

L'Univers dans ma poche

# L'univers des hautes énergies



Mimoza Hafizi  
Université de Tirana



Dans la constellation de Cassiopée, les cinq étoiles les plus brillantes forment un « W ». Ces étoiles sont jusqu'à mille fois plus puissantes que notre Soleil, mais elles n'émettent pas dans le domaine des hautes énergies.

Les instruments utilisés pour l'astrophysique des hautes énergies sont capables de détecter les rayons UV, X et gamma émis par certains astres. Les photomètres mesurent la quantité de lumière provenant de ces objets et nous fournissent une mesure précise de l'énergie totale qu'ils émettent.

De nombreux objets émettant à haute énergie ne sont pas détectables en lumière visible.

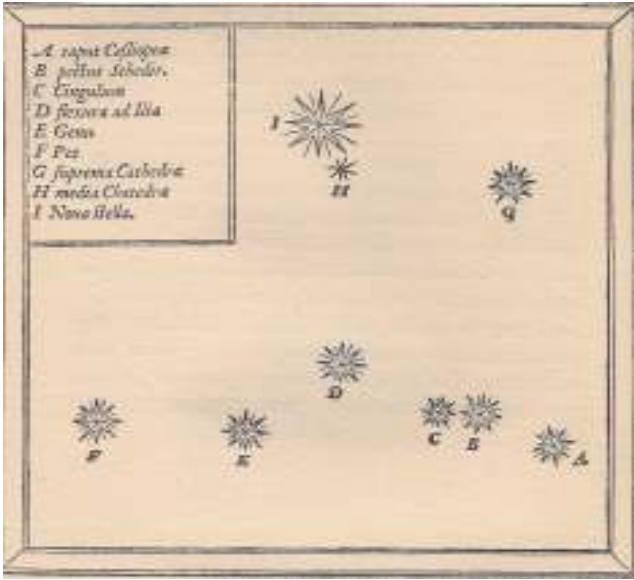
Même à l'œil nu, on peut se rendre compte que certains objets célestes paraissent plus brillants que d'autres. Est-ce parce qu'ils sont plus proches ou parce qu'ils libèrent plus d'énergie?

Les astronomes savent mesurer les distances de nombreux corps célestes et en déduire l'énergie qu'ils émettent en lumière visible.

A l'aide d'instruments modernes, ils peuvent aussi mesurer l'énergie invisible à l'œil et émise à haute énergie par les rayons UV, X et gamma\*, ainsi que par les neutrinos, les rayons cosmiques et les ondes gravitationnelles.

Certains de ces objets, comme les supernovae, les étoiles à neutrons, les trous noirs ou les noyaux actifs de galaxies émettent énormément d'énergie, autant que des milliards de Soleils.

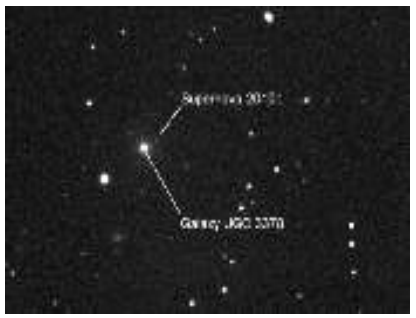
\*voir TUIMP 2



A gauche : sur la carte de la constellation de Cassiopée, l'astronome Tycho Brahe indiqua par un *I* l'étoile « née » le 11 novembre 1572, et baptisée plus tard « supernova de Tycho ». *F, E, D, C, B, A* et *G* sont des étoiles « immortelles » qu'on peut distinguer sur la photo de Cassiopée p. 2, mais l'étoile *I* n'est plus visible.

Quand elle est apparue, la supernova de Tycho était aussi brillante que Vénus, bien que l'explosion se soit produite à environ 9 années-lumière. Elle s'est estompée jour après jour et après environ deux ans, elle n'était plus visible à l'œil nu.

A droite: La supernova 2010ld, découverte par une petite fille de dix ans, Kathryn Gray. L'explosion s'est produite à 240 millions d'années-lumière.

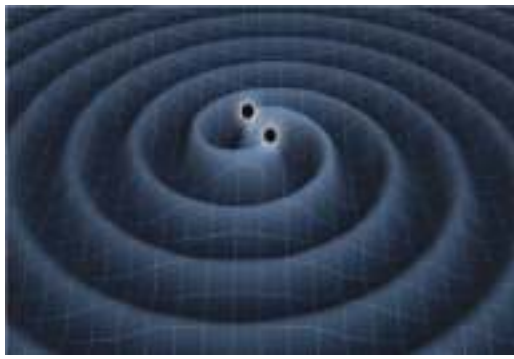


# Les supernovae

Quelle serait ta surprise si, en fixant le ciel, tu voyais soudain une nouvelle étoile briller là où il n'y avait rien auparavant ! Peut-être dirais-tu qu'une nouvelle étoile est née ! Une nova (en latin **nova** signifie **nouvelle**). Ou une supernova, si elle est très brillante ! Le premier cas de ce genre a été celui de l'« étoile invitée » observée par les astronomes chinois en 1054\*.

En réalité cette lumière ne signale pas la naissance d'une nouvelle étoile : elle est due à l'explosion d'une étoile déjà existante. L'explosion est tellement puissante qu'en quelques minutes, elle libère autant d'énergie que le Soleil au cours des 10 milliards d'années de sa vie ! Ensuite la lumière diminue et l'étoile redevient invisible. Il reste une étoile à neutrons ou un trou noir. Les télescopes montrent la matière qui s'en éloigne.

\*voir TUIMP 10 5



A gauche : un diagramme représentant la collision entre deux trous noirs. Les ondulations qui se propagent comme des vagues dans une piscine représentent des ondes gravitationnelles.

La première onde gravitationnelle détectée par l'homme le 14 Septembre 2015 nous a révélé qu'une collision de ce genre s'est produite il y a 1,3 milliards d'années entre deux trous noirs de 36 et 29 masses solaires. La puissance dégagée lors d'une telle collision atteint un niveau supérieur à celui de la lumière émise par toutes les étoiles de l'Univers!

A droite : Une photo du site LIGO de Hanford, l'un des observatoires de détection des ondes gravitationnelles. La forme d'onde observée correspond aux prévisions de la relativité générale d'Albert Einstein.

## Les trous noirs

Lorsqu'une étoile de masse supérieure à 30 fois la masse du Soleil explose en supernova, un trou noir de plusieurs masses solaires se forme en son centre, dans une région de quelques kilomètres.

Pourquoi ce nom étrange ? Parce qu'un trou noir possède une gravité telle que rien ne peut s'en échapper. Ni la lumière, ni les particules !

Comment alors pouvons-nous observer les trous noirs ? Par leur influence sur leur environnement. Leur énergie gravitationnelle est énorme, car leur masse est concentrée dans une toute petite région. Cette énergie peut être libérée sous forme d'ondes gravitationnelles.

Les ondes gravitationnelles ont été observées pour la première fois, en Septembre 2015. Elles étaient produites par la collision de deux trous noirs.



# Les neutrinos

Les neutrinos sont des particules élémentaires sans charge et d'une masse infime, encore inconnue. Ils interagissent très faiblement avec la matière, et sont donc difficiles à détecter. De gigantesques expériences ont été montées pour cela.

Les neutrinos sont créés par des réactions nucléaires, comme celles qui ont lieu au cœur des étoiles ou dans des expériences nucléaires. Dans les explosions de supernova, plus de 99% de l'énergie peut être libérée sous forme de neutrinos.

On pense que les neutrinos sont si nombreux que malgré leur faible masse ils peuvent influencer sur l'histoire de l'Univers.

A droite : l'Observatoire de neutrinos IceCube (cube de glace). Des milliers de capteurs sont répartis sur un kilomètre cube sous la glace antarctique.





## Les étoiles à neutrons

Lorsqu'une étoile de masse entre 8 et 30 fois celle du Soleil explose en supernova une étoile à neutrons se forme. Elle est si dense qu'une cuillerée à thé pèserait un milliard de tonnes !

Les étoiles à neutrons sont composées de neutrons et tournent jusqu'à plusieurs centaines de fois par seconde, accélérant les particules de leur atmosphère à une vitesse proche de celle de la lumière et générant un étroit faisceau lumineux.

Dans certains cas, ce faisceau rencontre la Terre, rendant ces étoiles détectables en tant que pulsars \*. Le pulsar le plus rapide, PSR J1748-2446ad, tourne 716 fois par seconde !

Lors de l'explosion de la supernova, un gigantesque flux de neutrinos quitte l'étoile à une vitesse proche de celle de la lumière.

\* voir TUIMP 10 9

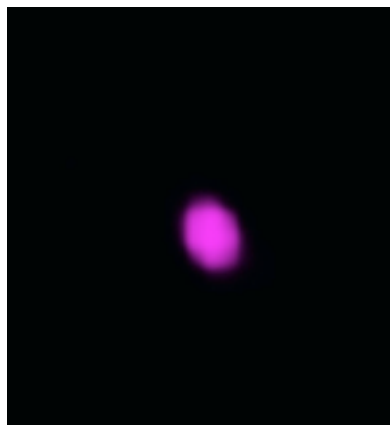


A gauche : le télescope spatial à rayons gamma Fermi, qui détecte les rayons gamma. C'est la forme de rayonnement qui

émet les photons de plus haute énergie, un million de fois plus haute que les photons de la lumière visible.

Le 17 août 2017, le télescope Fermi détecta une courte rafale de rayons gamma juste 1,7 seconde après qu'un signal d'onde gravitationnelle ait atteint la Terre. Ces deux signaux proviennent du même événement, la coalescence de deux étoiles à neutrons, situées à une distance de 130 millions d'années-lumière. Plus tard, cet événement fut observé en rayons X, en lumière ultraviolette et dans d'autres bandes du spectre électromagnétique.

À droite : le même événement vu en rayons X par l'observatoire spatial Chandra, 9 jours après l'événement.



# Les sursauts gamma

Les sursauts gamma sont les événements électromagnétiques les plus puissants qu'on connaisse dans l'Univers. Leur énergie, libérée surtout sous forme de photons gamma\*, peut dépasser mille fois celle d'une supernova. Ils furent découverts il y a cinquante ans et leur physique n'est pas encore bien comprise.

Il existe des sursauts gamma de courte durée (quelques millisecondes à quelques secondes) et de longue durée (quelques secondes à quelques heures). Les sursauts longs sont liés à l'explosion d'une supernova. Les courts viendraient de la fusion de deux étoiles à neutrons ou d'une étoile à neutrons et d'un trou noir.

On découvre environ un sursaut gamma par jour.

\*voir TUIMP 2 11



Une vision d'artiste de l'impact des rayons cosmiques sur l'atmosphère terrestre. Lors de l'interaction avec les molécules atmosphériques, une « pluie » de particules élémentaires est produite. Certaines de ces particules atteignent quelques-uns des milliers de détecteurs déployés par les scientifiques dans des réseaux couvrant plusieurs milliers de kilomètres carrés.

Après un siècle de nombreuses expériences, les données scientifiques obtenues jusqu'à présent permettent de conclure qu'une fraction importante des rayons cosmiques proviennent de l'extérieur de notre galaxie, d'explosions de supernovae ou de noyaux actifs de galaxies\*.

\* voir TUIMP 6

# Les rayons cosmiques

Il n'y a pas que les photons, les neutrinos et les ondes gravitationnelles qui nous parviennent de l'espace. L'univers de haute énergie nous envoie également des particules chargées, principalement des protons, mais aussi des électrons et des noyaux d'atomes : ce sont les rayons cosmiques. Des milliards de milliards de particules cosmiques criblent la Terre chaque seconde.

Découverts au début du XX<sup>ème</sup> siècle, les rayons cosmiques sont encore d'origine incertaine.

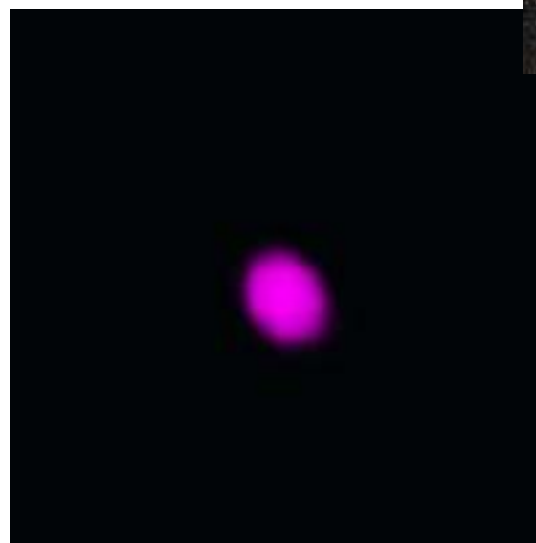
Ils peuvent transporter des énergies énormes et voyager presque à la vitesse de la lumière. Dans les cas extrêmes, leur énergie cinétique peut être des milliards de milliards de fois plus grande que celle de la masse au repos.



**Jeu**



**Laquelle  
de ces images  
ne concerne pas  
les phénomènes de  
hautes énergies?**



**Solutions au verso**



Une image  
représentant la  
collision entre  
deux trous noirs.

Les cinq étoiles les plus  
brillantes de la constellation  
de Cassiopée émettent  
mille fois plus d'énergie  
que le Soleil .  
Mais il ne s'agit pas de  
« haute énergie ».

GW170817  
vu par le  
télescope  
spatial  
Chandra en  
rayons X.

La supernova  
2010ld



Galaxy UGC 3378



Impact de rayons  
cosmiques sur  
l'atmosphère  
terrestre.



## L'Univers dans ma poche N° 9

Ce mini-livre a été écrit en 2018 par Mimoza Hafizi de l'Université de Tirana (Albanie) et révisé par Silvano Bonnazzola de l'Observatoire de Paris.

Image de couverture : représentation d'artiste de deux étoiles à neutrons en coalescence [Credit: NSF/LIGO/Sonoma State University/A. Simonnet]



Pour en savoir plus sur cette collection et sur les thèmes présentés dans ce mini-livre tu peux visiter

<http://www.tuimp.org>

Trad. : Grażyna Stasińska  
TUIMP Creative Commons

