

# Les trous noirs

Modave, Pâques 2008

# Table des matières

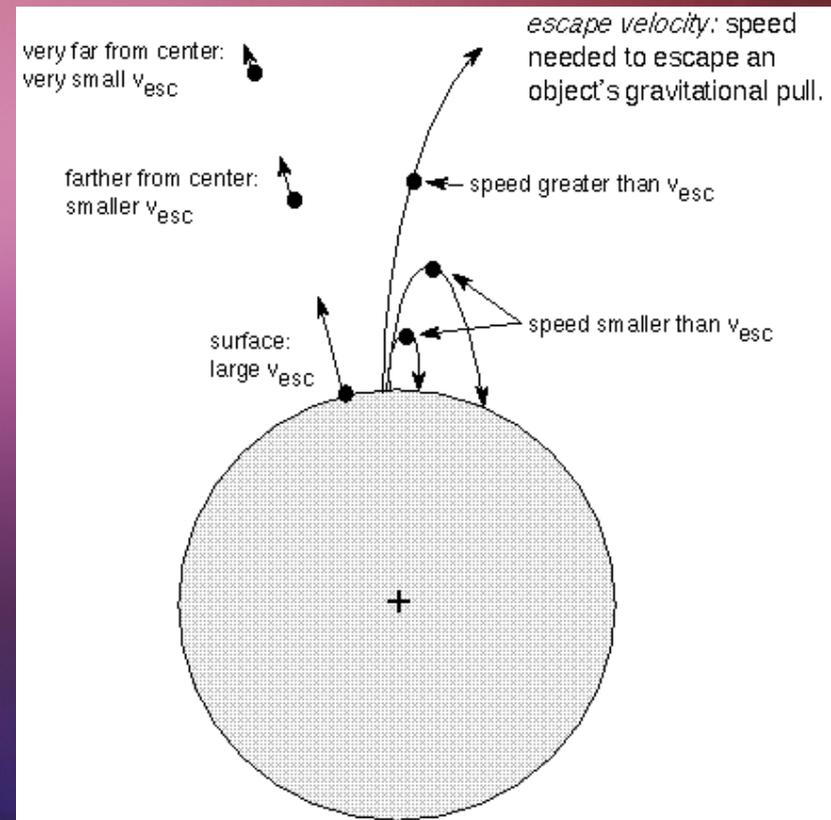
- 1) Introduction : Vitesse de libération
- 2) Comment « naît » un trou noir ?
- 3) Structure d'un trou noir stellaire
- 4) Les trous noirs supermassifs
- 5) Trou noir et relativité
- 6) Un peu de science-fiction...

# 1)

## Introduction

### Vitesse de libération

◆ C'est la vitesse nécessaire à un corps pour s'échapper du champ gravitationnel d'une étoile ou d'une planète.



# 1)

## Introduction

### Vitesse de libération

- ◆ Elle vaut  $\sqrt{2GM/R}$ .
- ◆ Petit exercice :)
  - ◆ Calculez la vitesse de libération de n'importe quel objet sur Terre.
  - ◆ Réponse :  $v_{\text{lib}} = 11,2 \text{ km/s}$
  - ◆ Et pour le Soleil ?
  - ◆ Réponse :  $v_{\text{lib}} = 618 \text{ km/s}$
- ◆ Plus la masse de la planète ou de l'étoile est grande, et plus son rayon est petit, plus  $v_{\text{lib}}$  sera grande.
- ◆ Donc, au plus un corps est dense, au plus il devient difficile de s'en échapper !

# 1)

## Introduction

### Vitesse de libération

- ◆ Et si  $v_{\text{lib}} > c$  ?
- ◆ Un trou noir est donc un objet tellement dense que même la lumière ne peut s'en échapper !
- ◆ Exemple :
  - ◆ Calculons le rayon maximum que prendrait la Terre si elle devenait un trou noir...
  - ◆ Réponse : 8,89 m !

## 2) Comment « naît » un trou noir ?

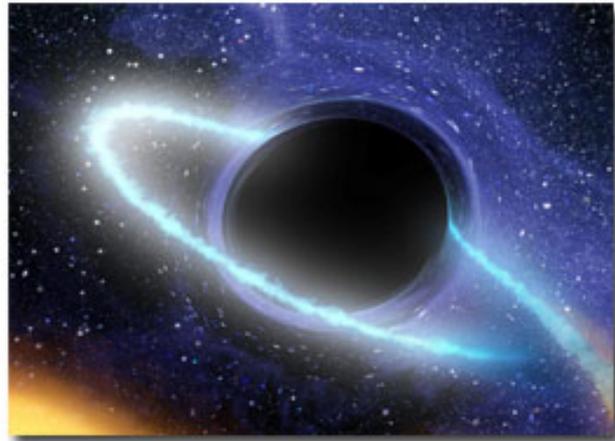
- ◆ Il existe 2 types de trous noirs connus :
  - ◆ Les trous noirs stellaires
  - ◆ Les trous noirs supermassifs
- ◆ Intéressons-nous d'abord aux trous noirs stellaires !
- ◆ Rappel : mort d'une étoile de plus de 8 masses solaires (supernova)
- ◆ De là, le cadavre stellaire peut devenir une étoile à neutrons (corps constitué d'un « empilement » de neutrons)
- ◆ ...ou un trou noir, si l'étoile pèse plus de 25 masses solaires.

# 3) Structure d'un trou noir stellaire

## ◆ Rayon de Schwarzschild

- ◆ Tout ce qui se trouve l'intérieur de celui-ci se fait capturer par le trou noir.
- ◆ Par contre, à l'extérieur de celui-ci, n'importe quel objet peut tourner autour (comme la Terre tourne autour du Soleil) sans être « pris au piège ».
- ◆ Un trou noir n'est donc pas « Super Aspirator » !

### 3) Structure d'un trou noir stellaire



# 3) Structure d'un trou noir stellaire

## ◆ Singularité

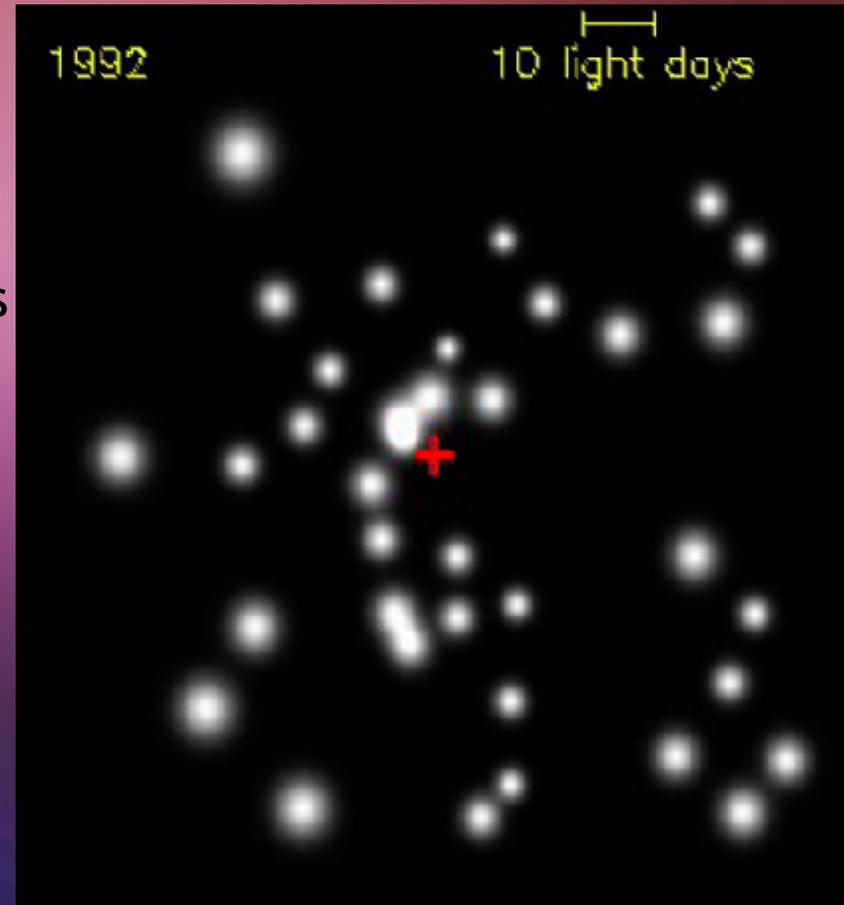
- ◆ En théorie, tout ce qui se trouve à l'intérieur du rayon de Schwarzschild doit continuer à se comprimer à l'infini.
- ◆ Donc au centre du trou noir, on devrait avoir un point où la densité serait infinie ?!
- ◆ Cela reste encore assez mystérieux...

## ◆ Pourquoi « trou noir » ?

- ◆ A l'intérieur du rayon de Schwarzschild, rien ne peut s'échapper, pas même la lumière.
- ◆ Donc ce corps n'émet aucune lumière, puisque aucun rayon lumineux ne peut en sortir.

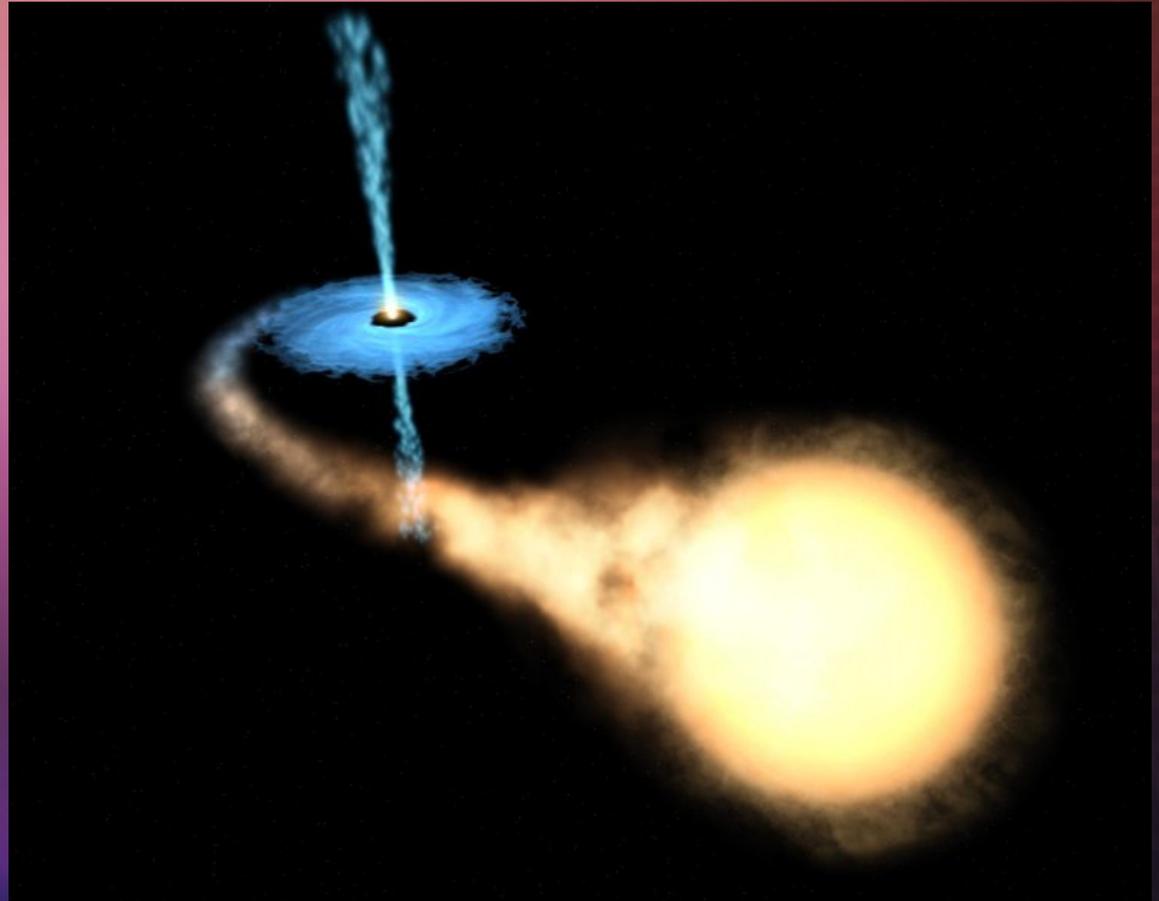
### 3) Structure d'un trou noir stellaire

- ◆ Mais alors comment les détecter ?
  - ◆ Nous n'avons aucune preuve ultime de leur existence !
  - ◆ Mais quelques indices sont très convaincants.
  - ◆ Exemple : Des étoiles à proximité peuvent être perturbées, voire entrer en orbite autour d'un trou noir.



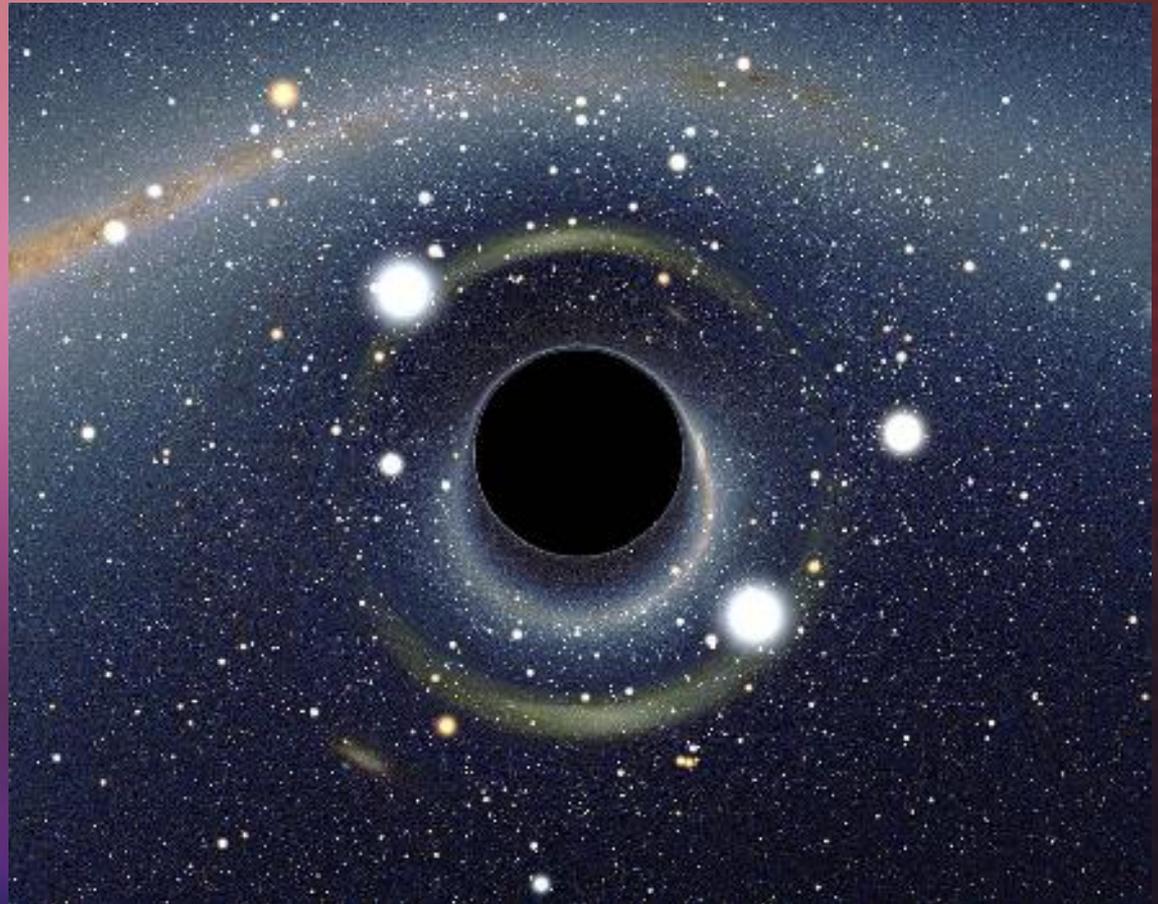
### 3) Structure d'un trou noir stellaire

- ◆ Mais alors comment les détecter ?
  - ◆ Il se peut que de la matière tombant dans un trou noir émette des rayons X !



### 3) Structure d'un trou noir stellaire

- ◆ Mais alors comment les détecter ?
  - ◆ Les trous noirs jouent facilement le rôle de lentille gravitationnelle.



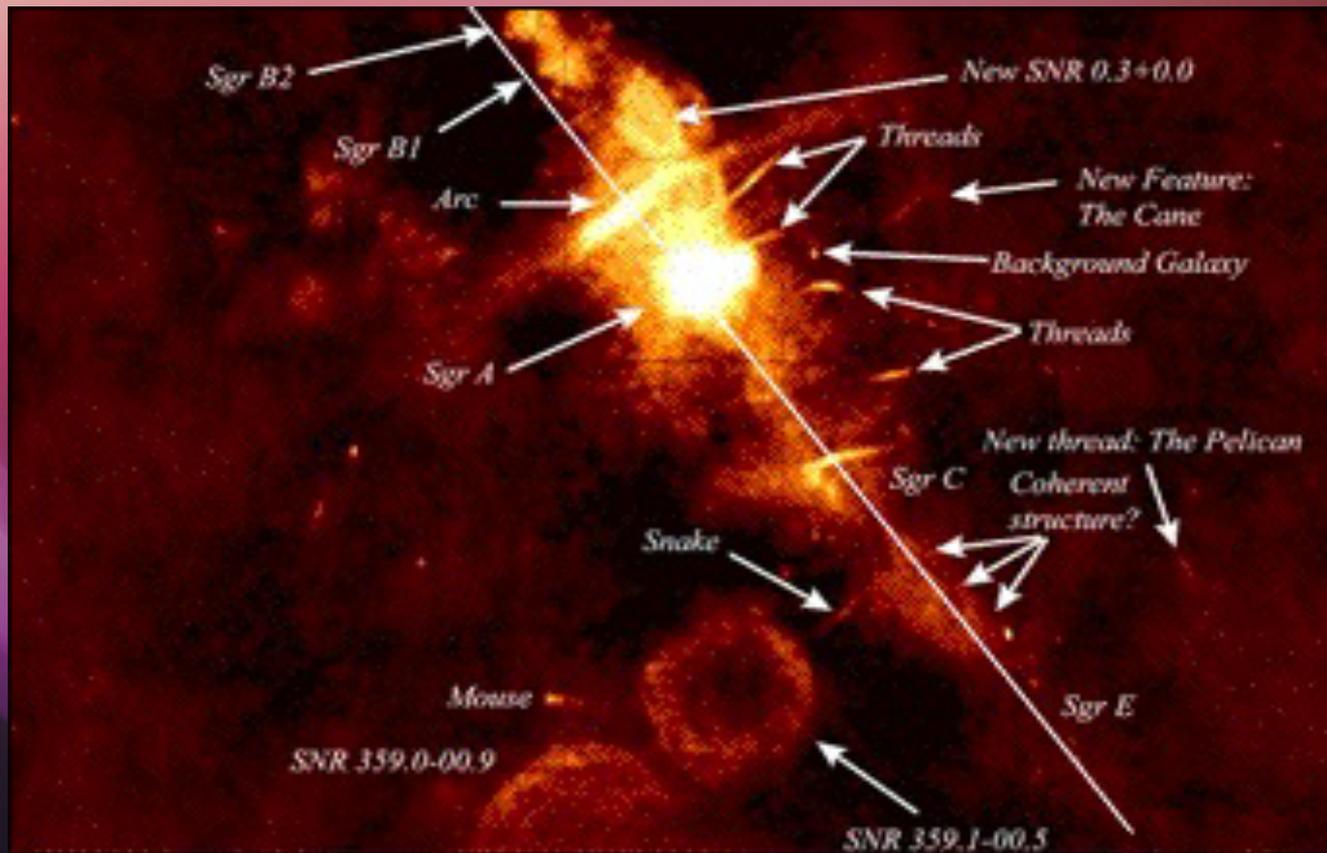
# 4) Les trous noirs supermassifs

- ◆ Le centre de la Voie Lactée
  - ◆ On a découvert une forte émission de rayonnement infrarouge en direction de celui-ci.

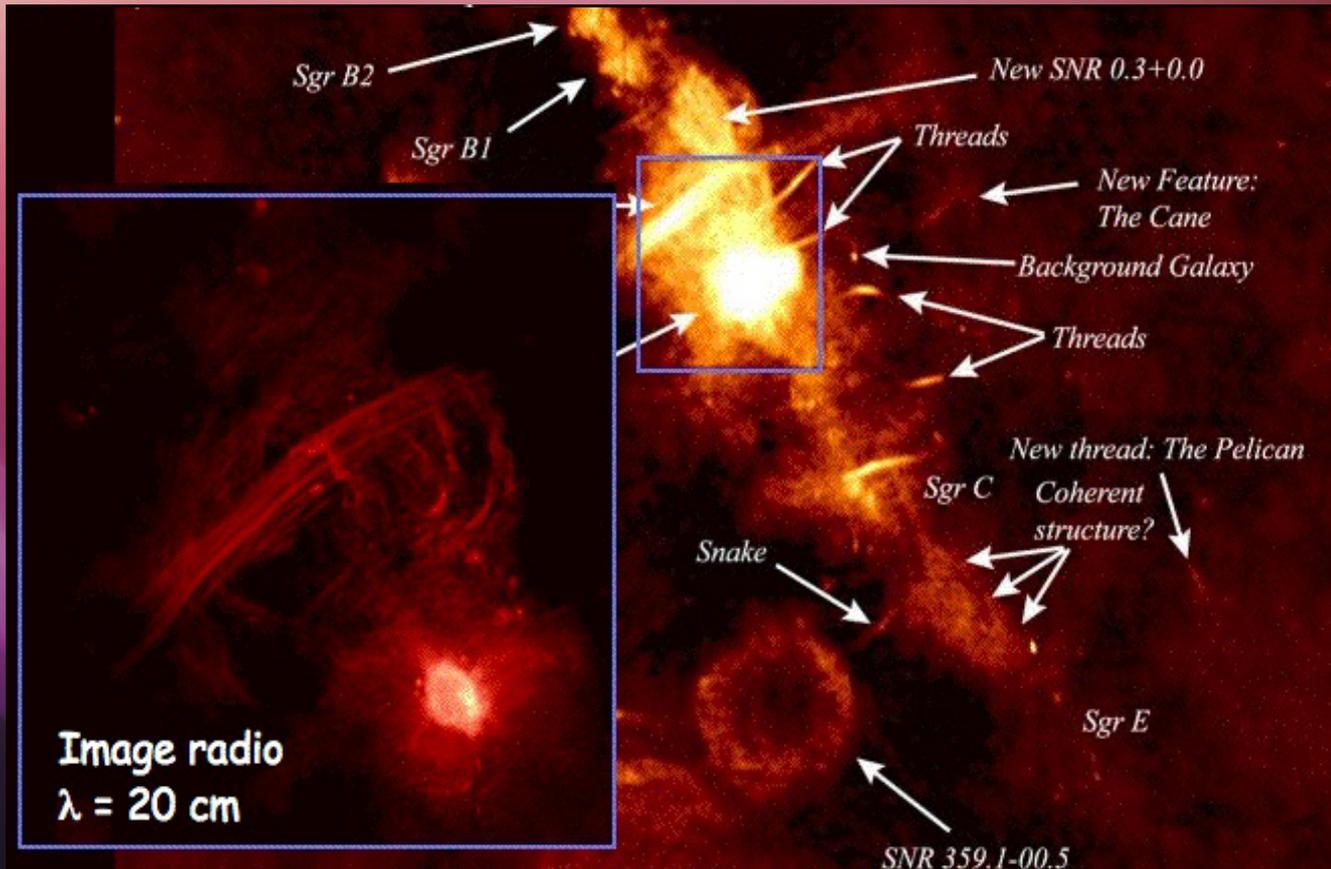
## 4) Les trous noirs supermassifs



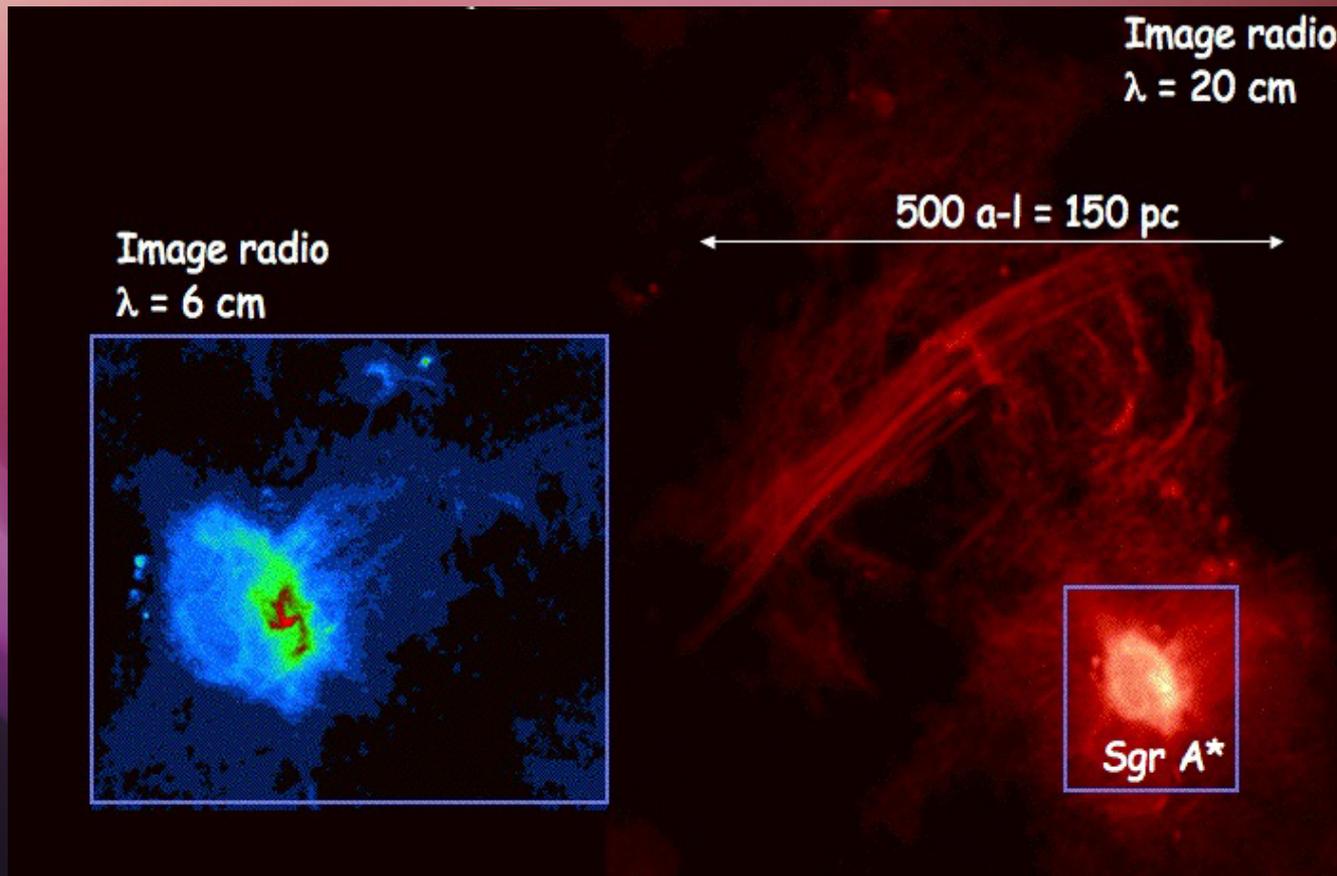
# 4) Les trous noirs supermassifs



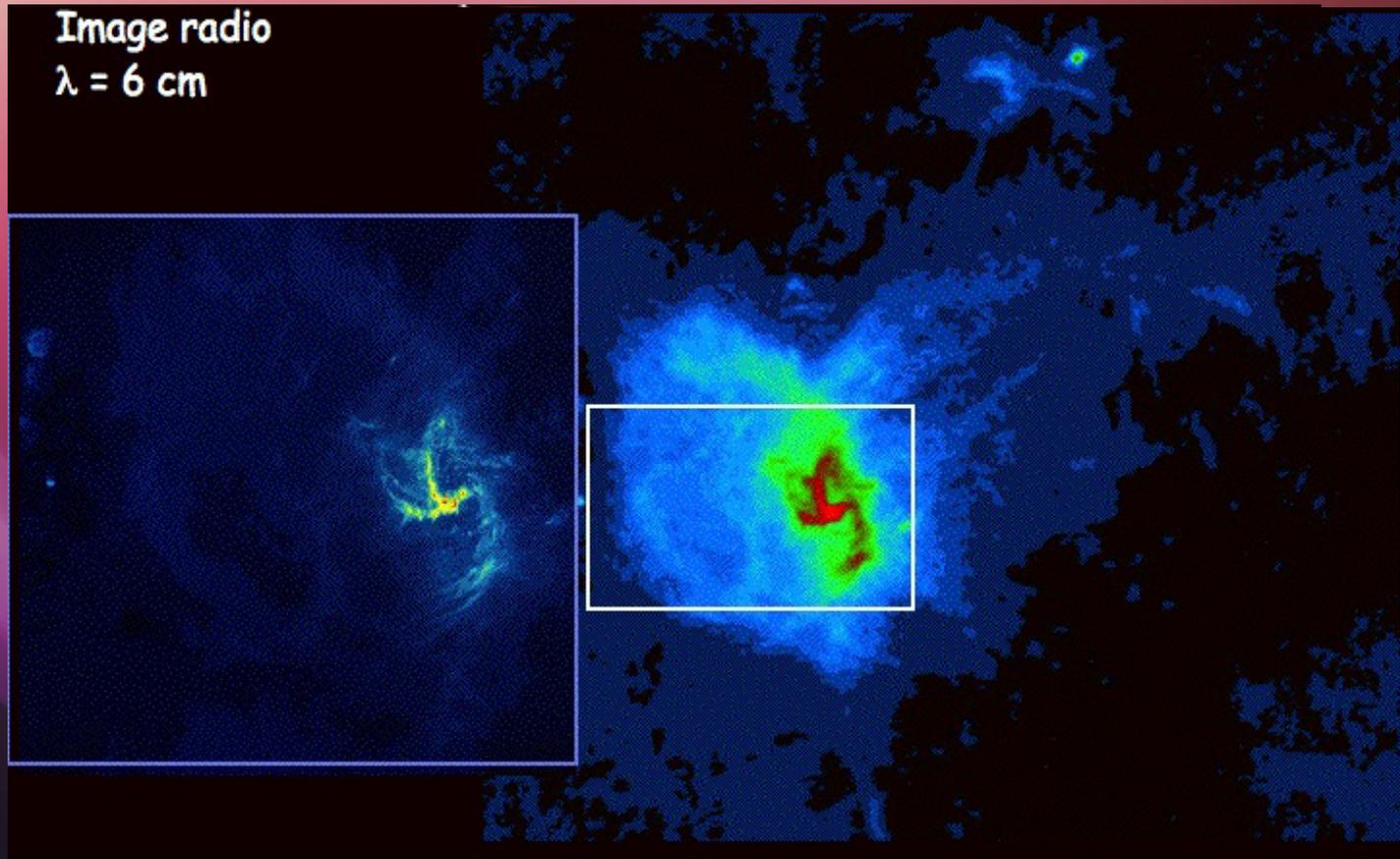
# 4) Les trous noirs supermassifs



# 4) Les trous noirs supermassifs

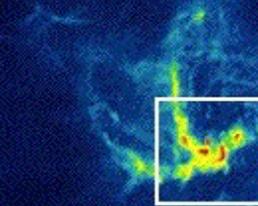
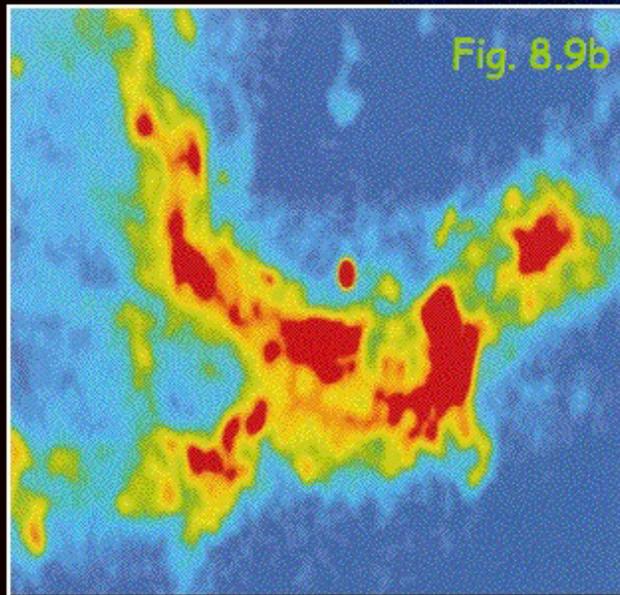


# 4) Les trous noirs supermassifs

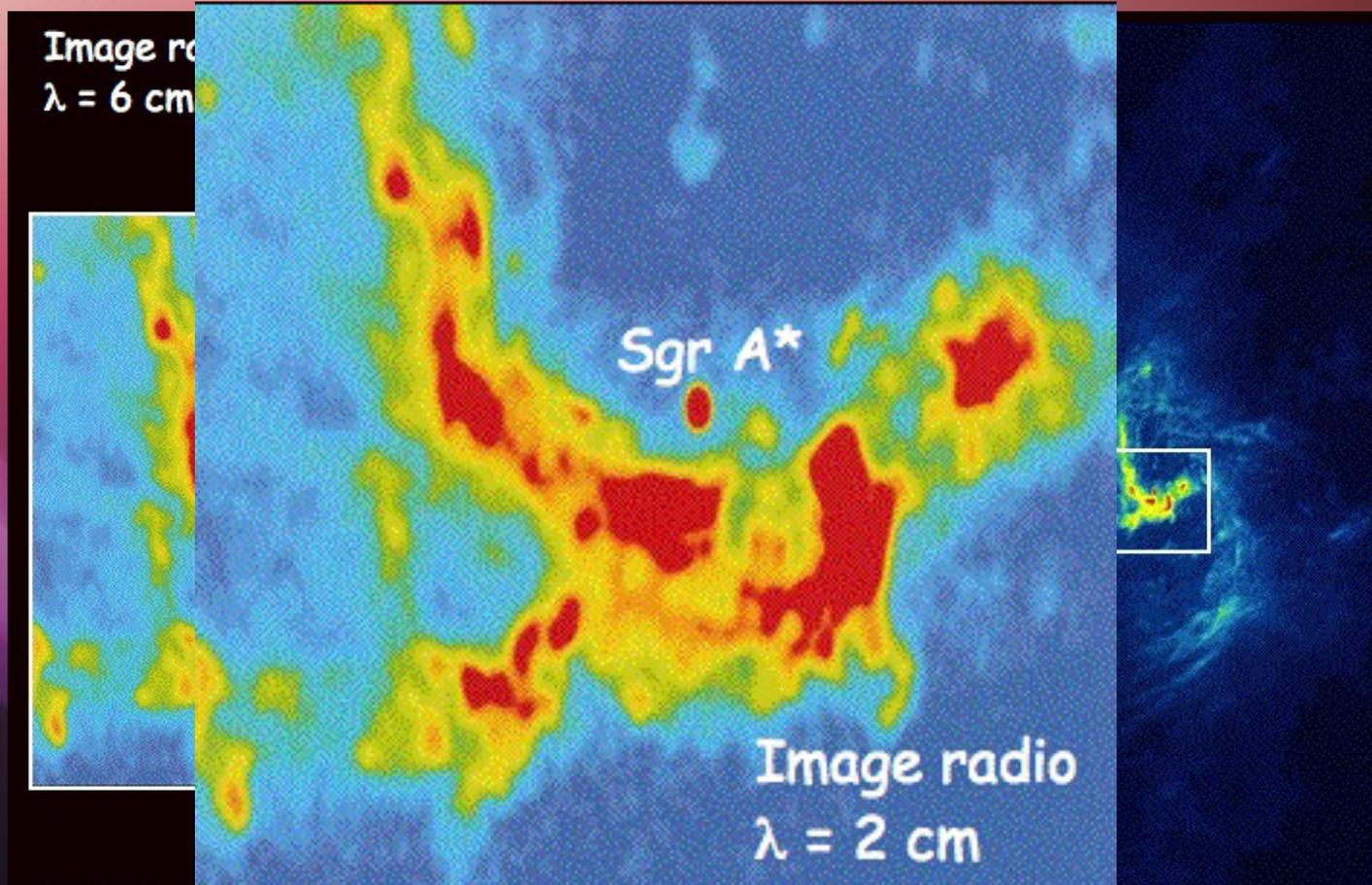


# 4) Les trous noirs supermassifs

Image radio  
 $\lambda = 6 \text{ cm}$

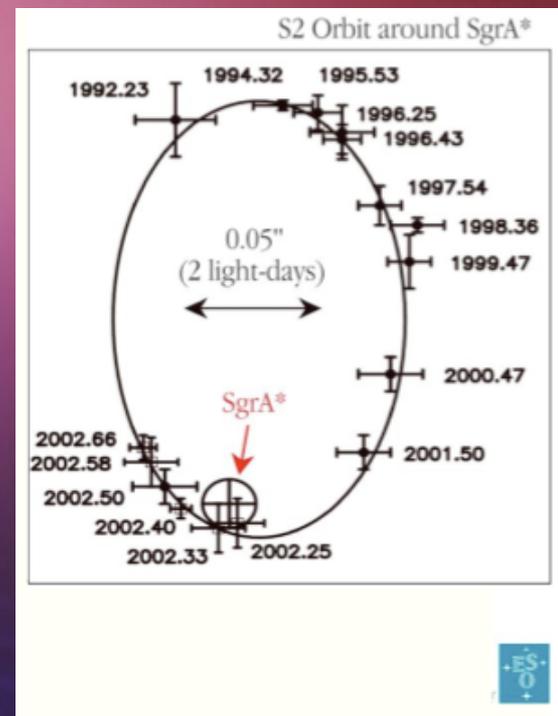


## 4) Les trous noirs supermassifs



# 4) Les trous noirs supermassifs

- ◆ Le centre de la Voie Lactée
  - ◆ On a découvert une forte émission de rayonnement infrarouge en direction de celui-ci.
  - ◆ On a calculé que ce centre galactique doit avoir une masse énorme dans un volume limité.
  - ◆ On aurait donc bien affaire à un trou noir gigantesque !

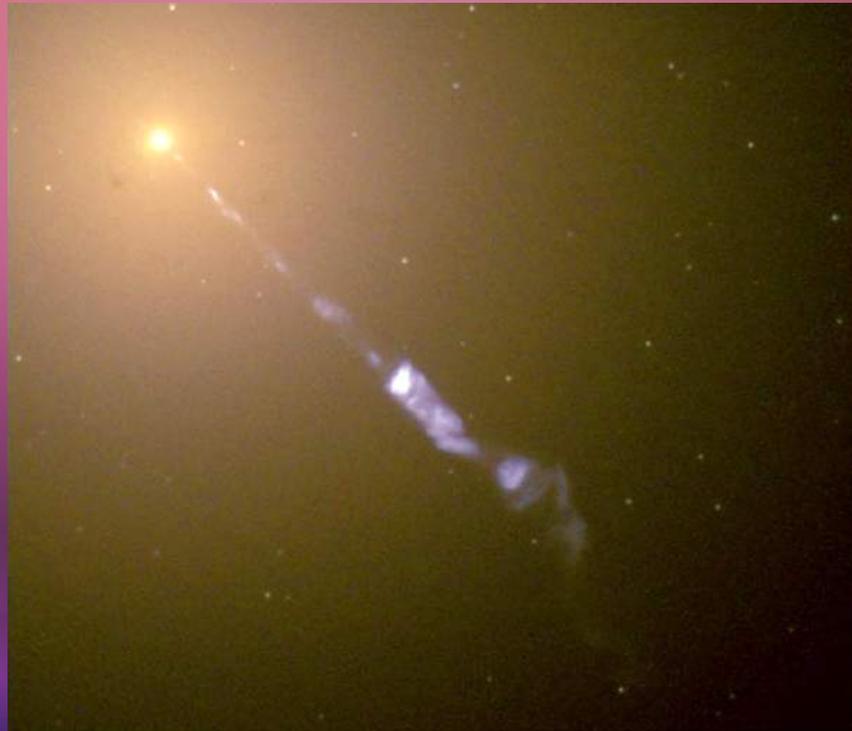


# 4) Les trous noirs supermassifs

- ◆ Et dans les autres galaxies ?
  - ◆ On a découvert que la plupart des autres galaxies possèdent aussi un trou noir supermassif en leur centre !
  - ◆ L'origine de ces trous noirs (qui ne proviennent pas de la mort d'une étoile) est encore mal comprise par les astronomes.
- ◆ Quelques mots sur les galaxies actives
  - ◆ Une galaxie active est une galaxie qui émet d'importants rayonnement depuis son centre.
  - ◆ Quelques exemples...

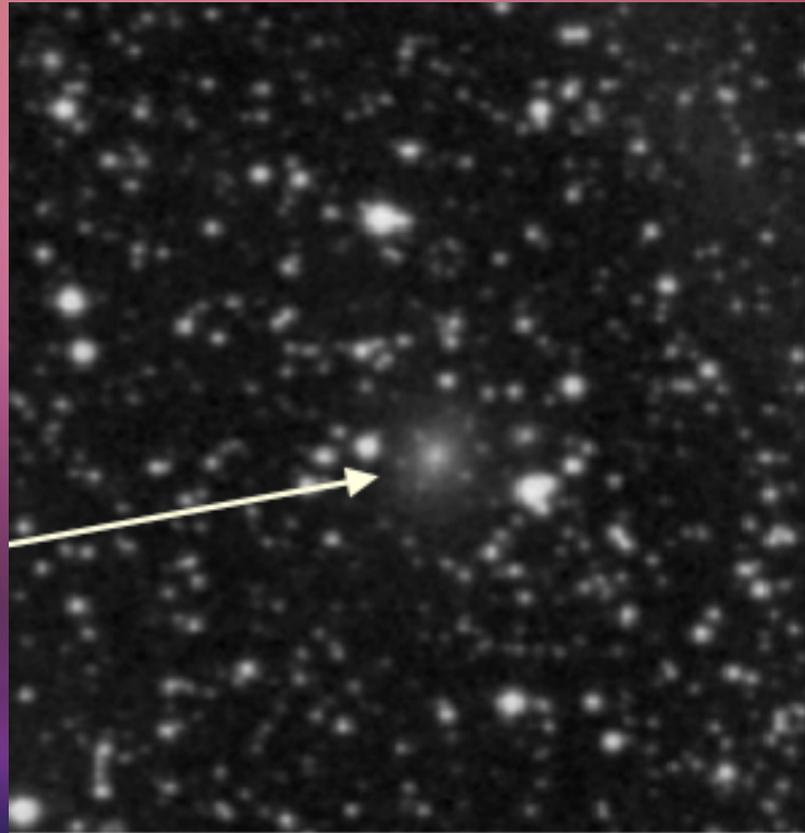
# 4) Les trous noirs supermassifs

◆ M87



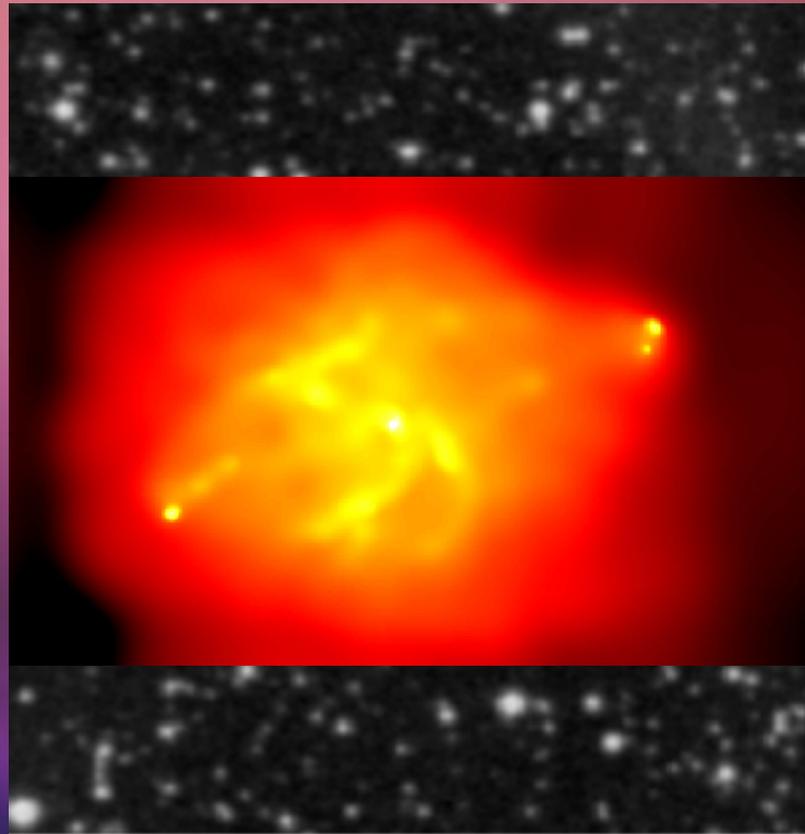
# 4) Les trous noirs supermassifs

## ◆ Cygnus A



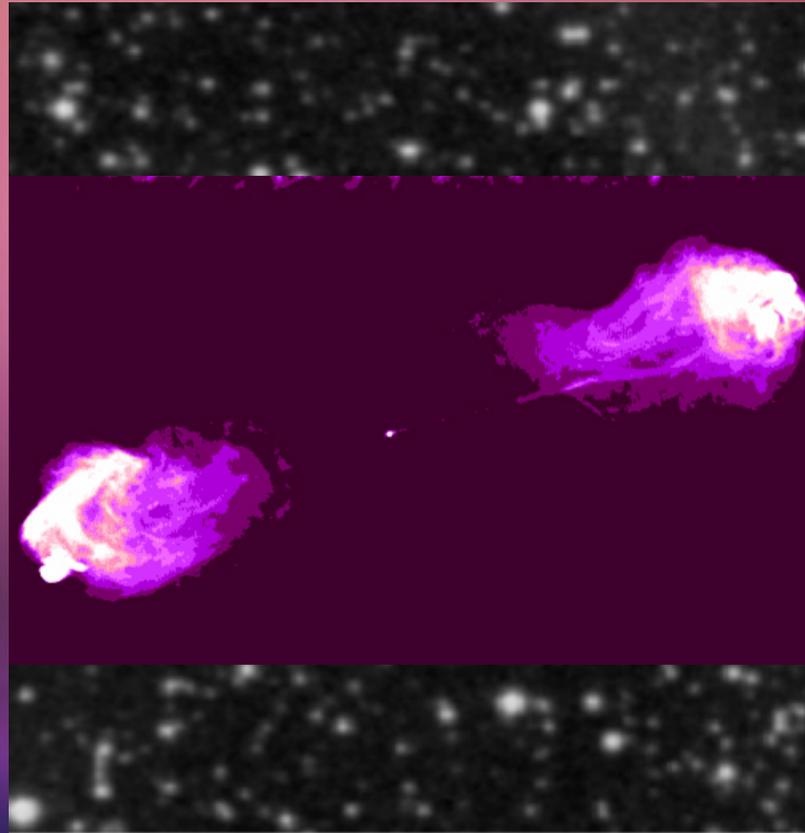
# 4) Les trous noirs supermassifs

## ◆ Cygnus A



# 4) Les trous noirs supermassifs

## ◆ Cygnus A



# 4) Les trous noirs supermassifs

## ◆ Centaurus A



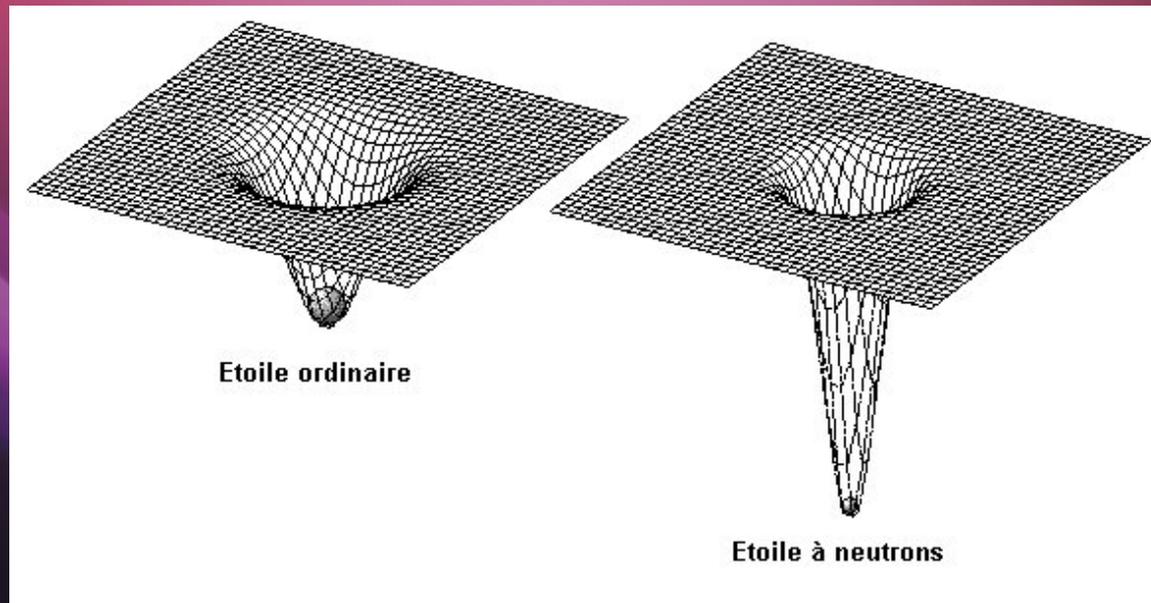
# 4) Les trous noirs supermassifs

## ◆ Centaurus A



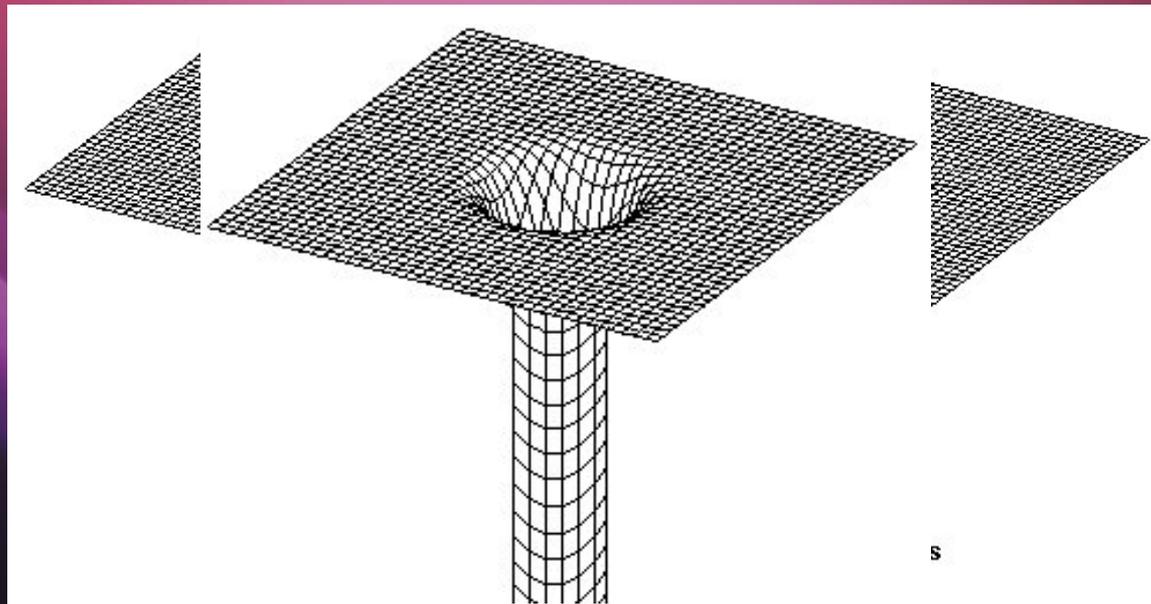
# 5) Trou noir et relativité

- ◆ Selon Newton, tous les objets s'attirent entre eux du fait de leur masse (forces gravitationnelles)
- ◆ Einstein va plus loin et voit la gravitation comme une distorsion de l'espace-temps.



# 5) Trou noir et relativité

- ◆ Selon Newton, tous les objets s'attirent entre eux du fait de leur masse (forces gravitationnelles)
- ◆ Einstein va plus loin et voit la gravitation comme une distorsion de l'espace-temps.



# 5) Trou noir et relativité

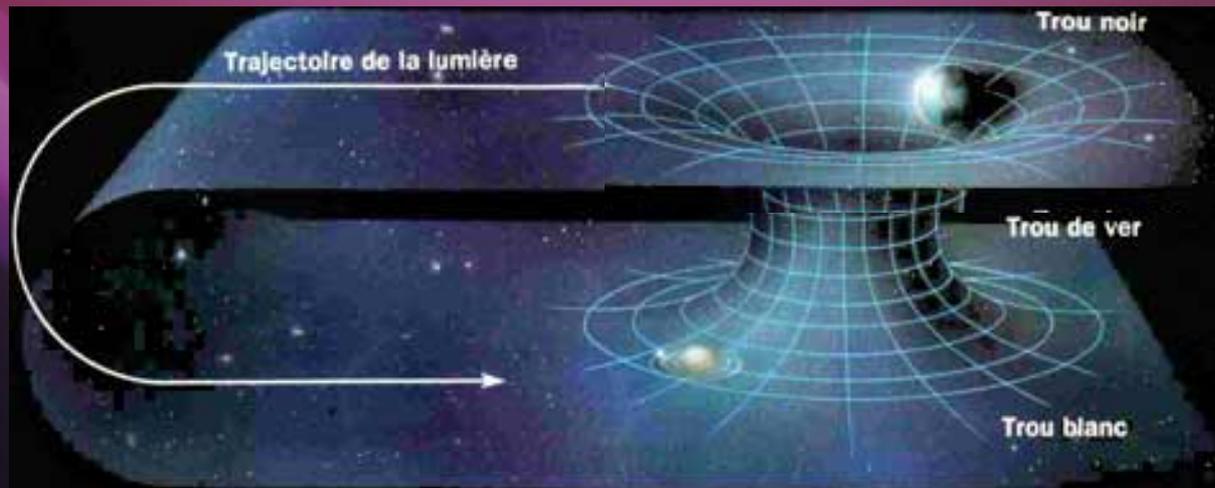
- ◆ Que se passerait-il si une fusée imprudente venait à tomber dans un trou noir ?
  - ◆ Si l'on observe cette fusée depuis la Terre, on la verrait ralentir à l'approche du trou noir, et l'atteindre en un temps infini.
  - ◆ Si l'on est dans la fusée, en théorie on devrait accélérer jusqu'à tomber sur la singularité.
  - ◆ Mais les forces de marée auraient déjà disloqué la fusée !
  - ◆ Remarque : si l'on était dans la fusée, rien de particulier ne se passerait lors du passage à l'intérieur de rayon de Schwarzschild.

# 5) Trou noir et relativité

- ◆ Un trou noir déforme donc l'espace, mais aussi le temps !
  - ◆ Imaginons 2 fusées, A et B, qui passent à proximité d'un trou noir (sans s'y faire capturer).
  - ◆ Si la fusée B passe plus près du trou noir que la fusée A, à l'arrivée les passagers de la fusée B auront moins vieilli que ceux de la fusée A !

## 6) Un peu de science-fiction...

- ◆ Attention ! Tout ce qui va être dit ici ne sont que des hypothèses !
- ◆ Nous avons vu qu'un trou noir créait un « trou » dans l'espace-temps.
- ◆ Se pourrait-il que ce « trou » se referme dans une autre région de l'univers ?



## 6) Un peu de science-fiction...

- ◆ ... Ou bien qu'il aboutisse dans un autre univers ?



## 6) Un peu de science-fiction...

- ◆ En théorie c'est possible !
- ◆ Problème : personne n'a encore découvert un « trou blanc ».
- ◆ Troisième hypothèse : c'est un autre univers qui remplace la région centrale du trou noir.
- ◆ Et si notre univers était lui-même le centre d'un trou noir ??

# Sources

- ◆ Marc Séguin et Benoît Villeneuve, *Astronomie et Astrophysique*, De Boeck, 2002
- ◆ Alain Jorissen, *La structure de l'univers*
- ◆ *Science & Vie* n° 1085 (février 2008)
- ◆ *Voyage à travers l'univers : les étoiles*, Time-Life, 1989