

**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft  
**Band:** 47 (1989)  
**Heft:** 231

**Artikel:** La supernova 1987 A [Fortsetzung]  
**Autor:** Maeder, André  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-899030>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# La Supernova 1987 A

ANDRÉ MAEDER

Suite de l'ORION 230

## La détection des neutrinos

Une SN est entourée d'une coquille mince mais extrêmement intense de neutrinos qui se propage dans l'univers. Le flux  $\nu$  est si élevé que sur la terre, à une distance de 170.000 AL, le flux  $\nu$  de SN 1987 A a été de l'ordre de 50 milliards de  $\nu/\text{cm}^2$  durant quelques secondes. Quelques-uns de ces neutrinos ont été observés par de grands détecteurs souterrains destinés à la recherche de la désintégration du proton. Le détecteur Kamiokande II au Japon, qui contient 2100 tonnes d'eau, a enregistré onze événements le 23 février à 07.35.41 TU (voir fig. 2; réf. 7). L'expérience américaine IMB (Irvine-Michigan-Brookhaven) avec 5000 T d'eau observa huit événements au même instant. Nous pouvons relever que ces deux détecteurs ont reçu leurs neutrinos à travers la terre, la SN 1987 A étant dans le ciel austral. La détection dominante dans le détecteur à eau est  $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$ ; on observe alors du rayonnement Cerenkov par annihilation de paires. Notons que ce n'est pas les neutrinos, mais les antineutrinos  $\bar{\nu}_e$  qui sont détectés.

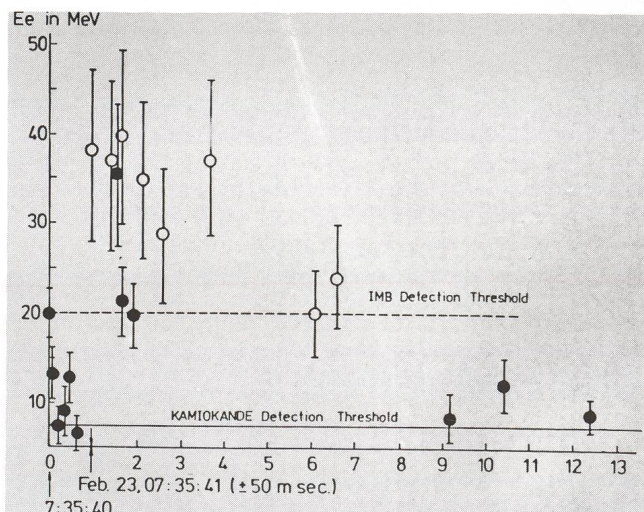


Fig. 2:  
Le signal neutrino de SN 1987 A. Cercles pleins: Kamiokande II; cercles vides: IMB [voir réf. 7]

Si l'on tient compte de la sensibilité des détecteurs, du nombre de  $\bar{\nu}$  reçus, de leurs énergies, de la proportion de 1/6 des  $\bar{\nu}_e$  dans le flux total et de la distance au GNM, nous pouvons estimer [8] que l'énergie totale émise est de l'ordre  $2 \cdot 10^{53}$  ergs. Cette valeur correspond de manière remarquable aux prédictions théoriques pour la formation d'une étoile à neutrons de  $1.4 M_{\odot}$ . Il est peu probable qu'un trou noir ait été formé; le signal  $\bar{\nu}$  intégré aurait été plus important et aurait dû présenter une coupure abrupte au moment où l'instabilité relativiste s'est établie. Parlant de la performance magnifique que représente la détection des neutrinos, l'astrophysicien texan D. Arnett a dit que jusqu'à présent nous n'avions vu que la fumée du revolver, mais que c'est la première fois que nous voyons tirer la gâchette!

Une autre observation de neutrinos a été annoncée par le groupe responsable du détecteur contenant 90 T de scintillateur liquide situé dans le tunnel du Mont Blanc: cinq événements furent détectés le 23 février à 2h 52.34, c'est-à-dire 4.7 heures avant les autres détections. Cette expérience ne détecta rien de significatif au moment des autres détections, et réciproquement. Plusieurs interprétations différentes de cette détection présumée ont été avancées. En particulier, il a été suggéré que la 1<sup>ère</sup> détection, celle du Mont Blanc, correspond à l'effondrement vers une étoile à neutrons, et la seconde, celle de Kamiokande et d'IMB, correspond à l'effondrement subséquent vers un trou noir. Cette interprétation n'explique toutefois pas pourquoi les effondrements supposés n'ont pas été enregistrés par les 2 détecteurs. De plus, on peut relever que 2 effondrements successifs, séparés par un intervalle de 5 h, requièrent des paramètres extrêmement particuliers pour l'étoile à neutrons. Tout cela fait que la plupart des spécialistes considèrent actuellement la détection du Mont Blanc comme non significative.

Il est intéressant de mentionner que la faible dispersion des temps d'arrivée des neutrinos d'énergies différentes a permis de fixer une limite à la masse au repos des neutrinos. Une estimation sûre obtenue à partir de la comparaison entre des distributions initiales théoriques et les temps d'arrivée donne [9] une masse au repos inférieure à 12 eV au niveau de confiance 90% pour  $\bar{\nu}_e$ .

## Observations photométrique et spectroscopiques.

Après la découverte de SN 1987 A, les astronomes inspectèrent attentivement les plaques qu'ils possédaient du champ stellaire en question. I. Shelton, qui avait découvert la supernova, avait une plaque du même champ prise la nuit précédente et qui ne montrait rien. R. H. Mc Naught en Australie, sur des plaques exposées le 23 février à 10h38 (c'est-à-dire trois heures après les détections de Kamiokande II et IMB), découvrit qu'à ce moment la SN avait déjà atteint la magnitude 6.0. Cet intervalle de trois heures correspond bien au temps de propagation de l'onde de choc du centre vers la surface de la supergéante bleue. Pour l'expérience du Mont Blanc, l'intervalle aurait été de huit heures, une valeur dont il est difficile de rendre compte si le précurseur est une supergéante bleue.

La figure 3 montre la courbe de lumière de la SN dans les couleurs U, B, V (proche UV, bleu, visible). On voit la décroissance rapide du flux UV initial mentionné plus haut. Durant les premières semaines, la lumière de la SN était due à l'onde de choc qui dépose son énergie dans l'enveloppe, et contribue à son expansion; une partie de cette énergie s'échappe graduellement. Si cette source énergétique avait été seule disponible, la SN se serait éteinte au bout d'un à deux mois. On voit sur la figure 3 que les courbes de lumière présentent une bosse qui culmine au bout de 80 jours. Il est donc évident qu'une autre source d'énergie doit intervenir. Bien que quelques annonces aient été faites suggérant l'apparition du pulsar central, il fut rapidement acquis que cette bosse, et la queue que présente ensuite la courbe de lumière, provenaient de la décomposition radioactive d'éléments éjectés; cette source d'énergie est bien



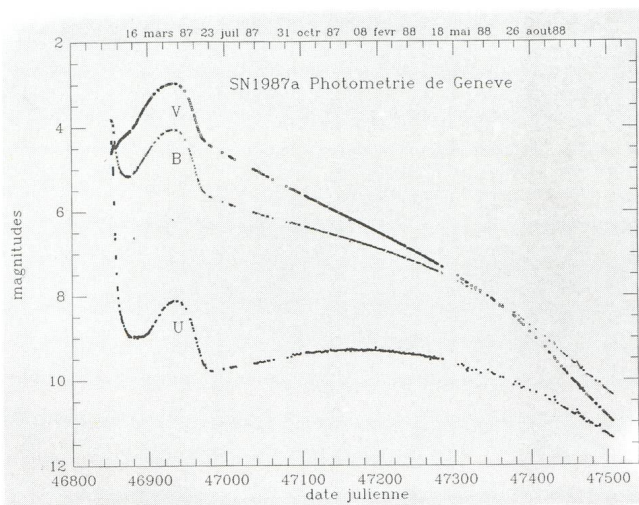
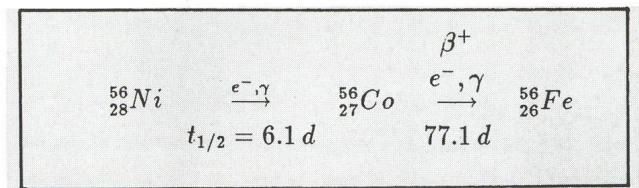


Fig. 3: La courbe de lumière de SN 1987 A dans les couleurs U, B et V de la photométrie de Genève

connue comme étant à l'origine des queues des courbes de lumière de SN. La source énergétique radioactive est la désintégration:



L'énergie provient d'abord du Ni et ensuite du Co. Le rayonnement  $\gamma$  est thermalisé par des interactions Compton et par la photoionisation aux plus basses énergies, il émerge alors sous forme de rayonnement UV, visible et IR. L'enveloppe de la SN devient optiquement mince en se dilatant, et c'est ainsi que la courbe de lumière montre après environ 120 jours une queue exponentielle qui correspond bien à la puissance radioactive instantanée (Dans l'échelle logarithmique des magnitudes cette décroissance exponentielle est représentée par une droite). En rayonnement intégré, c'est-à-dire bolométrique, la pente de la queue de la courbe correspond parfaitement à la demi-vie de 77.1 jours de la radioactivité du Cobalt. La quantité de Ni initialement nécessaire pour produire l'intensité observée est estimée à 0.07  $M_{\odot}$  [5,6]. Dans cette partie de sa courbe de lumière, SN 1987 A se comporte enfin comme une SNII normale.

Les diverses couches du modèle en pelure d'oignon sont dévoilées à mesure que la matière éjectée traverse la photosphère (zone d'où nous parvient le rayonnement visible). Lorsque la photosphère se trouvait encore dans l'enveloppe riche en hydrogène, on a observé une surabondance d'un facteur 5 à 10 du baryum. Le Ba est un élément synthétisé à partir de la capture de neutrons lents par le Fe (processus-s). On peut montrer qu ce processus a lieu dans la zone de combustion de l'hélium [10]. L'observation du Ba dans les couches riches en H semble donc impliquer un mélange des couches riches en H et He non prévu par la théorie. Une autre observation suggère le même type d'effet. De très fines raies d'absorption de matériaux riches en N ont été trouvées par des observations avec le satellite IUE. De telles raies proviennent vraisemblablement de la

matière éjectée par le précurseur. L'intérêt de cette observation est que l'azote est un produit de la combustion CNO de l'hydrogène, et qu'un tel excès d'azote (facteur 30) montre qu'une grande quantité de produits nouvellement synthétisés ont été amenés à la surface lors de l'évolution du précurseur, soit par un processus imprévu de mélange, soit à la suite d'une très importante perte de masse.

Des observations IR faites à partir du Kuiper Airborne Observatory montrèrent dès novembre 1987 que de la matière provenant du noyau central commençait à devenir visible. Des raies des éléments Ni, Ar et Co sont apparues avec des intensités indiquant des abondances bien supérieures à la normale, ce qui impliquait l'apparition des éléments produits dans les couches profondes. Ce «striptease» stellaire est suivi avec la plus grande attention par les astrophysiciens, qui trouvent là une occasion unique pour tester les prévisions des modèles de nucléosynthèse stellaire.

### Rayonnements X et $\gamma$ de SN 1987A.

Le cobalt radioactif, qui est à l'origine de la courbe de lumière optique, émet deux raies  $\gamma$  à 847 et à 1238 keV. Les premiers modèles théoriques avaient prédit que ces rayons  $\gamma$  apparaîtraient sous la forme de photons dégradés dans l'intervalle de 10 à 200 keV un an environ après l'explosion. Le satellite Ginga (10 - 30 keV) et l'expérience Kvant-Roentgen (15 -  $10^3$  keV) à bord de la station Mir détectèrent du rayonnement X déjà à mi-août 1987. La forme du spectre X correspond bien aux prédictions théoriques [11]. L'arrivée précoce de rayons X a été interprétée [5,6] comme le résultat du mélange du Ni et Co radioactifs durant l'explosion. Pour citer quelques unes des explications proposées, disons que l'explosion aurait pu être non-radiale ou avoir des «doigts», une autre alternative serait l'apparition d'une instabilité de type Rayleigh-Taylor due au rayonnement du Ni et du Co, qui aurait produit le mélange nécessaire durant l'explosion. Les détecteurs  $\gamma$  à bord du satellite SMM (Solar Maximum Mission) et de ballons stratosphériques observèrent les raies à 847 et 1238 keV à partir de novembre 1987 déjà. Cette apparition aussi est précoce et confirme qu'un important processus de mélange a eu lieu pendant l'explosion elle-même.

Il est intéressant de constater que la composante des rayons X mous d'énergie inférieure à 10 keV est variable dans le temps. L'origine de cette variabilité n'est pas connue avec certitude, elle a été attribuée soit à des fluctuations de densité dans la matière radioactive éjectée, soit aux contributions du rayonnement synchrotron du pulsar central que l'on suppose visible à travers des trous et irrégularités dans la matière éjectée [12].

Tout ce qui sort directement sous la forme de rayonnement X ou  $\gamma$  ne peut plus contribuer à la luminosité UV, visible ou IR. Ceci est certainement la cause principale de l'inflexion vers le bas de la courbe de lumière bolométrique à partir de mai 88; cette tendance est également bien visible sur la courbe V de la figure 3. Par contre, notons que la contribution lumineuse d'un pulsar central pourrait introduire des déviations vers le haut par rapport à la partie linéaire de la courbe de lumière bolométrique. Comme la puissance émise par un pulsar dépend de  $\Omega^4$ , où  $\Omega$  est la vitesse angulaire de l'étoile à neutrons en rotation, il est clair que nous ne pouvons pas anticiper sa luminosité puisque cette vitesse de rotation nous est inconnue. Aucune indication sûre concernant la présence du pulsar central n'existait encore au moment de l'écriture de ce texte. Après les belles et multiples observations déjà offertes par SN 1987 A, la communauté astronomique est bien consciente du



fait que cette supernova fascinante nous réserve encore de nombreux résultats prometteurs dans l'avenir.

**Remerciements:** L'auteur tient à remercier très chaleureusement M. NÖEL CRAMER pour son aide et ses conseils dans la préparation de ce manuscrit.

#### BIBLIOGRAPHIE

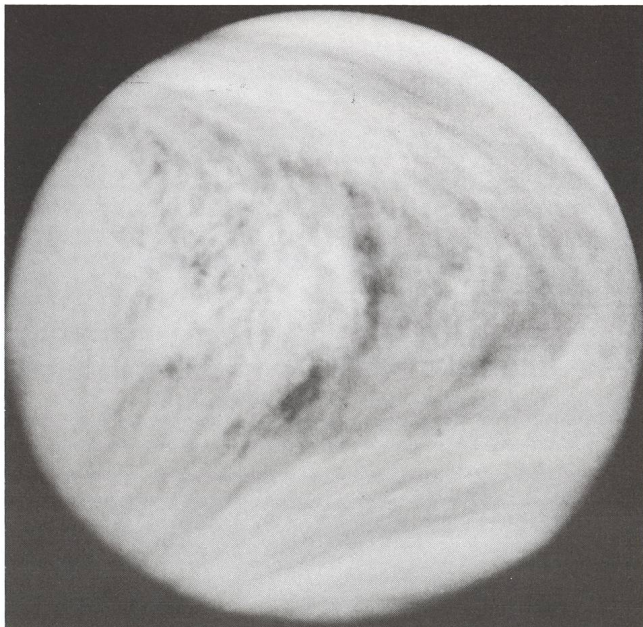
1. CLARK, D.H. STEPHENSON, F.R. 1977, *The historical supernovae*, Pergamon Press, Oxford
2. WOOSLEY, S.E., WEAVER, T.A. 1986, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* **24**, 205
3. WOOSLEY, S.E. 1986, *Nucleosynthesis and stellar evolution*, 16th Advanced Course of the Swiss Society of Astron. and Astrophys., *Ed. B. HAUCK et al., Geneva Observatory, p. 1*
4. CHIOSI, C., MAEDER, A. 1986, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* **24**, 329
5. NOMOTO, K., SHIGEYAMA, T., HASHIMOTO, M. 1988, *Lecture Notes in Physics* **305**, 319
6. WOOSLEY, S.E. 1988, *Lecture Notes in Physics* **305**, 361
7. KOSHIBA, M. 1987, in *SN 1987 A*, ESO Workshop, Ed. I.J. Danziger, ESO Proceedings p. 219
8. BURROWS, A. 1987, in *SN 1987 A*, ESO Workshop, Ed. I.J. Danziger, ESO Proceedings p. 315
9. BURROWS, A. 1988, *Astrophys. J.* **328**, L15
10. PRANTZOS, N., ARNOULD, M., CASSÉ, M. 1988, *Astrophys. J.* **331**, L15
11. SUNYAEV, R. et al., 1987, *Nature* **330**, 227
12. BANDIERA, R., PACINI, F., SALVATI, M. 1988, *Nature* **332**, 418

ANDRÉ MAEDER, Observatoire de Genève,  
51, chemin des Maillettes, CH-1290 Sauverny

Erste amerikanische interplanetare Mission seit 11 Jahre:

## Magellans «Radaraugen» sollen Venus-Geheimnisse enthüllen

MEN J. SCHMIDT



Der Zielplanet Venus liegt dauernd unter einer dichten Wolkenschicht und verhindert den direkten Blick zur Oberfläche. In dieser Ultraviolettaufnahme erkennt man Ströme im Wolkenmeer.  
Bild: JPL/Archiv Schmidt

Am 28. April ist es wieder soweit: Nach elf Jahren Pause starten die USA erstmals wieder eine interplanetare Raumsonde. Das Ziel der Raumsonde Magellan ist unser Nachbarplanet Venus. Magellan soll in eine Umlaufbahn um die Venus eingebremst werden und mit einer grossen Radarantenne die Oberfläche des wolkenverhangenen Planeten kartographieren.

Der Start der Raumsonde stellt eine Premiere im Transportsystem dar. Zum ersten Mal in der Geschichte der Raumfahrt wird eine interplanetare Raumsonde mit der wiederverwendbaren Raumfähre «Space Shuttle» gestartet. Nach dem Erreichen der Erdumlaufbahn wird Magellan mit einer eigenen Raketenstufe auf Kurs zur Venus beschleunigt. Sie wird den Zielplaneten im August 1990 erreichen.

Der Start von Magellan ist auf den 28. April festgesetzt. Die NASA ist bemüht, diesen Termin unter allen Umständen einzuhalten.

Das sogenannte Startfenster für die Magellan-Mission dauert nämlich nur bis zum 23. Mai. Sollte der Shuttle aus irgend einem Grund bis dahin nicht starten können, ist der nächste Starttermin für die Venussonde erst 25 Monate später, im Mai 1991. Die NASA hat deshalb der Shuttle-Mission STS-30/Magellan die höchste Priorität gegeben.

#### Vierte Radarsonde

Die Magellan-Sonde zeichnet sich durch eine grosse 3,7 Meter Parabolantenne aus. Diese wurde vom erfolgreichen US-