible masse) que la supernova émet en un flash de quelques secondes (1 à 10 secondes).

En conclusion de ce bref exposé des données observationnelles ajoutons que la fréquence des supernovae est estimée à 2 ou 3 par siècle et par galaxie. Cependant la plupart d'entre elles ont leurs émissions optiques obscurcies voire masquées par des nuages de gaz et de poussière qui se trouvent sur notre ligne de visée.

Du point de vue de la théorie les deux types de supernovae apparaissent comme deux phénomènes bien distincts. Les supernovae de type I sont probablement la manifestation d'une explosion d'une naine blanche composée de carbone et d'oxygène. Bien que le processus soit loin d'être compris dans tous ses détails, un scénario possible est le suivant: la naine blanche fait partie d'un système d'étoiles doubles, son champ gravitationnel intense attire de la matière de l'étoile compagnon. Sa masse va augmenter jusqu'à une valeur critique au-delà de laquelle la naine blanche se contracte sous l'effet de sa propre gravité. L'ignition du carbone commence alors au centre de l'étoile et l'énergie produite par ces réactions nucléaires provoque la complète destruction de la naine blanche.

Les progéniteurs des supernovae de type II sont probablement des étoiles massives ayant atteint à la fin de leur évolution une structure dite en «pelures d'oignon»: le coeur constitué de fer et d'éléments du même type est entouré de couches

successives de silicium et de soufre, puis d'oxygène, d'oxygène et de carbone, d'hélium. La couche externe est principalement formée d'hydrogène. Si dans le cas des supernovae de type I, l'origine de l'explosion est à rechercher du côté des réactions nucléaires, qui dans le milieu physique particulier des naines blanches deviennent explosives, l'explosion dans le cas des supernovae de type II est provoquée par l'effondrement gravitationnel du coeur de fer qui a épuisé tout son combustible nucléaire. Autrement dit dans un cas (type I) l'énergie est tirée des réactions nucléaires et dans l'autre (type II) puisée dans les réserves d'énergie gravitationnelle. Le problème non encore résolu de manière satisfaisante est de comprendre comment l'énergie ainsi libérée est communiquée à la matière stellaire éjectée dans l'espace ou, plus précisément dans le cas des supernovae de type II, comment une implosion (celle du coeur) est transformée en explosion (éjection de l'enveloppe stellaire).

Après une explosion du type II il semble aujourd'hui acquis qu'un reste d'étoile stable subsiste. Si le coeur de fer a une masse largement supérieure à celle du Soleil, les théories prédisent que la pression ne pourra jamais contrer l'action de la gravité et le noyau stellaire se transformera en trou noir. Pour des masses plus faibles, la contraction s'arrête subitement lorsque la densité de la matière atteint environ les deux tiers de la densité des noyaux atomiques c'est-à-dire au moment où la pression des neutrons, principal constituant du noyau, devient suffisante pour s'opposer à la gravité. Le coeur est devenu une étoile à neutrons, qui peut, selon les cas, nous apparaître comme un pulsar, objet émettant dans sa rotation rapide des signaux électromagnétiques à intervalles réguliers.

4. La Supernova observée dans le Grand Nuage de Magellan

La supernova observée dans le Grand Nuage de Magellan est-elle du type I, du type II ou d'un nouveau type n'entrant dans aucune de ces catégories? Il est encore trop tôt pour répondre d'une manière définitive à cette question, quelques éléments de réponse sont apportés par les premières observations. Exa-

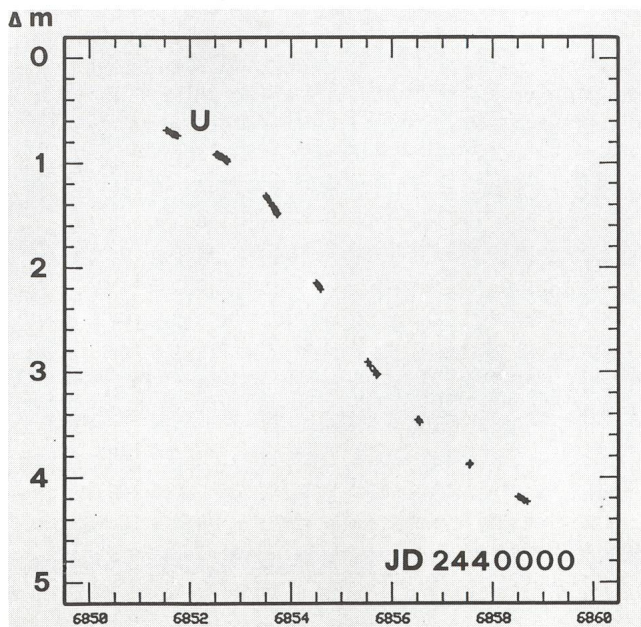


Figure 1
Variation de la magnitude U de la Supernova. L'échelle est en magnitudes, l'origine est arbitraire.

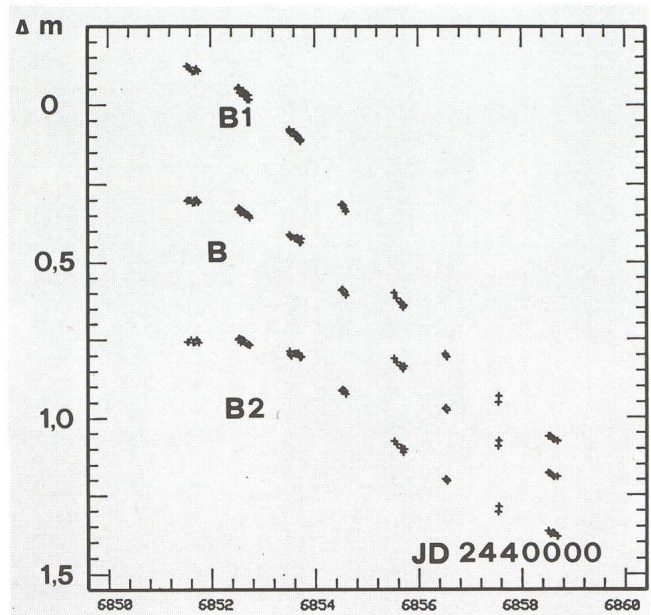


Figure 2
Variation des magnitudes B1, B et B2 de la Supernova. L'échelle est en magnitudes, l'origine est arbitraire.

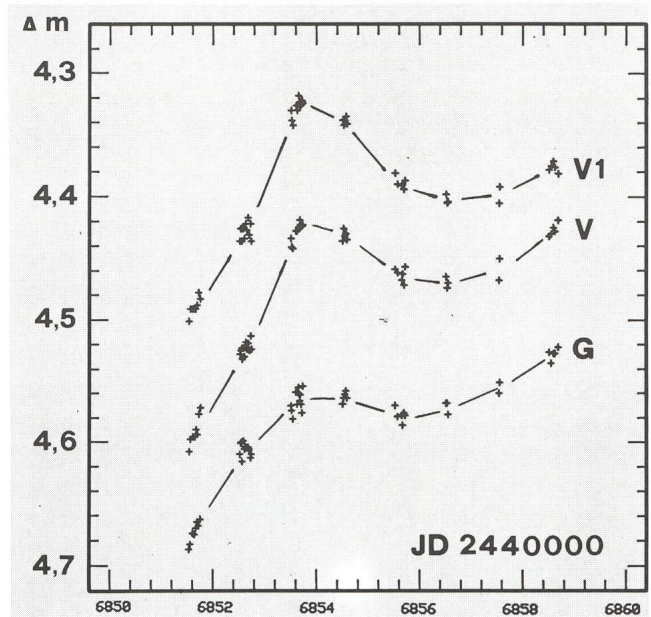


Figure 3
Variation des magnitudes V1, V et G de la Supernova. L'échelle est en magnitudes, l'origine est fixée pour convenir à la couleur V.

minons tout d'abord les courbes de lumière obtenues à l'aide des sept filtres de la photométrie de Genève. Ces mesures ont été effectuées par J. Babel et D. Heynderickx à La Silla au Chili, avec le télescope de 70 cm de l'Observatoire de Genève, installé dans le cadre de l'Observatoire Européen (ESO). La figure 1 nous montre la variation de magnitude apparente dans le domaine spectral de l'ultraviolet terrestre (les bandes

Chronologie des détections de neutrinos le 23 février 1987

heure (T.U.)

- ~ 2 h.: La Supernova n'est pas encore visible sur une plaque photographique exposée durant 1 heure.
(observatoire de Las Campanas, Chili)
- 2h 52m: 5 neutrinos détections en 7 secondes dont l'énergie est comprise entre 7 et 11 Mev par le télescope à neutrinos du Mont-Blanc.
- 7h 36m: 11 neutrinos détections en 13 secondes dont l'énergie est comprise entre 7.5 et 36 Mev par le détecteur japonais KAMIO-KANDE - II.
- 7h 36m: 8 neutrinos détections en 6 secondes dont l'énergie est comprise entre 20 et 40 Mev par l'expérience IMB (Irvine, Michigan, Brookhaven) aux Etats-Unis.
- 7h 36m: 18 neutrinos détections en 15 secondes dont l'énergie est supérieure à 12 Mev par le télescope à neutrinos installé à l'observatoire de Baksan en Ukraine.
- ~ 10h 30m: La Supernova apparaît avec une magnitude 6 sur une plaque photographique.
(observatoire de Siding Spring Australie)

passantes des filtres de la photométrie de Genève ont été présentée dans l'article de N. Cramer, ORION n° 200, page 10, 1984). Le maximum d'intensité dans le filtre U a eu lieu avant ou juste au moment où les premières observations ont été effectuées. A travers le filtre B (figure 2), qui mesure la magnitude apparente dans le bleu, le maximum est marqué par un petit plateau, après quoi la décroissance se fait plus lentement que dans le cas du filtre U. Enfin la magnitude V (figure 3), qui est aussi appelée «visuelle» car elle correspond au domaine de sensibilité maximale de l'oeil humain, présente un premier maximum deux jours après le début des mesures. Nous voyons donc que selon le domaine spectral observé le comportement des courbes de lumière correspondantes peut être très différent, ceci s'explique notamment par le fait que l'opacité de la matière éjectée lors de l'explosion évolue à mesure que le milieu se dilue dans l'espace et se refroidit.

Un indice qui nous invite à penser qu'il s'agit d'une supernova de type II est la présence d'hydrogène dans la matière éjectée. L'analyse spectrale a permis également de déduire des vitesses d'éjection de quinze à vingt mille kilomètres par seconde. Une des observations les plus extraordinaires, si elle se confirme, est la détection de neutrinos provenant de la

supernova. Le 23 février à 2^h52^m T.U. (temps universel), soit quelques heures avant les premières détections optiques, le télescope à neutrinos installé sous le Mont-Blanc a enregistré cinq événements dans un intervalle de sept secondes. Quatre heures et demie plus tard, un télescope à neutrinos installé au Japon détecte onze de ces particules en treize secondes. Aux Etats-Unis et en URSS des expériences similaires ont également enregistré un flux de neutrinos au même moment (voir tableau). Ces neutrinos sont des messagers très précieux car ils sont les témoins des premiers instants qui ont vu naître la supernova. Arrivés bien avant le rayonnement électromagnétique ils ont certainement dû prendre naissance dans le noyau de l'étoile, alors que l'explosion n'était pas encore amorcée et que le coeur de fer s'effondrait sous son propre poids (ceci, bien sûr, dans le cas où il s'agit d'une supernova de type II). Ces observations seront particulièrement intéressantes s'il est possible de dater exactement le début de l'explosion. Pour l'instant les seules données dont nous disposons sont que des plaques photographiques du champ stellaire contenant la supernova ne montraient aucun objet particulier le 23 février entre 1^h30 et 2^h30 T.U. et que le 23 février, aux environs de 10 h 30 T.U., l'objet apparaît sur des photos avec une magnitude 6. D'autres observations dont nous n'avons pas encore connaissance actuellement permettront-elles de préciser le moment de l'explosion? Cela n'est pas sûr, mais quoi qu'il en soit, même si la chronologie de l'événement ne pourra être obtenue avec plus de précision, les quatre heures et demie qui se sont écoulées entre les détections de neutrinos ainsi que les différences d'intensité mesurées ont de quoi faire réfléchir les nombreux théoriciens du sujet.

Un autre aspect, qui pourrait se révéler extrêmement intéressant, serait la découverte du progéniteur, c'est-à-dire de l'étoile qui a donné naissance à la supernova. Lors des observations précédentes de supernovae, les astronomes en ont été réduits à étudier l'explosion déjà amorcée de l'étoile. Pour la première fois nous pourrions avoir connaissance des conditions physiques qui régnaient dans l'astre avant qu'il n'explose. L'étoile pré-supernova est-elle une supergéante rouge ou bleue, présente-t-elle des signes précurseurs annonciateurs de l'explosion (les neutrinos notamment en feraient partie)? Questions auxquelles il sera peut être possible de répondre au cas où le progéniteur pourra être identifié avec une étoile ayant été observée avec suffisamment de précision. Pour l'instant plusieurs candidats sont en liste mais l'identification n'a pas encore pu être effectuée. La position de la supernova est la suivante:

$\alpha = 5\text{h } 35\text{m } 50\text{s} . 22, \delta = -69^\circ 17' 59'' . 2$ (équinoxe 1950.0, incertitude 2").

Dans les mois qui vont suivre la supernova 1987A va être observée avec tous les instruments capables de recevoir des messages du ciel. Peut-être, un jour, aurons-nous la chance de détecter le pulsar résidu de l'explosion.

5. Conclusion

Dans l'histoire de la matière qui constitue l'univers, le phénomène de supernova joue un rôle clé. On pense aujourd'hui que presque tous les éléments plus lourds que l'hélium ont été synthétisés dans les étoiles, lors des phases de combustion nucléaire stables et lors des phénomènes explosifs qui accompagnent la «mort» de certaines d'entre elles. Cette explosion finale contribue donc de deux manières à l'évolution de la composition chimique du milieu interstellaire; d'une part en

éjectant de la matière riche en éléments lourds et d'autre part en permettant la formation de nouveaux constituants qui profitent des conditions particulières de l'explosion pour se synthétiser. En plus du rôle actif qu'elles jouent dans le domaine de la nucléosynthèse les supernovae sont certainement à l'origine d'une grande partie des rayons dits cosmiques que l'on reçoit en permanence sur la Terre. Ce «rayonnement» est constitué principalement de protons et de noyaux d'hélium (mais également d'électrons et de noyaux plus lourds) très énergétiques qui traversent la Galaxie à des vitesses proches de celle de la lumière.

Plus indirectement les supernovae peuvent être une source de renseignements précieux sur l'univers que nous habitons. Sources de lumière extrêmement puissantes, elles pourraient être utilisées pour estimer des distances, encore faut-il que le phénomène soit bien connu et surtout qu'il présente des caractéristiques semblables d'une supernova à l'autre. Par analyse du rayonnement émis lors de l'explosion observée dans le Grand Nuage de Magellan, plus d'une dizaine de nuages de matière interstellaire/intergalactique ont pu être mis en évidence dans la direction de la supernova 1987A. Là encore, la prodigieuse énergie dégagée par le phénomène de supernova est mis à profit pour approfondir nos connaissances sur les structures qui peuplent notre univers.

Si le phénomène de supernova ponctue en quelque sorte la fin de la «vie» nucléaire d'une étoile, il peut être aussi à l'origine de nouveaux soleils. L'onde de choc émanant de la super-

nova peut en effet provoquer la contraction de nuages de matière interstellaire qui se trouvent dans son voisinage et donner vie ainsi à de nouvelles étoiles. Ainsi la mort d'une étoile apparaît comme la chance de nouveaux commencements.

Cet article a été construit à partir des données disponibles au début mars 1987.

Pour en savoir plus:

BETHE, H., BROWN, G., «L'explosion d'une Supernova», Pour la Science no. 93, page 42, 1985.

SURAUD, E., «L'explosion des étoiles», La Recherche no. 186, volume 18, page 324, 1987.

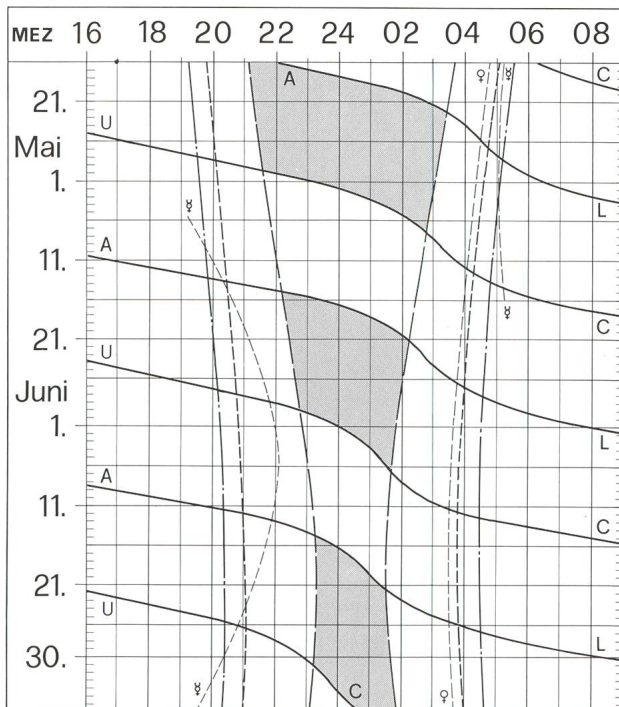
WOOSLEY, S., E., WEAVER, T., A. «The physics of Supernova explosions», Annual Review of Astronomy and Astrophysics, volume 24, page 205, 1986.

Adresse de l'Auteur:

GEORGES MEYNET, Observatoire de Genève, 51 ch. des Maillettes, CH-1290 Sauverny

Sonne, Mond und innere Planeten

Soleil, Lune et planètes intérieures



Aus dieser Grafik können Auf- und Untergangszeiten von Sonne, Mond, Merkur und Venus abgelesen werden.

Die Daten am linken Rand gelten für die Zeiten vor Mitternacht. Auf derselben waagrechten Linie ist nach 00 Uhr der Beginn des nächsten Tages aufgezeichnet. Die Zeiten (MEZ) gelten für 47° nördl. Breite und 8°30' östl. Länge.

Bei Beginn der bürgerlichen Dämmerung am Abend sind erst die hellsten Sterne — bestenfalls bis etwa 2. Größe — von blosser Auge sichtbar. Nur zwischen Ende und Beginn der astronomischen Dämmerung wird der Himmel von der Sonne nicht mehr aufgehellt.

Les heures du lever et du coucher du soleil, de la lune, de Mercure et de Vénus peuvent être lues directement du graphique.

Les dates indiquées au bord gauche sont valables pour les heures avant minuit. Sur la même ligne horizontale est indiqué, après minuit, le début du prochain jour. Les heures indiquées (HEC) sont valables pour 47° de latitude nord et 8°30' de longitude est.

Au début du crépuscule civil, le soir, les premières étoiles claires — dans le meilleur des cas jusqu'à la magnitude 2 — sont visibles à l'œil nu. C'est seulement entre le début et la fin du crépuscule astronomique que le ciel n'est plus éclairé par le soleil.

- — — — — Sonnenaufgang und Sonnenuntergang
Lever et coucher du soleil
- - - - - Bürgerliche Dämmerung (Sonnenhöhe -6°)
Crépuscule civil (hauteur du soleil -6°)
- — — — — Astronomische Dämmerung (Sonnenhöhe -18°)
Crépuscule astronomique (hauteur du soleil -18°)
- A — L Mondaufgang / Lever de la lune
- U — C Monduntergang / Coucher de la lune
- Kein Mondschein, Himmel vollständig dunkel
Pas de clair de lune, ciel totalement sombre