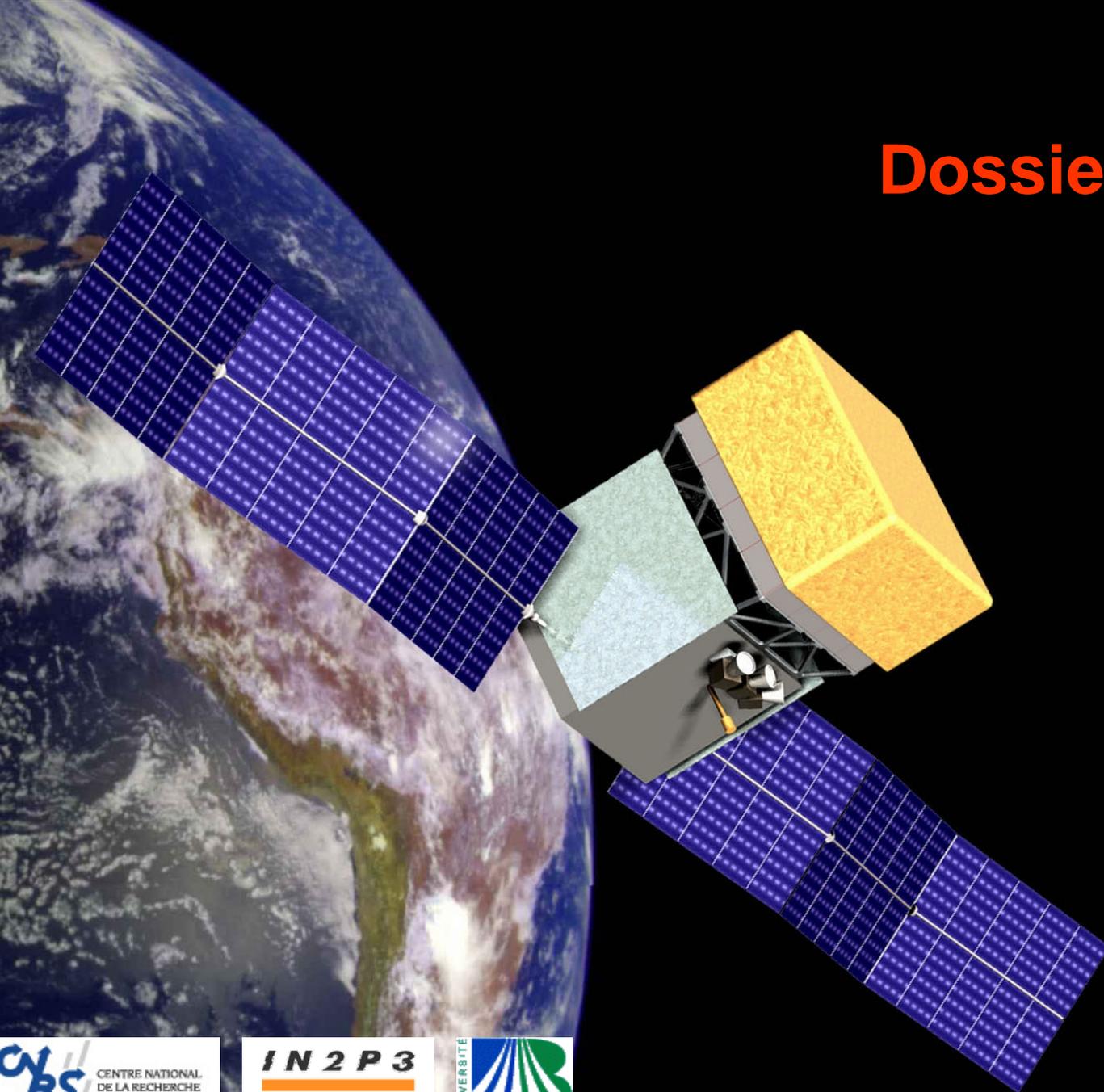


Dossier thématique GLAST



Dossier thématique

Ce dossier thématique est destiné à un large public.

Il a pour but de présenter le domaine d'étude des chercheurs du groupe astroparticules du Centre d'Études Nucléaires de Bordeaux-Gradignan (CENBG), l'expérience sur laquelle ils travaillent ainsi que les astres qu'ils étudient.

Ce document ne prétend pas être une référence mais est là pour éveiller la curiosité du plus grand nombre.

Il a été réalisé par le groupe astroparticules du CENBG.

Denis Dumora, Maître de Conférences Université Bordeaux 1

Marianne Lemoine Goumard, Chargée de Recherche CNRS

Marie Hélène Grondin, Doctorante

Lucas Guillemot, Doctorant

Vincent Lonjou, Post-Doctorant

Benoît Lott, Directeur de Recherche CNRS

Damien Parent, Doctorant

Thierry Reposeur, Chargé de Recherche CNRS

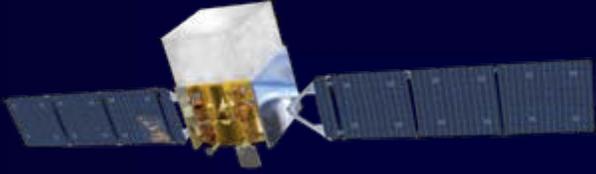
David Smith, Directeur de Recherche CNRS



Vous pouvez nous retrouver et prendre des nouvelles de GLAST aux adresses

- <http://www.cenbg.in2p3.fr> rubrique Thématiques de Recherche/Astroparticules
- <http://glast.in2p3.fr>

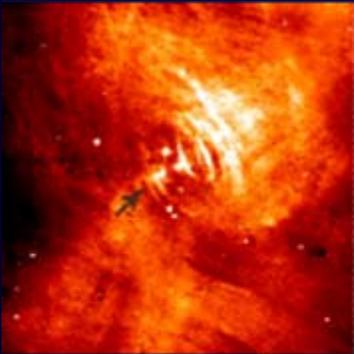
L'observatoire



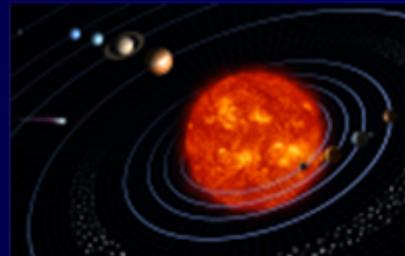
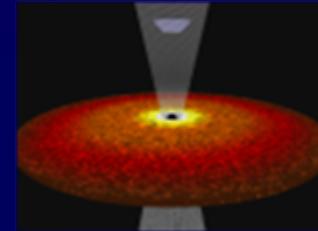
Les acteurs



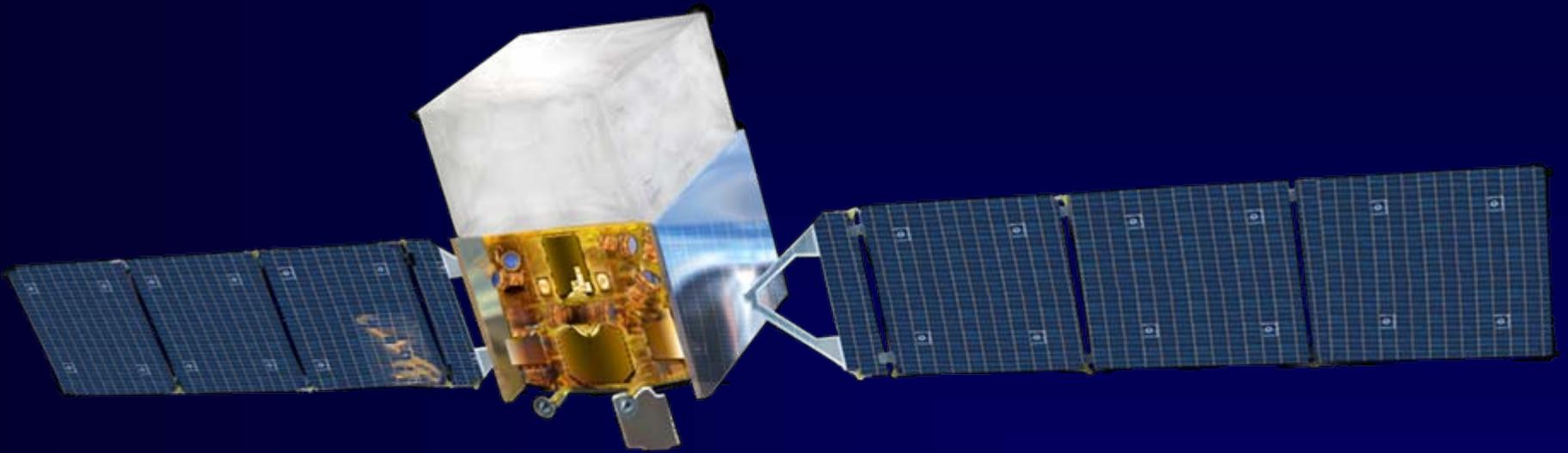
Les enjeux scientifiques



Pour en savoir plus...



GLAST, décollage Mai 2008...

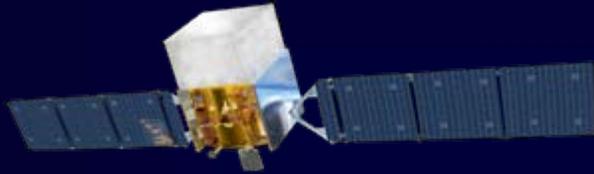


Retour au Menu 

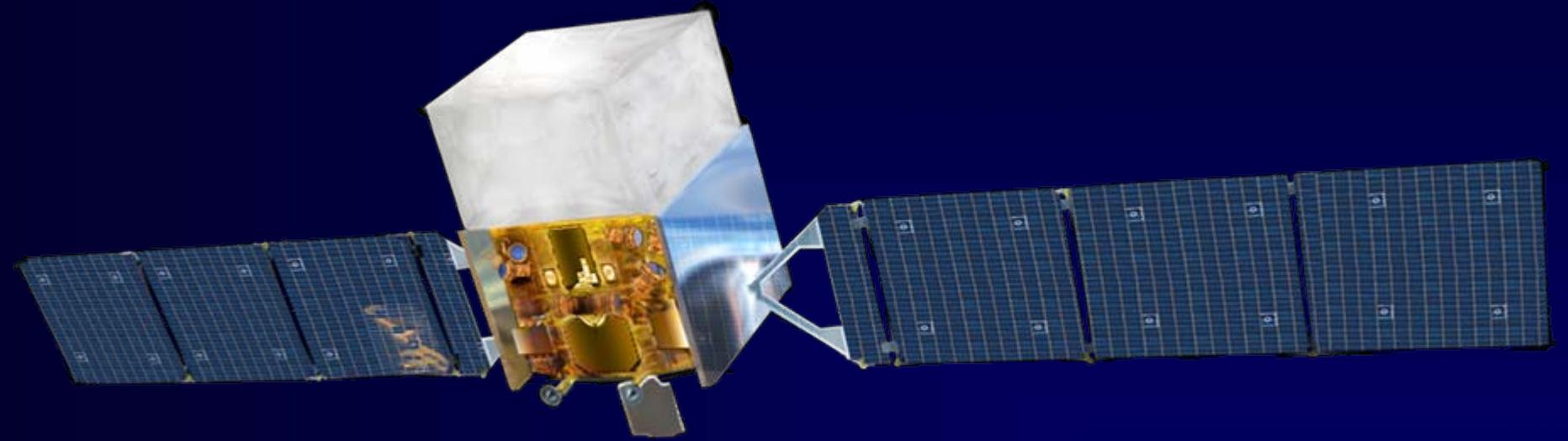
Début

FIN

L'observatoire



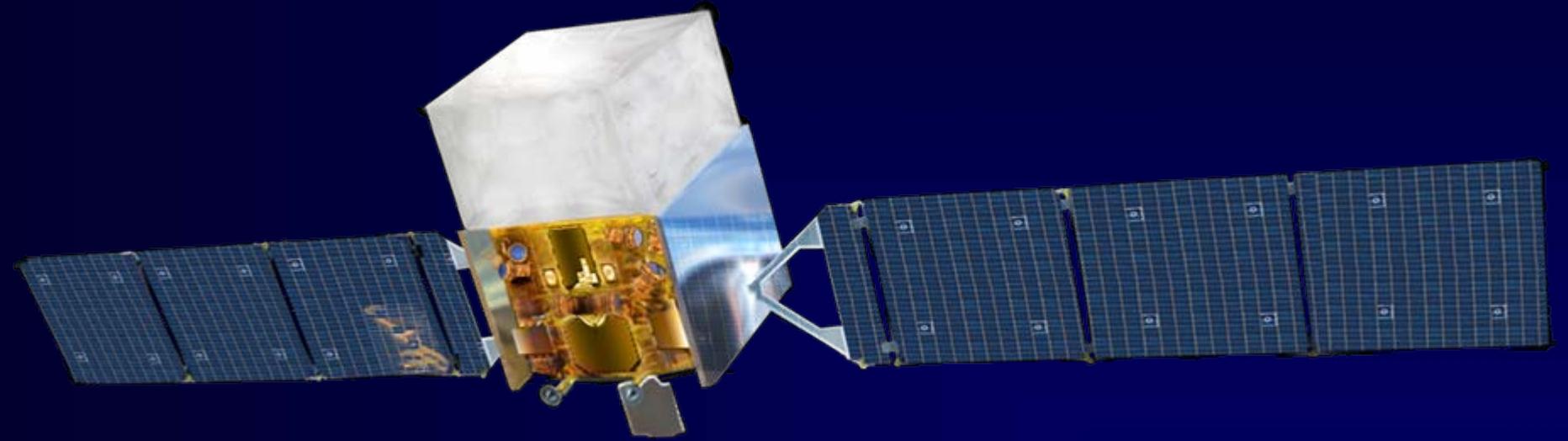
- Les instruments de GLAST
- Les paramètres de la mission (*fusée, orbite, communications...*)



[Retour au Menu](#) 

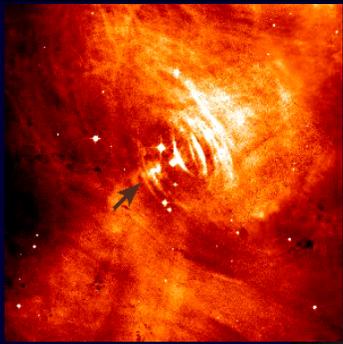


- La collaboration internationale de GLAST
- Les équipes de l'IN2P3



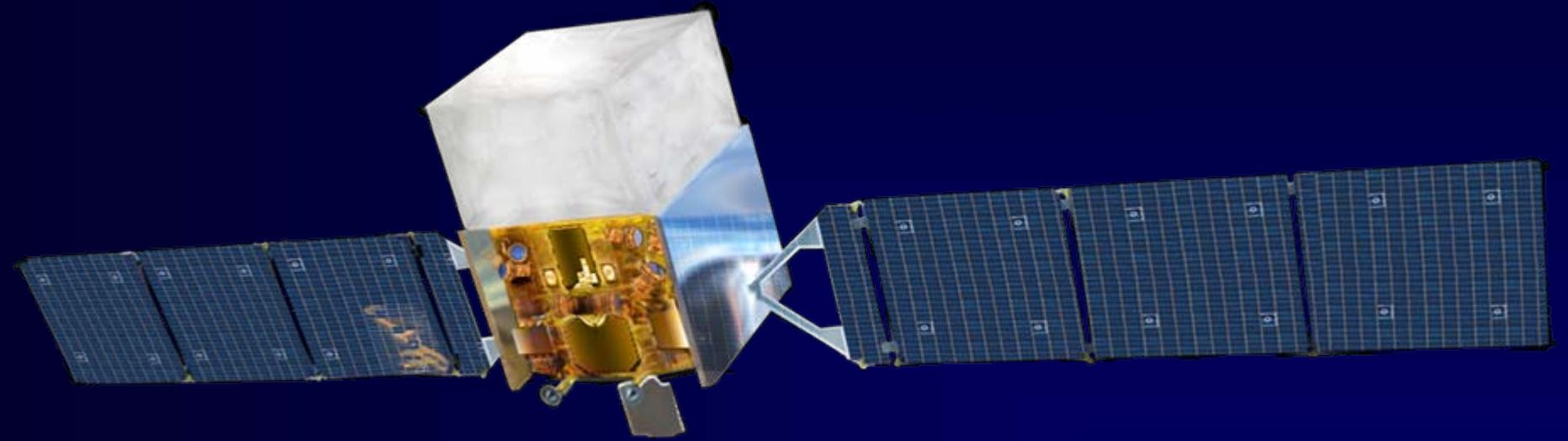
[Retour au Menu](#) 

Les enjeux scientifiques



- Introduction à l'astronomie gamma
- Les pulsars
- Les nébuleuses de pulsars
- Les noyaux actifs de galaxie
- D'autres enjeux...
 - Emission diffuse galactique et extragalactique
 - Sursauts Gamma
 - Matière Noire et Nouvelle Physique

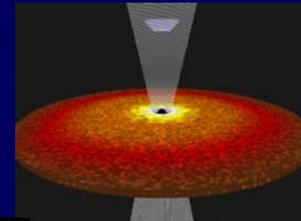
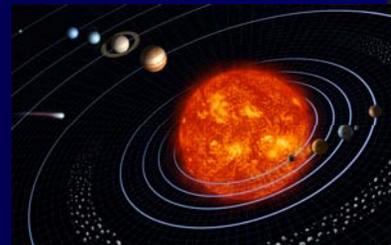
Les sujets grisés ne sont pas traités dans le DVD, mais seront consultables sur le site web <http://glast.in2p3.fr>

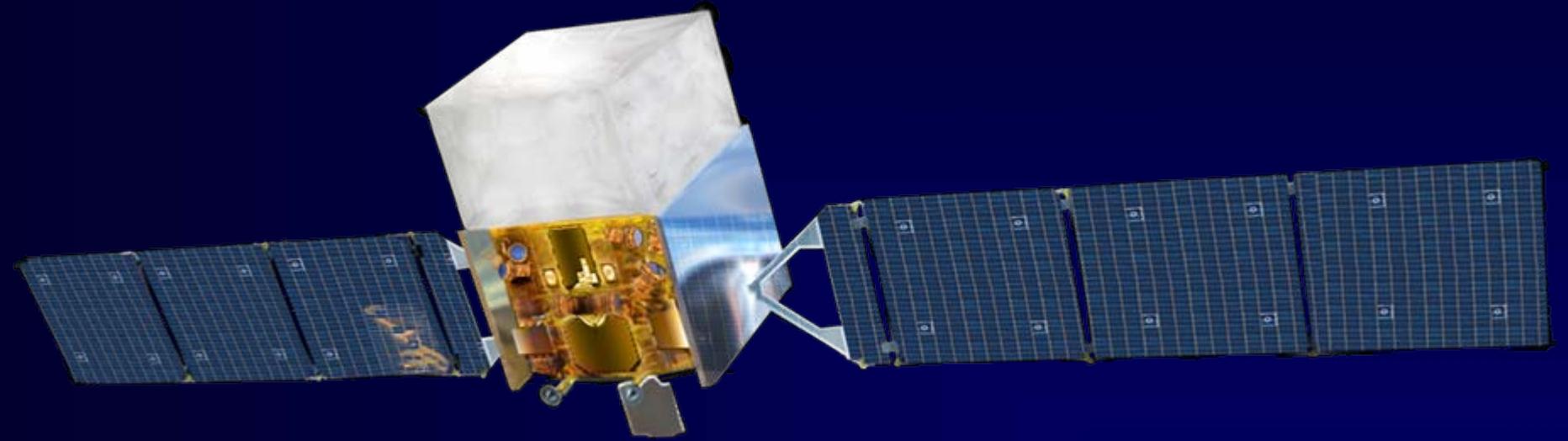


[Retour au Menu](#) 

- Les Astres
- Le Spatial
- Un peu de Physique des accélérateurs cosmiques

Pour en savoir plus...



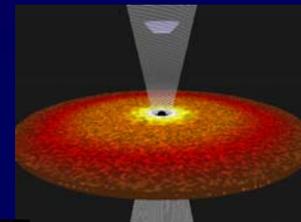
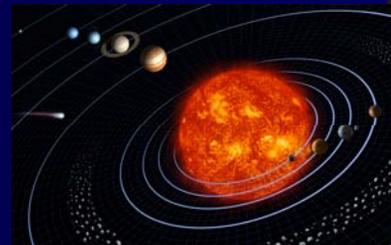


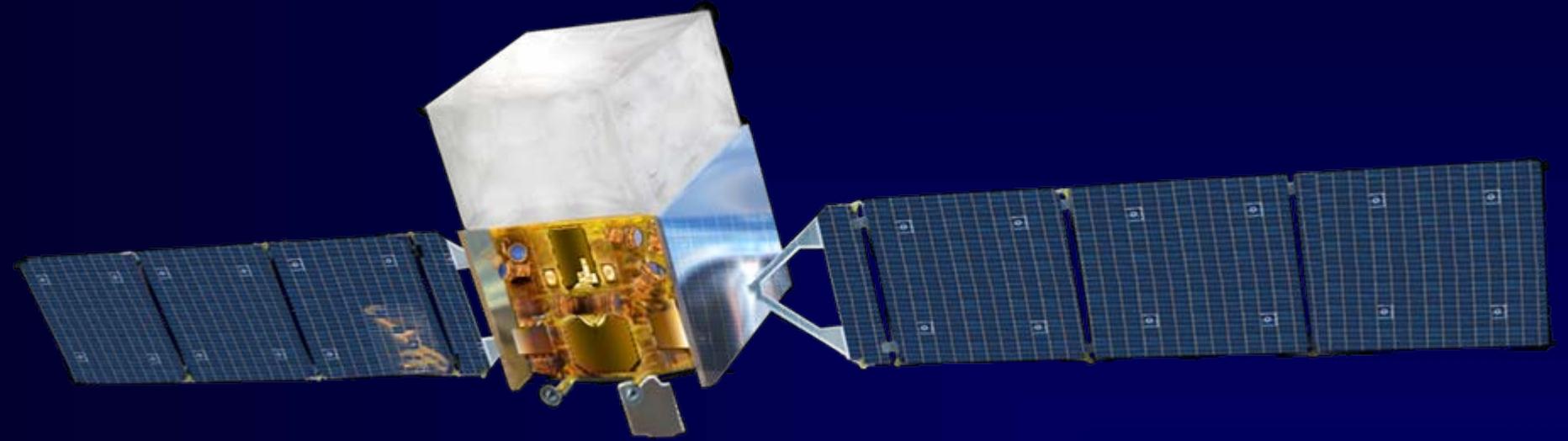
[Retour au Menu](#) 

- **Un peu de Physique des accélérateurs cosmiques**

- Accélérer des particules à très haute énergie
- Produire des rayonnements énergétiques
- Extraire de l'énergie d'un trou noir
- Mouvement superluminique

Pour en savoir plus...

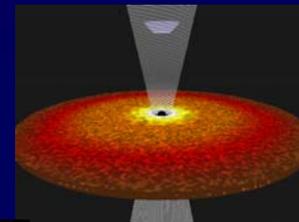
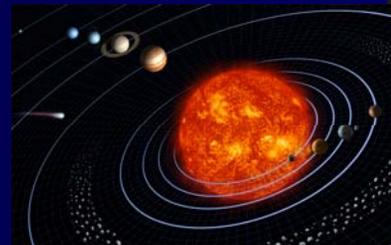


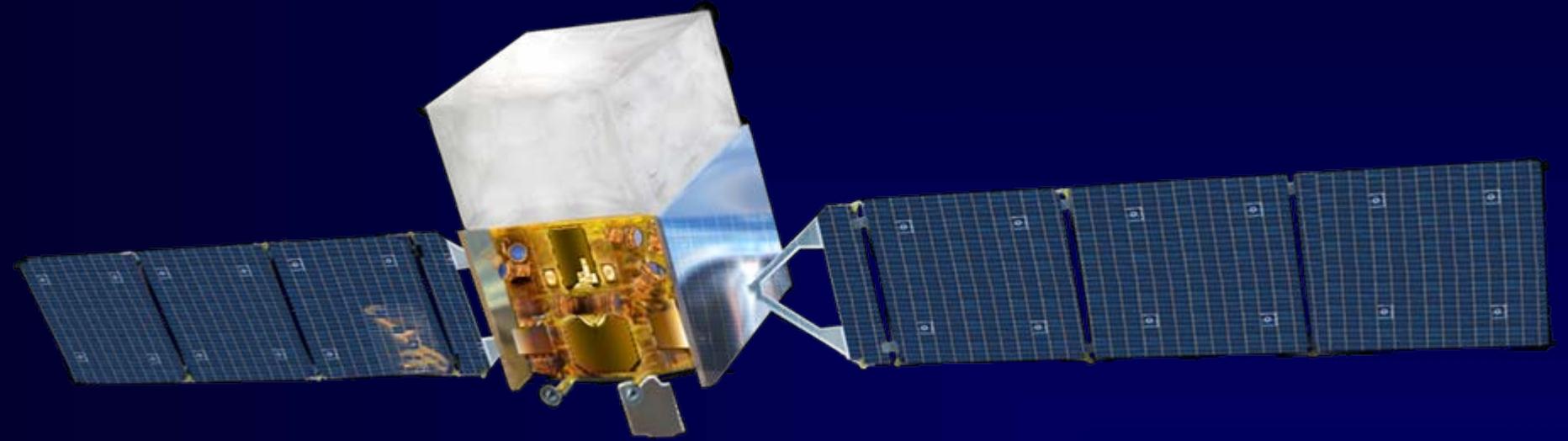


[Retour au Menu](#) 

- **Le Spatial**
 - Les Lanceurs
 - Les Satellites
 - Le GPS

Pour en savoir plus...





[Retour au Menu](#) 

La collaboration GLAST



Stanford University & Stanford Linear Accelerator Center
NASA Goddard Space Flight Center
Naval Research Laboratory
University of California at Santa Cruz
University of Washington
Ohio State University
Sonoma State University
Texas A&M University – Kingsville
National Space Science and Technology Center
Marshall Space Flight Center
The University of Alabama (Huntsville)



Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3/CNRS) :
CEN Bordeaux-Gradignan, LLR Palaiseau, LPTA Montpellier
Commissariat à l'Énergie Atomique : Département d'Astrophysique
CESR Toulouse



Institute Nazionale di Fisica Nucleare : Pisa, Trieste, Bari, Udine, Perugia, Roma
Italian Space Agency



Hiroshima University, University of Tokyo
Institute of Space and Astronautical Science
Institute for Cosmic-Ray Research

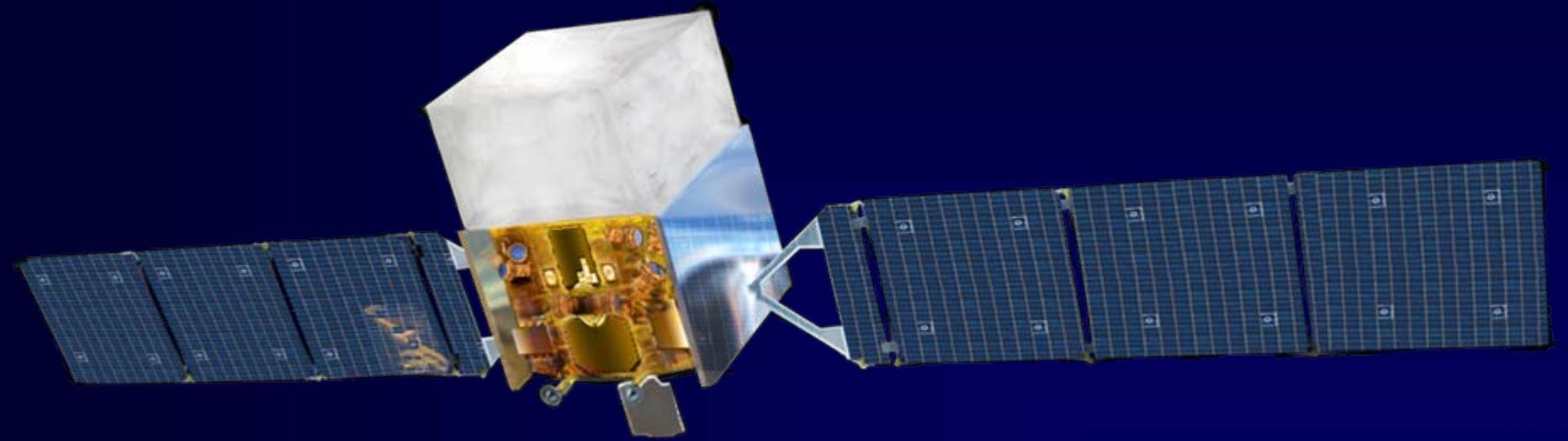


Royal Institute of Technology, Stockholm University



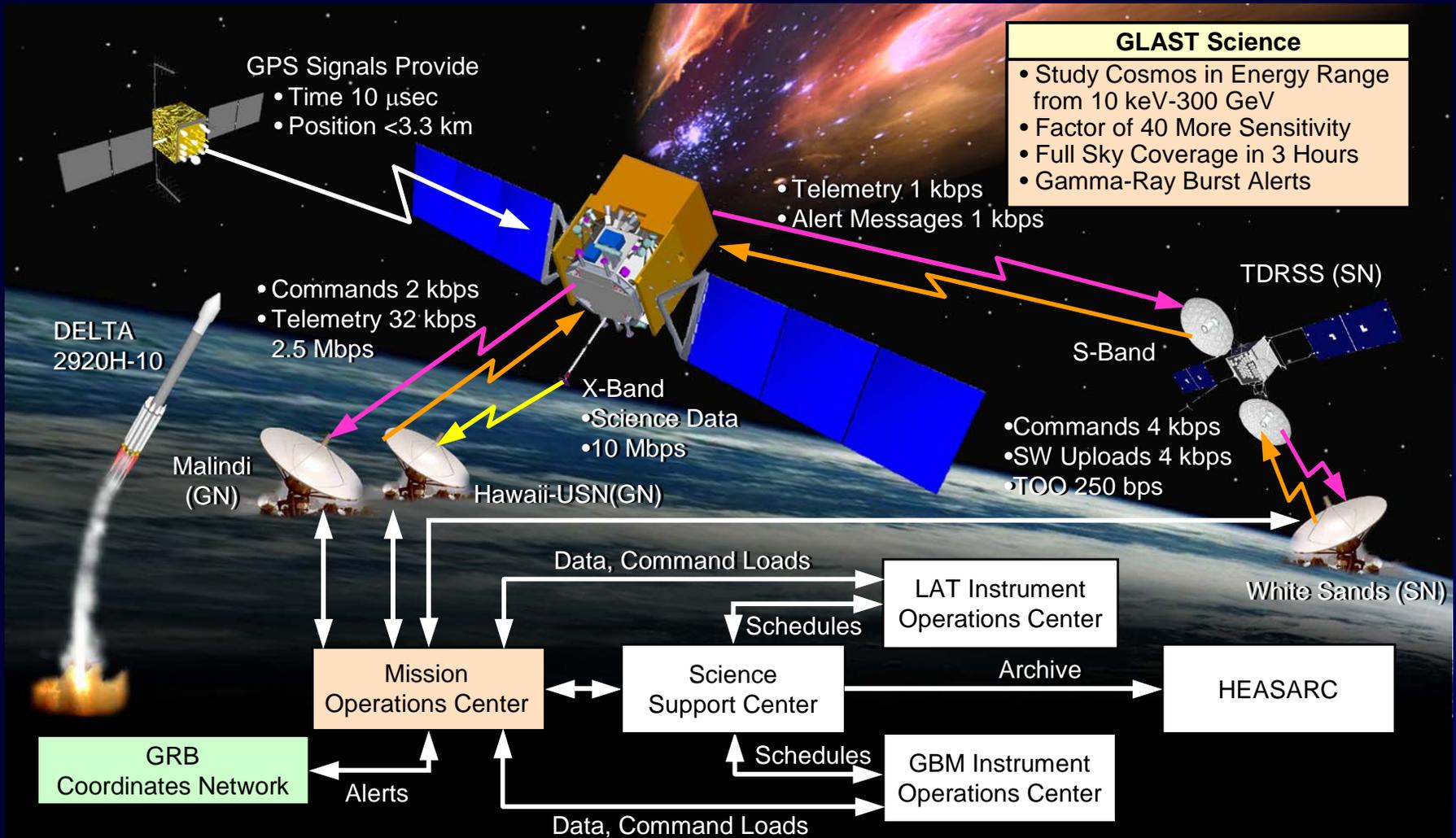
Max-Planck Institut für extraterrestrische Physik

~ 230 scientifiques dans 6 pays



[Retour au Menu](#) 

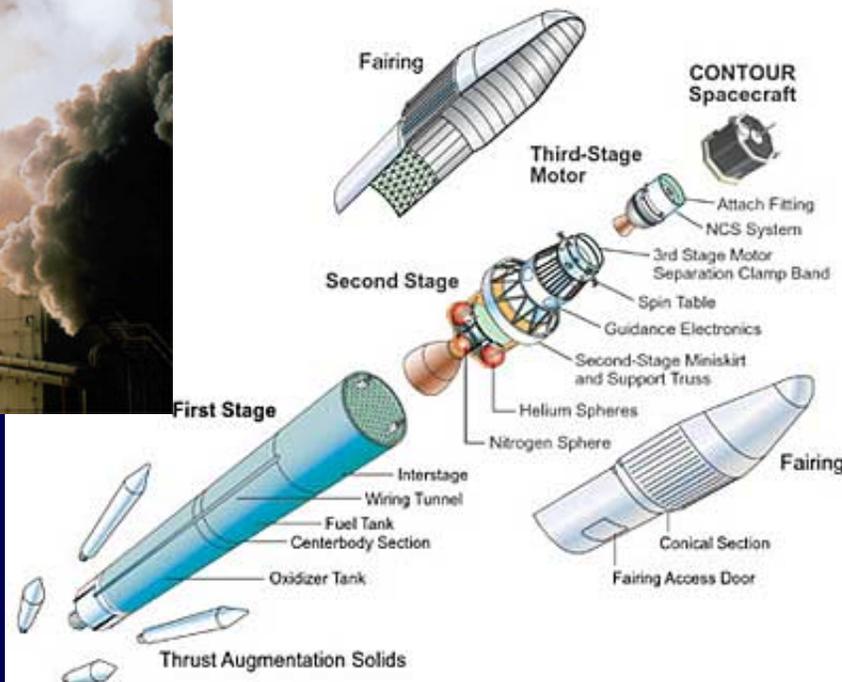
Les paramètres de la mission



Altitude : 550km

Inclinaison de l'orbite : 25°

Le lanceur Delta II



Le plus grand morceau de la fusée Delta-II qui portera le satellite GLAST sur orbite, a été livré au Kennedy Space Flight Center, Cap Canaveral, le 6 février 2008.

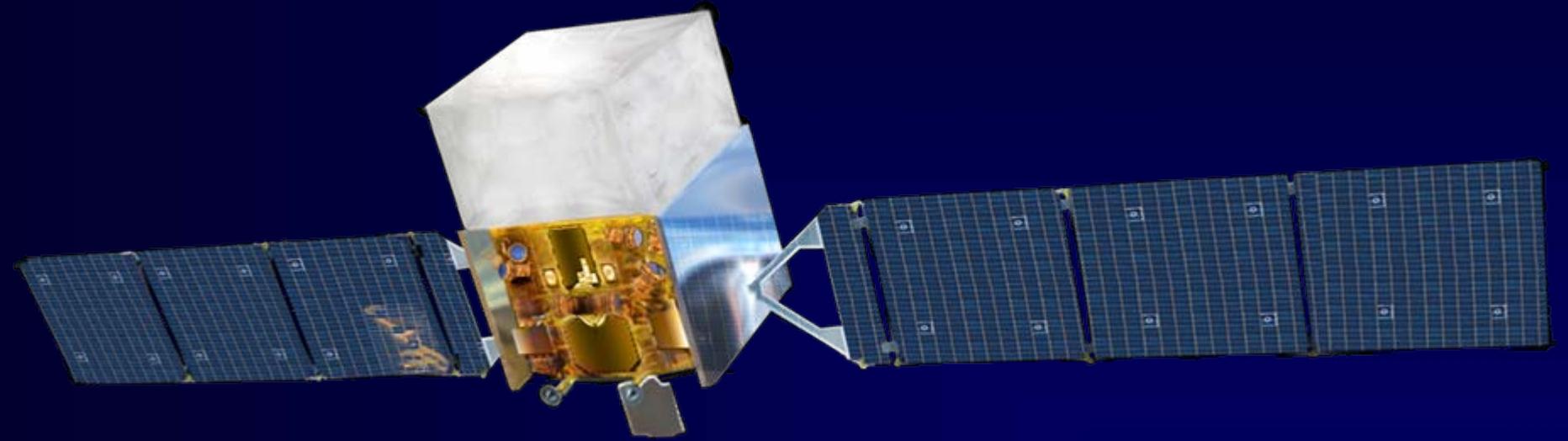
Les éléments de la fusée ont été fabriqués à Huntsville, dans l'Alabama, pour être ensuite assemblés au Kennedy Space Flight Center.



GLAST partira du pas de tir 17b, à droite sur la photo.

L'US Air Force a envoyé la plupart des 30 satellites GPS sur leurs orbites « mi-géostationnaires » depuis ces pas de tir.

Pour plus d'informations sur les lanceurs, les satellites avec leurs différentes orbites, et le GPS, voir [Pour En Savoir Plus](#)



[Retour au Menu](#) 

Les équipes de l'IN2P3 impliquées dans GLAST

Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux-Gradignan (CENBG)

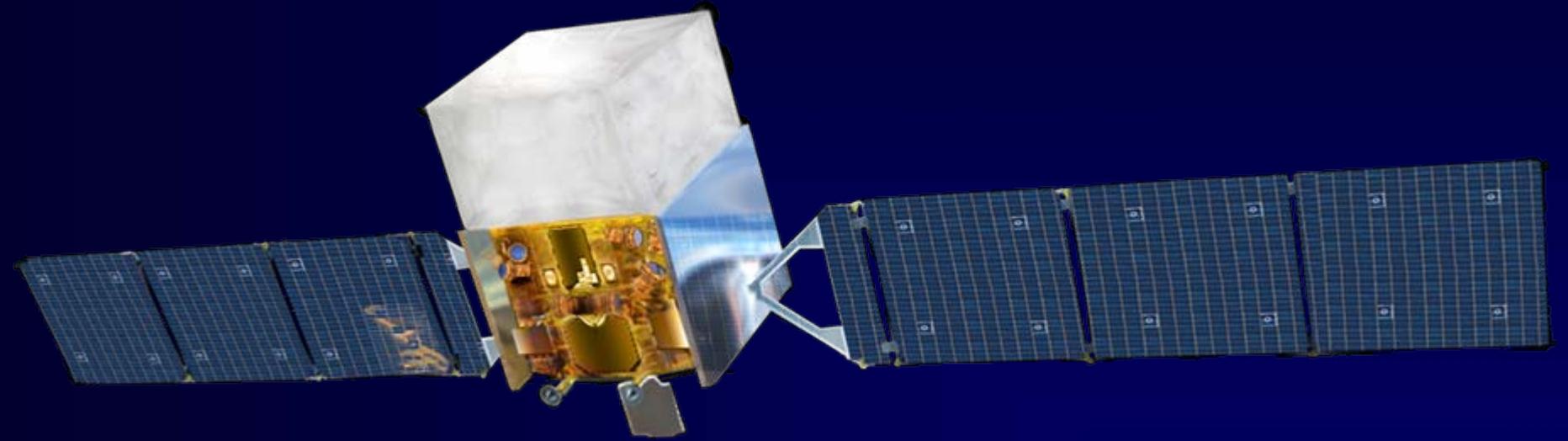
- Tests sur accélérateurs
- Etude des pulsars et de leurs nébuleuses
- Etude des noyaux actifs de galaxie

Laboratoire Leprince-Ringuet (LLR), Ecole Polytechnique à Palaiseau

- Construction de la structure du calorimètre
- Développement de méthodes d'analyse des données
- Etude des noyaux actifs de galaxie

Laboratoire de Physique Théorique et Astroparticules (LPTA) à Montpellier

- Etalonnage en énergie
- Etude des sursauts gamma
- Etude de la matière noire

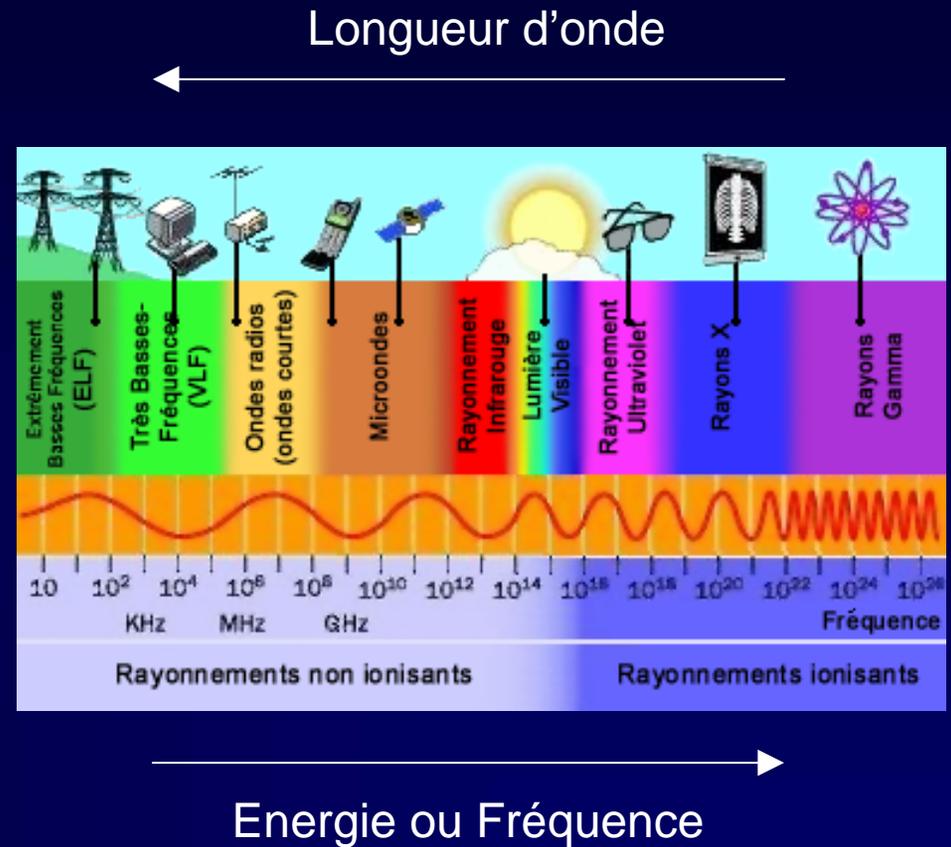


[Retour au Menu](#) 

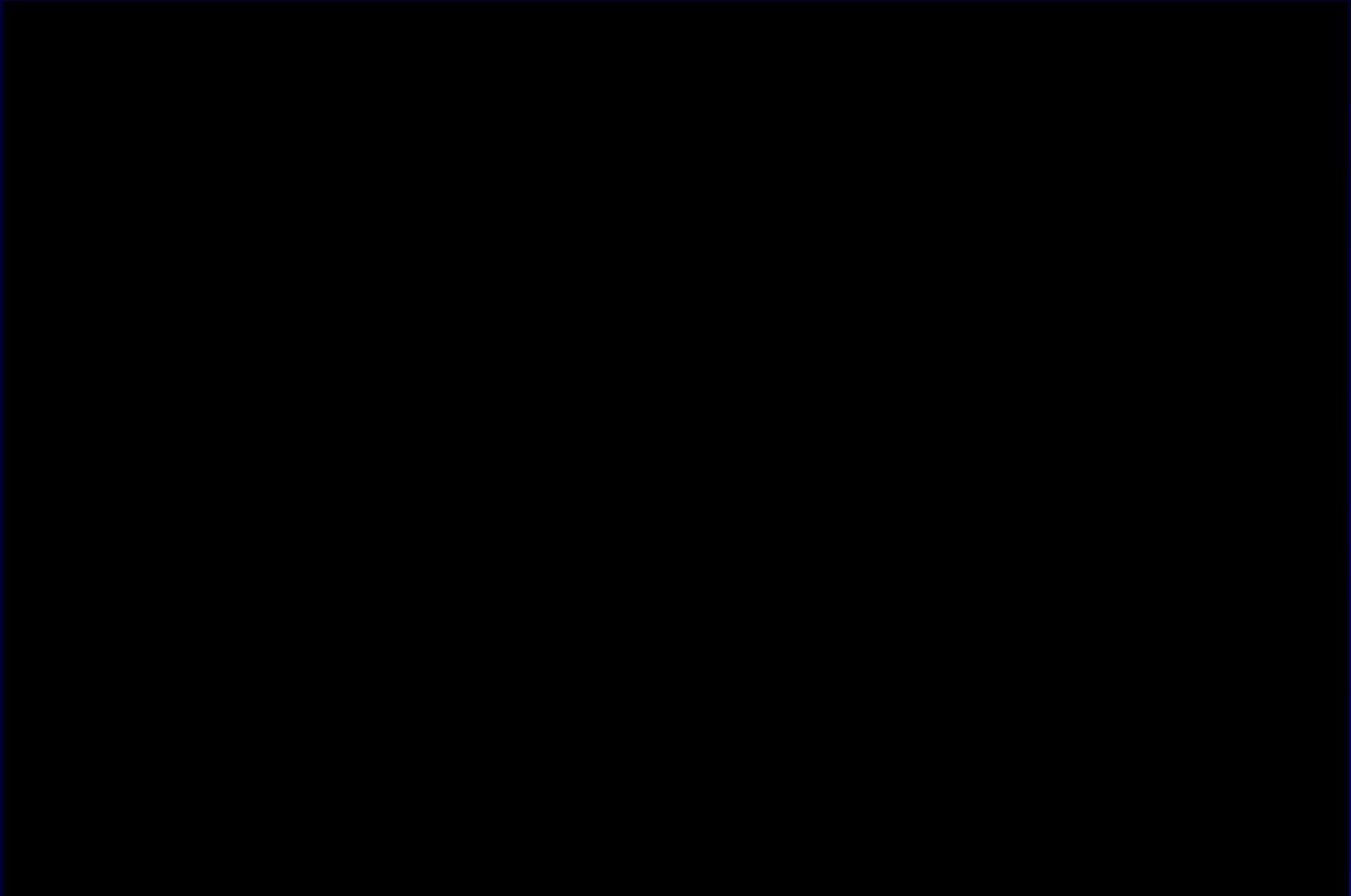
Le spectre électromagnétique

L'astronomie gamma, comme l'astronomie optique, la radioastronomie ou l'astronomie X, s'intéresse à l'observation du rayonnement électromagnétique (photons) émis par les astres. La seule différence réside dans l'énergie des rayonnements observés, qui sont plus d'un milliard de fois plus énergétiques que les photons constituant la lumière visible.

Les photons radio ont quant à eux une énergie un milliard de fois moins grande que ceux de la lumière visible.



Le ciel à toutes les longueurs d'onde



L'astronomie gamma

C'est une science récente, de moins de 40 ans.

Particularités instrumentales :

- **les rayons gamma sont rares, il est nécessaire d'avoir les plus grandes surfaces collectrices possibles et observer longtemps**
- **ils sont absorbés par l'atmosphère, et donc on doit les détecter en dehors de celle-ci dans l'espace (ceux d'énergie extrême peuvent laisser un signal détectable en traversant l'atmosphère)**

Particularités physiques :

- **les rayonnements ne sont pas émis par des corps chauds comme les étoiles, mais par des particules de haute énergie produites dans des accélérateurs naturels, ces processus d'émission sont dits « non thermiques ».**
- **Les énergies des particules produisant les rayonnements détectés par GLAST correspondent à peu près aux énergies maximales que l'on sait produire avec les plus grands accélérateurs terrestres.**

A partir des propriétés des rayonnements émis, on peut déduire celles des particules rayonnantes. On observe que celles-ci présentent des caractéristiques similaires pour un grand nombre d'objets de natures différentes, ce qui semble indiquer un processus d'accélération universel.

EGRET, la mission précédente

Le satellite CGRO vu de la soute de la navette spatiale lors de sa mise sur orbite en 1991

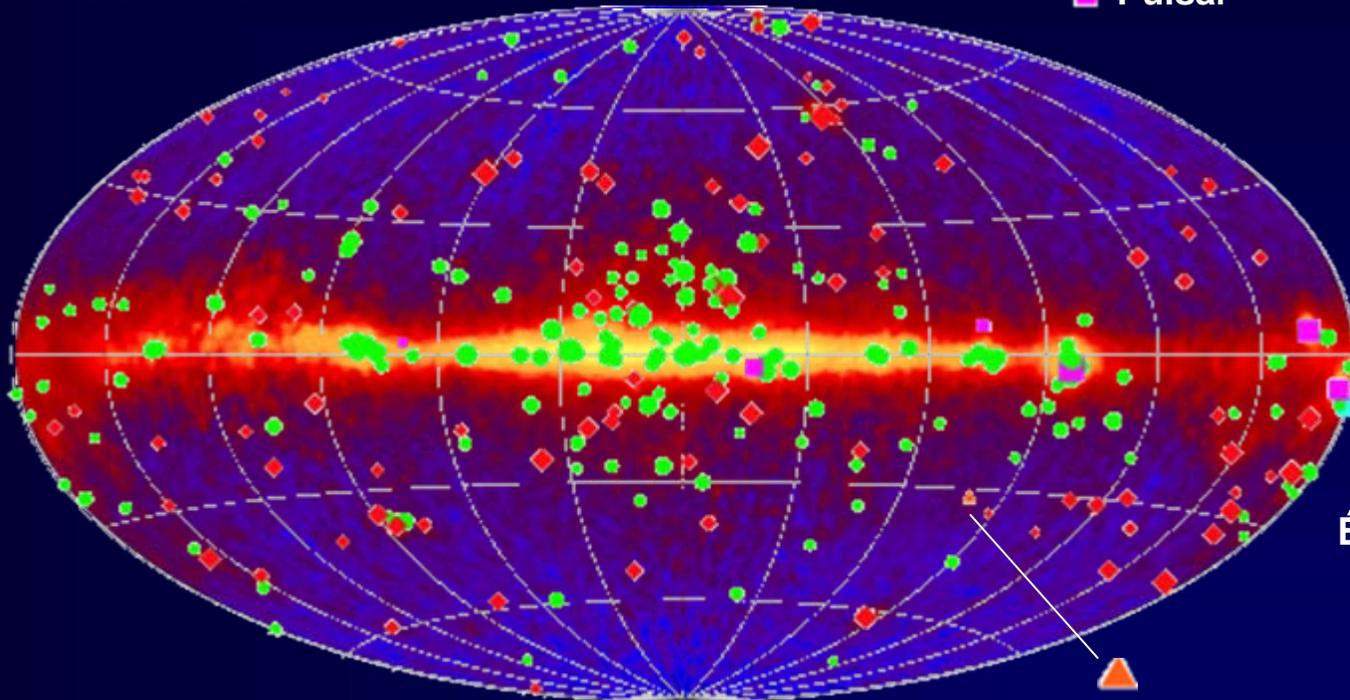


Le ciel gamma d'EGRET

271 sources gamma

- 6 Pulsars
- 70 Noyaux Actifs de Galaxie
- près de 170 sources non identifiées !!!

■ Pulsar



Éruption solaire

Grand Nuage de Magellan

Source non identifiée

Noyau Actif de Galaxie (AGN)

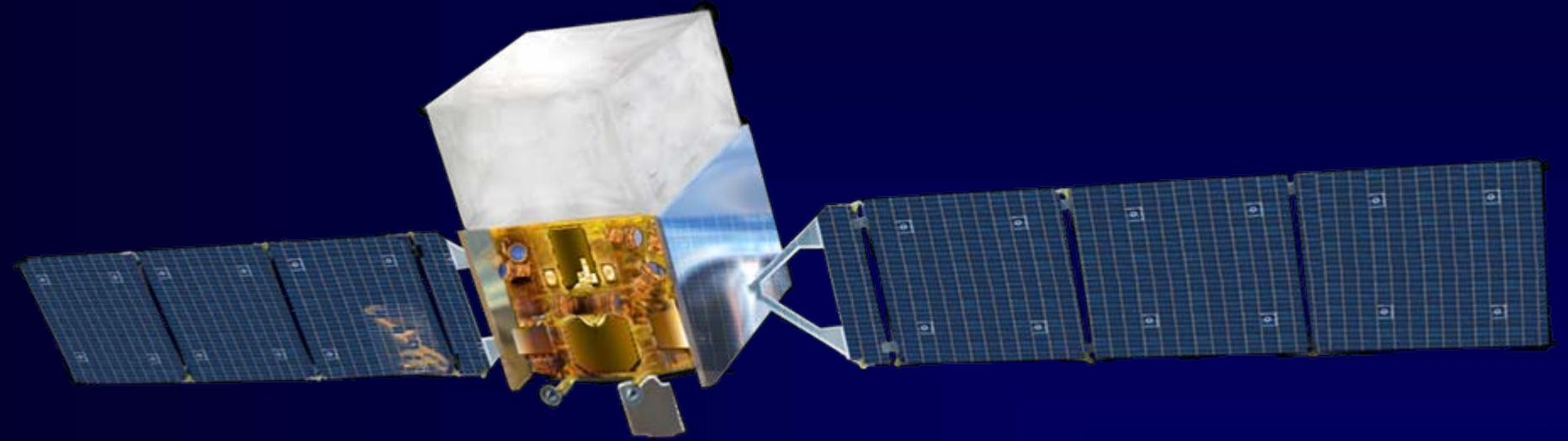
Dans cette représentation du ciel, la bande centrale correspond au plan de la Voie Lactée

Le ciel gamma de GLAST

Plusieurs milliers de nouvelles sources gamma attendues



Crédit Seth Digel



[Retour au Menu](#) 

Gamma-Ray Large Area Space Telescope

LARGE AREA TELESCOPE

- Deux instruments : Large Area Telescope (LAT) et GLAST Burst Monitor (GBM)
- Domaine spectral étudié :
20 MeV – 300 GeV pour le LAT
10 keV – 25 MeV pour le GBM
- Altitude : ~ 550 km
- Période de révolution : 95 minutes
- Durée de vie : 5 à 10 ans
- Puissance consommée : ~ 500 Watts
- Masse : 4,2 tonnes



GLAST BURST MONITOR

<http://www-glast.stanford.edu/index.html>

Le LAT, instrument principal de GLAST

Ses objectifs sont de mesurer l'énergie, la direction et le temps d'arrivée des photons incidents. Il est formé de 16 tours, chacune d'elles composée d'un **trajectographe**, d'un **calorimètre** et d'un module d'électronique permettant de gérer les systèmes de déclenchement et la gestion des flux de données. L'ensemble est entouré d'un bouclier « anti-coïncidence », permettant le rejet de particules chargées électriquement, provenant de notre univers (rayons cosmiques).

La surface collectrice et le champ de vue sont chacun supérieurs d'un facteur 5 à ceux de l'instrument précédent EGRET.

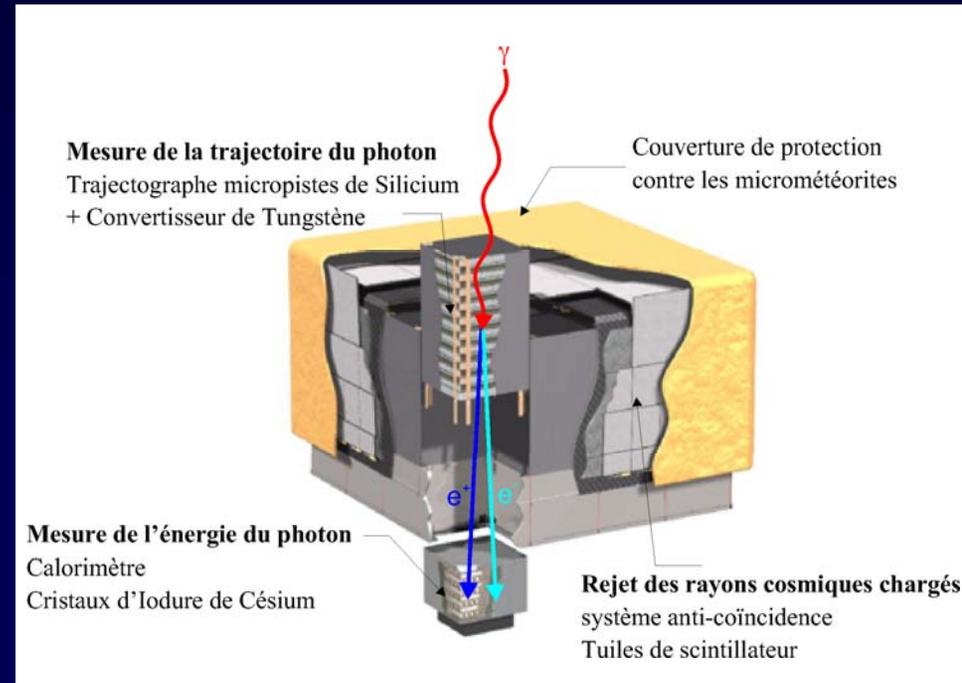


Schéma du Large Area Telescope composé de ses différents modules. Un photon entre dans l'instrument et crée une paire électron-positon.

Le trajectographe

Le trajectographe a pour but de déterminer la direction des gamma incidents. Un module a une hauteur de 64 cm et est composé de plans de pistes en silicium SSD (Silicon Strip Detector), lesquels sont séparés par des couches de matériau très dense, le tungstène. Cette alternance permet de convertir le photon gamma incident en paire électron-positon (voir [Comment fonctionne le LAT](#)) et de déterminer ainsi les trajectoires des particules.

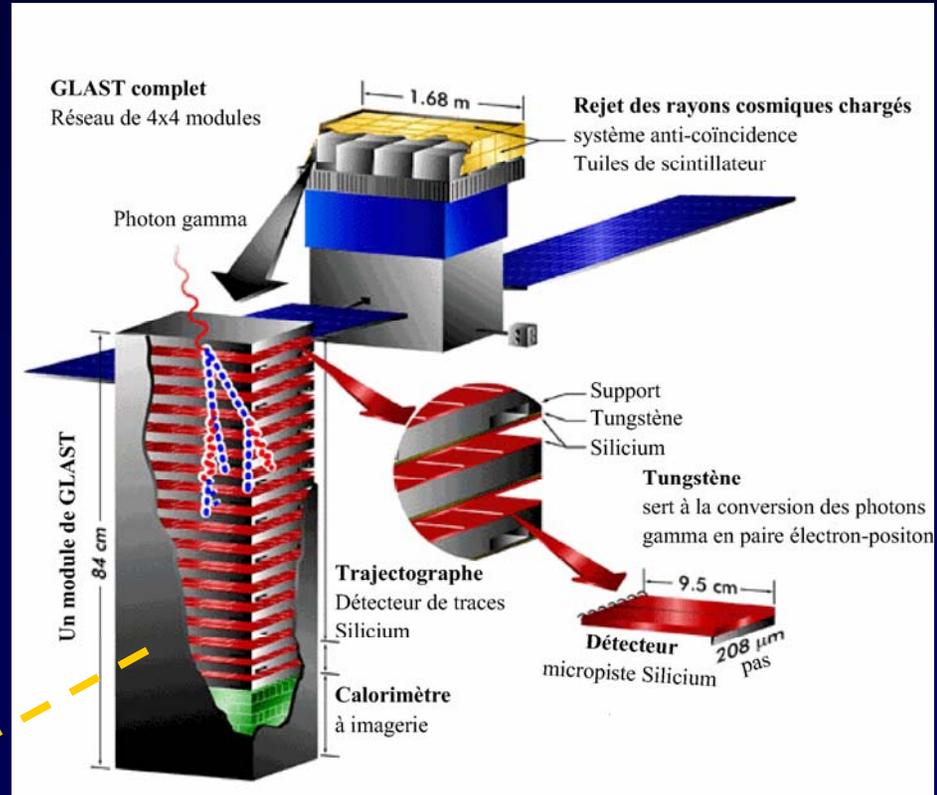
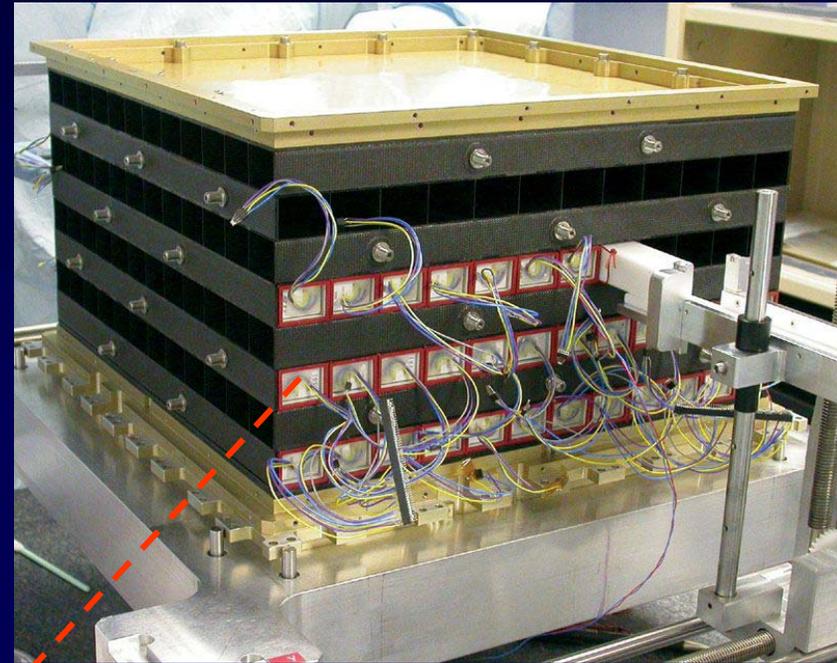


Schéma de la composition interne d'un module du trajectographe du LAT

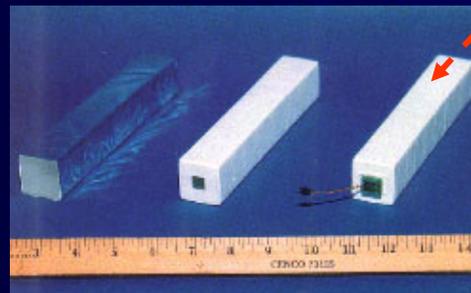
Module du trajectographe

Le calorimètre

La fonction du calorimètre, dont la structure a été réalisée en France, est de mesurer l'énergie des photons gamma. Chaque module du calorimètre est composée de 8 couches de 12 cristaux d'iodure de césium (voir photo ci-dessous). Lorsqu'un électron ou positon traverse le calorimètre, la matière scintillante des cristaux crée une quantité de lumière visible (bleue) proportionnelle à l'énergie de la particule. Des diodes à l'extrémité des barreaux récupèrent cette lumière et la convertissent en signaux électriques. Ces signaux sont ensuite traduits en énergie.



Module du calorimètre.



Cristaux d'iodure de césium

Comment fonctionne le LAT?

Depuis Albert Einstein en 1905, on sait que l'énergie et la matière sont équivalentes et liées par la célèbre formule :

$$E = m \times c^2$$

Energie : photon →

← Vitesse de la lumière

Matière : électron et positon

Dans le domaine d'énergie du LAT (>20MeV), les photons (énergie) qui entrent dans l'instrument, interagissent avec la matière qu'ils traversent et se matérialisent en électrons et positons (matière). Ce processus est illustré par le schéma. Les électrons et les positons (anti-électrons), particules toutes deux chargées électriquement, vont eux-mêmes interagir avec l'environnement et ralentir. Une particule chargée dont la vitesse change, rayonne de l'énergie (photon). Ainsi ce mécanisme engendre une cascade de particules, utilisée par le trajectographe et le calorimètre dans la reconstruction de la direction et de l'énergie des photons incidents.

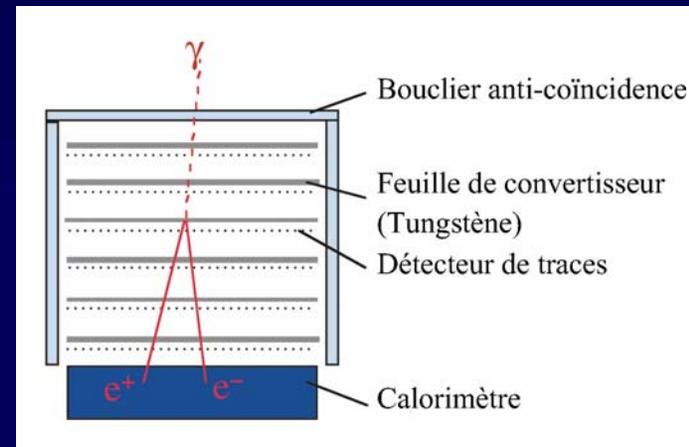
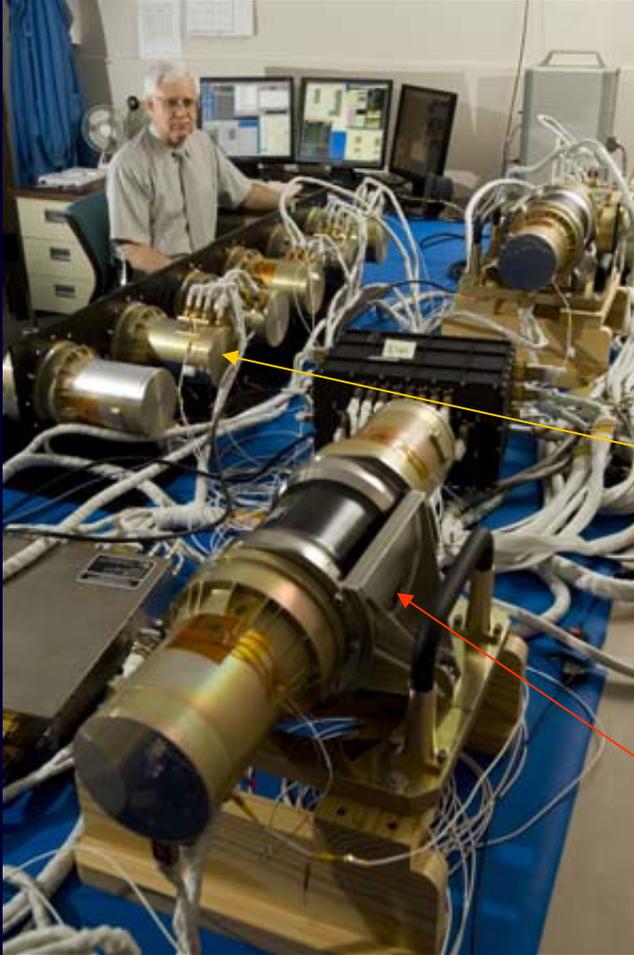


Schéma d'un photon entrant dans le LAT. Ce photon crée un électron et un positon.

GLAST BURST Monitor (GBM)



Un astrophysicien testant le GBM, au NASA Space Flight Center.

Le GBM est l'instrument secondaire de la mission GLAST. Son domaine d'énergie est compris entre 10 keV et 25 MeV (domaine du rayonnement X et gamma). La combinaison entre le LAT et le GBM sera un outil puissant pour l'étude des sursauts gamma.

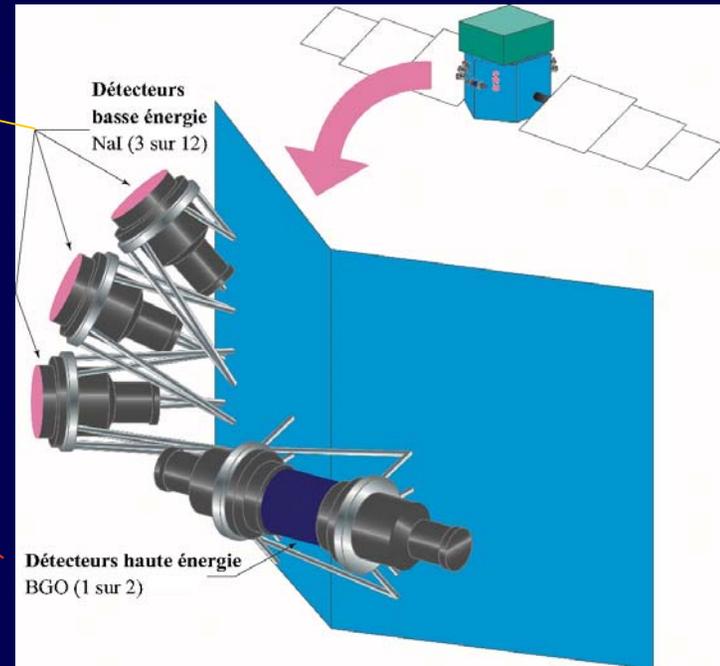
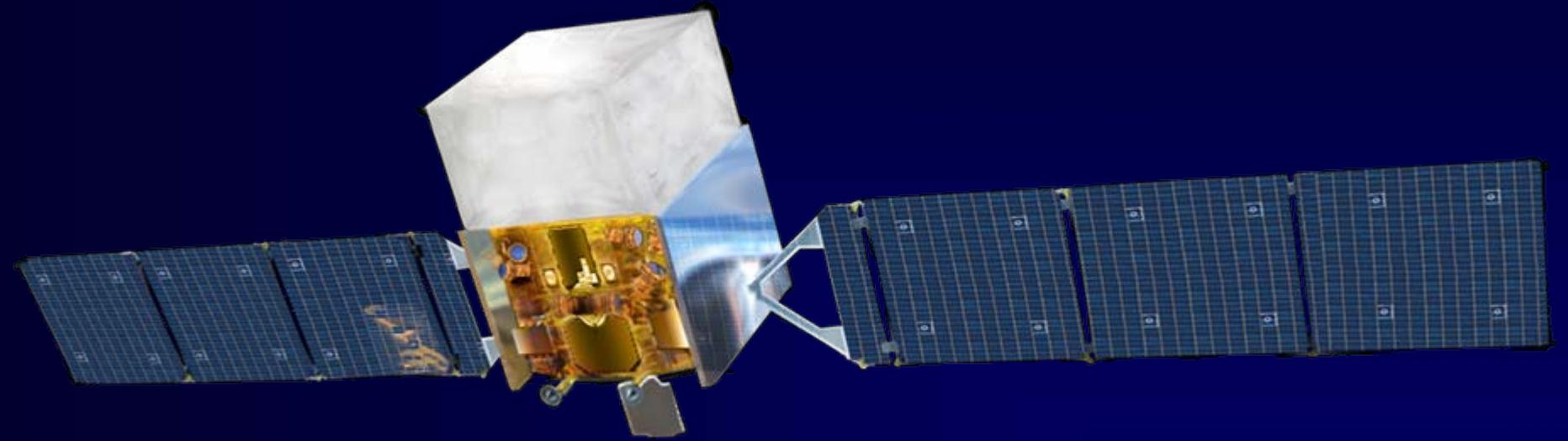


Schéma du GBM monté sur le satellite GLAST

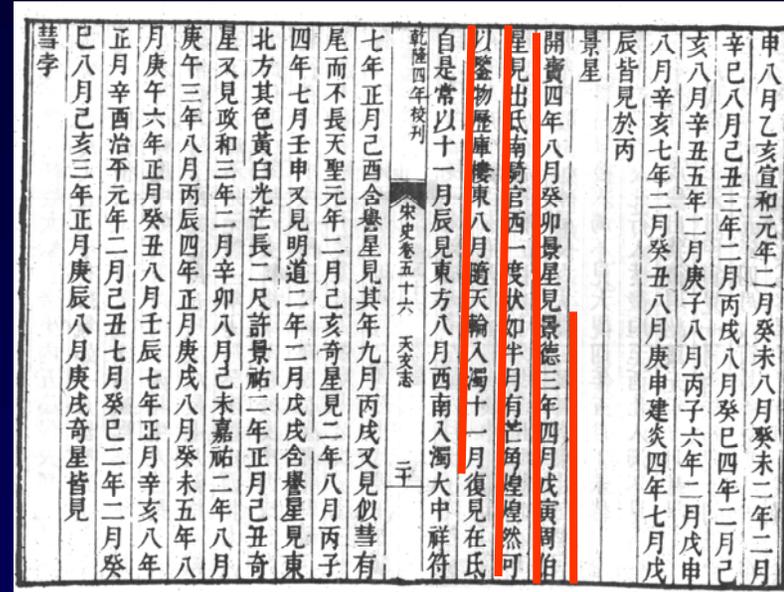


[Retour au Menu](#) 

Le phénomène de supernova

L'explosion violente des étoiles (supernova) est enregistrée depuis l'an 185 de notre ère ; une dizaine d'événements a été répertoriée à ce jour. Ainsi, la supernova de l'an 1006 est mentionnée dans des textes européens, chinois, japonais... Il s'agit vraisemblablement de la supernova la plus brillante observée aux temps historiques : elle est restée visible plus d'un an, avec une brillance maximale atteignant celle d'un quartier de Lune !

Ce phénomène de supernova est lié à la mort des étoiles massives.



Description de la supernova de l'an 1006 dans les annales chinoises



Mais comment explosent ces étoiles massives ?
Que deviennent-elles ?

Petit retour en arrière : La naissance d'une étoile

Comme les humains, les étoiles naissent, grandissent et meurent. Leurs berceaux sont d'immenses nuages de gaz et de poussières. Sous l'effet de sa propre gravité, ce nuage peut s'effondrer et donner naissance à des bébés étoiles appelées couramment "protoétoiles" (ceci s'échelonne sur quelques milliers d'années !). Lorsque la température au cœur de la protoétoile atteint plusieurs millions de degrés, les réactions nucléaires s'enclenchent, elle devient alors une nouvelle étoile.

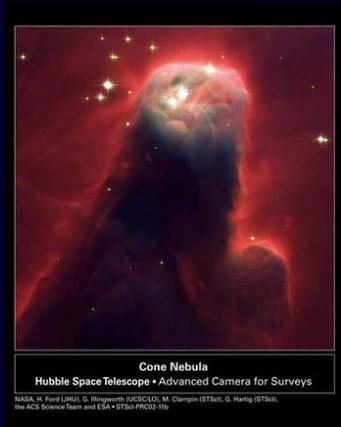
Les étoiles sont donc toutes formées à partir de gros nuages d'hydrogène mais elles ont des cycles de vie différents suivant leur masse.



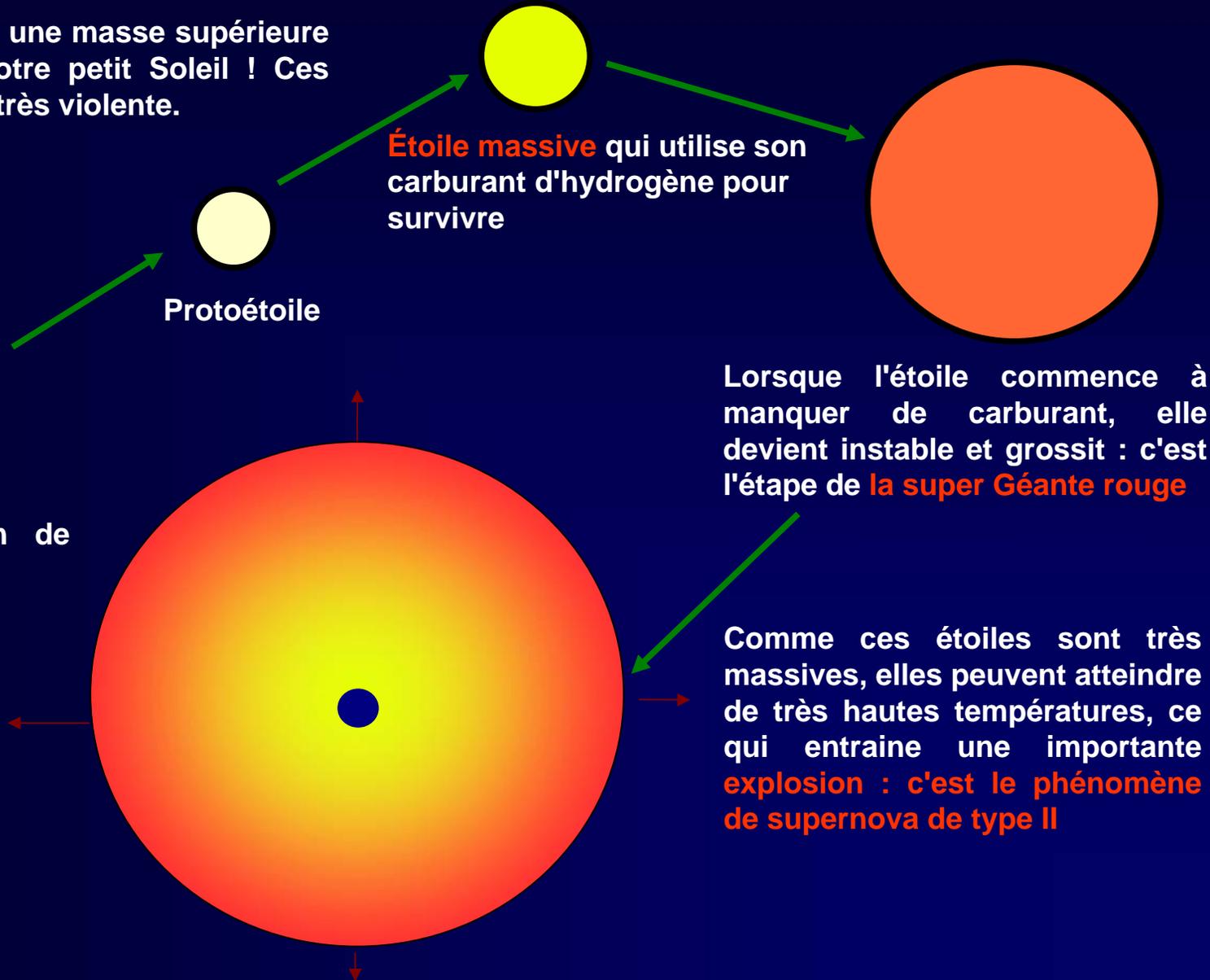
La nébuleuse du cône : une pouponnière d'étoiles

Le cycle de vie des étoiles massives

Une étoile massive a une masse supérieure à 8 fois celle de notre petit Soleil ! Ces étoiles ont une mort très violente.



Nébuleuse : région de formation stellaire



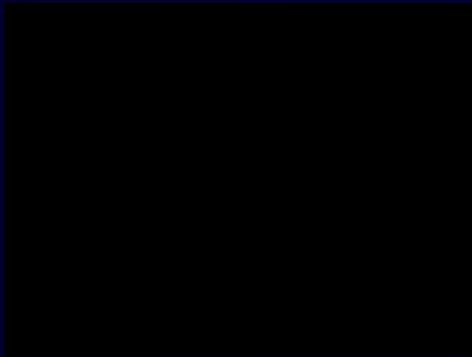
Étoile massive qui utilise son carburant d'hydrogène pour survivre

Lorsque l'étoile commence à manquer de carburant, elle devient instable et grossit : c'est l'étape de **la super Géante rouge**

Comme ces étoiles sont très massives, elles peuvent atteindre de très hautes températures, ce qui entraîne une importante **explosion** : c'est le phénomène de **supernova de type II**

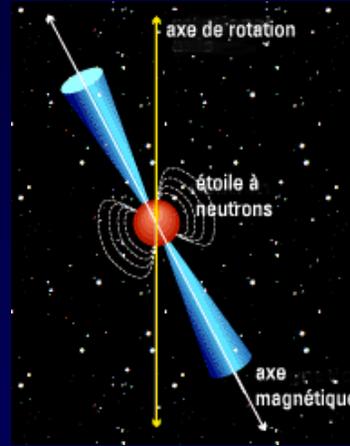
Et après ???

Avant d'explorer, l'étoile massive s'effondre sur elle-même sous l'effet de sa propre gravité (c'est en fait le rebond des couches externes de l'étoile sur son cœur qui provoque l'explosion). Cet effondrement donne naissance à deux astres différents suivant la taille de l'étoile.



Supernova

Si l'étoile est massive
(plus de 8 fois le Soleil)



Formation d'une étoile à neutrons.

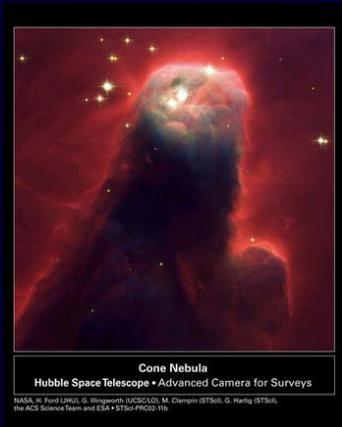
Si l'étoile est très très massive
(plus de 15 fois le Soleil !)



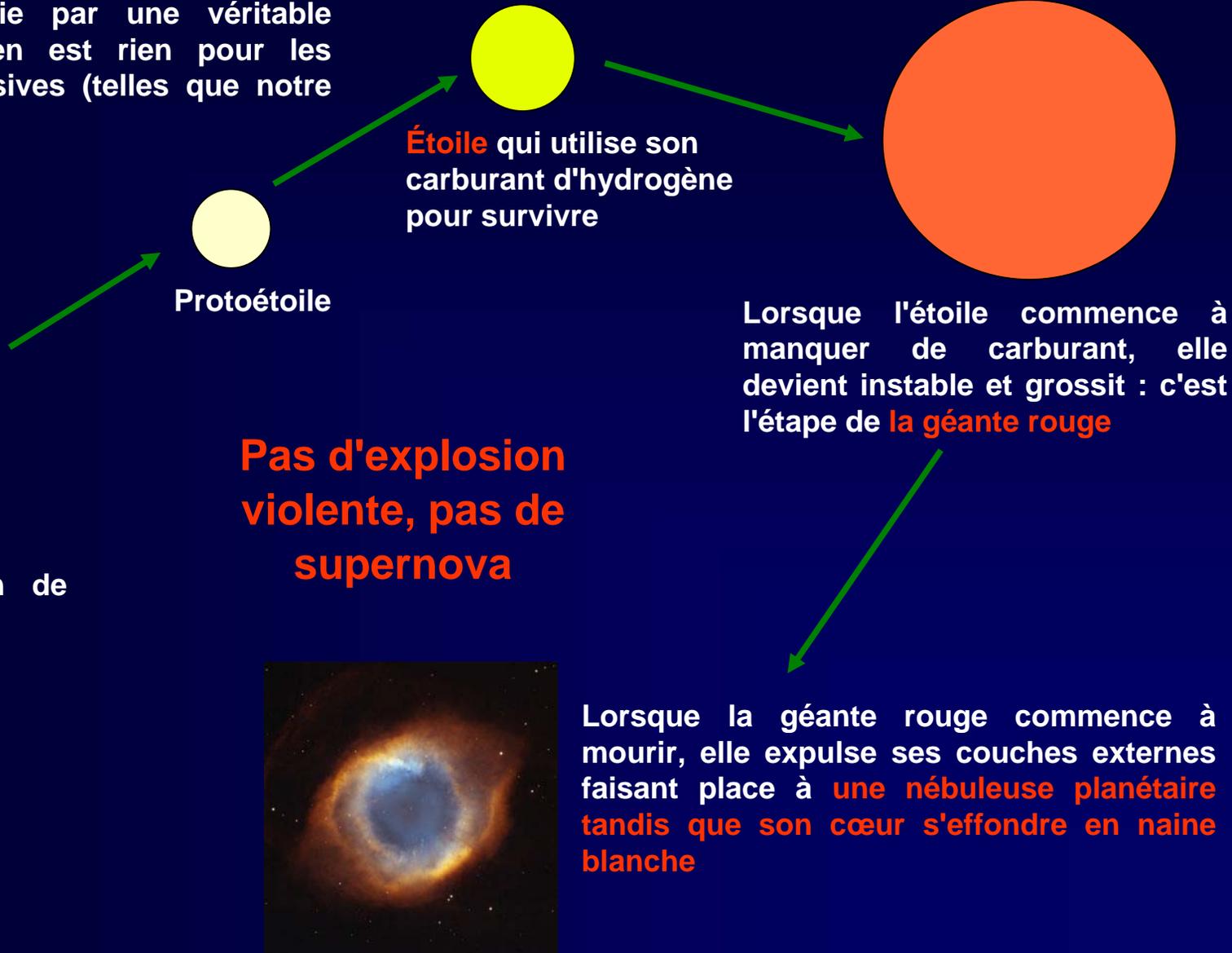
Formation d'un trou noir. Ce sont des objets si denses qu'ils capturent tout dans leur environnement proche, même la lumière !

Et les étoiles peu massives ? (I)

Nous avons vu que les étoiles massives finissent leur vie par une véritable explosion. Il n'en est rien pour les étoiles peu massives (telles que notre Soleil).



Nébuleuse : région de formation stellaire

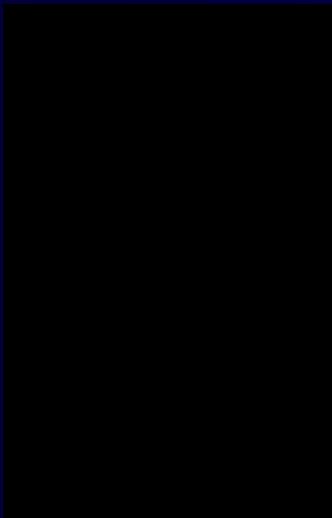


Et les étoiles peu massives ? (II)

Il n'y a donc pas de phénomène de supernova de type II lors de la fin de vie des étoiles peu massives, qui donne naissance à une naine blanche ainsi qu'à une nébuleuse planétaire. La densité de ces naines blanches est très élevée : pour une masse équivalente à celle du Soleil, leur rayon est équivalent à celui de la Terre ! Elle peut donc attirer la matière d'une étoile compagne et l'accréter par effets gravitationnels. Lorsque la masse de la naine blanche dépasse 1,4 masse solaire, elle ne peut plus se maintenir en équilibre et explose : c'est le phénomène de supernova, dit de type Ia.

Un système binaire :

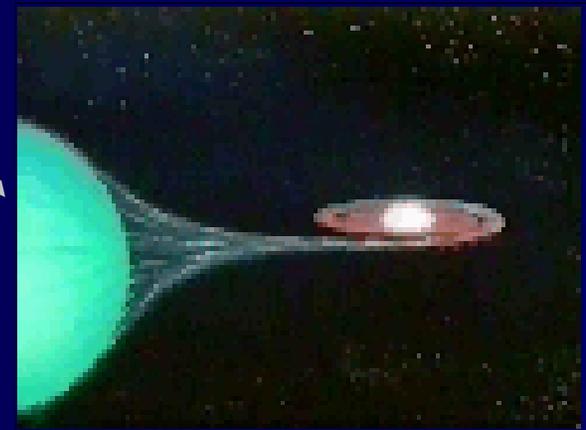
Transfert de masse de l'étoile compagne vers la naine blanche



Étoile compagne



Le phénomène de supernova de type Ia



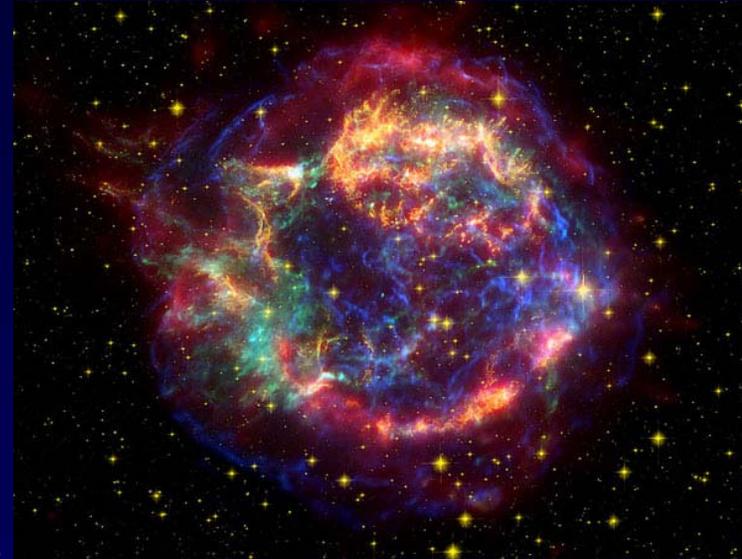
Naine blanche

Des supernovae à la vie...

Si le phénomène de supernova est rare (environ 3 par siècle dans notre Galaxie), il n'en est pas moins essentiel. En effet, la supernova constitue un facteur important d'enrichissement en éléments chimiques lourds du milieu interstellaire.

D'une part, l'explosion propulse dans l'espace des atomes synthétisés au sein de l'étoile tout au long de sa vie, et d'autre part les hautes températures générées par le cataclysme engendrent l'apparition de nouveaux atomes.

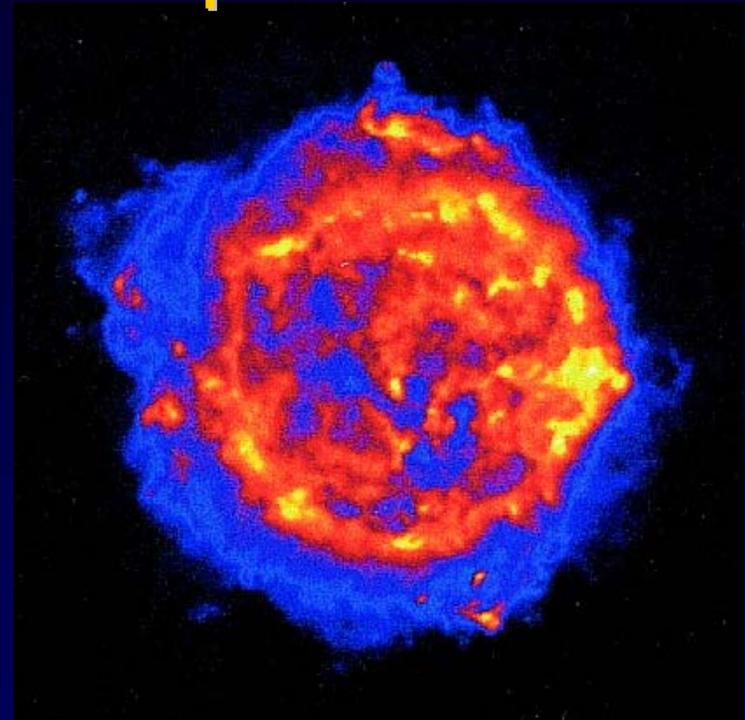
C'est pourquoi on peut dire que nous sommes véritablement des « **poussières d'étoiles** » : une grande partie des éléments chimiques dont notre corps est constitué (Carbone, Oxygène, Fer...) a été créée dans la « forge nucléaire » des étoiles massives, et si certaines d'entre elles n'avaient pas explosé il y a des milliards d'années, nous ne serions pas là pour en parler...



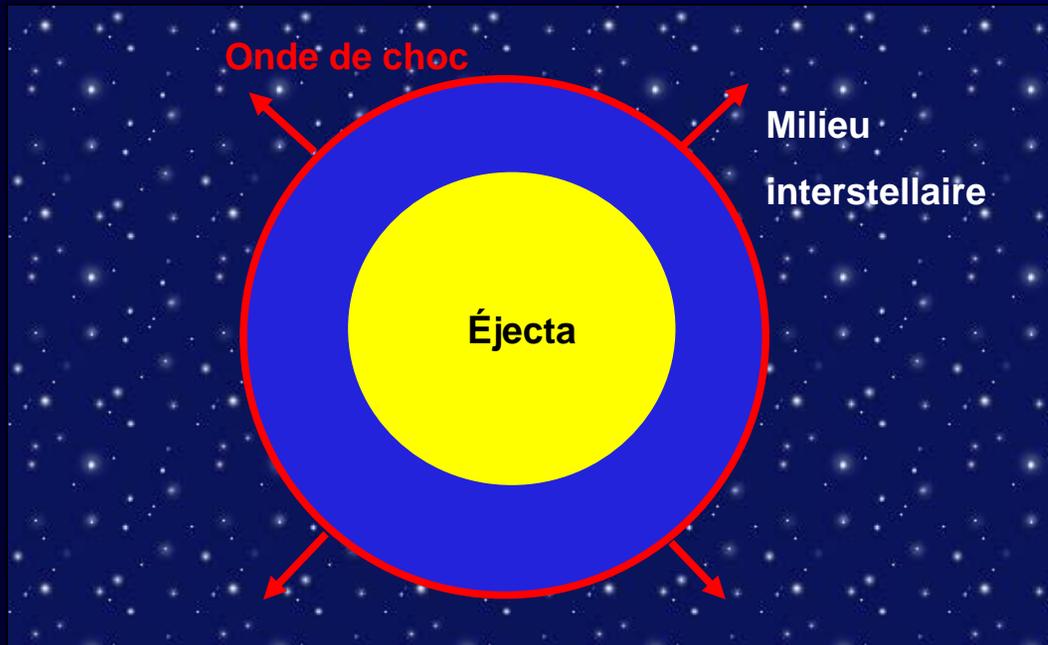
Le reste de supernova Cassiopée A observée en rayons X : les différentes couleurs sont dues aux éléments chimiques éjectés par la supernova

Le reste de supernova en coquille

Lors d'une supernova, les couches externes de matière de l'étoile massive (ou de la naine blanche) sont éjectées dans la Galaxie à des vitesses colossales. Ainsi, à la manière d'un avion supersonique, une onde de choc se forme en avant des éjecta. Cette onde de choc comprime la matière ambiante, la chauffe à des températures très élevées et accélère les particules la constituant.



Le reste de supernova Cassiopée A vu dans le domaine radio : émission forte associée aux éjecta et plateau plus faiblement émissif dû à l'accélération des particules par l'onde de choc

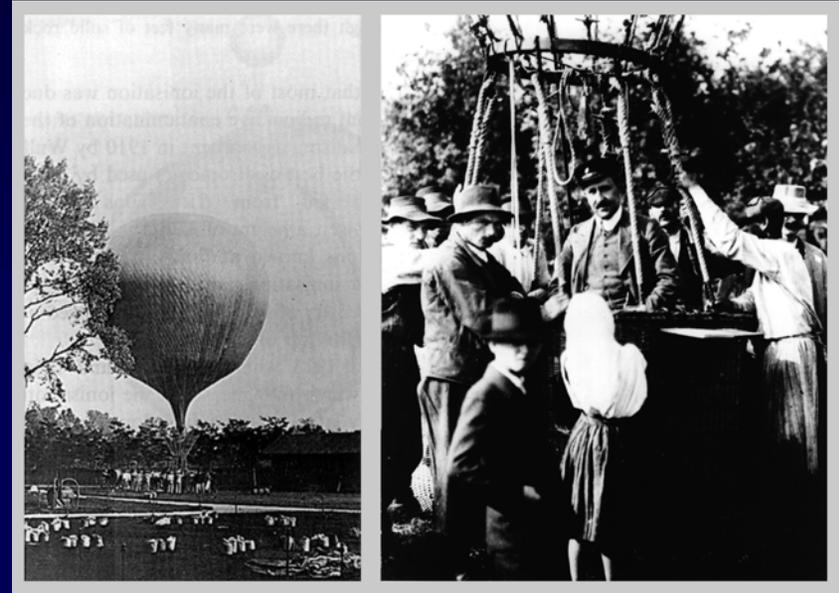


Les restes de supernovae : des accélérateurs de particules

Le 7 août 1912, Viktor HESS effectua les premières mesures de radiations grâce à un détecteur embarqué dans un ballon, découvrant ainsi les rayons cosmiques. Au cours son ascension, il observa que les radiations étaient de plus en plus nombreuses.

Les rayons cosmiques sont en fait des particules chargées (principalement des protons), accélérés jusqu'à des énergies considérables au sein d'accélérateurs naturels. Notre Soleil en fait notamment partie.

De par l'énergie dégagée lors de leur explosion et l'onde de choc se propageant après celle-ci, les supernovae pourraient être, dans notre galaxie, les principaux accélérateurs de rayons cosmiques.



«Le résultat de ces observations semble être expliqué de la façon la plus simple en supposant qu'un rayonnement extrêmement pénétrant entre dans notre atmosphère par au-dessus»
(V. Hess)

Les nébuleuses de pulsar

Comme on l'a vu précédemment, après l'explosion d'une étoile massive en supernova, il peut subsister une étoile à neutrons, tournant rapidement sur elle-même, que l'on l'appelle **pulsar**. Cet objet émet un **flot de particules** se déplaçant à des vitesses supersoniques. Comme dans le cas du **vestige de supernova**, une onde de choc est créée en avant, accélérant les particules. Cette zone délimite la **nébuleuse de pulsar**.

Nous avons donc maintenant trois différentes parties à considérer (cf. schéma ci-contre) :

- le pulsar et le flot de particules alentour
- la nébuleuse
- le vestige de supernova

Toute particule chargée étant accélérée, rayonne. L'étude de ce rayonnement au niveau de la nébuleuse permet de mieux comprendre les phénomènes physiques se produisant au niveau du pulsar et dans son environnement.

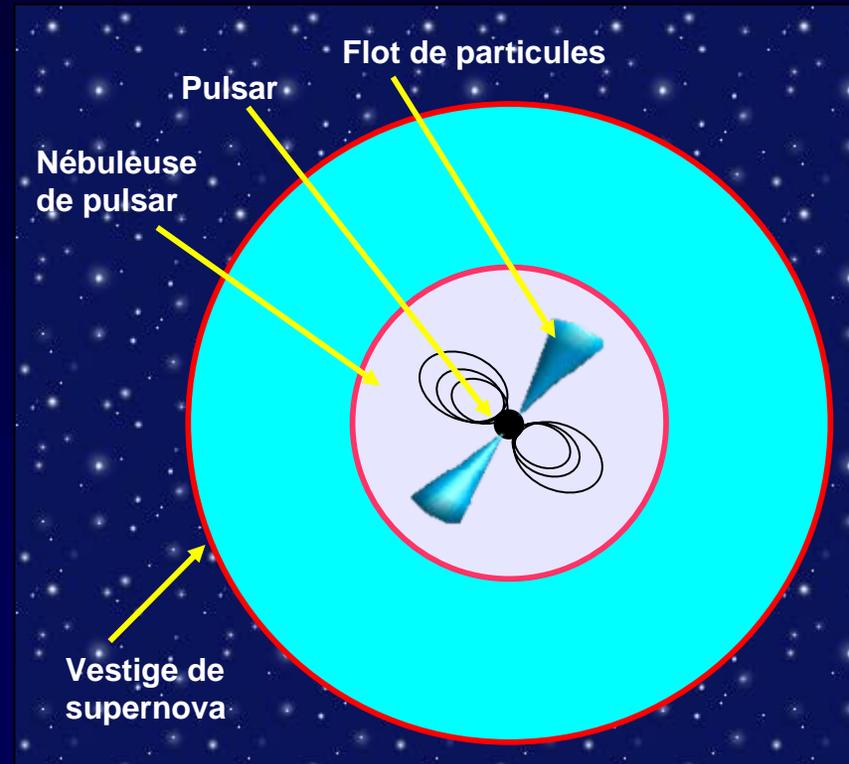
Pour en savoir encore plus :

<http://www.astrofiles.net/astromie-les-pulsars-42.html>

<http://www.innovationcanada.ca/16/fr/pdf/pulsars.pdf>

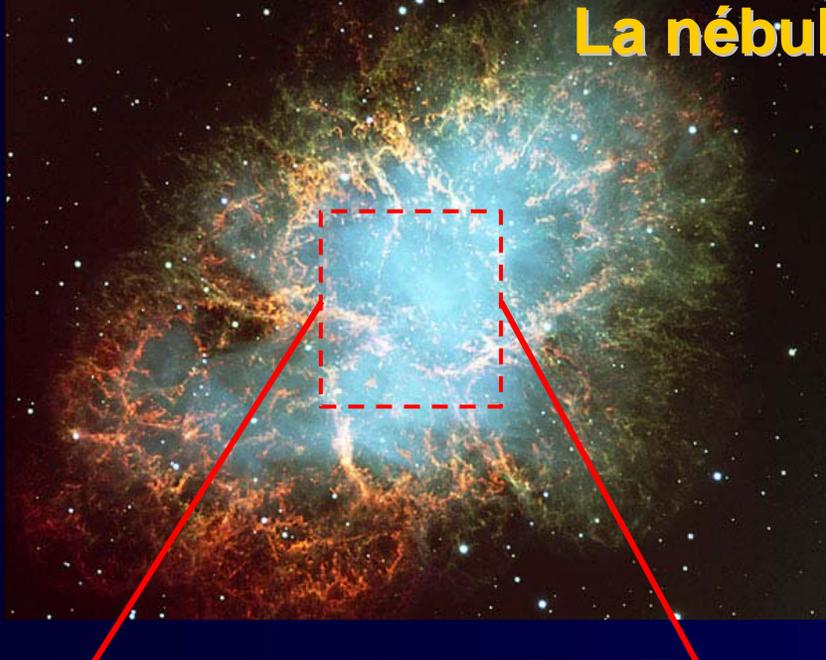
<http://www2.globetrotter.net/faaq/bibliotheque/autres/bellt500.htm>

http://www-cosmosaf.iap.fr/IAP_web/N%C3%A9buleuses%20SN%20Objets%20compacts%20mars%202005%20html.htm

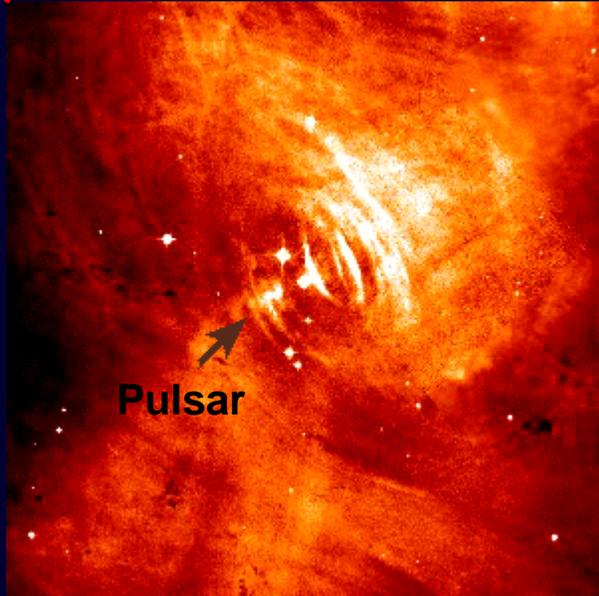


Description schématique d'une nébuleuse de pulsar entourée par un vestige de supernova

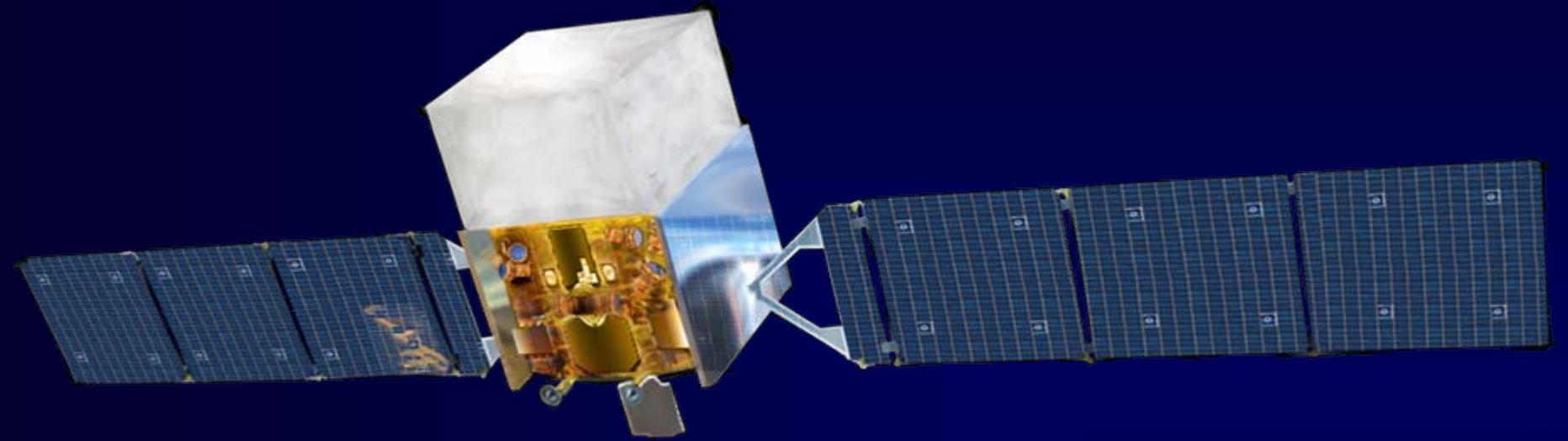
Un exemple de nébuleuse de pulsar : La nébuleuse du Crabe



Observation de la nébuleuse du Crabe par le Very Large Telescope (VLT), le télescope géant construit par l'ESO au Chili.



Observation de la nébuleuse du Crabe par le satellite NASA Hubble Space Telescope.

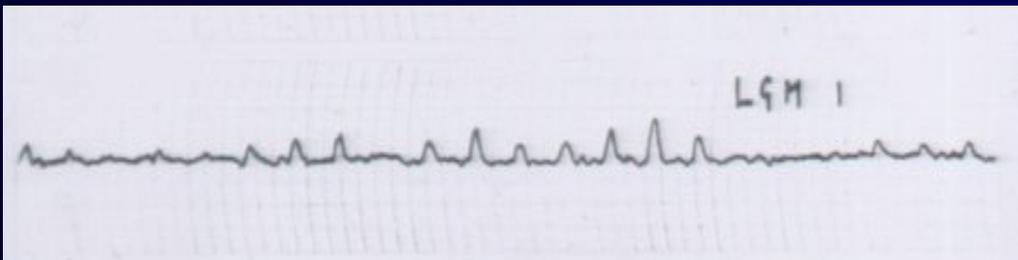


[Retour au Menu](#) 

Les pulsars – La découverte

La première observation d'un pulsar a eu lieu par hasard en 1967, alors que Jocelyn Bell et Anthony Hewish recherchaient des scintillations provenant des galaxies lointaines, avec le radiotélescope de Cambridge, en Angleterre (ci-contre : Jocelyn Bell devant le télescope de Cambridge). Ils s'étaient en effet dotés d'un appareil leur permettant de relever des variations du signal à l'échelle de la seconde.

En pointant leur instrument dans une direction précise du ciel, ils détectèrent un signal prenant la forme de **pulsations** (voir ci-dessous) **régulières et rapides**.

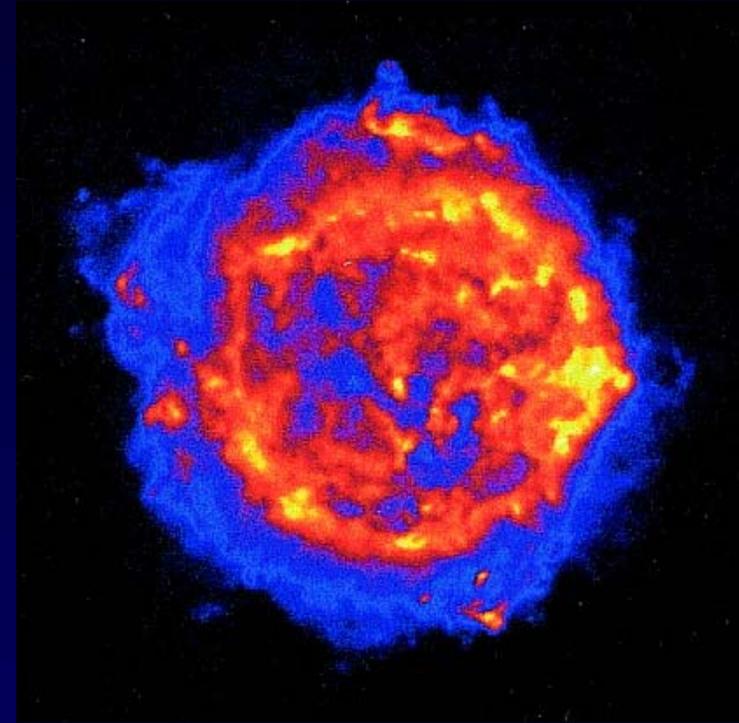


La source de ces pulsations fut baptisée LGM1 (« petit homme vert 1 ») pendant quelques temps, l'émission régulière laissant penser à des signaux extra-terrestres. Il fallut quelques mois pour comprendre que l'émission ne provenait ni d'extra-terrestres ni même de la Terre, mais d'objets encore jamais observés, qu'on appela « **pulsars** ».

Naissance des pulsars

Les étoiles massives finissent leur vie en explosion, appelée supernova, et éjectent l'essentiel de leur matière dans toutes les directions (pour une explication détaillée de la vie des étoiles massives et des supernovae, voir [Les Nébuleuses de pulsars](#))

Certaines de ces explosions laissent au centre un résidu compact, qui peut être soit [un trou noir](#) (voir [noyaux actifs de galaxie](#)) de quelques masses solaires, soit [un pulsar](#), c'est à dire [une étoile à neutrons en rotation rapide](#).



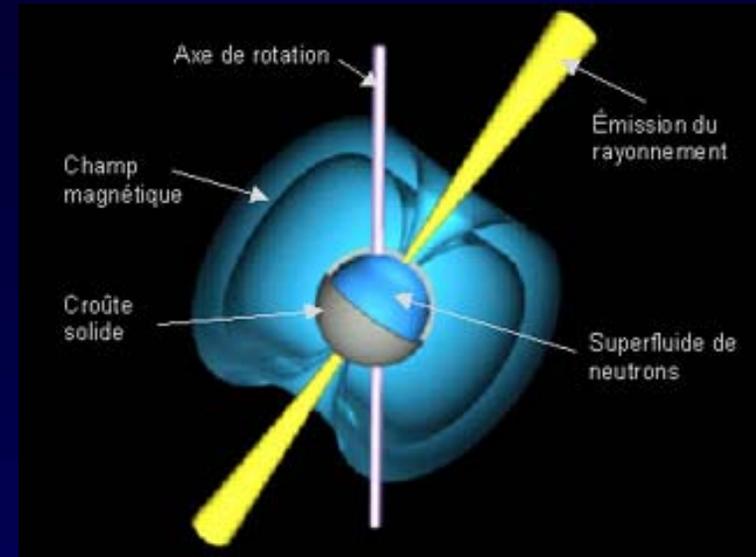
Reste de supernova Cassiopea A

Pourquoi le pulsar tourne-t-il si rapidement sur lui-même ?

Par le même phénomène qui fait augmenter la vitesse de rotation d'un patineur effectuant une pirouette, lorsqu'il rapproche ses bras ; Lorsque l'étoile mourante rétrécit pour devenir un pulsar, sa rotation s'accélère graduellement.

Des phares cosmiques

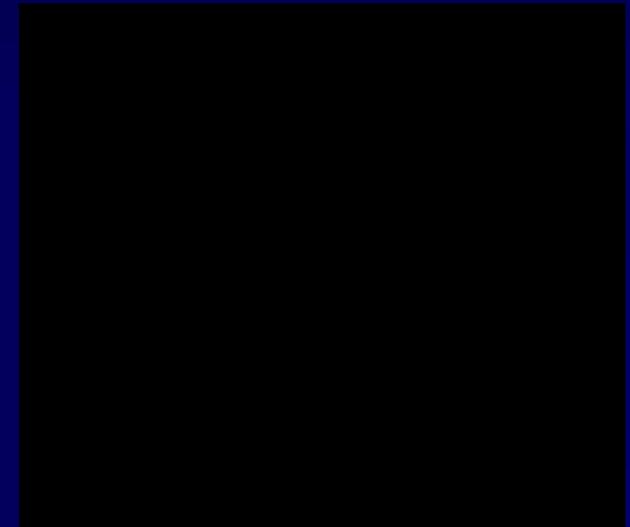
Le pulsar présente un champ magnétique intense (plusieurs milliers de milliards de fois plus intense que le champ magnétique terrestre) en rotation avec l'étoile. L'axe de symétrie du champ magnétique n'est pas nécessairement aligné avec l'axe de rotation de l'étoile (voir schéma ci-contre), à l'instar de la Terre dont les pôles géographiques et magnétiques ne coïncident pas.



crédit : Universus

Une émission de rayonnement radio se crée le long de cet axe magnétique, sous la forme d'un faisceau qui balaye le ciel à cause de la rotation de l'astre, à la manière d'un phare. Si la Terre est illuminée par le faisceau, l'émission du pulsar apparaîtra sous la forme de flashes lumineux (voir animation en bas à droite).

C'est cette émission radio que détectèrent entre autres Jocelyn Bell et Anthony Hewish en 1967.



crédit : M. Kramer, Université de Manchester

Quelques chiffres

- ☛ Quarante ans après la première découverte d'un pulsar, on a détecté l'émission radio de 1800 pulsars environ. Mais il en existe probablement des centaines de milliers dans la Galaxie...
- ☛ Les pulsars ont un diamètre d'environ 20 km
- ☛ Leur masse est supérieure à celle du soleil : $m \sim 1,4 M_{\text{Soleil}}$ soit environ 500000 fois plus lourd que la Terre !
- ☛ Ils sont donc extrêmement denses : la masse d' 1 cm³ est équivalente à celle de toute l'humanité !
- ☛ La gamme de fréquence de rotation des pulsars est très étendue comme le montrent les trois exemples suivants :

Pulsar J1748-2446ad
42984 tours par minute



Pulsar J1841-0456
5 tours par minute



Pulsar du Crabe
1812 tours par minute

- ☛ Les pulsars tournent sur eux-mêmes de façon incroyablement régulière : par exemple le pulsar du Crabe aura sa période augmentée d'une seconde dans près de 75000 ans !

Observation des pulsars

Energie

Longueur d'onde



CGRO (EGRET)



Chandra



Hubble



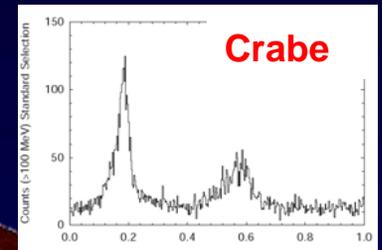
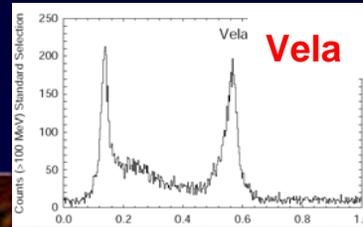
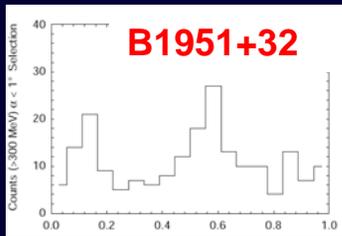
Parkes

LISTE NON EXHAUSTIVE !

Outre le rayonnement radio, les pulsars, à l'instar des autres sources du ciel sont étudiés dans toutes les gammes d'énergie lumineuse, de l'infra-rouge aux rayons gamma, afin d'accumuler les informations sur ces objets. **EGRET, à bord de la mission CGRO, était le prédécesseur du Large Area Telescope (LAT) à bord de GLAST.** Les trois sources les plus intenses détectées par EGRET étaient des pulsars....

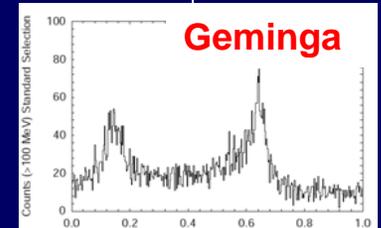
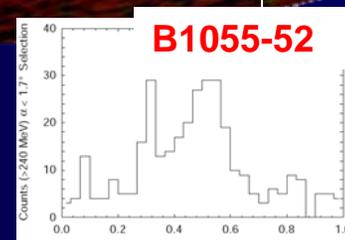
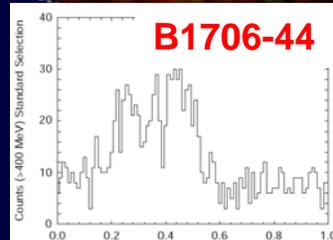
Oui mais...

Si 1800 pulsars ont été vus en radio, **8 seulement ont été vus en lumière visible, 27 en rayons X et 7 en rayons gamma !**



Ces graphes montrent le ciel vu par EGRET, et les 6 pulsars qu'il a détectés.

Pour chaque pulsar, on trace l'intensité des rayons gamma détectés au cours d'un tour (la phase).



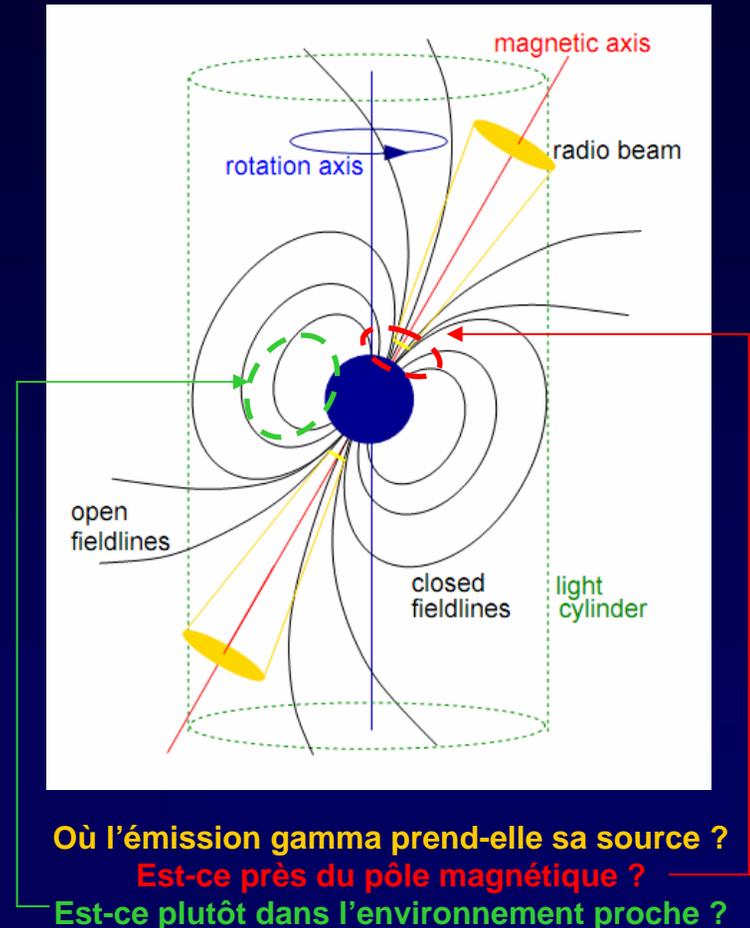
Recherche de pulsars avec GLAST

Le Large Area Telescope embarqué par le satellite GLAST succèdera à EGRET dans le domaine de la lumière gamma, mais avec une sensibilité bien meilleure.

Le nombre de pulsars détectés dans cette gamme d'énergie devrait augmenter de façon significative : quelques dizaines pour les prédictions les plus prudentes, des centaines pour les modèles optimistes.

Grâce aux données obtenues avec le LAT il sera possible de mieux comprendre **les pulsars eux-mêmes, leur environnement immédiat** (quelques centaines de kilomètres), ainsi que les phénomènes qui entraînent l'émission des rayonnements gamma.

On pense que les rayonnements énergétiques sont produits par des électrons accélérés dans des zones proches du pulsar dont la position et les propriétés restent à déterminer.

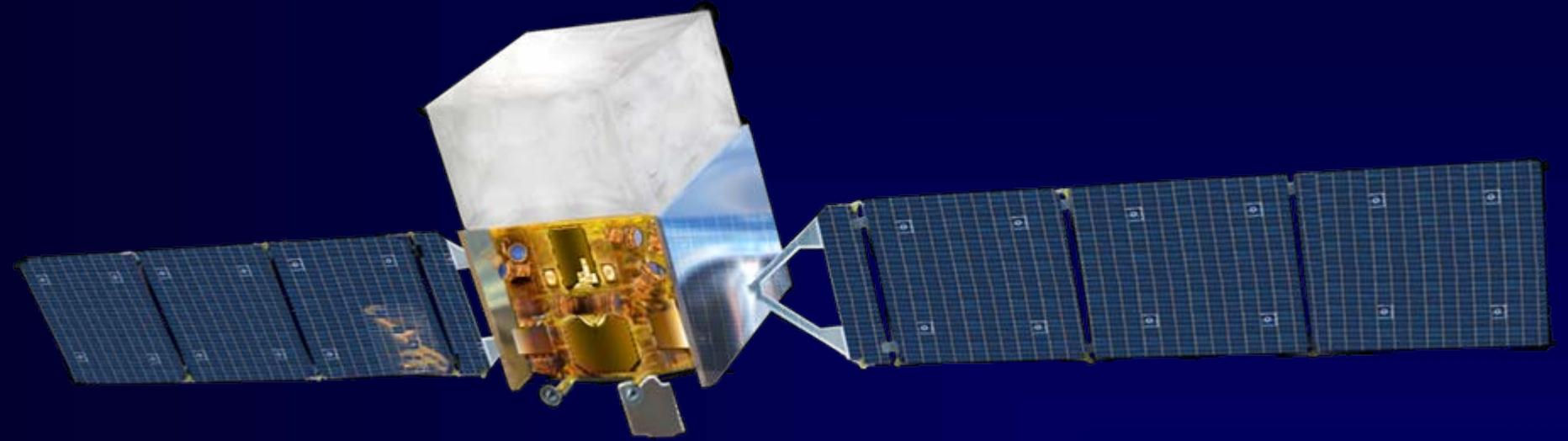


Pour en savoir encore plus :

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Pulsar>

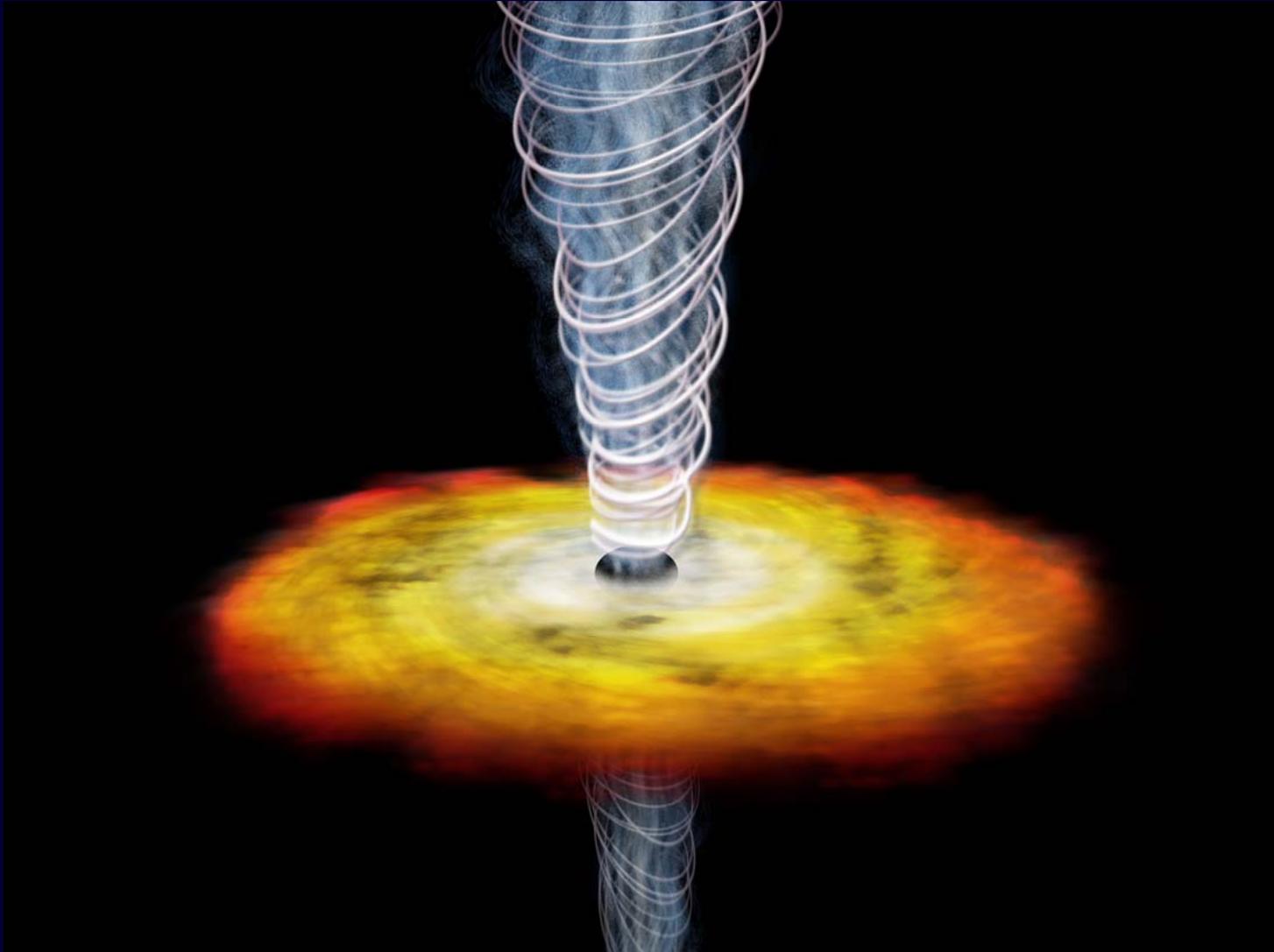
<http://www.astrofiles.net/astronomie-les-pulsars-42.html>

<http://www.cieletespaceradio.fr/index.php/2007/09/10/197-pulsars-les-phares-de-la-galaxie-1-3>



[Retour au Menu](#) 

Blazars, quasars et autres noyaux actifs de galaxie



La Voie Lactée

Notre Galaxie, la Voie lactée, dont la forme ressemble à celle de cette photo, regroupe environ trois cent milliards d'étoiles.

Son diamètre est d'environ 100 000 années lumière.

Notre Soleil n'est qu'une humble étoile jaune, située approximativement à mi-chemin entre le centre et la périphérie.

Spiral Galaxy NGC 3949



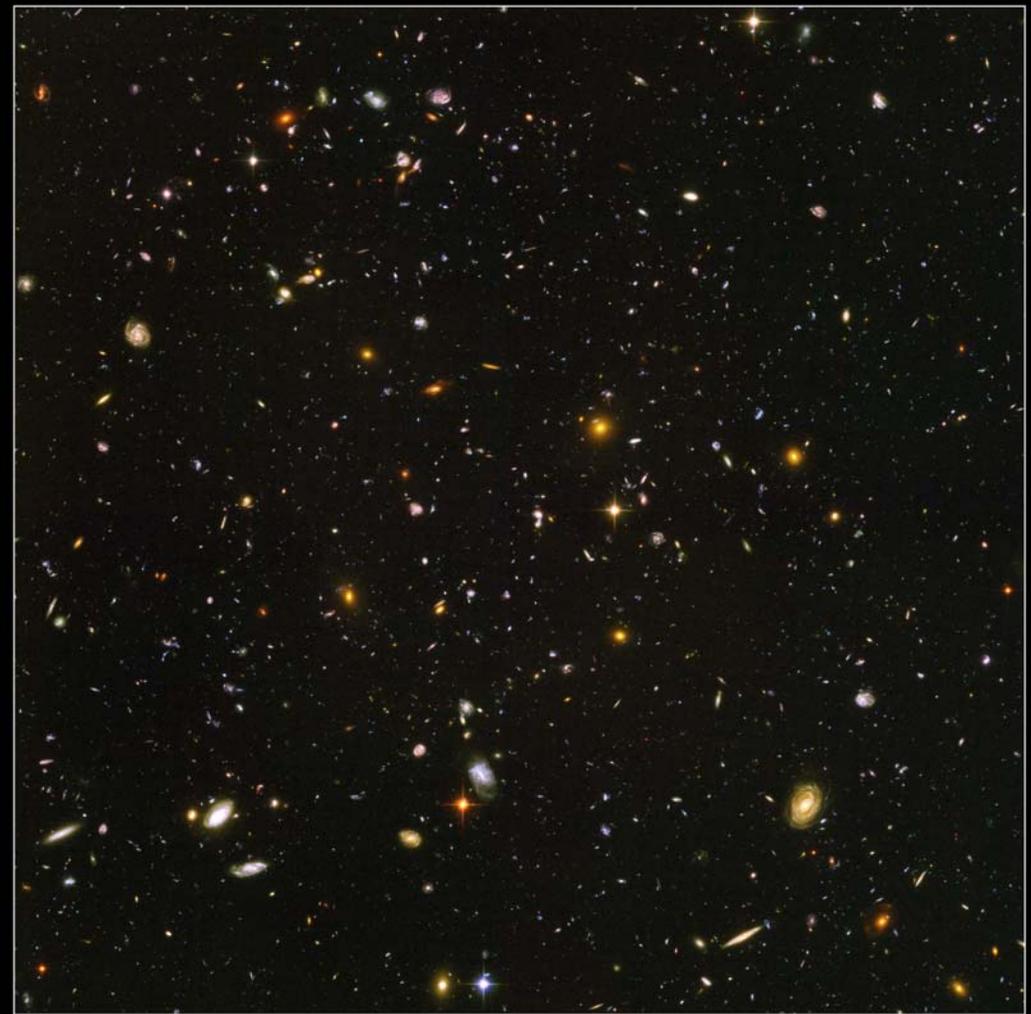
Hubble
Heritage

Les galaxies dans l'Univers

On estime que l'Univers compte environ 100 milliards de galaxies.

Une photographie telle que celle-ci, prise avec un long temps d'exposition, révèle un grand nombre de galaxies lointaines, de formes spirales, elliptiques ou irrégulières.

La lumière qu'elles émettent met un temps considérable à nous parvenir. Nous voyons donc ces galaxies telles qu'elles étaient dans le passé.



Hubble Ultra Deep Field
Hubble Space Telescope • Advanced Camera for Surveys

Les galaxies à noyau actif

Certaines galaxies (quelques pourcents de l'ensemble), telles que celle-ci sont dites « actives », ce qui se caractérise par un noyau central extrêmement brillant et compact.

La luminosité du noyau peut excéder celle des étoiles la constituant par un facteur 100 et peut être 1000 fois plus élevée que la luminosité de la Voie Lactée.

La région centrale émet des rayonnements caractéristiques de températures élevées, supérieures à plusieurs dizaines de milliers de degrés.

Notre Voie Lactée n'est pas une galaxie active.

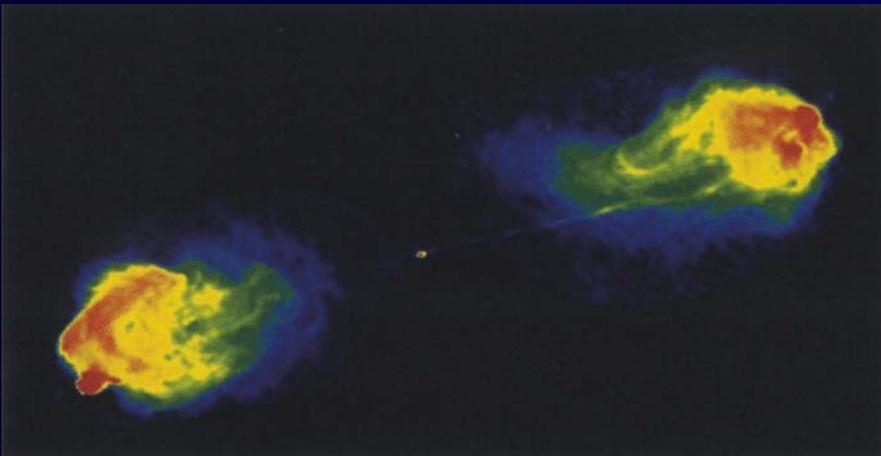
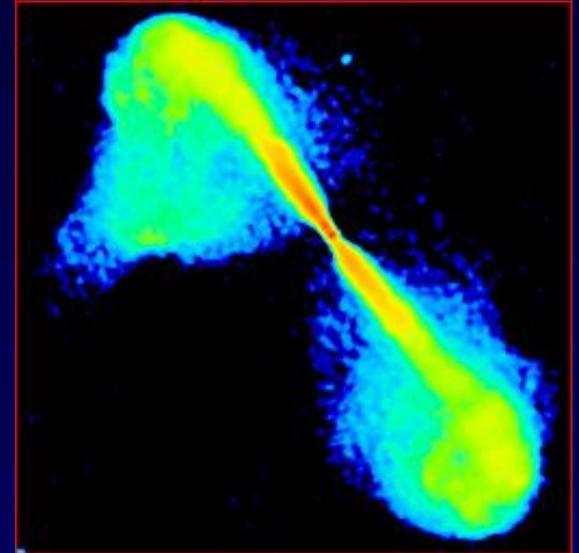
Les quasars (nom qui vient de l'anglais « quasi-stellar object », ou objet quasi-stellaire), sont les plus brillantes des galaxies actives et sont visibles à des milliards d'années lumière.



Les radiogalaxies

Environ 10% des galaxies actives sont de forts émetteurs en ondes radio et sont donc appelées radiogalaxies.

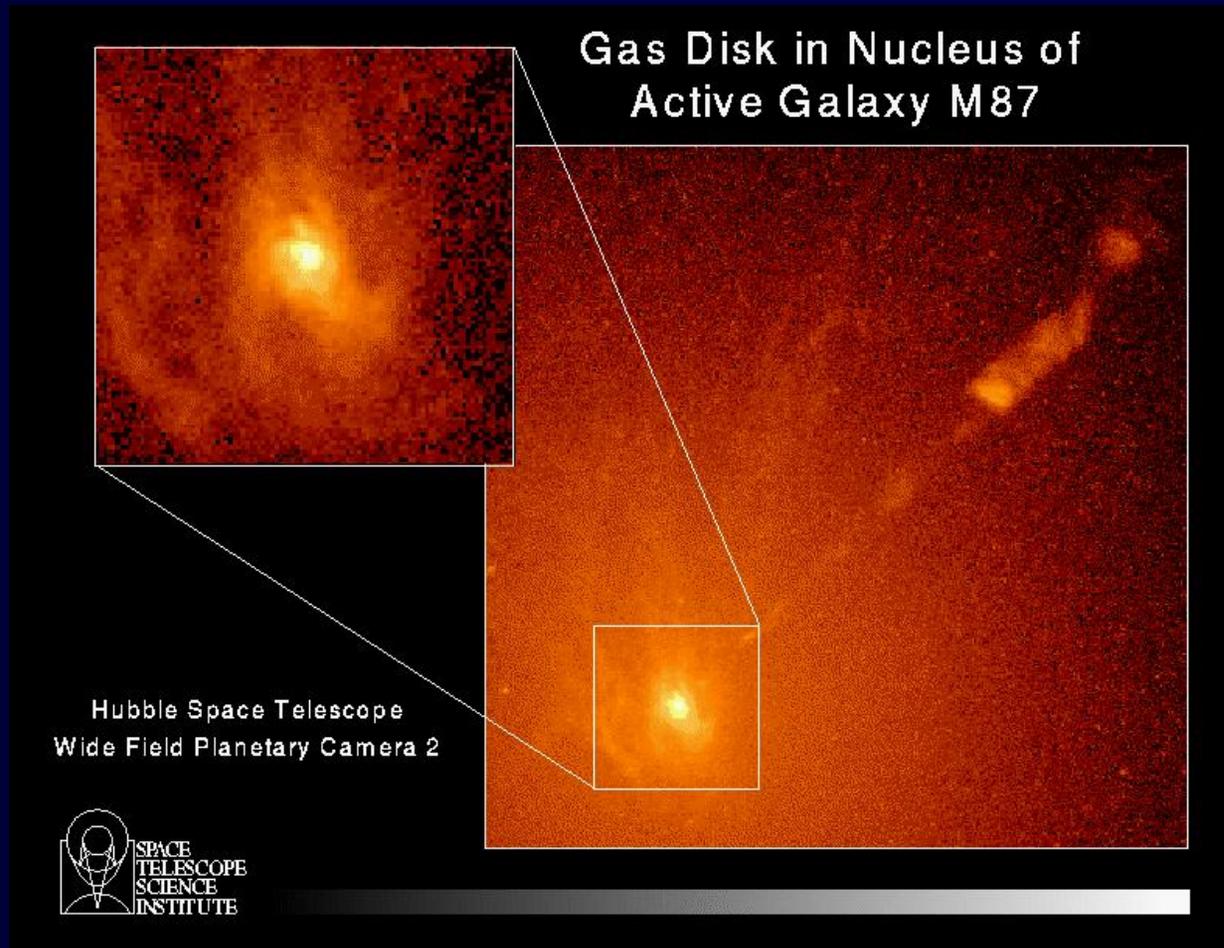
Les images très précises des radiotélescopes modernes montrent des jets qui s'étendent très loin de part et d'autre de la galaxie centrale. La taille des jets peut atteindre 10 fois la taille de la galaxie.



On observe que luminosité et morphologie sont corrélées : les radiogalaxies peu lumineuses présentent un jet évasé, brillant près du cœur, alors que les plus lumineuses ont un jet très fin terminé par des lobes brillants.

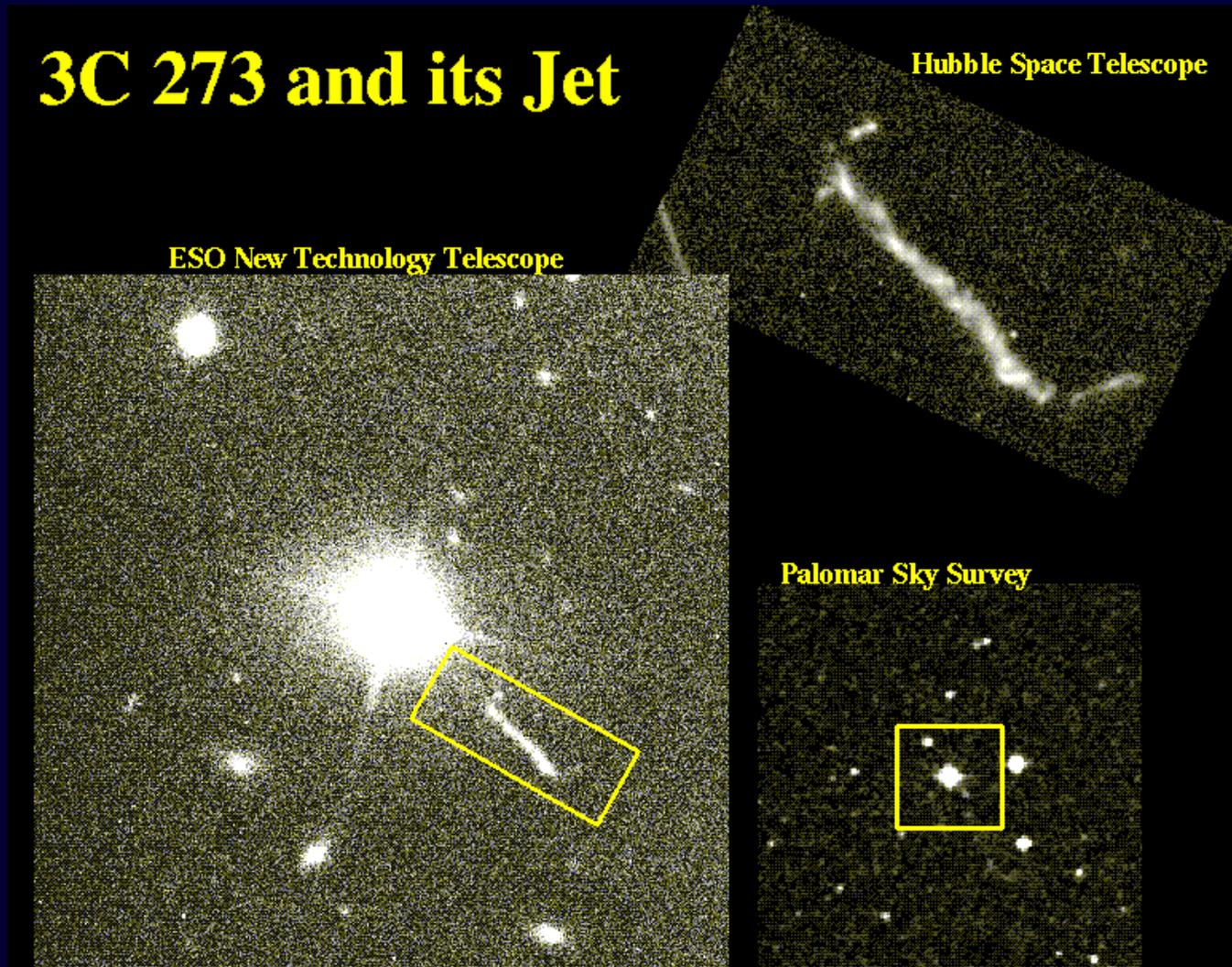
M87, un AGN dans notre voisinage...

Voici deux exemples de galaxies actives proches, qui peuvent donc être étudiés plus en détail : M87 est une galaxie géante située dans l'amas de la vierge. Elle présente un jet détecté dans différentes longueurs d'onde, en radio, rayons X et dans le domaine visible (photo). Ce jet a été observé pour la première fois en 1912, à une époque où l'on ignorait tout des galaxies actives.



Un autre, 3C273

L'autre exemple est le quasar le plus brillant vu de la Terre, 3C273, qui peut être observé avec un télescope d'amateur bien que situé à plusieurs milliards d'années lumière. Un jet s'en échappe, visible par les très grands télescopes.

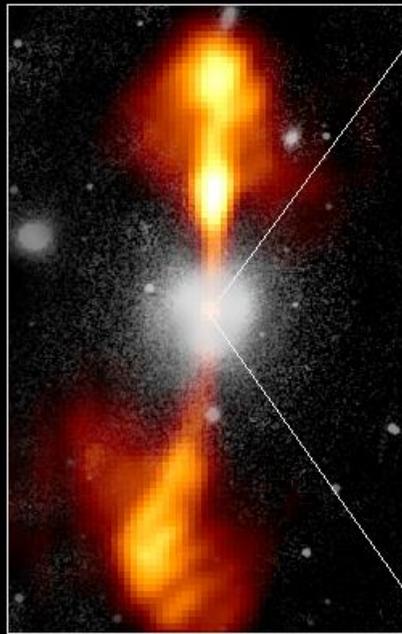


Une autre galaxie active

Core of Galaxy NGC 4261

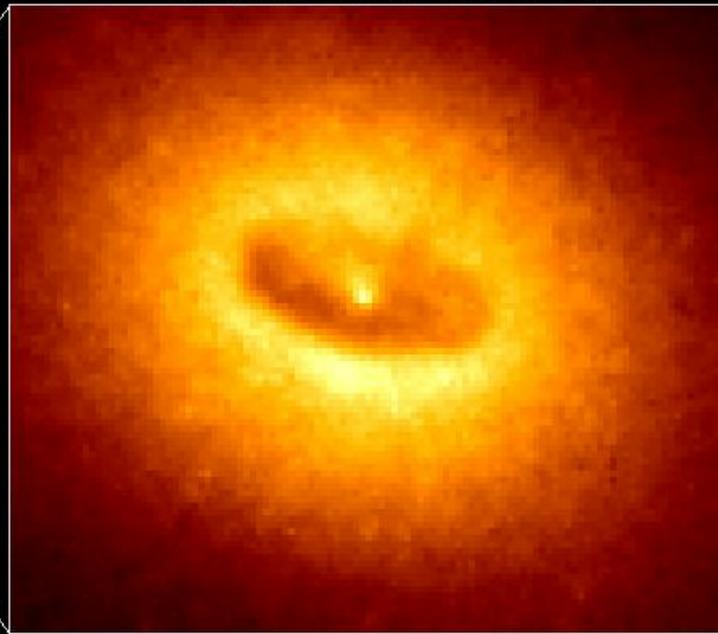
Hubble Space Telescope
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image



380 Arc Seconds
88,000 LIGHTYEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk



17 Arc Seconds
400 LIGHTYEARS

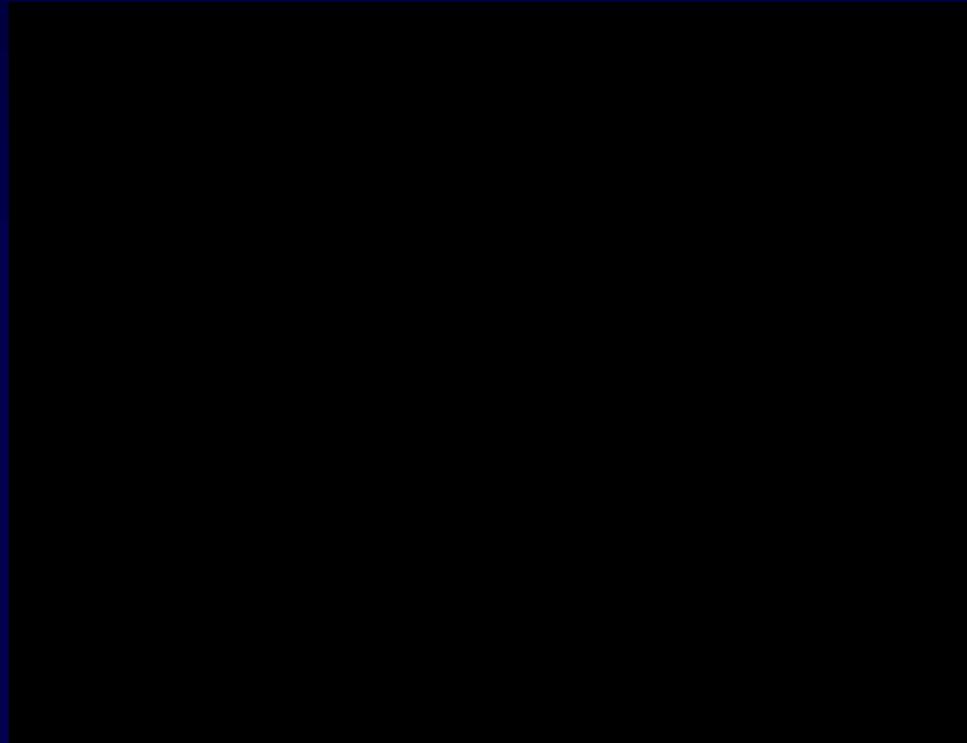
On voit dans la photo de gauche une image composite en lumière visible et radio, montrant la galaxie et ses lobes radio. A droite, une photographie de la partie centrale de la galaxie réalisée avec le télescope Hubble fait apparaître un disque composé de gaz et de poussière.

Les éléments des quasars

Quelle est la source d'énergie permettant aux quasars d'être aussi lumineux, et quel mécanisme permet de convertir cette énergie en rayonnement?

Cette animation, représente de façon schématique les différents éléments nécessaires pour expliquer ce phénomène :

un trou noir, entouré d'un disque en rotation, et (dans certains cas) un jet émis perpendiculairement au disque.



Le moteur d'un quasar, le trou noir central

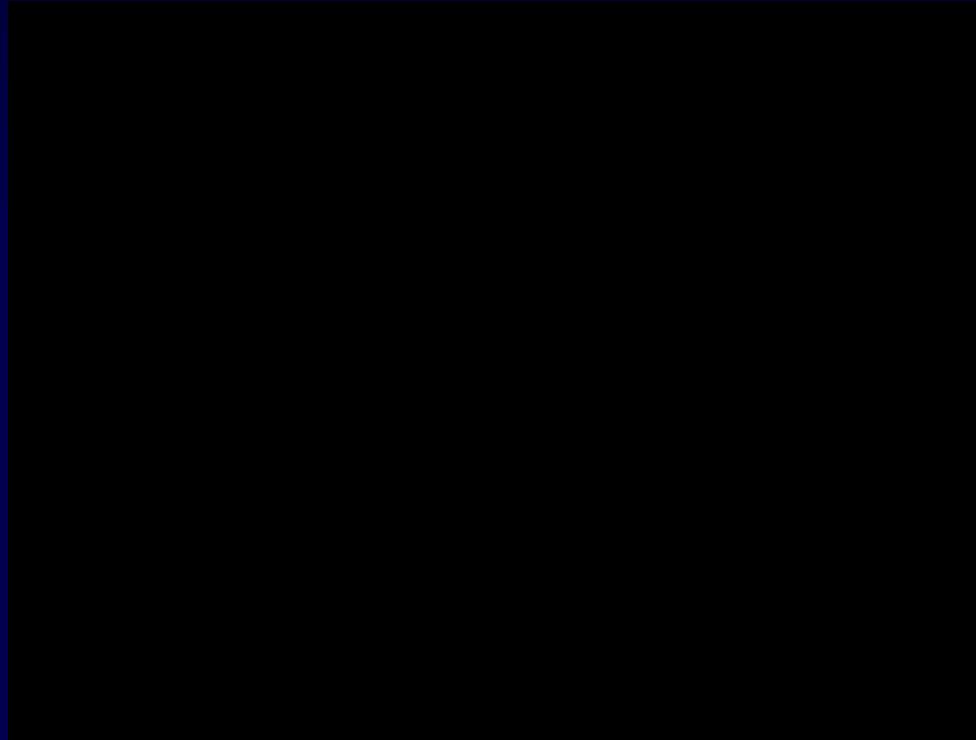
Un trou noir dont la masse est de plusieurs centaines de millions de fois celle du soleil représente le « moteur central » et attire à lui la matière environnante.

La gravité engendrée par cet objet très compact est tellement forte que même la lumière ne peut s'en échapper.

Une fois que la matière a passé une distance critique marquant « l'horizon » du trou noir, elle est irrémédiablement absorbée.

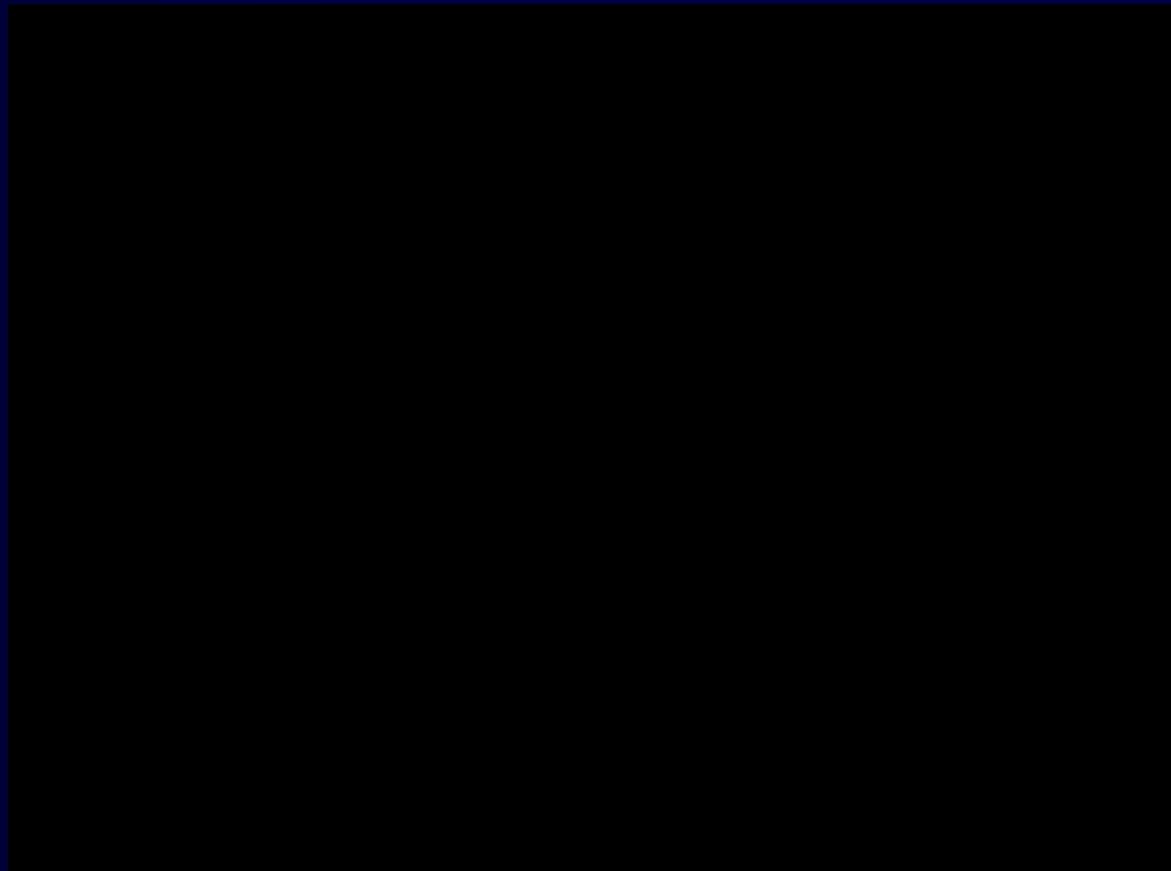
Le trou noir peut être en rotation, il entraîne alors avec lui la matière présente dans son environnement immédiat.

Cette figure est très idéalisée : la lumière qui passe à proximité du trou noir voit sa trajectoire très perturbée et l'image qu'aurait un hypothétique observateur de l'environnement du trou noir serait en fait très déformée.



Le disque

Dans le disque, la matière tourne autour du trou noir. Une partie est transportée graduellement vers l'intérieur, attirée par le trou noir, c'est ce que l'on appelle le phénomène d'accrétion. Pour pouvoir migrer vers l'intérieur, la matière doit être ralentie, par le frottement avec la matière environnante ou par d'autres processus, de la même manière qu'il faut ralentir le mouvement d'un satellite artificiel autour de la terre pour lui faire perdre de l'altitude. Du fait de cette friction, la température du disque augmente à mesure que la distance au trou noir diminue.

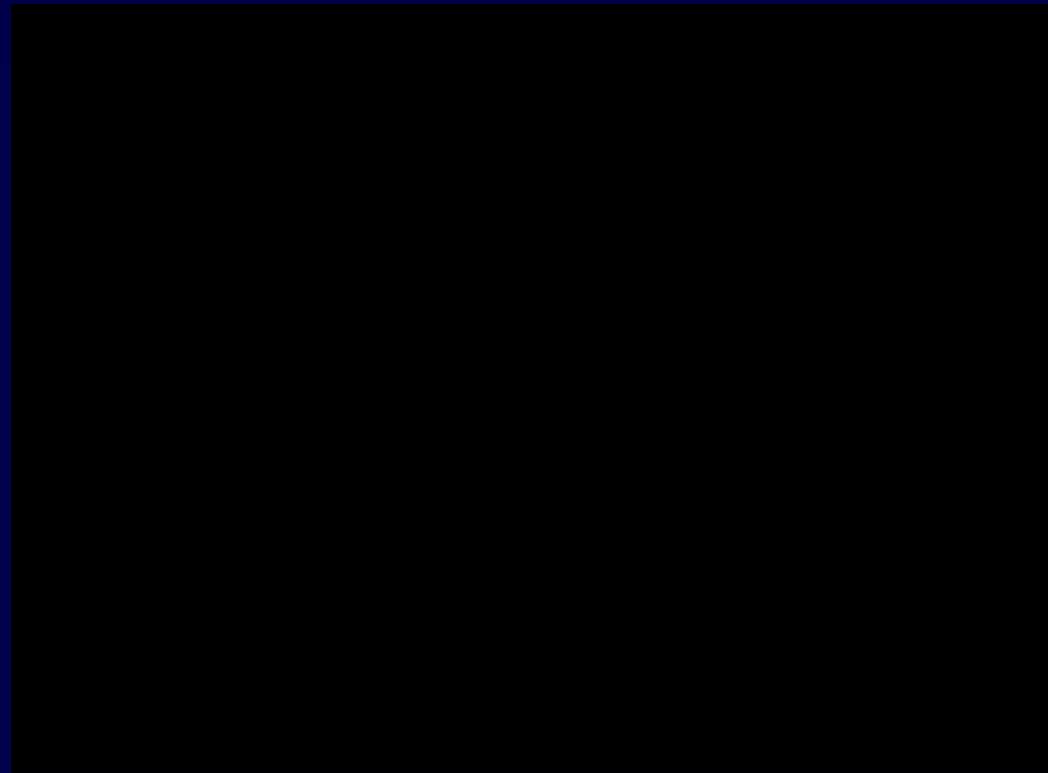


Le jet

Dans certaines conditions, un jet peut être produit perpendiculairement au disque.

Le processus de production est mal connu, mais on pense que le champ magnétique y joue un rôle important, de même que dans le mécanisme qui empêche le jet de se dilater latéralement et le maintient concentré sur de grandes distances.

Le champ magnétique est « ancré » dans le disque, il est torsadé à grande distance comme indiqué sur cette figure. Il applique un couple de forces sur le disque et contribue à ralentir ce dernier, favorisant ainsi le processus d'accrétion.

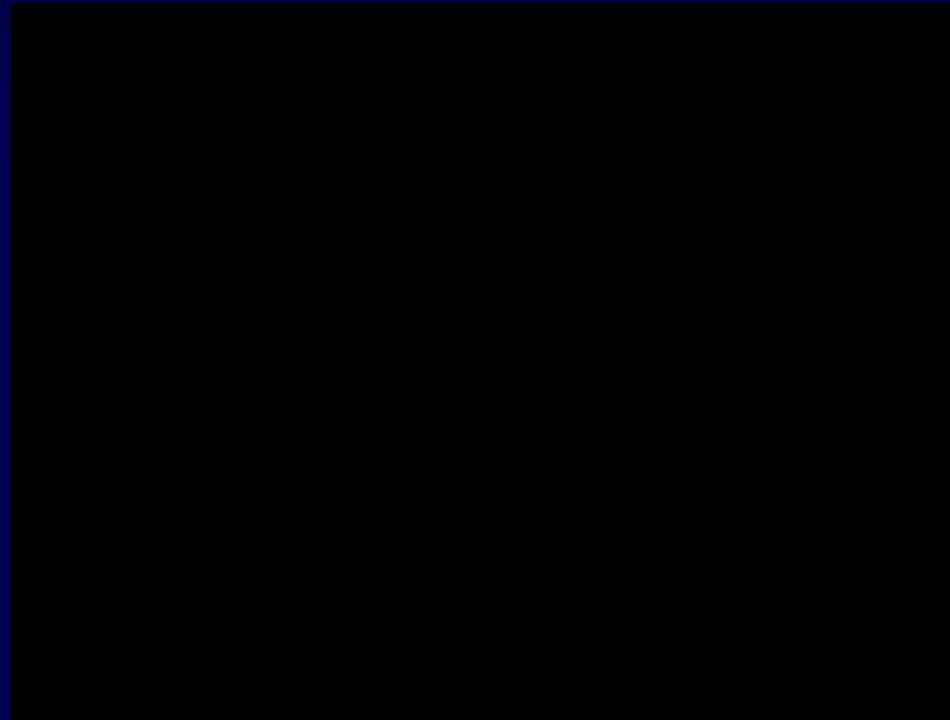


L'émission de rayons gamma

De manière sporadique, des bouffées de plasma (composé d'électrons, d'antiélectrons et de protons) se propagent le long du jet. Les plus rapides rattrapent d'autres plus lentes émises plus tôt. La collision engendre un choc, où les particules du plasma sont accélérées à de grandes énergies, comparables aux énergies les plus élevées que l'on sait produire avec des accélérateurs terrestres.

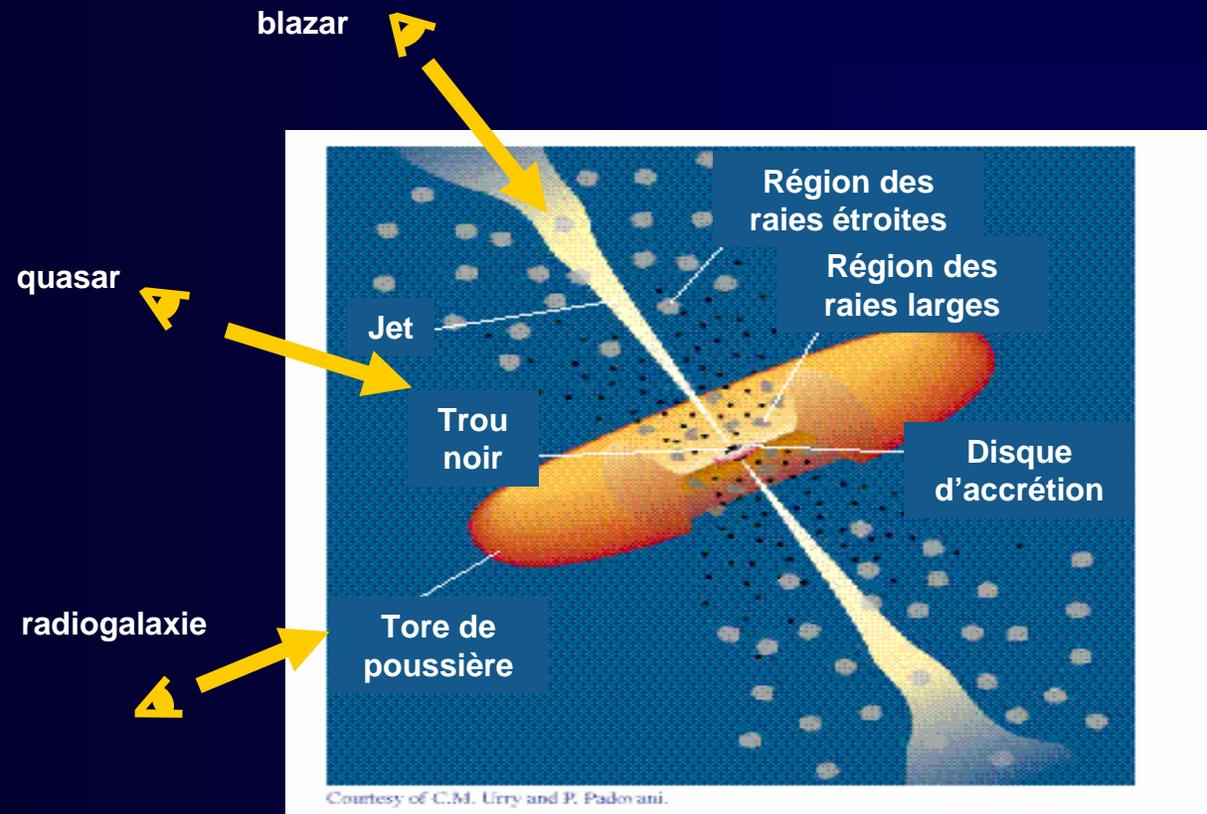
Ces particules vont produire des rayonnements énergétiques soit par interaction avec le champ magnétique local (c'est l'émission synchrotron), soit en communiquant une partie de leur énergie au rayonnement ambiant.

Ces rayonnements, dont certains sont des rayons gamma, sont émis pendant une période très brève et sont fortement focalisés le long du jet.



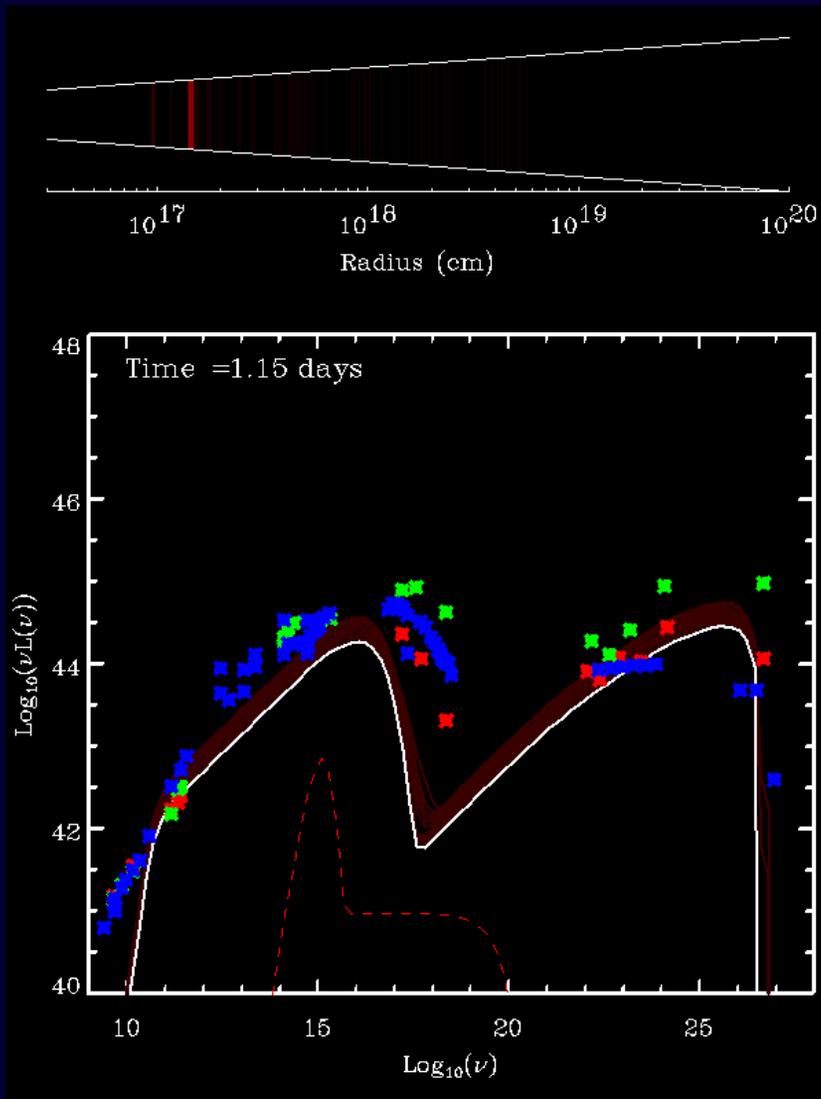
Plusieurs identités pour un même objet

Voici un schéma plus complet et à plus grande échelle d'un noyau actif de galaxie. Au centre, on retrouve les 3 éléments constitutifs, le trou noir, le disque et la base du jet. Un épais anneau de poussière borde le disque. Des nuages situés à différentes distances émettent des rayonnements particuliers, sous forme de raies étroites ou larges. Selon la direction d'observation, un observateur depuis la Terre verra une radiogalaxie si l'anneau occulte la zone centrale, un quasar s'il peut voir celle-ci ou alors un blazar, si la direction d'observation est alignée avec le jet.



Dans ce dernier cas, un phénomène d'amplification se produit et la luminosité apparente vue par l'observateur est environ 1000 fois supérieure à la luminosité réelle. Grâce à ce phénomène, les blazars sont des objets visibles à des distances de plusieurs milliards d'années lumière. Ce sont également des objets très variables, leur luminosité peut doubler en l'espace de quelques minutes.

Une luminosité très variable



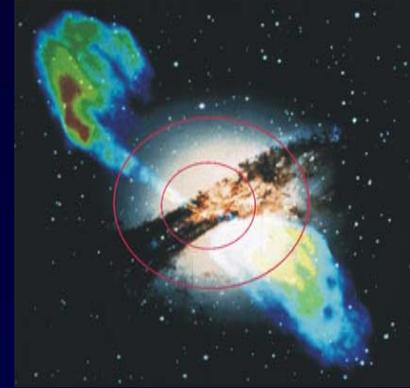
Dans cette figure, le panneau du haut illustre ce qui se passe dans le jet d'un blazar en fonction du temps, tel que le prédit un modèle théorique : les barres rouges symbolisent les collisions de bouffées de plasma à différentes distances du trou noir.

Le panneau du bas montre l'intensité des rayonnements produits lors de ces collisions en fonction de leur énergie (exprimée en une grandeur équivalente, la fréquence). Les symboles de couleur correspondent à des données mesurées avec différents télescopes. L'étude de la variabilité de ce type d'objets permet d'obtenir de nombreuses informations sur les phénomènes physiques qui y sont à l'œuvre, mais nécessite de réaliser des mesures simultanées sur l'ensemble du spectre électromagnétique s'étendant du domaine radio jusqu'au domaine des rayons gamma les plus énergétiques.

Ces mesures mobilisent une grande communauté d'astrophysiciens répartis dans le monde entier.

radio IR Opt. UV X γ (GLAST) γ (HESS)

Noyaux actifs de galaxie vus par GLAST



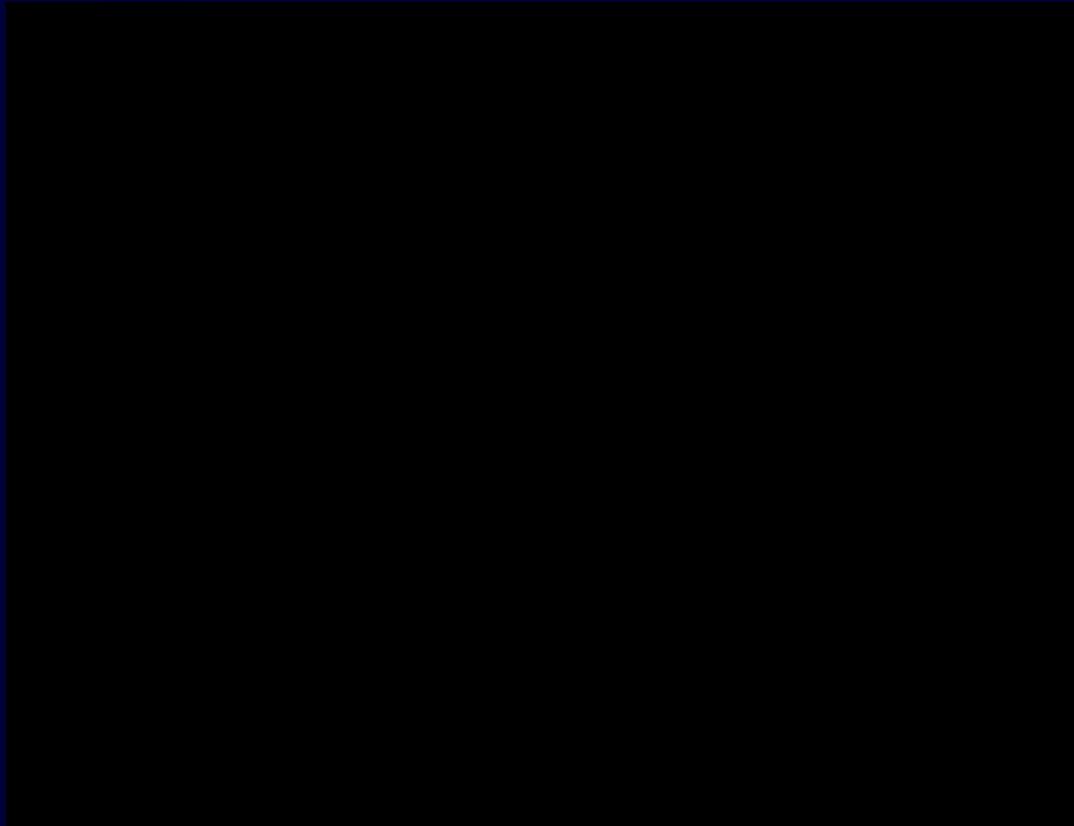
Environ 100 blazars ont été détectés par EGRET, avec des décalages spectraux, caractérisant leur distance, entre 0,03 (environ 400 millions d'années lumière) et 2,3 (environ 10 milliards d'années lumière). On s'attend à ce que GLAST détecte plus de mille blazars. Comme GLAST surveillera le ciel en permanence, on pourra étudier en détail l'activité de ces sources variables. Plus les sources sont brillantes, plus il est facile de les étudier.

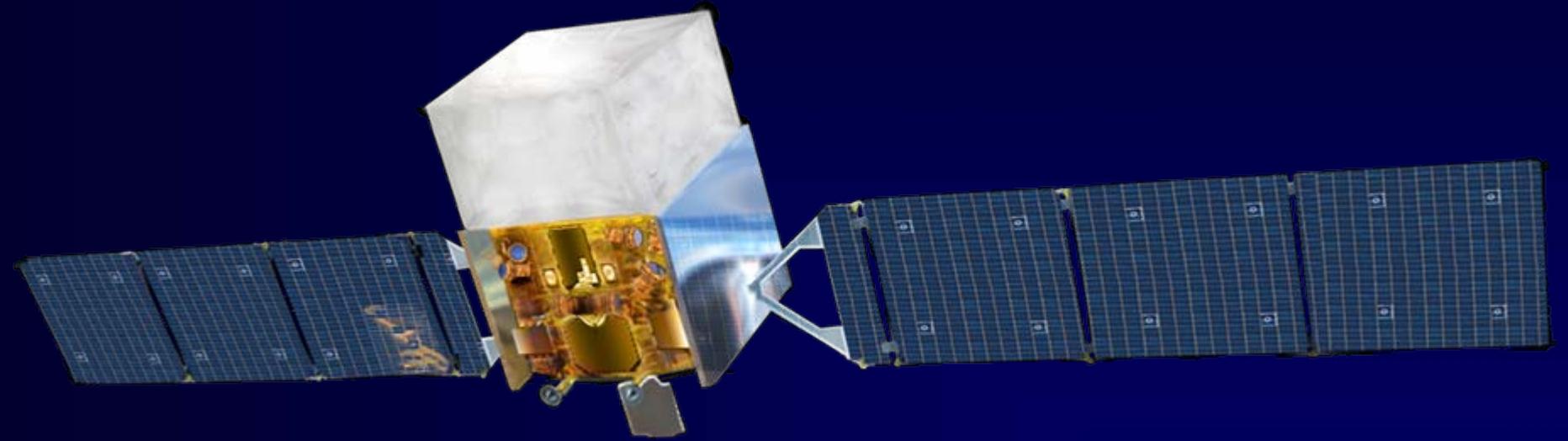
Les propriétés des rayonnements et leur évolution temporelle devraient apporter un éclairage nouveau sur ces objets fascinants et permettre d'apporter des éléments de réponse aux questions non-élucidées comme :

- Quel est la nature du plasma dans le jet (plasma électrons et de positons ou plasma d'électrons et de protons)?
- A quelle distance du trou noir les rayons gamma sont-ils produits?
- Quel est l'environnement à cet endroit?
- Quels paramètres physiques gouvernent les différentes propriétés distinguant les différentes classes de sources observées (luminosités, formes spectrales, âges...)?

Dans le jet

Et pour finir, voici ce qu'un observateur placé sur une boule de plasma du jet s'éloignant du trou noir, verrait s'il regardait en arrière, vers la base du jet. Il voit s'approcher une autre boule, plus rapide. Le choc va engendrer des rayons gamma détectables depuis la Terre, pour le plus grand bonheur des scientifiques. Enfin, on est mieux chez nous!

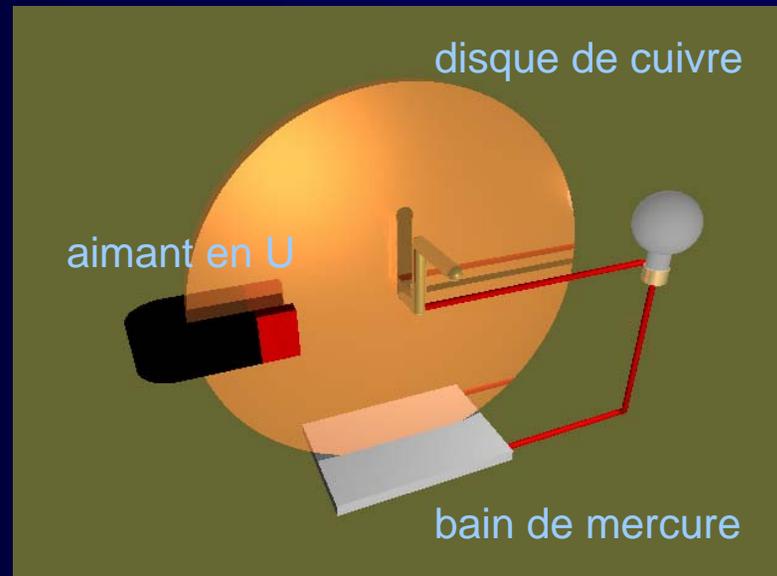




[Retour au Menu](#) 

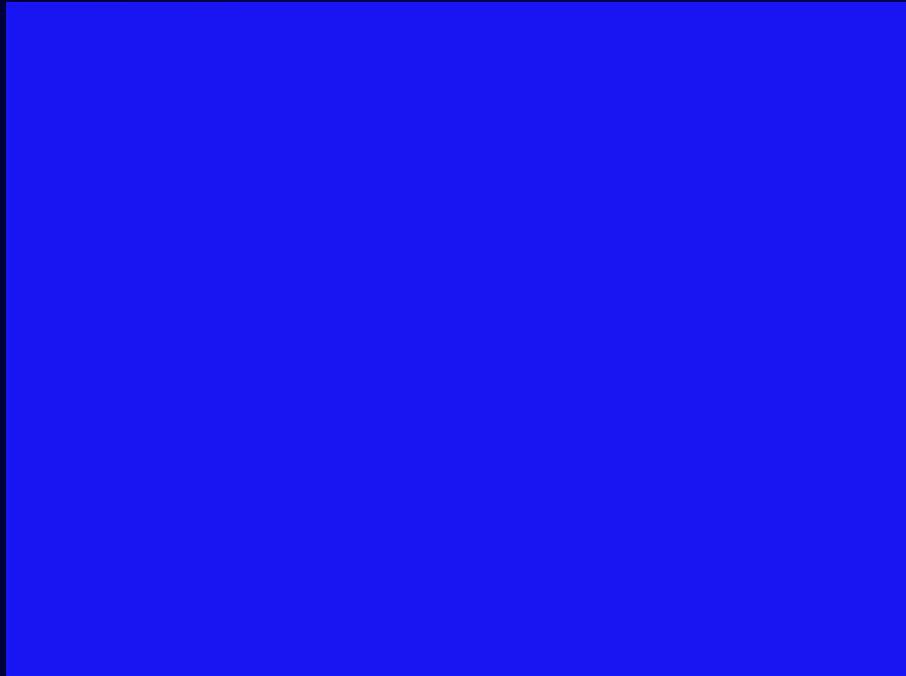
Extraire de l'énergie d'un trou noir

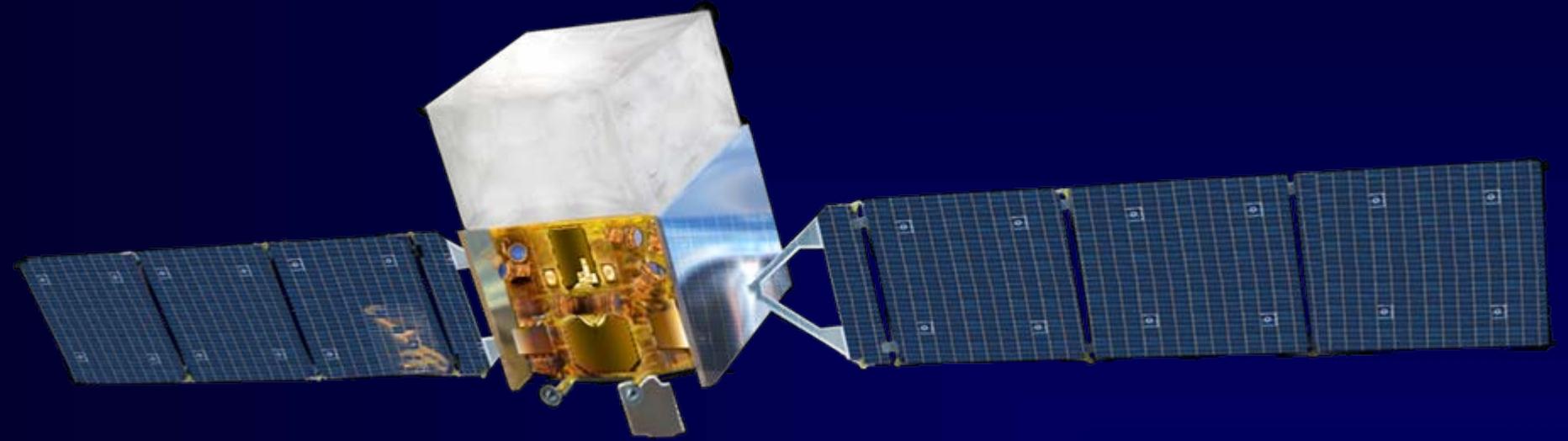
Comment l'énergie du jet, qui est propagée jusqu'aux lobes radio, peut-elle être extraite du trou noir ? Le mécanisme précis n'est pas connu avec certitude, mais on pense qu'il s'apparente à une roue de Barlow géante. Qu'est ce qu'une roue de Barlow ? C'est un générateur de courant élémentaire, composé d'un disque en cuivre placé verticalement et dont la partie inférieure baigne dans du mercure, métal qui est liquide à température ambiante et d'un aimant en U créant un champ magnétique perpendiculaire au disque. On crée un circuit avec une ampoule reliée d'une part à l'axe de la roue et d'autre part au mercure. Lorsque le disque est au repos, rien ne se passe. Si on fait tourner le disque (cliquer sur l'image ci-dessous), un courant circule dans le circuit et l'ampoule se met à briller : nous avons bien un générateur de courant. Dans le noyau actif de galaxie, le trou noir en rotation joue le rôle de la roue, le courant circule le long du jet et retourne vers le trou noir via le disque d'accrétion, le champ magnétique est créé par les différents courants électriques présents.



Extraire de l'énergie d'un trou noir

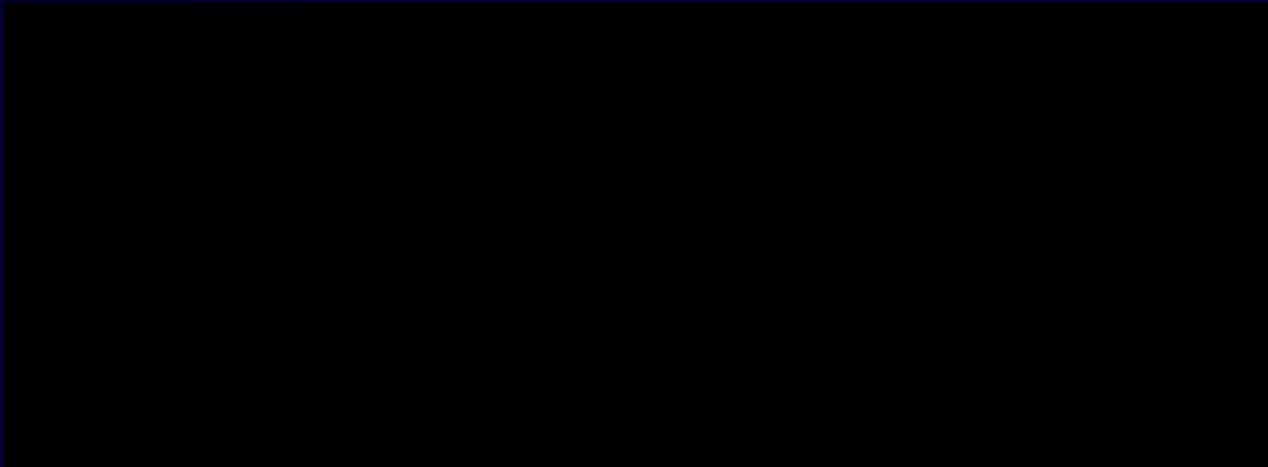
Si on remplace l'ampoule par une pile, la roue se met à tourner spontanément : on obtient alors un moteur élémentaire. Il est facile de réaliser soi-même un moteur fonctionnant sur le même principe, à l'aide de petits aimants cylindriques, d'une vis à bois d'une pile et d'un bout de fil électrique permettant de fermer le circuit. Dans ce film, une petite languette de papier a été placée entre deux aimants pour faciliter la visualisation du mouvement de rotation. Cliquer sur l'image ci-dessous pour démarrer le film.





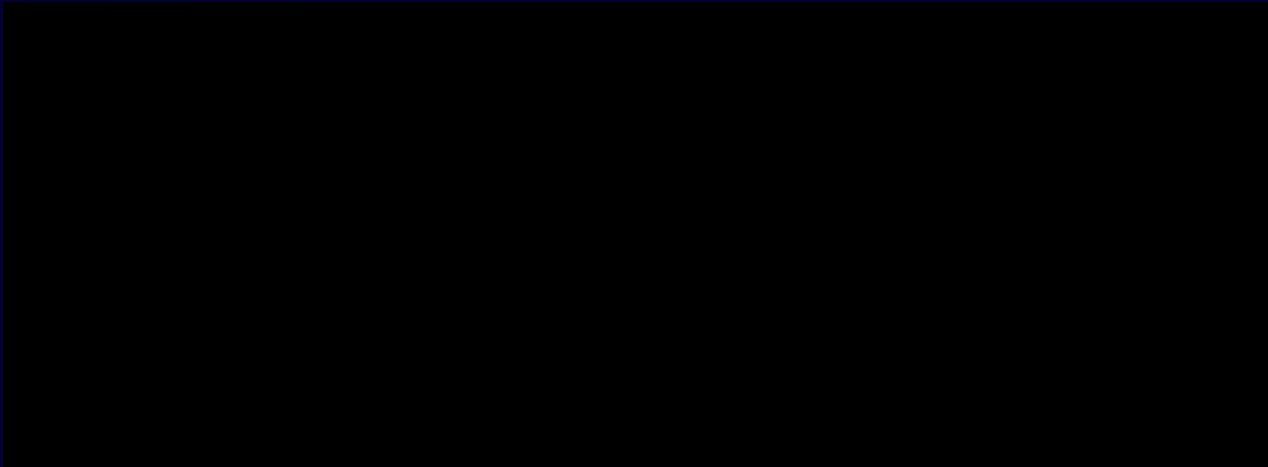
[Retour au Menu](#) 

Accélérer des particules

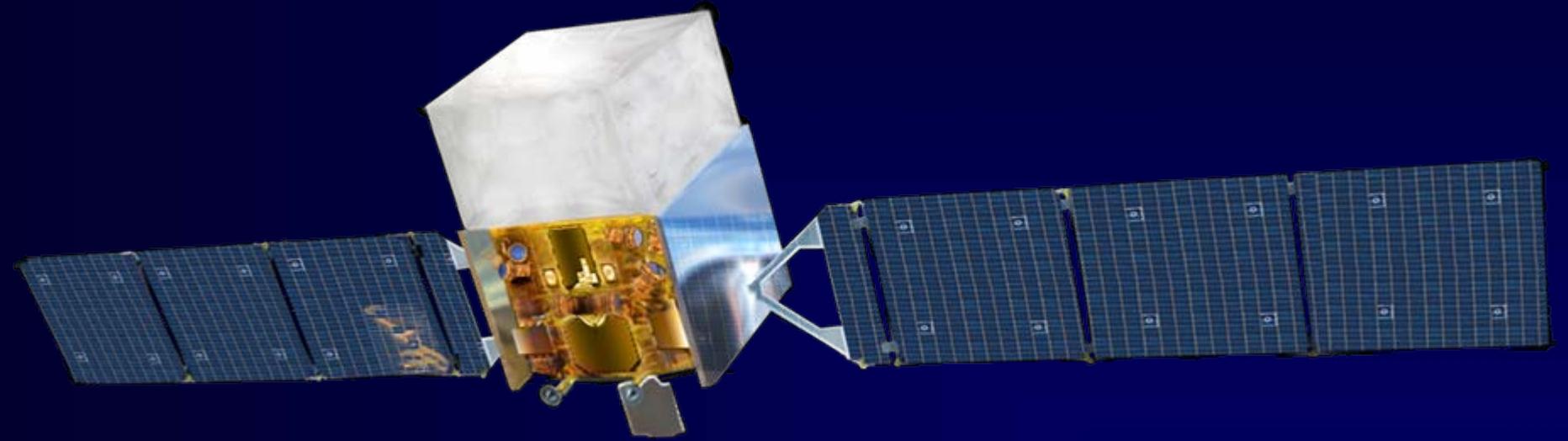


Comment les particules sont elles accélérées dans le jet ? Elles circulent entre deux milieux de vitesses différentes (correspondant aux bouffées de plasma qui s'entrechoquent), où des champs magnétiques rendent leurs trajectoires erratiques. Elles gagnent de l'énergie à la manière d'une balle de ping-pong qui rebondit entre deux raquettes. Si les raquettes sont fixes, le gain d'énergie est nul.

Accélérer des particules

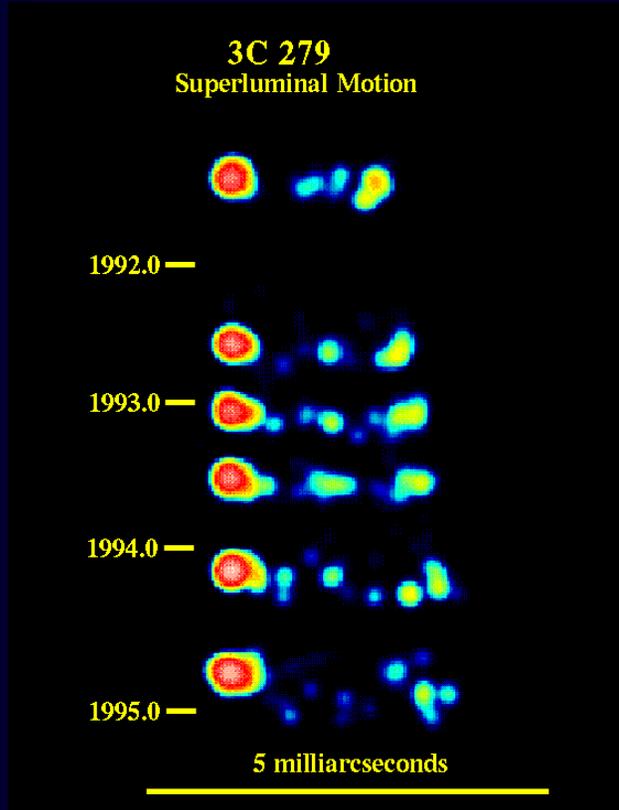


Si au contraire les raquettes se rapprochent l'une de l'autre, la balle gagne de l'énergie à chaque rebond.

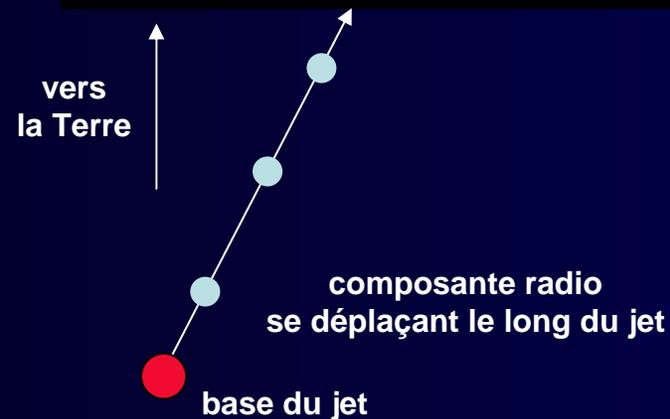


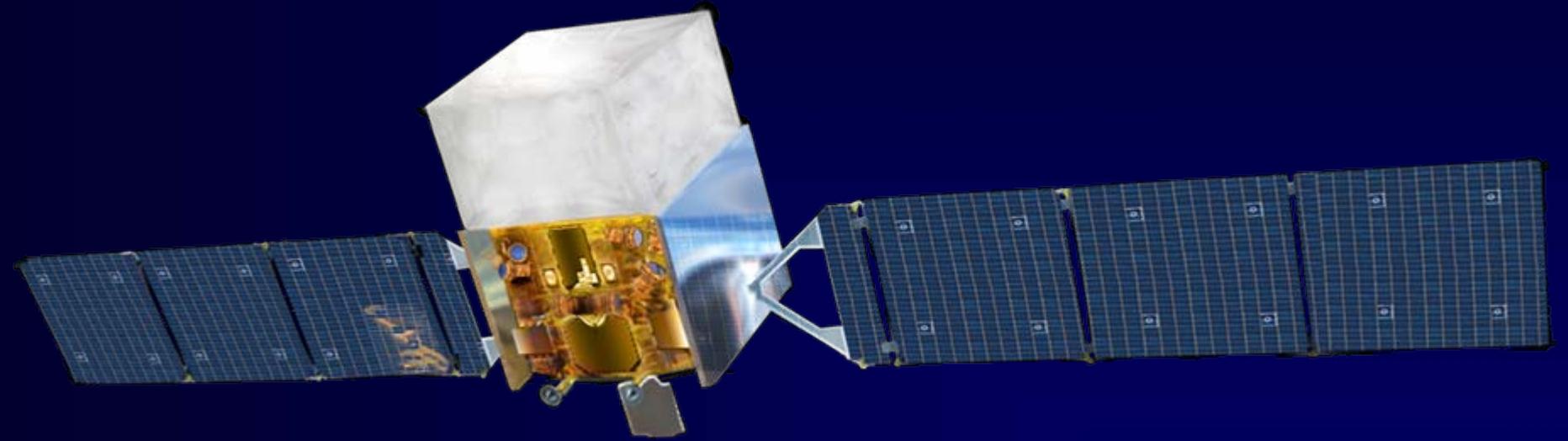
[Retour au Menu](#) 

Mouvement superluminaire



On peut estimer certaines propriétés des jets à partir de cartes radio de très haute précision, réalisées à l'aide d'un réseau d'antennes espacées de milliers de kilomètres. Cette figure représente 6 cartes du même blazar disposées horizontalement et réalisées à différentes périodes. La base du jet est représentée par le disque rougeâtre sur la gauche. Sa position est fixe. Une composante radio se déplace le long du jet. En mesurant son déplacement en fonction du temps et à partir de la distance qui est connue, on peut déduire la vitesse apparente. La valeur de la vitesse obtenue est de 4 fois la vitesse de la lumière! On parle ainsi de mouvement « superluminaire ». Pour d'autres objets, des vitesses apparentes atteignant 46 fois la vitesse de la lumière ont été observées. Or dans l'état des connaissances actuelles, la vitesse de la lumière est une vitesse limite qu'on ne peut dépasser. Ce paradoxe peut être résolu en tenant compte de la propagation de la composante radio vers la Terre, à une vitesse proche de celle de la lumière. A mesure que la composante radio se rapproche de nous, le rayonnement doit parcourir une distance moindre pour nous parvenir : le temps séparant deux rayons arrivant sur Terre est alors inférieur à l'intervalle de temps les séparant lors de l'émission. La vitesse que l'on déduit à partir du temps observé est donc surestimée par rapport à la vitesse réelle. Pour qu'un mouvement superluminaire soit observable, le calcul montre que la vitesse de l'émetteur doit être supérieure à 70% de la vitesse de la lumière.





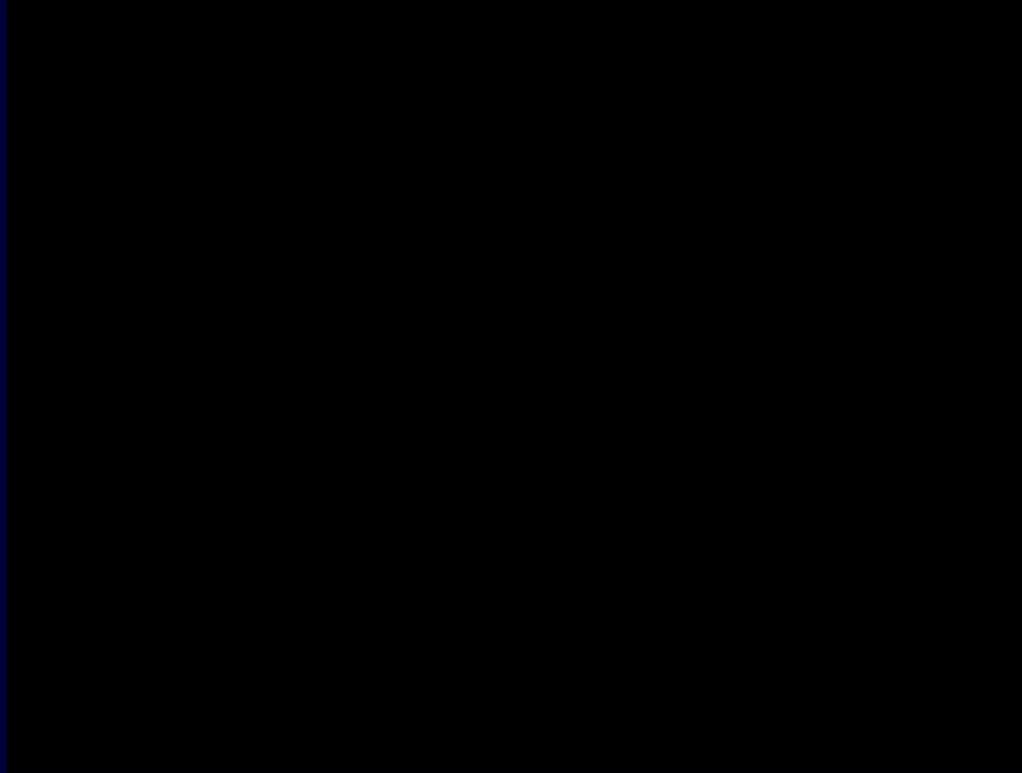
[Retour au Menu](#) 

Diffusion Compton inverse



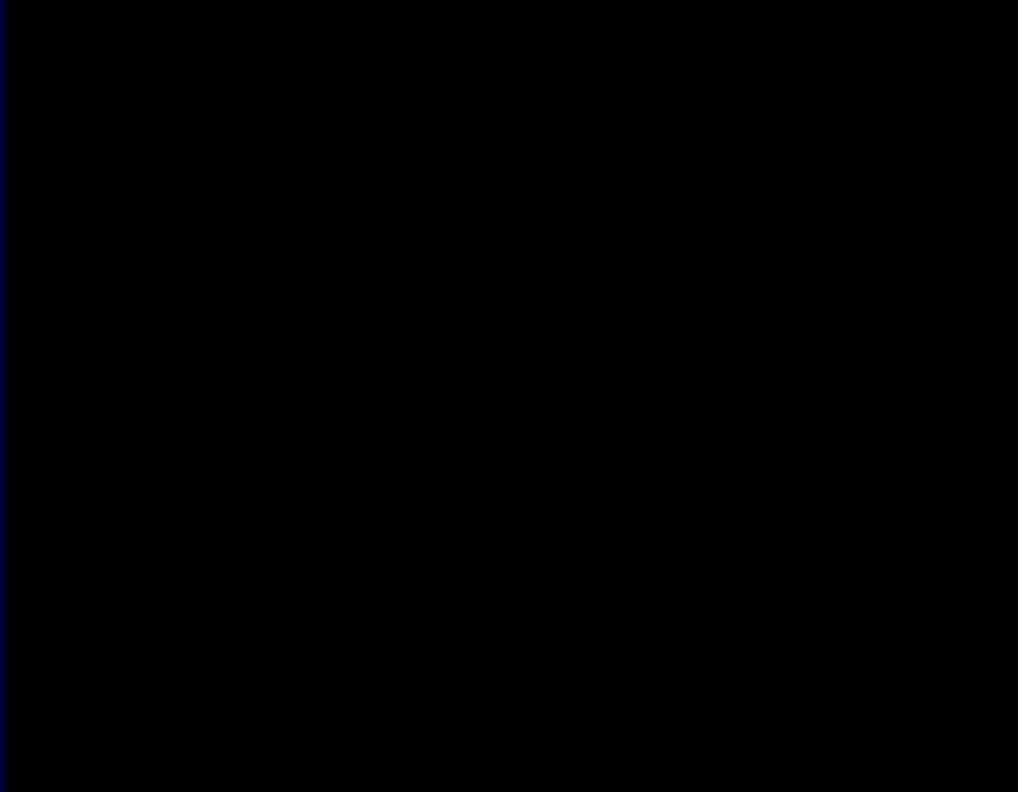
L'effet Compton (ou diffusion Compton) consiste en la déviation et la perte d'énergie d'un photon lorsqu'il interagit avec une particule de matière au repos . L'effet Compton Inverse (ici schématisé dans l'animation) conduit au contraire, à un gain d'énergie du photon (représenté par une onde rouge puis jaune) lorsqu'il interagit avec une particule de matière (ici représentée par la petite sphère) en mouvement.

Rayonnement de freinage

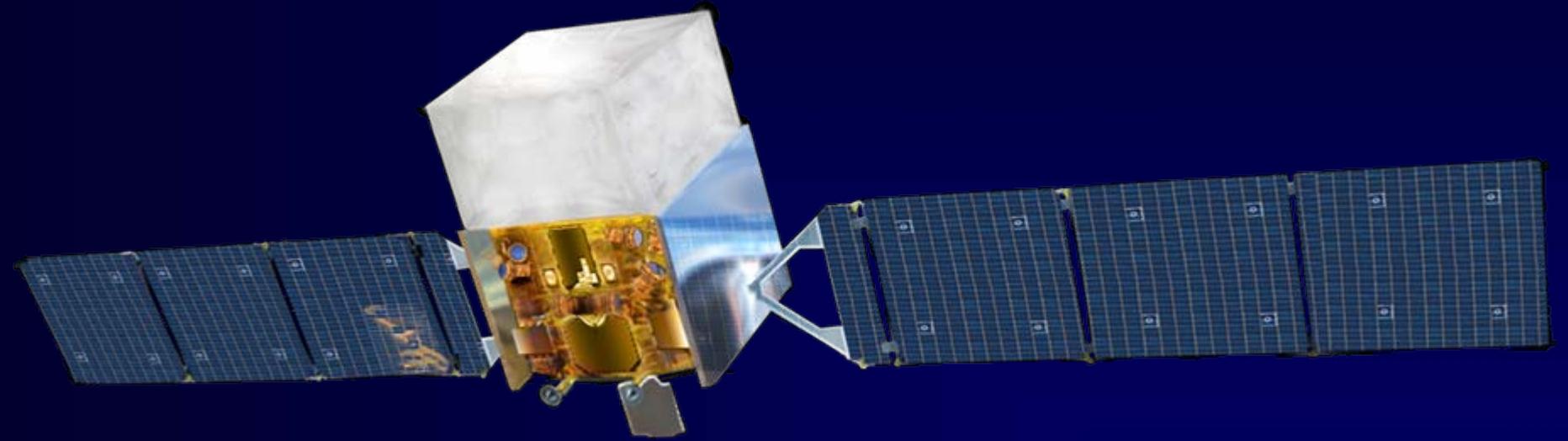


Des particules élémentaires possédant une charge électrique (l'électron est un exemple de particule chargée – c'est la petite sphère sur cette animation) passant à proximité d'autres particules chargées (ici, il s'agit de la grosse sphère) peuvent être ralenties. En ralentissant, elle perdent de l'énergie, qu'elles libèrent sous la forme de lumière. Cette lumière émise est appelée « rayonnement de freinage ».

Rayonnement synchrotron



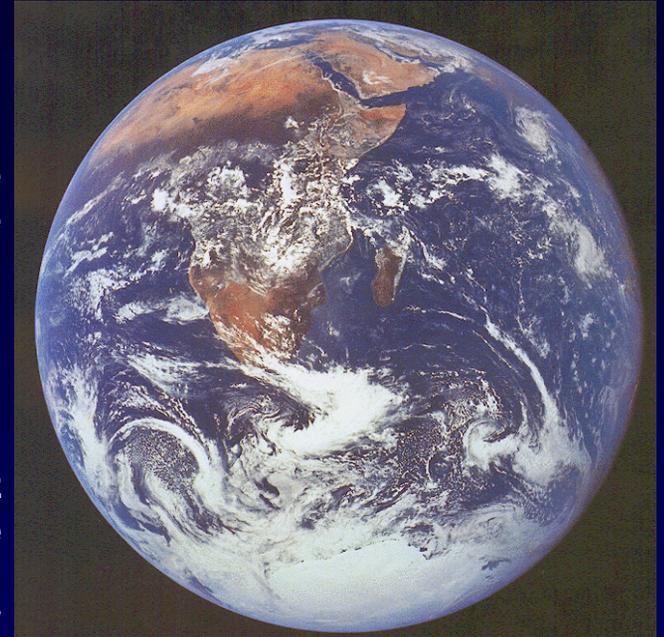
Le rayonnement synchrotron concerne tout comme le rayonnement de freinage les particules possédant une charge électrique. En revanche, ce rayonnement n'est pas induit par une perte d'énergie : il se produit lorsque par la présence d'un champ magnétique, la trajectoire d'une particule chargée (par exemple un électron), se courbe. Ici le champ magnétique est matérialisé par les lignes de champ verticales.



[Retour au Menu](#) 

La Terre et la Lune

La Terre (où nous vivons !) est une planète, en orbite autour du Soleil, effectuant une révolution tous les 365 jours environ, à une distance moyenne de 150 millions de km. Elle a un diamètre d'environ 12 800 km, ce qui fait d'elle la plus grande planète du système solaire interne (cf. système solaire).



L'atmosphère de la Terre contient 78% d'azote, 21% d'oxygène, le reste étant composé de gaz rares comme l'argon, de gaz carbonique, ou de vapeur d'eau. La grande quantité d'oxygène présente dans l'atmosphère est une conséquence d'un phénomène remarquable et jusqu'à présent jamais observé sur une autre planète : l'existence de vie.

Satellite naturel en orbite autour de la Terre à 380 000 km, la Lune a un diamètre de 3 840 km. Son atmosphère ténue et sa gravité faible ont empêché la prolifération de vie.

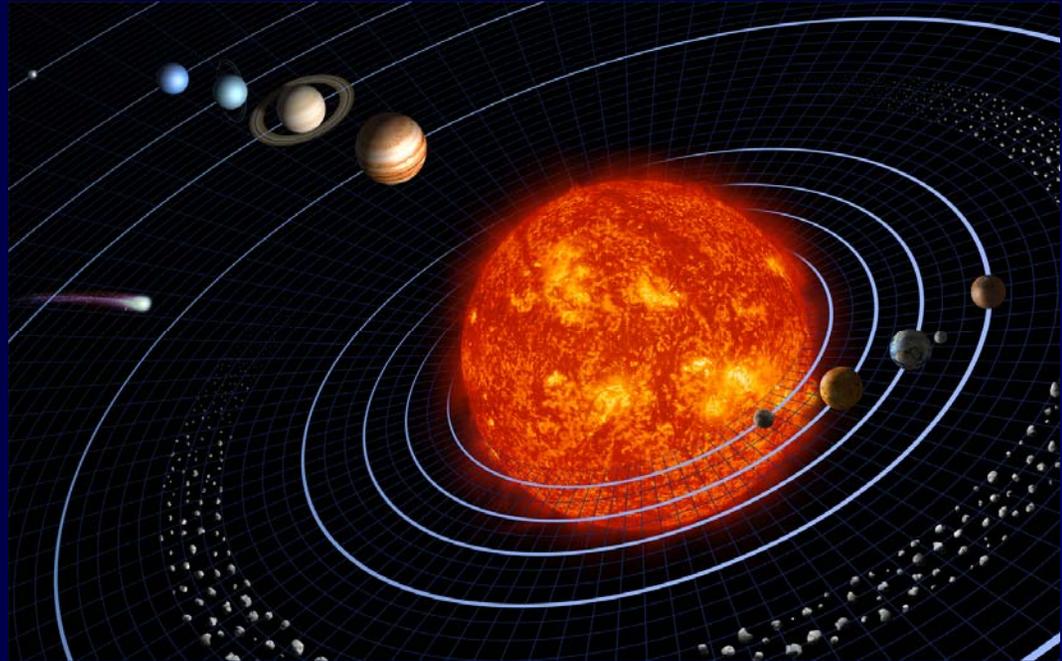


Les planètes du système solaire

La Terre est la 3^{ème} planète du système solaire, qui en totalise 8. Elles se répartissent en deux catégories : les planètes telluriques qui forment le système solaire interne (dans l'ordre : Mercure, Vénus, la Terre et Mars), de petite taille, légères, mais de forte densité, et les planètes gazeuses (dans l'ordre : Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune), grandes, massives, mais peu denses.

Le système solaire n'est pas uniquement composé de planètes et de leurs satellites éventuels : il contient également des astres de petite taille, des astéroïdes, des comètes, ou encore des météorites, en grand nombre.

Les astéroïdes se situent principalement dans une ceinture entre les orbites de Jupiter et de Mars, tandis que les comètes proviennent de régions beaucoup plus éloignées.



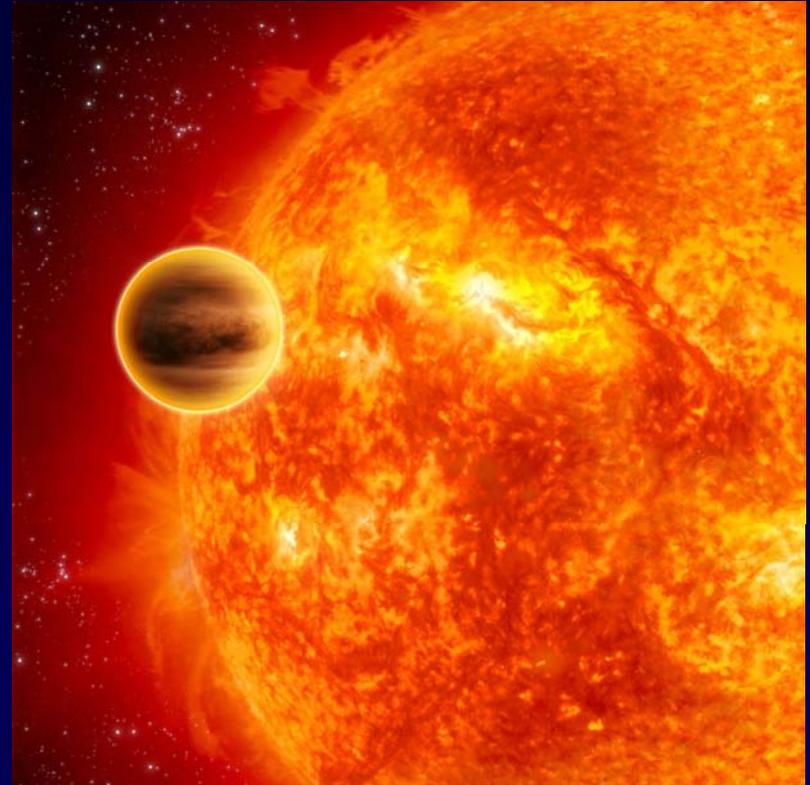
Ci-dessus : vue d'artiste du système solaire. Le Soleil est au centre, puis viennent Mercure, Vénus, la Terre, Mars, une ceinture d'astéroïdes, puis Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune.

Les exoplanètes

Sommes-nous seuls dans l'Univers? De tout temps l'homme s'est posé cette question, et depuis quelques années seulement, on peut rechercher d'autres mondes, loin de la Terre, propices à l'apparition de la vie.

La première planète extra-solaire (ou « exoplanète »), c'est-à-dire, planète orbitant une étoile éloignée de notre système solaire, a été détectée le 6 octobre 1995 (très récent !). Cette planète se situe à 40 années-lumière environ (soit 9 500 000 000 000 km !).

Depuis, on a détecté près de 250 planètes extra-solaires, dont la majorité sont des géantes gazeuses, similaires à Jupiter. Des télescopes, plus puissants que ceux dont on dispose, seront dédiés à la recherche de telles planètes : Kepler en 2009, Darwin en 2015.



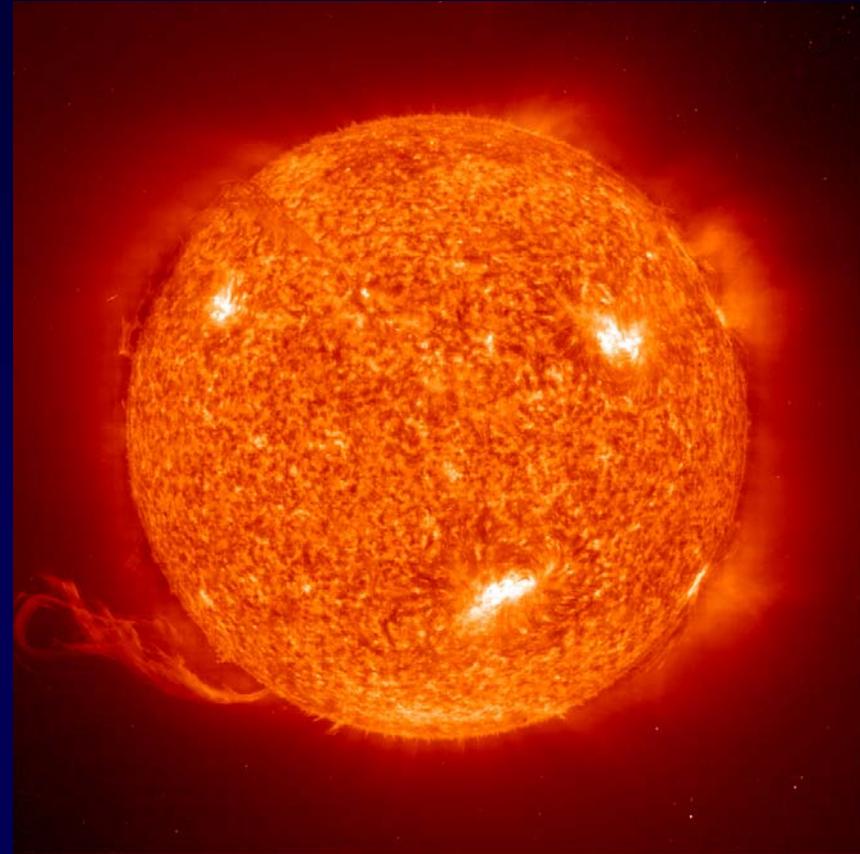
Ci-dessus : vue d'artiste d'une planète extra-solaire, en orbite autour de son étoile.

Le Soleil

Le Soleil est un astre relativement simple : il est composé à 75% d'hydrogène, 25% d'hélium et moins d'un pourcent d'autres éléments chimiques.

Le Soleil a un diamètre de 1,4 millions de km, soit environ 110 fois la taille de la Terre. Sa masse est de 2 000 milliards de milliards de milliards de kg, soit environ 300 000 fois celle de la Terre. La température à sa surface est de l'ordre de 6 000 degrés, et atteindrait 15 millions de degrés au cœur.

La température élevée régnant en son cœur provient de réactions nucléaires, produisant de l'énergie qui, transportée vers l'extérieur de l'étoile sous la forme de lumière, finit par nous parvenir.



Ci-dessus : le Soleil, observé par le télescope spatial SOHO.

Les autres étoiles



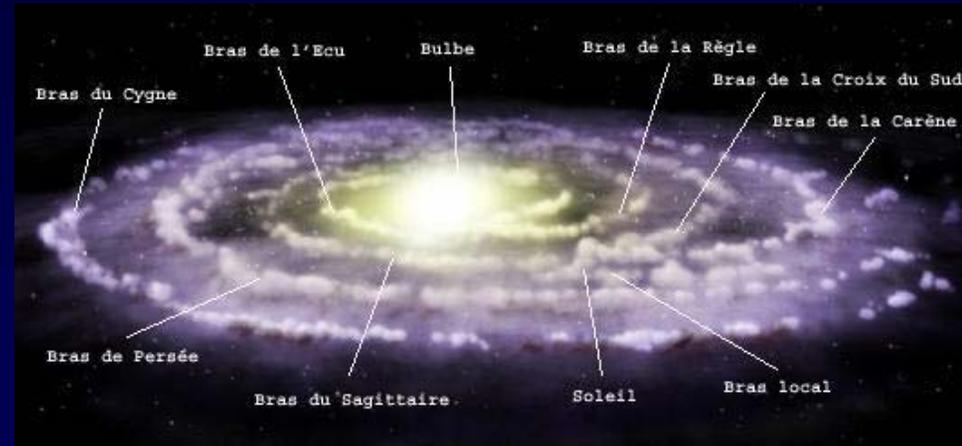
Au centre : Proxima Centauri, étoile la plus proche de notre système solaire, située à 4,22 années-lumière. La lumière émise par cette étoile nous parvient donc en 4,22 ans.

La Terre est en orbite autour du Soleil, une étoile parmi des centaines de milliards d'autres étoiles dans notre seule galaxie, la Voie Lactée. Il existe différents types d'étoiles, plus ou moins grandes, plus ou moins chaudes, plus ou moins lumineuses. Les principales familles d'étoiles sont :

- Les naines rouges et jaunes : étoiles de petite taille, peu lumineuses. Elles représentent près de 90% des étoiles de notre galaxie, et vivent très longtemps (plus de 10 milliards d'années)
- Les géantes : étoiles en fin de vie, qui ont consommé presque tout leur carburant.
- Les supergéantes : étoiles massives (de l'ordre de 10 fois la masse du Soleil). Elles ont une vie courte, qui s'achève par une explosion : c'est le phénomène de supernova.

La Voie Lactée

Notre galaxie, la Voie Lactée, est composée d'environ 200 milliards d'étoiles, formant un disque d'un diamètre voisin de 90 000 années-lumière. C'est une galaxie spirale : de son centre partent des bras recourbés. Au centre de la Galaxie, on trouve le bulbe, d'un diamètre de l'ordre de 1500 années-lumière, avec vraisemblablement en son cœur un trou noir supermassif. Enfin, la Galaxie toute entière est entourée d'un halo sphérique, d'un diamètre légèrement supérieur à celle-ci.



Vue d'artiste de notre galaxie.



Notre galaxie, la Voie Lactée, en lumière visible (fausse couleur)

Les galaxies



Andromède, galaxie spirale géante, similaire à notre Voie Lactée. Elle se situe à environ 2,5 millions d'années-lumière de distance.



M87, une galaxie elliptique.

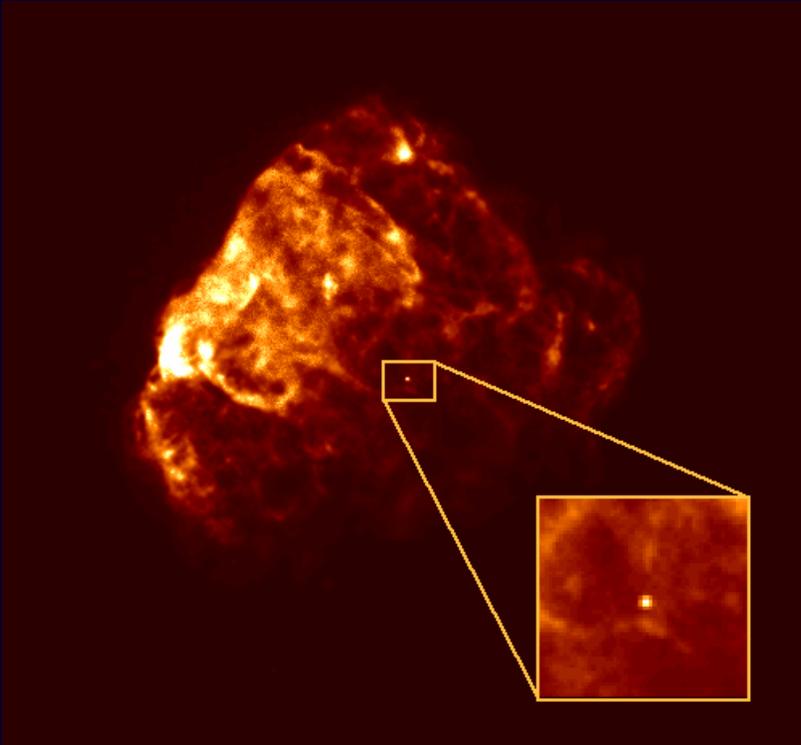
De la même façon que le Soleil est une étoile parmi des centaines de milliards dans notre galaxie, la Voie Lactée, il existe dans l'univers des centaines de milliards de galaxies. On en compte principalement trois familles : les galaxies spirales, dont la Voie Lactée est un exemple, les galaxies elliptiques et les irrégulières. Comme pour les étoiles, elles sont de taille variable : certaines galaxies naines comptent quelques millions d'étoiles alors que des galaxies géantes peuvent être composées de dizaines de milliers de milliards d'étoiles.

Les objets de l'astronomie gamma

Pulsars et vestiges de supernovae

Les étoiles les plus massives terminent leur vie en explosant, c'est le phénomène de supernova. Les couches externes de l'étoile sont projetées vers l'extérieur à grande vitesse. Les particules entrant en contact avec cette matière éjectée sont fortement chauffées, et rayonnent de la lumière de très haute énergie, que peuvent observer des télescopes gamma.

Certaines supernovae laissent au centre de l'explosion un résidu très compact. Ce résidu peut être un pulsar. Ces petits astres tournent très rapidement sur eux-mêmes (jusqu'à près de mille tours par seconde !). Un champ magnétique très intense règne dans leur environnement. Certains pulsars émettent également des rayons gamma, par des processus qui ne sont pas encore bien déterminés.



Puppis A, observé en rayons X par le satellite ROSAT

Les noyaux actifs de galaxie (AGN)

Les pulsars et vestiges de supernovae détectables par les télescopes gamma sont relativement proches de nous, ils se situent dans la Galaxie. Mais on peut observer des sources de rayonnement gamma à des distances bien plus grandes : par exemple les noyaux actifs de galaxie (abrégé en anglais en AGN).

Pour les galaxies normales, on peut considérer que l'énergie émise par la galaxie est la somme de l'émission des étoiles qui les composent. Pour les galaxies actives, celles qui abritent des AGN, ce n'est pas le cas : elles sont bien plus brillantes qu'elles ne le devraient, à cause de leur noyau actif, et ce dans toutes les longueurs d'onde : radio, infra-rouge, etc. jusqu'aux rayons gamma. On pense que les AGN sont le résultat de l'accrétion de grandes quantités de matière par un trou supermassif, situé au centre de la galaxie.

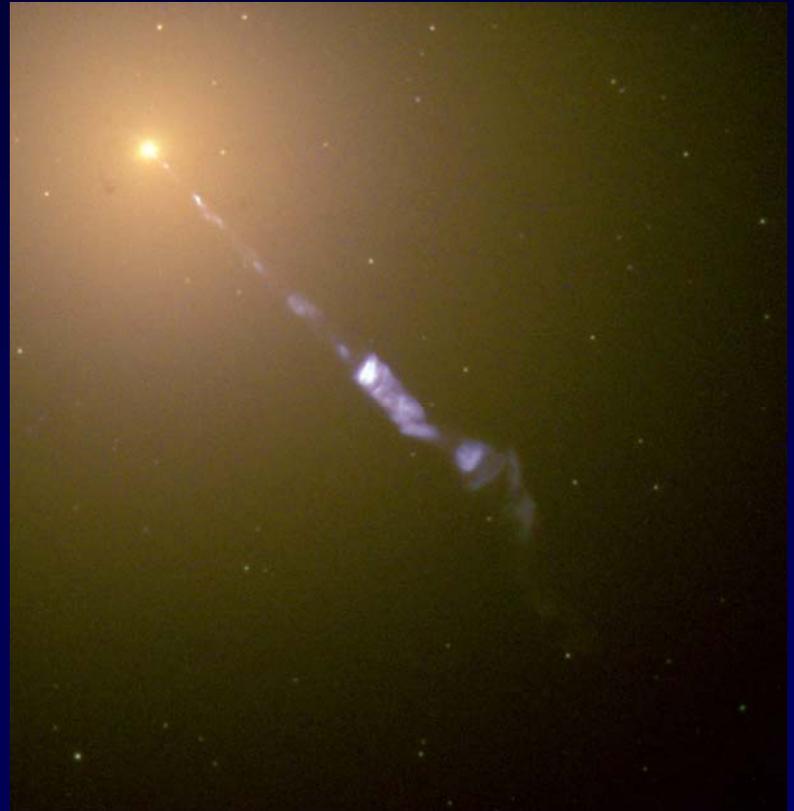
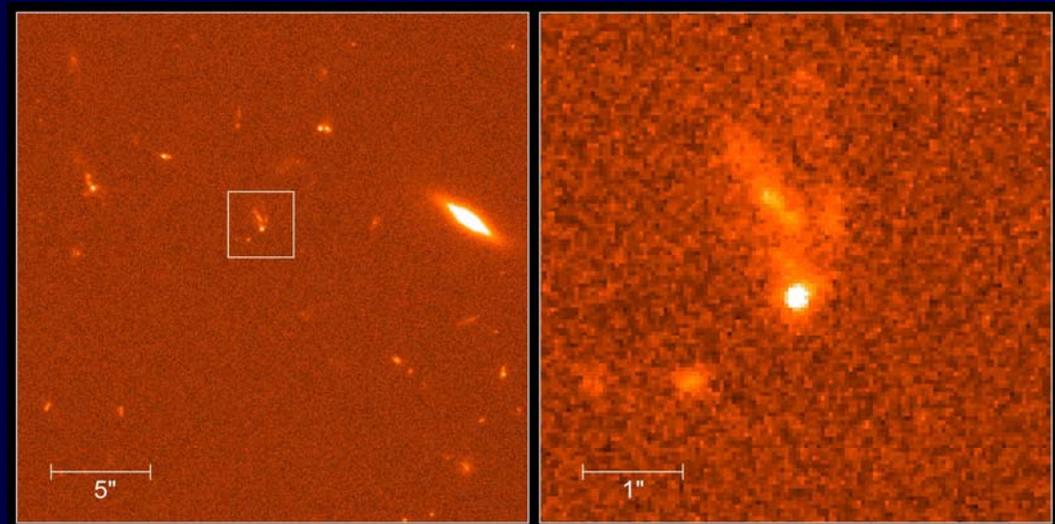


Image optique d'un jet de matière long de 5000 années-lumière, éjecté du noyau actif de la galaxie M87. Image réalisée avec le télescope spatial Hubble.

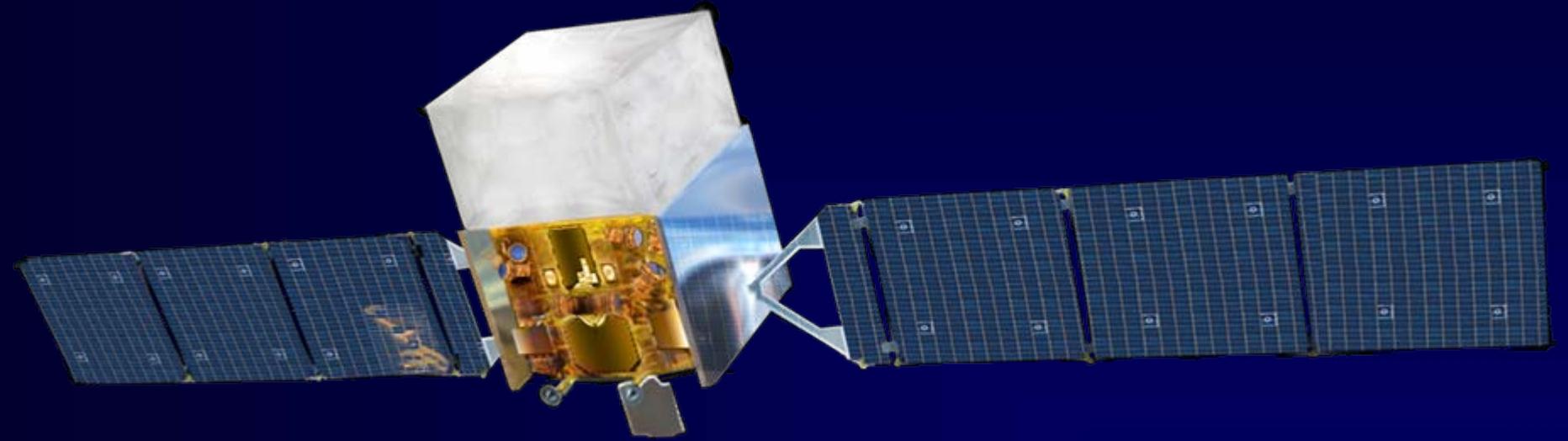
Les sursauts gamma

Les sursauts gamma sont des bouffées de rayonnement gamma, d'une durée de quelques millisecondes à quelques minutes, provenant d'une direction aléatoire de la voûte céleste. Ces phénomènes ont été découverts par hasard, en 1967, par des satellites américains chargés d'espionner l'Union Soviétique. Ces satellites n'aperçurent jamais d'essais nucléaires au sol, mais des sursauts gamma dans le ciel. L'origine de ces bouffées brèves de rayonnement très énergétique est inconnue. Les hypothèses avancées pour expliquer ces phénomènes sont l'effondrement d'étoiles très massives en trous noirs, ou le choc entre deux étoiles à neutrons, en orbite l'une autour de l'autre.

Sursaut gamma GRB990123,
détecté par le télescope spatial
optique Hubble, le 23 janvier
1999



Gamma Ray Burst GRB990123
Hubble Space Telescope • STIS



[Retour au Menu](#) 

On désigne sous le terme de lanceur tout véhicule capable de propulser une charge utile vers l'espace (satellites, sondes interplanétaires, ...).

Propulsion par réaction

La propulsion des lanceurs s'effectue à l'aide de moteurs. La propulsion exercée par un moteur-fusée repose sur le principe de l'action et de la réaction, principe établi par Isaac NEWTON.

Le rôle du moteur-fusée est de produire d'abondantes quantités de gaz qui sont éjectées, à très grande vitesse, dans une direction donnée. Par réaction, le véhicule dont il est solidaire se trouve propulsé dans la direction opposée.

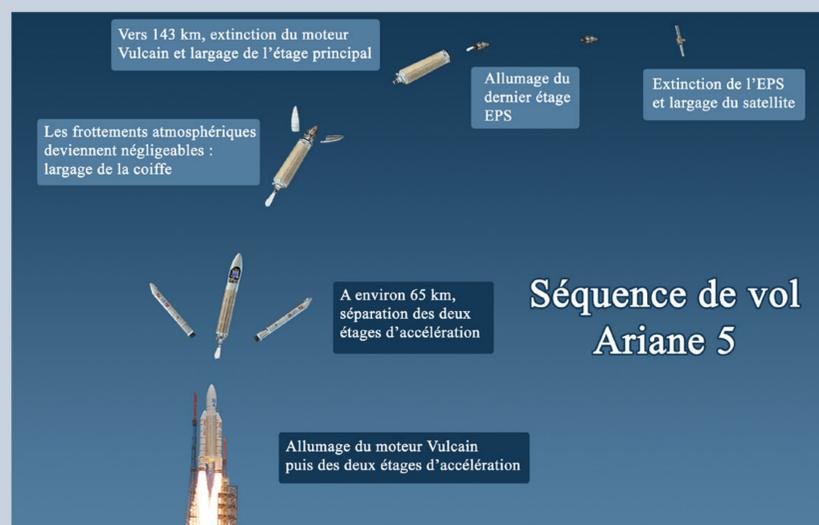
Ces gaz de propulsion sont obtenus en faisant réagir, l'une sur l'autre, deux substances appelées ergols : l'une est le combustible, l'autre le comburant.



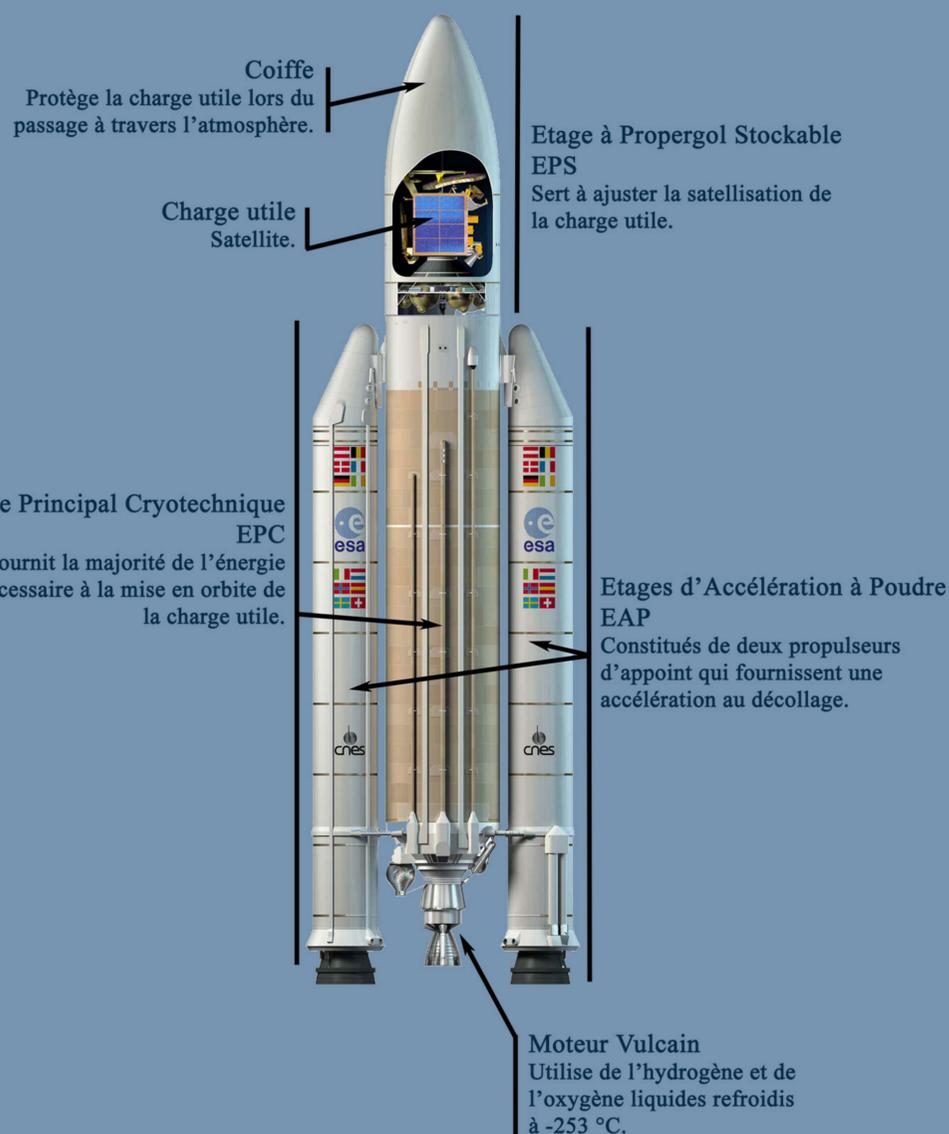
Lancement

Pour s'extraire de l'attraction terrestre et atteindre la vitesse de mise en orbite d'un satellite, un lanceur doit embarquer une très grande quantité d'ergols. Ce lanceur est donc très lourd : en superposant plusieurs étages qui sont éjectés après utilisation, le lanceur s'allège au cours du vol et gagne ainsi en vitesse.

Dans la séquence de vol d'Ariane 5, par exemple, l'étage principal est encadré de deux propulseurs qui délivrent l'essentiel de la poussée au décollage : c'est dans les premières secondes du décollage que la poussée doit être la plus grande. Le lanceur monte verticalement afin de quitter au plus tôt les couches denses et donc les frottements de l'atmosphère. L'étage principal, emporte le lanceur et impulse une trajectoire horizontale. Enfin, le dernier étage accélère pour atteindre la vitesse orbitale.



Ariane 5



Exemples



Le 4 octobre 1957, décollait depuis Baïkonour, la fusée Sémioroka avec le tout premier satellite artificiel Spoutnik 1.



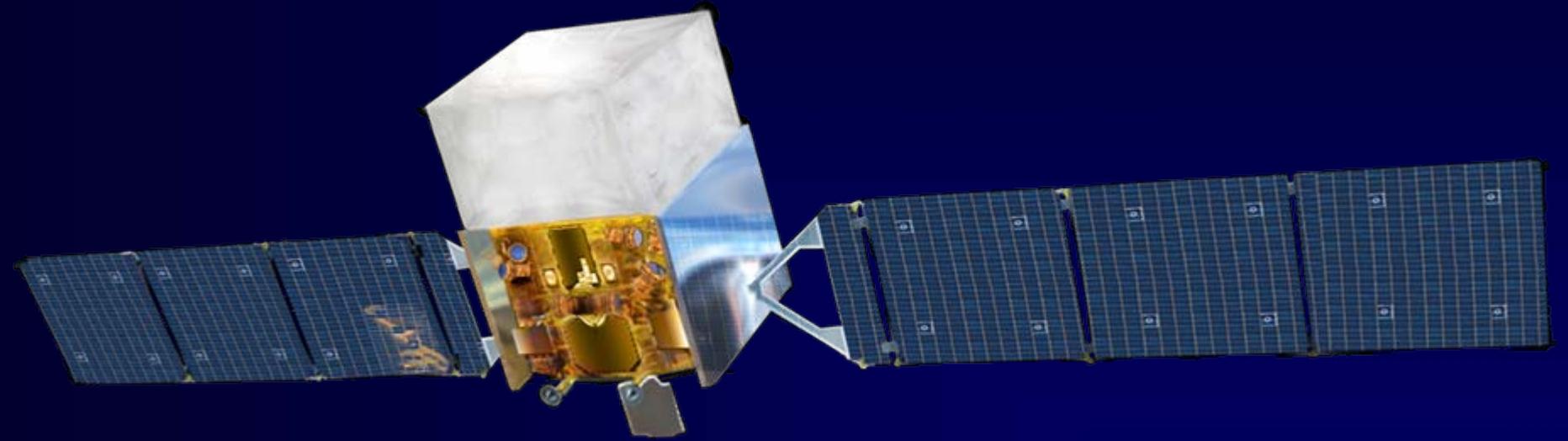
La fusée Diamant fut le premier lanceur de satellites exclusivement français.



La navette américaine Endeavour. Seuls les Etats-Unis et la Russie ont lancé à ce jour des navettes. Ces dernières, réutilisables, desservent les orbites basses.



Le lanceur américain DELTA II a lancé dernièrement, le 28 septembre 2007, la sonde Dawn, et lancera vers mai 2008 le télescope GLAST, fruit d'une coopération internationale.

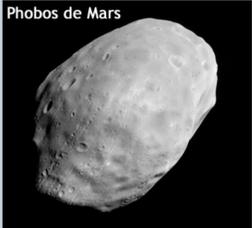


[Retour au Menu](#) 

Un satellite est un corps en orbite autour d'un corps plus massif. Il décrit une trajectoire autour de ce dernier, sous l'effet de la gravitation.

Satellites naturels et artificiels

Un satellite naturel n'est pas d'origine humaine tandis qu'un satellite artificiel est issu de l'activité de l'homme et est mis en orbite par lui.



Constellation de satellites pour la télévision ASTRA

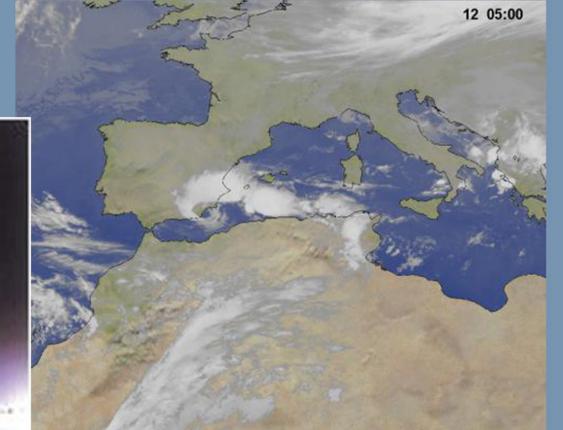


Image Météosat



La station ISS

Les orbites

Selon la loi de la Gravitation Universelle d'Isaac NEWTON : deux corps exercent l'un sur l'autre des forces gravitationnelles et s'attirent donc. Dans le cas d'un satellite, il est placé en orbite autour de la Terre lorsque sa vitesse est suffisante pour qu'il ne retombe pas, mais pas au point de l'arracher à l'attraction terrestre.

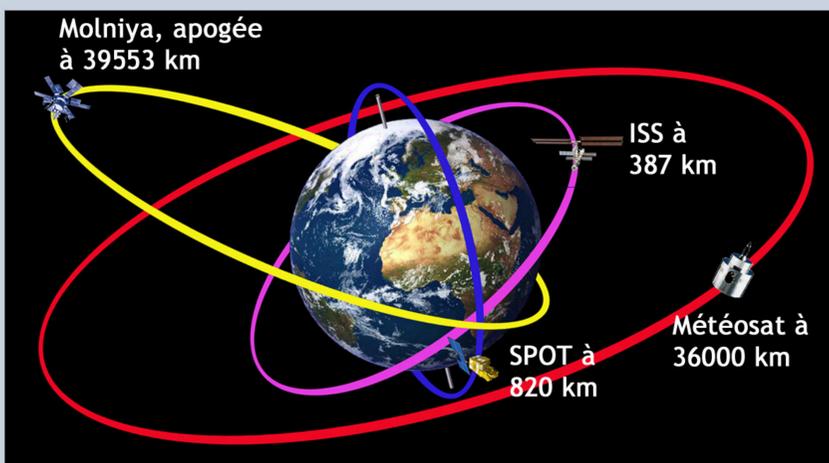
Selon la mission qu'ils ont à accomplir, les satellites artificiels se déplacent sur différents types d'orbite :

Sur des orbites circulaires basses pour des satellites d'observation et des stations spatiales habitées telle que l'ISS dont le premier module a été lancé en 1998 et la date d'achèvement est prévue pour 2010.

Sur des orbites circulaires polaires basses, passant par les pôles, pour des satellites d'observation de la Terre qui parcourent ainsi toute sa surface tel que le satellite français SPOT.

Sur l'orbite géostationnaire, circulaire et équatoriale. Les satellites s'y déplacent à la même vitesse et dans le même sens que la Terre, et couvrent donc toujours la même zone. Cette orbite est utilisée pour les télécommunications et la météorologie : Météosat est, par exemple, un satellite européen de météorologie.

Sur des orbites elliptiques inclinées par rapport à l'équateur. Cette trajectoire implique une position tantôt près de la Terre (périgée), tantôt loin (apogée). Ainsi, à l'apogée, des satellites de communication de régions mal couvertes par l'orbite géostationnaire (régions de haute latitude), miment les satellites géostationnaires. C'est le cas du satellite de télécommunication russe Molniya.



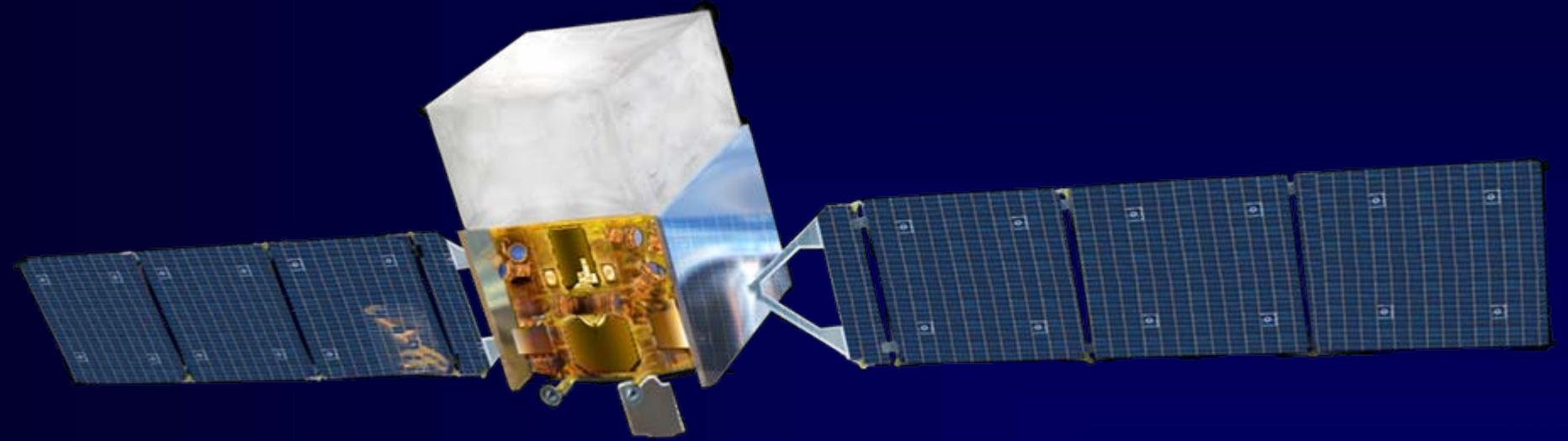
La Mer Rouge vue par SPOT



Constellation de satellites pour la téléphonie mobile Iridium



Amas d'étoiles vus par Hubble



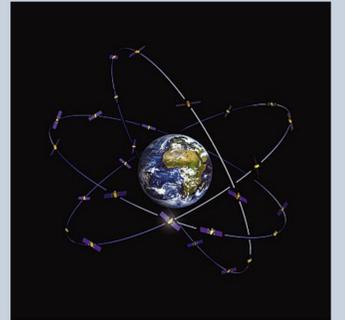
[Retour au Menu](#) 

Le GPS (Global Positioning System) est un système permettant de connaître l'heure et la position d'un objet. Il a été développé par le département de la défense américaine en 1978 et rendu accessible au public en 1985.

Une constellation de satellites

Le système GPS fonctionne à l'aide de satellites placés en orbite mi-géostationnaire. A 18 000 km d'altitude, ils font le tour de la Terre en 12h et semblent bouger lentement dans le ciel. On appelle "constellation de satellites" cet ensemble de 24 satellites GPS qui permet, dans de bonnes conditions, de toujours capter au sol au moins 5 d'entre eux.

Chaque satellite possède une horloge atomique (horloge très précise) et émet des signaux à intervalles réguliers.

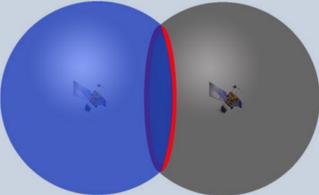


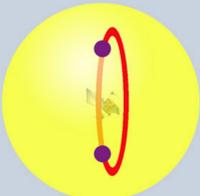
Comment fonctionne le GPS ?

Le récepteur GPS reçoit les signaux émis par les satellites : chaque signal contient un code permettant d'identifier le satellite émetteur, sa position et l'instant auquel le signal a été émis.

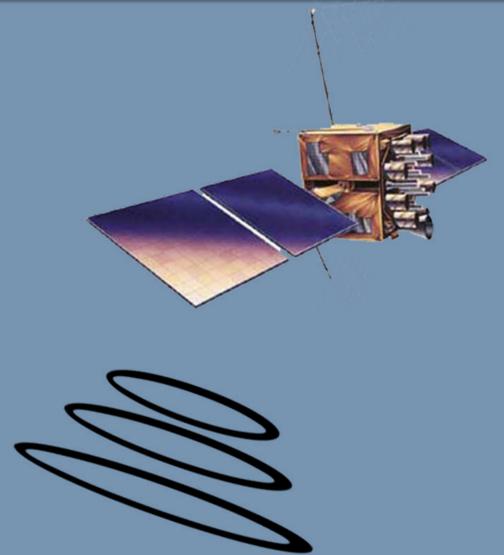
Le récepteur utilise ces 3 informations pour calculer la distance à laquelle il se trouve d'un satellite (plus il sera éloigné du satellite, plus le signal lui parviendra tardivement). Ainsi, il connaît la position de chacun des satellites qu'il capte et peut calculer sa propre position par triangulation :

Le premier satellite lui permet de se positionner sur une sphère. 

Le signal d'un second satellite lui permet de se localiser sur un cercle. 

Enfin, un troisième satellite lui donne deux positions possibles. C'est la plus stable qui est retenue. 

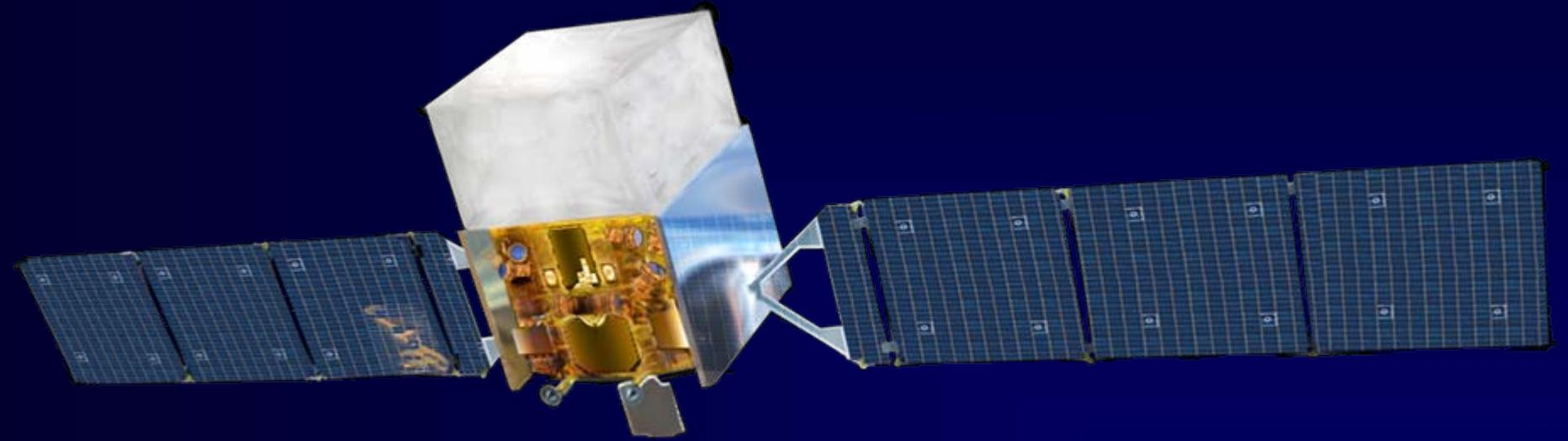
Un quatrième satellite est toutefois nécessaire pour synchroniser les horloges et remédier aux imprécisions de ces dernières.



Galiléo, un GPS Européen

Galiléo est le prochain système GPS européen civil, qui devrait être fonctionnel dès 2010. Il comptera une trentaine de satellites placés sur trois orbites circulaires à 23 616 km d'altitude.





[Retour au Menu](#) 

