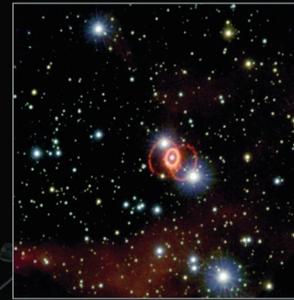


# LES EXOS D'ASTRO DE L'ESA/ESO

Une série d'exercices d'astronomie  
à partir d'images du télescope  
spatial Hubble (NASA/ESA)  
et des télescopes terrestres de l'ESO



Exercice 1

Mesurer la distance qui nous sépare de la Supernova 1987A  
à partir d'observations du télescope spatial Hubble (NASA/ESA)





# Table des matières

## Les Exos d'Astro de l'ESA/ESO — 1

### Préface

- Préface ..... page 2

### Introduction

- Les supernovae ..... page 3
- La supernova 1987A ..... page 4
- La distance du Grand Nuage de Magellan ..... page 4
- L'anneau ..... page 5

### Objectifs

- Objectif 1 ..... page 7
- Objectif 2 ..... page 7
- Objectif 3 ..... page 9
- Objectif 4 ..... page 9
- Objectif 5 ..... page 10
- Objectif 6 ..... page 12

### Lectures conseillées

- Articles scientifiques ..... page 13

### A l'attention du professeur

- A l'attention du professeur ..... page 15



## Préface

Les Exos d'Astro de l'ESA/ESO - 1

# Détermination de la distance qui nous sépare de la supernova 1987A

L'astronomie est une science accessible et visuelle, faisant d'elle un outil pédagogique idéal pour l'enseignement. Au cours des dernières années, le télescope spatial Hubble (NASA/ESA) ainsi que les télescopes terrestres de l'ESO (situés à La Silla et à Paranal au Chili) nous ont présenté des vues nouvelles et toujours plus spectaculaires de l'Univers. Ces instruments n'ont pas simplement fourni des images étonnantes, ils sont aussi devenus d'inestimables outils pour les astronomes. Grâce à leur excellente résolution angulaire (netteté de l'image), ils permettent de voir plus loin que jamais dans l'univers et de répondre à des questions restées jusque-là non élucidées.

Si l'analyse de ces observations est souvent très sophistiquée, il arrive que son principe soit suffisamment élémentaire pour que de jeunes étudiants de niveau secondaire puissent en faire une exploitation simple.

C'est dans cette optique que l'ESA (Agence Spatiale Européenne) qui dispose de 15% du temps d'observation sur Hubble et l'ESO (Observatoire Austral Européen) ont élaboré conjointement cette série d'exercices.



**Figure 1 : Le télescope spatial Hubble (NASA / ESA)**

*Depuis son orbite au-dessus de la Terre, le télescope spatial capture des vues spectaculaires de l'Univers.*



## Introduction

**S**N 1987A est le nom d'une célèbre supernova. La première partie du nom fait référence au type d'évènement — une supernova — puis à l'année de sa découverte. Le "A" rappelle simplement que ce fut la première supernova découverte en 1987.

### Les Supernovae

Une supernova est une explosion qui signale la mort de certains types d'étoiles. Il existe deux types de supernovae, mais nous n'étudierons ici que celles de type II : les étoiles massives qui finissent leur vie par une explosion colossale, comme SN 1987A.

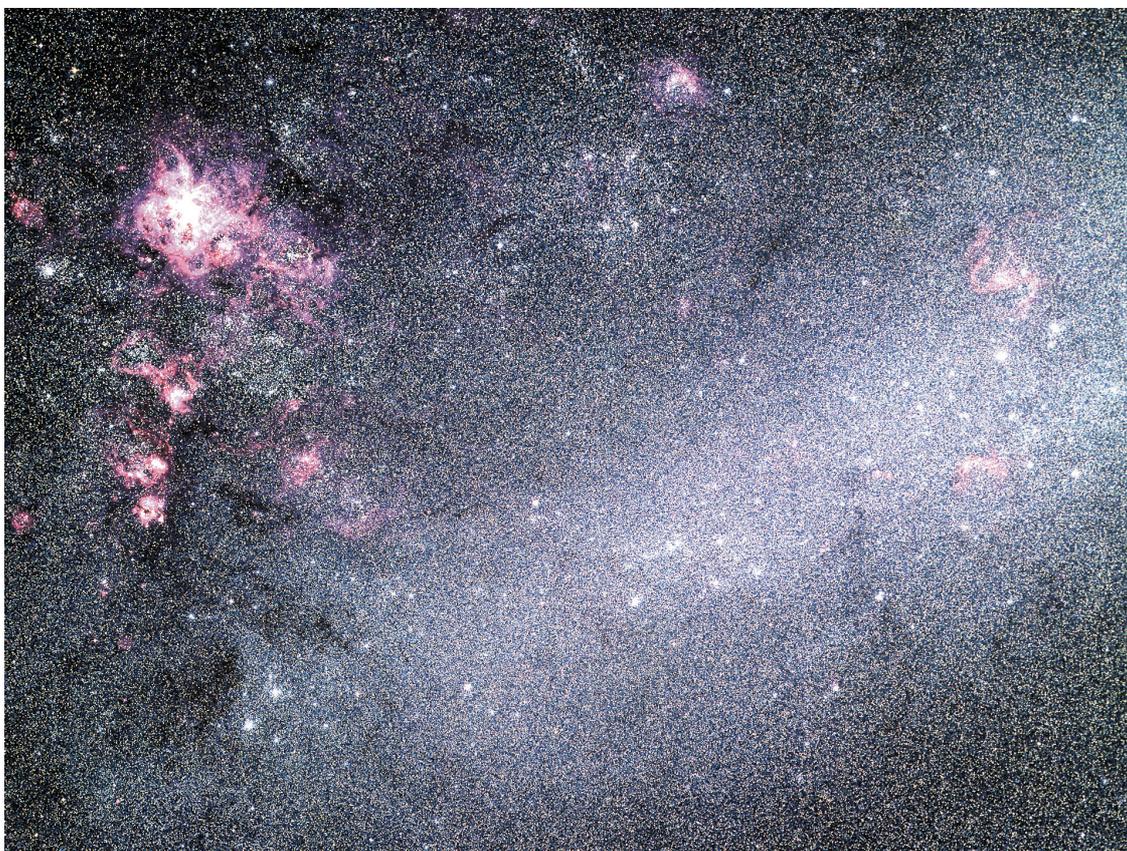
Une étoile massive (typiquement plus de cinq fois la masse du Soleil) peut après quelques millions d'années, mourir en explosant. Durant l'explosion, la plupart du matériau de l'étoile est expulsé violemment dans l'espace ; la vitesse des particules éjectées peut atteindre  $10^7$  m/s (3%

de la vitesse de la lumière). La couche de débris en expansion reste alors visible des milliers d'années, avant de se disperser dans le milieu interstellaire pour ne laisser que des restes de supernova. Au centre de la nébuleuse, l'ancienne étoile est compressée en une étoile à neutrons.

Toutes les supernovae sont très brillantes, d'une luminosité équivalente à des milliards de Soleils. On pense qu'elles sont parmi les objets les plus brillants de l'Univers. Ceci les rend visibles à de grandes distances. Toutefois, il existe très peu de supernovae et le ciel n'est donc pas constamment éclairé par la mort des étoiles. La probabilité de ce type d'évènement est estimée à quelques uns seulement par siècle et par galaxie.

#### Figure 2 : Le Grand Nuage de Magellan

*Le Grand Nuage de Magellan est une petite galaxie irrégulière voisine de la Voie Lactée. Elle est composée d'étoiles, de poussières, de gaz et constitue un berceau d'étoiles. SN 1987A apparut au sein de cette galaxie. Cette photo fut prise par le télescope de Schmidt de l'ESO, à La Silla.*





## Introduction



**Figure 3 : Apparition de SN 1987A**

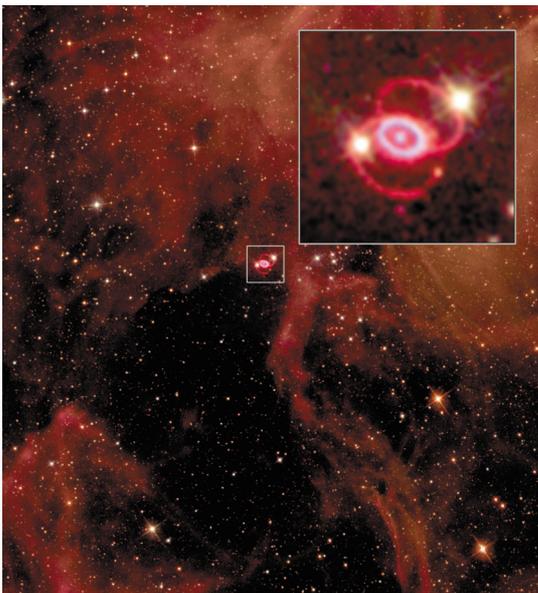
Dans l'image de gauche, on aperçoit la nébuleuse de la Tarentule après l'explosion de la supernova. L'image de droite montre la même nébuleuse dans le Grand Nuage de Magellan avant l'explosion du 23 février 1987.

### La supernova 1987A

Le 23 février 1987, une supernova visible à l'œil nu apparut au sein du Grand Nuage de Magellan. Le Grand Nuage de Magellan est l'une des plus proches galaxies parmi les voisines de la Voie Lactée. Ce fut l'un des événements les plus excitants dans l'histoire de l'astronomie. La dernière supernova visible à l'œil nu remontait en effet à 400 ans.

### La distance du Grand Nuage de Magellan

La mesure des distances dans l'univers est un problème fondamental en astronomie. Une mesure précise de la distance de SN 1987A, située dans le Grand Nuage de Magellan, permet de mesurer aussi la distance de ce dernier. Toutes les étoiles du Grand Nuage sont approximativement à la même distance de nous. Si nous pouvons trouver la distance  $D$  qui nous sépare de SN 1987A, nous aurons *de facto* la distance de toutes les étoiles du Grand Nuage de Magellan. Plusieurs objets présents dans cette galaxie peuvent à leur tour être utilisés pour affiner les mesures de distance d'autres galaxies plus éloignées. Par un effet domino, une mesure plus précise concernant le Grand Nuage de Magellan améliore donc les données pour des galaxies plus distantes.



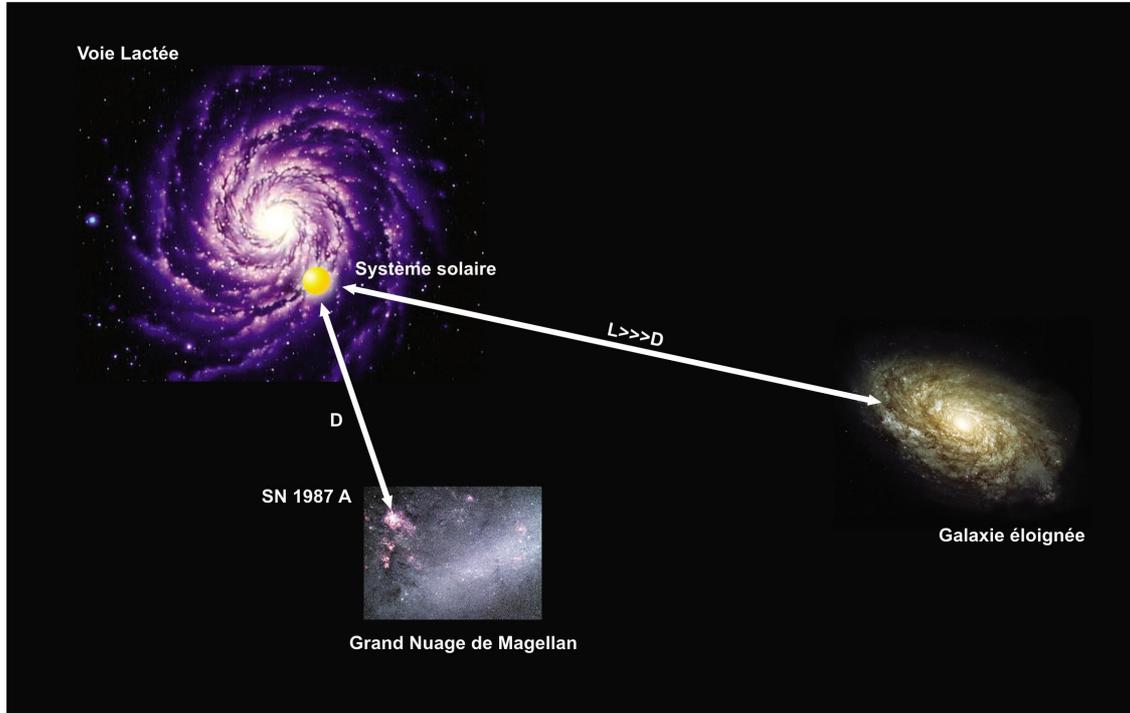
**Figure 4 : La supernova 1987A**

SN 1987A est au centre (cf. agrandissement) de trois anneaux gazeux résiduels. Au cours de cet exercice, le petit anneau central est utilisé pour mesurer la distance qui nous sépare de la supernova, et donc du Grand Nuage de Magellan.

On aperçoit de nombreuses étoiles bleues (étoiles jeunes, âgées de seulement 12 millions d'années), ainsi que des poussières et des gaz (en rouge foncé). Tout ceci rappelle que la région autour de la supernova est un terrain fertile pour la naissance d'étoiles.



## Introduction



**Figure 5 : Mesure de la distance entre galaxies**

Une mesure plus précise de la distance au Grand Nuage de Magellan apporte une meilleure connaissance des éloignements respectifs entre galaxies.

### L'anneau

Les premières images de SN 1987A par le télescope spatial Hubble (grâce à un instrument construit par l'ESA : la FOC ou *Faint Object Camera*) furent prises 1278 jours après l'explosion. Hubble ne fut en effet lancé qu'en 1990 et devait d'abord faire l'objet de tests. SN 1987A mit à rude épreuve la haute résolution d'Hubble. Les images montrent cependant trois nébuleuses circulaires autour de la supernova : un anneau interne et deux anneaux externes. Nous n'utiliserons ici que l'anneau interne. Cet anneau est trop éloigné de la supernova pour être composé du matériau éjecté. Créé plus tôt, il s'agit probablement du résidu de l'étoile mourante dispersé par le vent stellaire au cours des derniers milliers d'années de sa vie. L'origine de sa forme parfaitement circulaire n'est pas encore connue. Une fois formé, l'anneau ayant reçu le rayonnement ultraviolet de SN1987A devint soudainement émissif, c'est-à-dire se mit à briller.

Il est important de comprendre que l'anneau était présent avant que l'étoile n'explose. Nous supposons dans la suite qu'il est parfaitement circulaire, mais incliné par rapport à une ligne Terre-Supernova, de telle sorte que nous voyons en fait une ellipse. Si l'anneau était face à l'observateur, une fois touché par le rayonnement ultraviolet de la supernova, nous l'aurions vu briller soudainement et dans son intégralité. Mais à cause de son inclinaison et de la vitesse finie de la lumière, le bord le plus proche sembla briller en premier. La lumière sembla ensuite se propager le long du cercle, pour atteindre enfin la partie la plus distante (cf. Fig. 6). Notez que tout l'anneau fut en fait illuminé simultanément, mais que depuis la Terre, nous avons d'abord vu la partie la plus proche. Le gaz continua à briller mais son éclat s'affaiblit après le passage du flash lumineux. La lumière totale émise passa donc par un maximum,



## Introduction

en gros quand toute la circonférence se trouvait éclairée. Ce fait peut être utilisé pour calculer la distance de SN1987A.

Les questions qui suivent détaillent les étapes permettant de calculer la distance de la supernova, à partir du diamètre angulaire de l'anneau et de la courbe de lumière en fonction du temps écoulé après l'explosion.

### **Figure 6 : L'anneau s'illumine**

Comme on le voit dans cette animation, la lumière de SN 1987A illumine l'anneau interne. L'éclat maximum est atteint 400 jours après l'explosion. Notez que même si localement, l'anneau fut simultanément éclairé dans sa totalité, nous avons d'abord observé les parties les plus proches (à cause de la vitesse finie de la lumière). En mesurant ce délai, il est possible d'en déduire la distance recherchée. Les images proviennent d'une animation STScI/NASA.





## Objectifs

### Objectif 1

La première étape est de calculer le diamètre angulaire de l'anneau, c'est-à-dire son diamètre apparent vu depuis la Terre exprimé en secondes d'arc. Soit  $\alpha$  cet angle.

Les positions relatives des étoiles 1, 2 et 3 dans la photo de SN 1987A (Fig. 8, p. 8) sont données en distances angulaires (en secondes d'arc) dans le tableau ci-dessous.

? Rapprochez ces valeurs des mesures directes sur la photo pour en déterminer l'échelle (en secondes d'arc/mm).

céleste, perpendiculaire à notre ligne de visée vers la supernova.

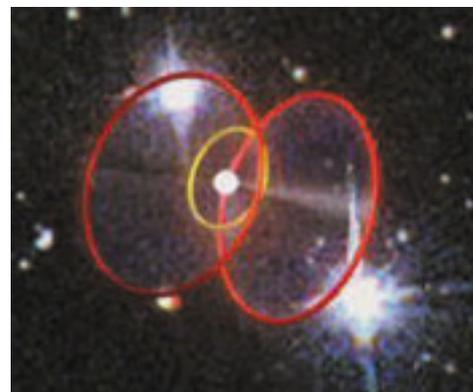
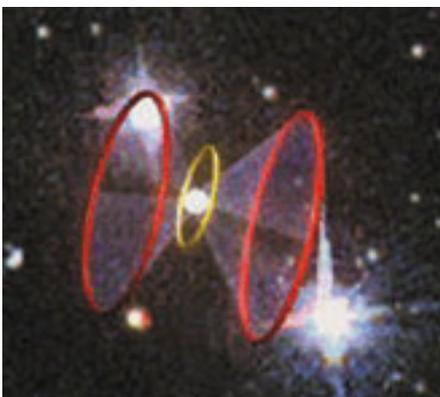
? Vous pouvez mesurer le diamètre angulaire de l'anneau sans connaître son inclinaison. Vous pouvez trouver cette proposition évidente, sinon réfléchissez-y pour vous persuader qu'elle est correcte. Expliquez comment procéder. Observez la Fig. 9 si nécessaire.

? Mesurez le diamètre en mm de l'anneau Fig. 8 et convertissez votre réponse en radians, en utilisant le facteur de conversion calculé lors de l'Objectif 1 et les informations du livret Outils.

### Objectif 2

L'anneau autour de SN 1987A est supposé circulaire. Le fait qu'il apparaisse elliptique est dû à son inclinaison par rapport au plan

	Distance (mm)	Distance (secondes d'arc)	Echelle (secondes d'arc/mm)
Etoile 2 par rapport à Etoile 1:		3,0	
Etoile 3 par rapport à Etoile 1:		1,4	
Etoile 3 par rapport à Etoile 2:		4,3	



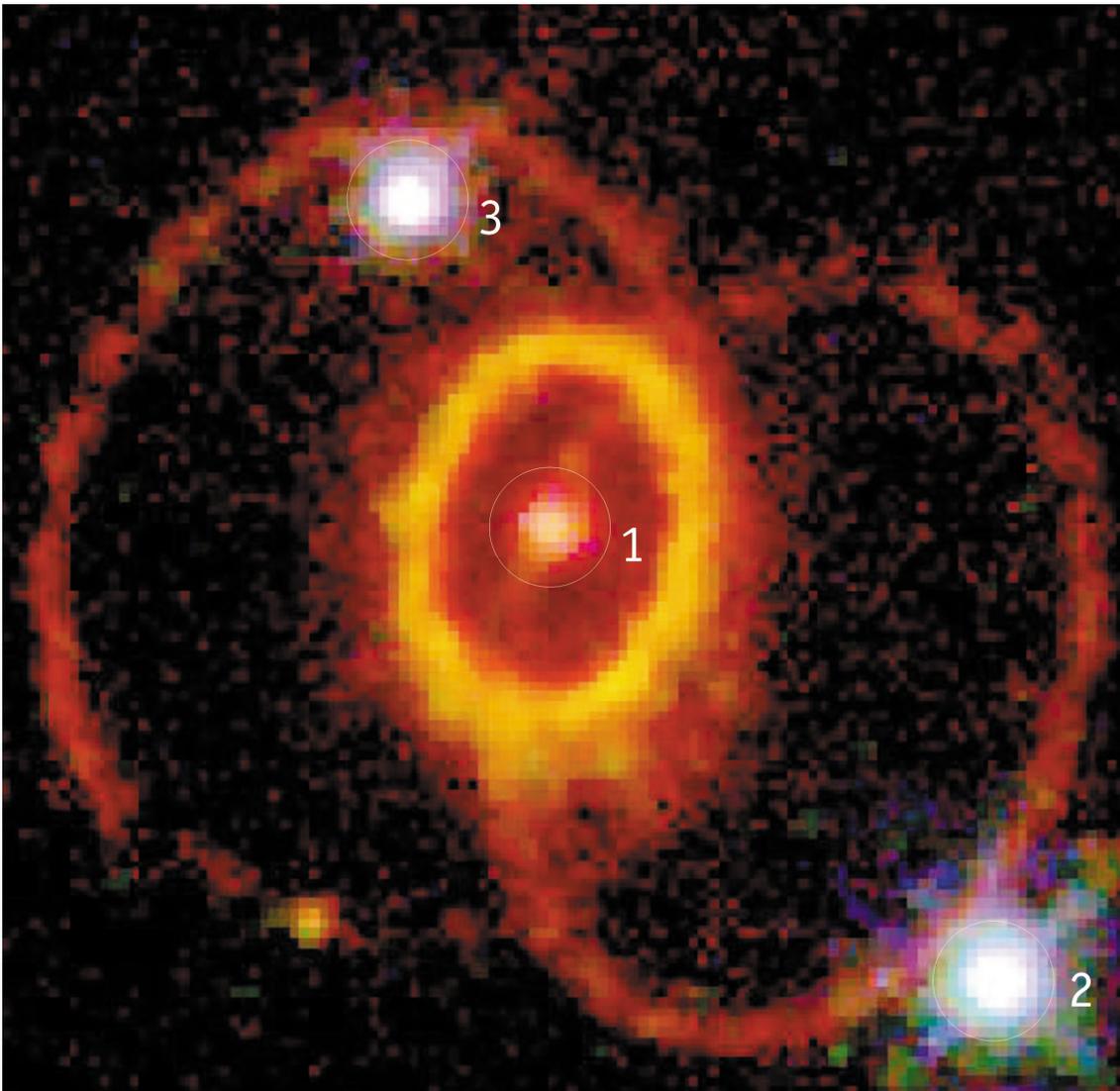
**Figure 7 : Les anneaux**

Si nous pouvions voir SN 1987A d'un tout autre point de vue, nous pourrions observer trois anneaux circulaires ; SN 1987A serait le centre du plus petit et les deux autres anneaux seraient situés dans des plans parallèles (Fig. 7a). Mais du point de vue de Hubble, les trois anneaux semblent être dans le même plan (Fig. 7b). (Crédits STScI/NASA).



## Objectifs

Objectifs



**Figure 8 : Etoiles dans la région de SN 1987A**

Cette image fut prise en février 1994 avec l'Objectif Grand Champ/Planétaire WFPC2. WFPC2 est l'instrument vedette de Hubble puisqu'il a continuellement délivré au grand public des images époustouflantes. La résolution et la qualité de cet instrument en ont fait l'un des plus utilisés au cours des 10 premières années du télescope spatial. Le filtre utilisé laisse passer la lumière rouge émise par l'hydrogène excité (raie  $\alpha$  de la série de Balmer).



## Objectifs

**Figure 9 : Inclinaison de l'anneau**

L'angle d'inclinaison  $i$  mesure l'angle entre le plan de l'anneau et le plan céleste.

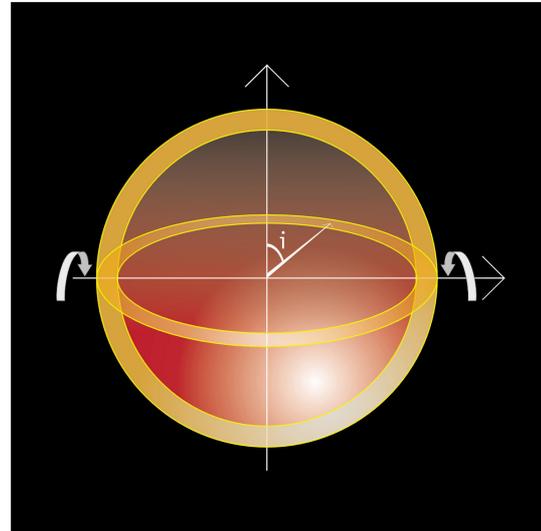
### Objectif 3

Si l'angle d'inclinaison vaut  $i = 0^\circ$  ou  $180^\circ$ , nous voyons un cercle. On voit une ligne quand  $i = 90^\circ$ .

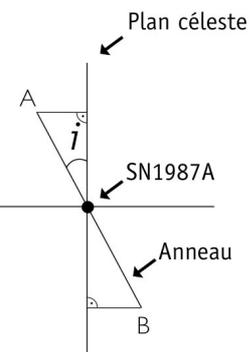
Pour toute valeur entre  $0^\circ$  et  $180^\circ$ , on perçoit une ellipse.

? Comment pouvez-vous déduire  $i$  de la mesure des grand et petit axes de l'ellipse ? Vous pouvez vous appuyer sur les Figs. 9 et 10.

? Mesurez le grand axe et le petit axe de l'ellipse. En déduire l'angle  $i$ .



Observateur



**Figure 10 : Détermination de l'inclinaison  $i$**

Imaginez que nous observions le système de côté, de telle sorte que l'anneau soit incliné d'un angle  $i$  par rapport au « plan céleste » (plan perpendiculaire à la ligne de visée).

L'angle d'inclinaison peut être calculé à partir d'une relation simple entre le grand axe et le petit axe de l'ellipse. Sur le schéma, sont indiqués le point le plus proche A et le plus éloigné B.

### Objectif 4

Bien que nous ayons le diamètre angulaire de l'anneau et son inclinaison, nous sommes toujours à la recherche de son véritable diamètre  $d$ , afin de déterminer la distance qui nous en sépare.

La pièce manquante pour déterminer le diamètre de l'anneau est la vitesse de la lumière.

Quand la supernova explose, elle émet une lumière très intense. Ce flash se propage dans l'espace à la vitesse de la lumière, notée  $c$ . Sur son chemin, le flash rencontre l'anneau après  $t$  secondes et l'illumine. Puisque nous l'avons supposé circulaire avec SN 1987A en son centre, tout l'anneau est éclairé simultanément, pour un observateur situé au centre. Considérez maintenant comment un observateur terrestre percevrait ce phénomène. Nous n'observons pas la même chose à cause de l'inclinaison de l'anneau : la partie inclinée dans





## Objectifs

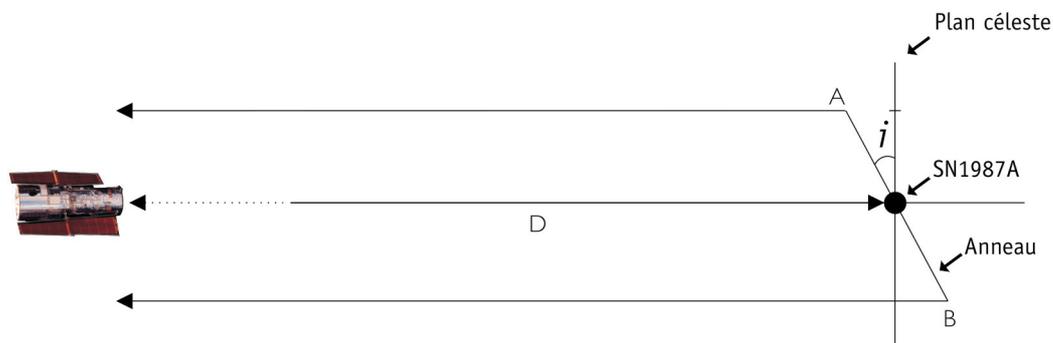
notre direction brille en premier puisque la lumière a moins de distance à parcourir pour nous parvenir. Vu de la Terre, la courbe de lumière atteint son maximum quand l'anneau est illuminé en totalité. La distance entre le point le plus proche et le plus éloigné peut alors être calculée à partir du temps écoulé entre ces deux événements (Fig. 12).

- ? Mesurez le temps  $t$  à partir de la courbe de lumière de SN 1987A.
- ? Si l'inclinaison était de  $90^\circ$ , il aurait été très simple de relier  $t$  au diamètre de l'anneau : comment ?

### Objectif 5

Pour le prochain calcul, nous avons besoin d'une autre approximation (cf. Fig. 13a et 13b). Nous supposons que les droites joignant les points A et B à la Terre sont parallèles. Il s'agit d'une hypothèse raisonnable car le diamètre angulaire  $a$  de l'anneau est très faible comparé à la distance  $D$ . Dans ces conditions, les angles  $i$  et  $j$  sont égaux.

- ? Grâce au diagramme de la Fig. 13, trouvez une relation entre :



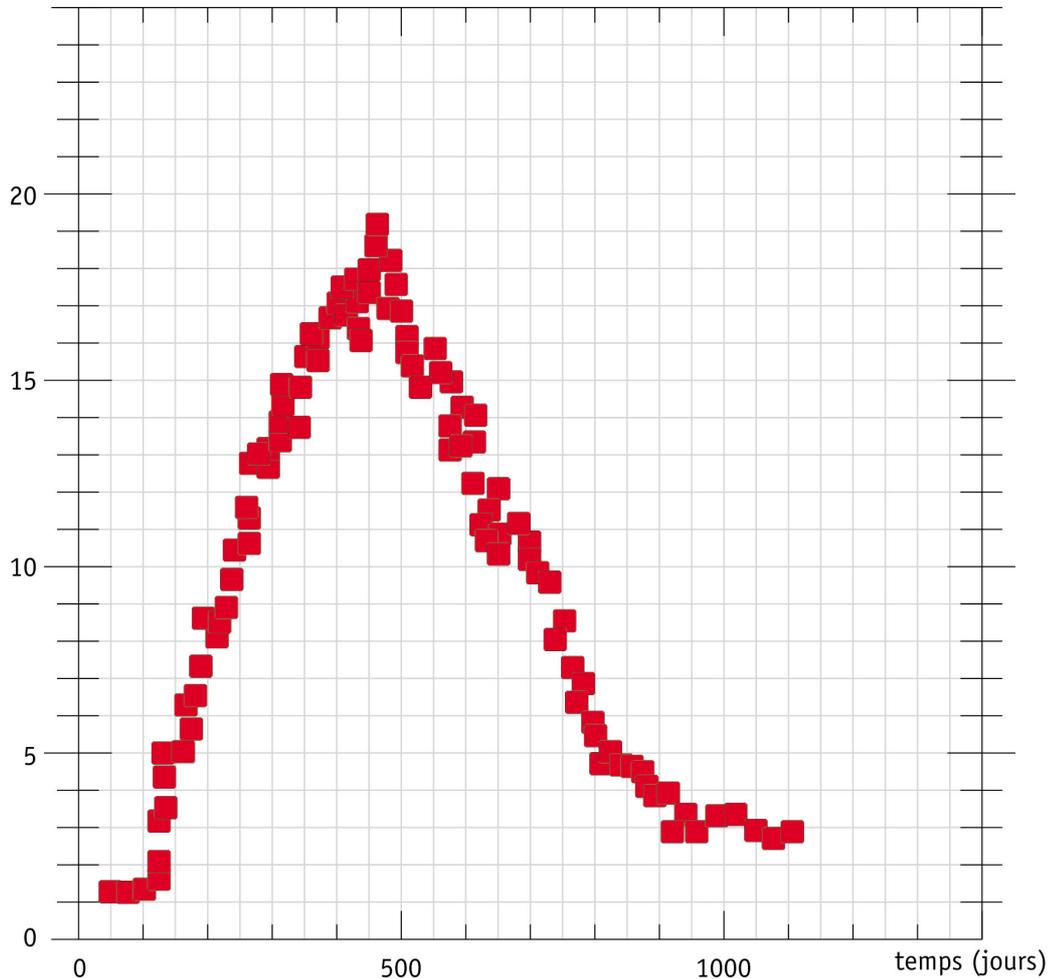
**Figure 11 : Le trajet de la lumière**

La lumière provenant de SN 1987A éclaire la totalité de l'anneau en même temps : le point le plus proche A et le plus éloigné B sont éclairés au même moment. La lumière réémise par B vers une observateur terrestre a toutefois plus de distance à parcourir du fait de l'inclinaison.



## Objectifs

Intensité lumineuse (unités arbitraires)



**Figure 12 : Courbe de lumière de l'anneau**

Nous montrons dans cette figure la lumière totale émise par l'anneau dans les mois après l'explosion de la supernova. La luminosité augmente au fur et à mesure que la lumière des différentes parties nous parvient. Quand l'anneau, vu de la Terre, est complètement illuminé, la courbe atteint son maximum.

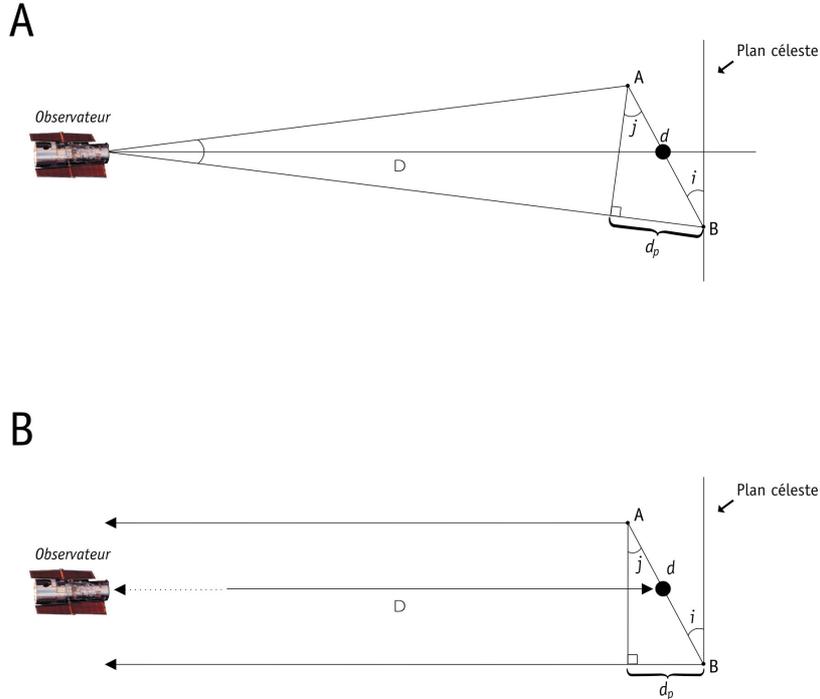
Ces mesures ont été relevées par un autre observatoire spatial, l'IUE (International Ultraviolet Explorer).

1. La différence de distance  $d_p$  entre les trajets parcourus par la lumière provenant de A et B.
  2. Le diamètre angulaire  $a$  de l'anneau (Cf. Objectif 2)
  3. L'angle d'inclinaison  $i$  (cf. Objectif 3).
- ? Trouvez ensuite une relation entre  $d_p$ , la vitesse de la lumière  $c$  et le temps  $t$ .
- ? Combinez ces deux expressions pour en déduire une relation donnant le véritable diamètre de l'anneau  $d$ .
- ? Faites l'application numérique à partir des valeurs calculées ou mesurées antérieurement, afin d'en déduire la valeur du diamètre  $d$  de l'anneau.





## Objectifs



**Figure 13 : Calcul du diamètre de l'anneau**

A l'aide de cette figure et de vos résultats précédents, il est possible de déterminer le véritable diamètre,  $d$ , de l'anneau. Le schéma 13a montre la situation telle qu'elle est, sans approximation. Le Grand Nuage de Magellan étant très éloigné de nous, il est raisonnable de supposer que les droites entre la Terre et les points A et B sont parallèles, comme illustré Fig. 13b.

### Objectif 6

Vous êtes maintenant prêts pour le bouquet final !

- ? Déduire la distance  $D$  de la supernova à partir de  $d$  et de  $a$ . On utilisera l'approximation des petits angles vue dans les Outils mathématiques. Exprimez  $D$  en kiloparsecs, grâce au facteur de conversion (toujours dans les Outils mathématiques).

Quelques informations supplémentaires pour vérifier vos réponses...

La distance à la supernova a été calculée par Panagia et al. (1991) grâce aux données originales. Leurs résultats sont  $D = 51,2 \pm 3,1$  kpc et  $i = 42,8^\circ \pm 2,6^\circ$ .

Si vos réponses n'excèdent pas 20% d'erreur, vous pouvez être content de votre travail : vos mesures et vos calculs ont été réalisés avec précision.

- ? Pouvez-vous tenter d'expliquer pour quelles raisons votre résultat diffère du résultat "scientifique"?

Dans cette étude, nous n'avons pas pris en compte les deux anneaux externes.

- ? Pouvez-vous émettre une hypothèse quant à leur origine?



## Lectures conseillées

### Articles scientifiques

- Fransson, C., Cassatella, A., Gilmozzi, R. Kirshner, R. P., Panagia, N., Sonneborn, G., and Wamsteker, W., 1989, Ap.J., 336, 429-441: *Narrow ultraviolet emission lines from SN 1987A Evidence for CNO processing in the progenitor.*
- Gould, A., 1994, Ap.J., 425, 51-56: *The ring around supernova 1987A revisited. 1: Ellipticity of the ring.*
- Panagia, N., Gilmozzi, R., Macchetto, F., Adorf, H.M., Kirshner, R.P. 1991, Ap.J., 380, L23-L26: *Properties of the SN 1987A circumstellar ring and the distance to the Large Magellanic Cloud.*
- Jakobsen, P., Albrecht, R., Barbieri, C., Blades, J. C., Boksenberg, A., Crane, P., Deharveng, J. M., Disney, M. J., Kamperman, T. M., King, I. R., Macchetto, F., Mackay, C. D., Paresce, F., Weigelt, G., Baxter, D., Greenfield, P., Jedrzejewski, R., Nota, A., Sparks, W. B., Kirshner, R. P., Panagia, N., 1991, ApJ, 369, L63-L66: *First results from the Faint Object Camera – SN 1987A.*

Consultez aussi les liens du site :  
<http://www.astroex.org/>



## Colophon



### Les Exos d'Astro de l'ESA/ESO

#### Exercice 1 : Mesurer la distance qui nous sépare de la supernova 1987A

1<sup>ère</sup> édition (traduction de la 2<sup>ième</sup> édition anglaise 23.05.2002)

#### Produit par :

the Hubble European Space Agency Information Centre and the European Southern Observatory :  
<http://www.astroex.org>  
(Des versions pdf des exercices et leurs références sont téléchargeables à cette adresse)

#### Adresse postale :

European Southern Observatory  
Karl-Schwarzschild-Str. 2  
D-85748 Garching bei München  
Allemagne

Téléphone : (49) 89 3200 63 06 (ou 3200 60)

Fax : (49) 89 3200 64 80 (ou 320 32 62)

E-mail : [info@astroex.org](mailto:info@astroex.org)

#### Idée et texte original :

Emma Fosbury et Robert A. E. Fosbury

#### Texte :

Anne Vaernholt Olesen, Lars Lindberg Christensen, Jean-Marc Brauer et Arntraud Bacher

#### Graphiques et mise en page :

Martin Kornmesser

#### Traduction :

Thibaut Plisson

#### Lecture des épreuves :

Nausicaa Delmotte

#### Coordination :

Lars Lindberg Christensen et Richard West

Merci à Karl-Heinz Lotze, Allemagne, pour son inspiration ; à Nino Panagia, STScI/ESA, pour les données et à Nina Troelsgaard Jensen, Nathalie Fourniol, Frederiksberg Seminarium, pour ses commentaires. Merci également aux personnes qui ont amélioré la deuxième version de cet exercice : Lyle Lichty et Thibaut Plisson, USA; Nausicaa Delmotte, ESO.



## A l'attention du professeur

### Résumé

La géométrie de l'anneau le plus proche de la supernova SN 1987A est présentée. Nous cherchons ensuite l'échelle de la photo prise par Hubble afin d'en déduire le diamètre angulaire de l'anneau ainsi que son inclinaison par rapport au plan céleste.

Les observations terrestres montrent comment la lumière de la supernova atteint les différentes régions de l'anneau. On détermine les dimensions physiques de l'anneau à partir de la courbe de lumière et de la vitesse de la lumière. Une fois les diamètres angulaire et physique connus, nous en déduisons la distance qui nous sépare de la supernova.

Le corrigé contient les solutions, commentaires et discussions de toutes les approximations. Il permet d'exploiter au maximum l'exercice et d'assister le professeur dans sa préparation.

### Objectif 1

Les mesures à la règle ont été relevées sur la version 149 mm × 152 mm de la photo (qui peut varier avec l'imprimante).

	Distance (mm)	Distance (secondes d'arc)	Echelle (secondes d'arc/mm)	Echelle moyenne (secondes d'arc/mm)
Etoile 2 / Etoile 1:	89 mm	3,0	0,03371	0,03111
Etoile 3 / Etoile 1:	50 mm	1,4	0,02800	
Etoile 3 / Etoile 2:	136 mm	4,3	0,03162	

### Objectif 2

On trouve le diamètre angulaire de l'anneau en mesurant l'axe le plus grand de l'ellipse. La projection d'un cercle laisse toujours apparaître son diamètre quel que soit l'angle de projection.

On mesure un diamètre apparent de 51 mm.

Conversion en radians :  $a = 51 \text{ mm} \times 0,03111 \text{ arcsec/mm} \times 4,848 \cdot 10^{-6} \text{ rad/arcsec} = 7,6917 \times 10^{-6} \text{ rad}$

### Objectif 3

Certains élèves ont des difficultés à percevoir la troisième dimension en regardant un diagramme 2D : ils ont du mal à décoder la perspective (par exemple d'une projection isométrique). Soyez attentif à ce fait et commentez le diagramme si cela s'avère nécessaire. L'approximation des rayons parallèles quand la source est loin de la Terre est en général bien connue des élèves ; elle est souvent utilisée pour les rayons solaires.

Toute ellipse peut être regardée comme la projection d'un cercle avec un certain angle d'inclinaison  $i$  par rapport au plan céleste (plan perpendiculaire à la ligne de visée). Le grand axe est égal au diamètre du cercle et le petit axe vaut  $\cos(i)$  fois le grand axe.

Il s'ensuit que :

$\cos i = \text{petit axe} / \text{grand axe} = 37 \text{ mm} / 51 \text{ mm}$



## A l'attention du professeur

$$i = \cos^{-1}(37/51) = 0,7591 \text{ rad} = 43,49^\circ$$

### Objectif 4

On peut mesurer sur le graphe l'intervalle de temps entre le moment où l'anneau commence à être éclairé et celui où son éclat passe par un maximum. On lit **t = 399 jours**. Le fait que cet intervalle soit proche d'un an est une pure coïncidence.

Si l'inclinaison était de  $90^\circ$ , l'anneau apparaîtrait sous la forme d'une ligne. La différence de temps t serait alors simplement le diamètre de l'anneau divisé par la vitesse de la lumière.

### Objectif 5

$$\sin i = d_p/d \Rightarrow d = d_p/(\sin i)$$

$$d_p = c \times t$$

En combinant :

$$d = d_p/(\sin i) = (c \times t)/(\sin i) = (2,997 \times 10^8 \times 399 \times 24 \times 3600)/(\sin(43,49^\circ)) = 1,5012 \times 10^{16} \text{ m}$$

### Objectif 6

$$D = d/a = (1,5012 \times 10^{16})/(7,6917 \times 10^{-6}) = 1,9517 \times 10^{21} \text{ m} = 63,2 \text{ kpc}$$

La distance calculée par Panagia et al. avec les données originales et des méthodes de calcul plus sophistiquées est  $D = 51,2 \pm 3,1 \text{ kpc}$ . (Nous obtenons une valeur dans la marge d'erreur proposée).

### Les incertitudes

Cette question est un bon tremplin pour introduire quelques calculs d'incertitudes. On peut demander aux élèves de refaire les calculs avec les valeurs minimales et maximales trouvées, puis de donner les variations :

Le diamètre angulaire a est trop grand  $\Rightarrow$  D est trop petit (plus un objet est proche, plus il semble gros)

Le diamètre apparent est trop grand  $\Rightarrow$  D est trop petit

Le facteur de conversion est trop grand  $\Rightarrow$  D est trop petit

t est trop petit  $\Rightarrow$  D est trop petit

i est trop grand  $\Rightarrow$  D est trop petit-

### L'origine des anneaux externes

Il s'agit d'un bon exemple de question en apparence simple mais sans réponse claire. Ceci arrive très souvent dans une science aussi spéculative que l'astronomie.

La communauté scientifique n'est pas complètement d'accord sur le problème de leur origine, mais on pense que ces anneaux furent expulsés de l'étoile centrale plus de 20 000 ans avant son explosion en supernova. Le pourquoi de leur forme parfaite est un mystère complet. Peut-être les restes d'une géante rouge ? (On pense qu'elles éjectent leurs couches externes uniformément dans toutes les directions).



[www.astroex.org](http://www.astroex.org)

