

## Notre Galaxie, la Voie Lactée

- structure
- formation
- le centre galactique

## Les galaxies...

- galaxies actives
- galaxies en interaction
- la masse des galaxies

# La Voie Lactée

*Vue depuis la Terre*

## La Galaxie : notre galaxie

**Galilée** (1610), grâce à l'utilisation du télescope, est le premier à comprendre la véritable nature de la bande laiteuse qui traverse le ciel

Effet **cumulatif** de millions d'étoiles trop lointaines et faibles pour être perçues individuellement à l'œil nu

Etoiles **pas distribuées uniformément**: plus d'étoiles dans le plan défini par la bande de la Voie lactée que dans les autres directions

➤ *Galaxias Kyklos* (Grec) / *Via Lactea* (Latin) : **Voie Lactée**

La  
Structure  
de l'Univers

# La Voie Lactée

## GigaGalaxy Zoom project (ESO)



# La Voie Lactée

*Vue depuis le ciel*

## Observation en infrarouge

Beaucoup de **poussières** dans ce plan, qui absorbent la lumière visible émise par les étoiles des régions éloignées du soleil

La **lumière infrarouge** est très peu absorbée par les poussières

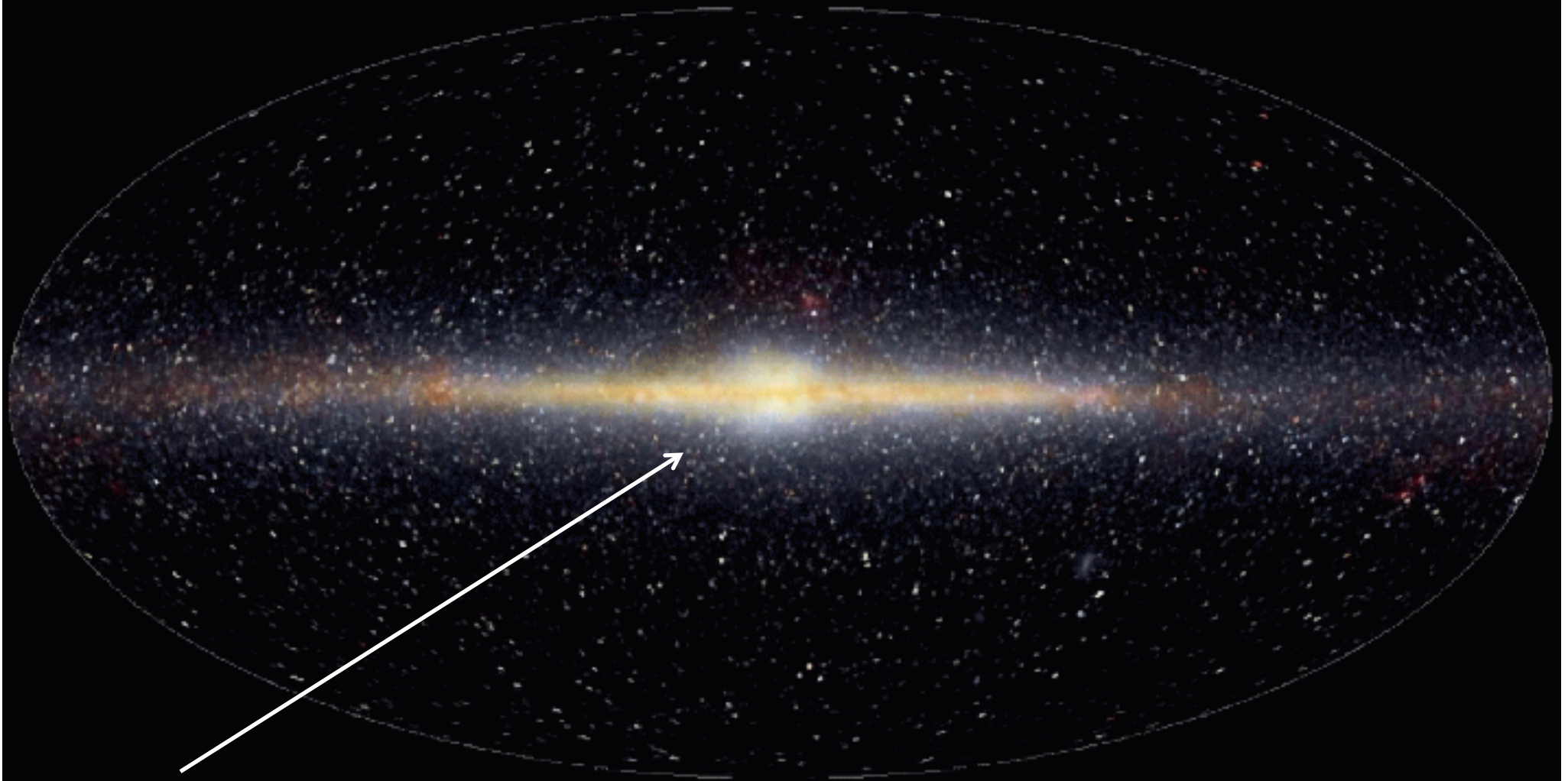
L'observation dans le domaine infrarouge permet de **sonder** la Galaxie sur de très grandes distances

Image panoramique du ciel recueillie par le **satellite COBE** dans l'infrarouge

➤ mise en évidence du **bulbe galactique**

# La Voie Lactée en infrarouge

Satellite COBE (1.25, 2.5 et 3.5  $\mu\text{m}$ )



bulbe

# La Voie Lactée

## *Structure*

### Comparaison avec des galaxies externes

La galaxie externe NGC 4565 apparaît sous forme d'une structure **bande + bulbe**:  
étonnante similitude avec l'image COBE de la Voie Lactée

# NGC 4565

Galaxie extérieure vue par la tranche

On peut supposer que la Voie Lactée a la même forme générale que NGC 4565

# La Voie Lactée

## Structure

### Comparaison avec des galaxies externes

La galaxie externe NGC 4565 apparaît sous forme d'une structure **bande + bulbe**:  
étonnante similitude avec l'image COBE de la Voie Lactée

La galaxie externe NGC 1232 apparaît sous forme d'une structure **bras spiraux +  
centre brillant** : compatible avec NGC 4565 si l'on suppose que l'une est vue de  
face alors que l'autre est vue par la tranche



# NGC 1232

Galaxie extérieure vue de face



Structure compatible avec l'apparence de NGC4565 ou de la Voie Lactée

# La Voie Lactée

## Structure

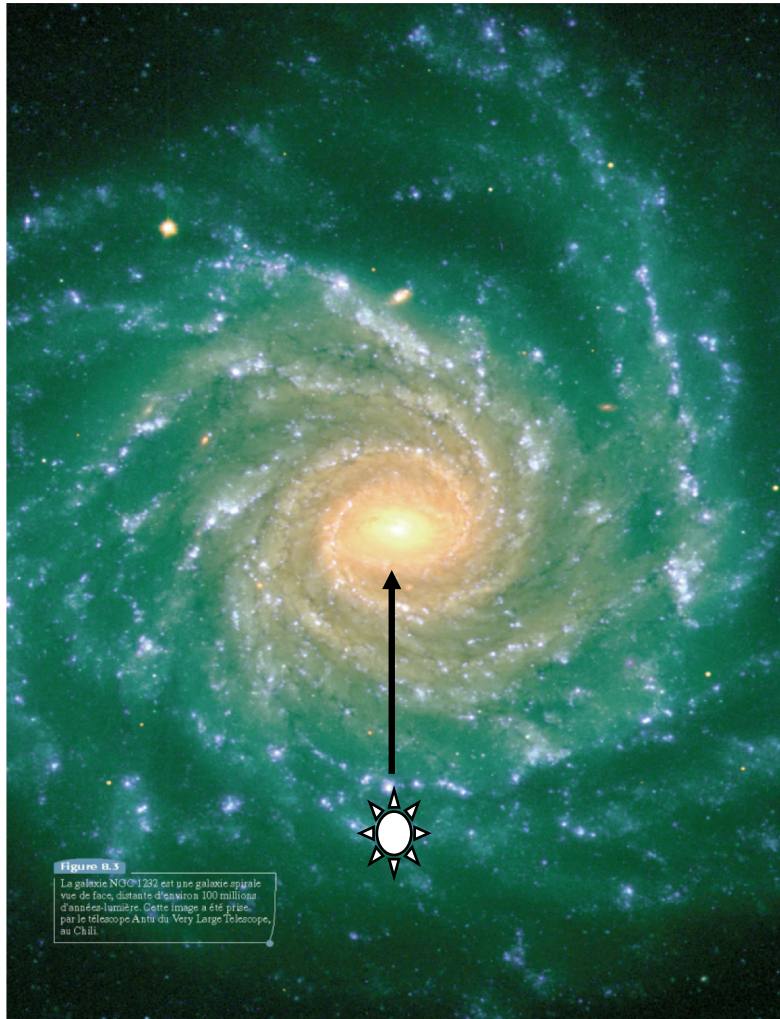
### Comparaison avec des galaxies externes

La galaxie externe NGC 4565 apparaît sous forme d'une structure **bande + bulbe**:  
étonnante similitude avec l'image COBE de la Voie Lactée

La galaxie externe NGC 1232 apparaît sous forme d'une structure **bras spiraux +  
centre brillant** : compatible avec NGC 4565 si l'on suppose que l'une est vue de  
face alors que l'autre est vue par la tranche

➤ la Voie Lactée pourrait être une **galaxie spirale**

# La Voie Lactée vue depuis le système solaire



## Interprétation de l'image COBE:

1. Le Soleil est situé quasiment dans le plan (puisque l'on ne voit qu'une bande, i.e. disque vu par la tranche)
2. Il est situé à mi-chemin entre le bulbe et la périphérie du disque (taille modérée du bulbe, vision homogène sur 360° du disque)

# La Voie Lactée

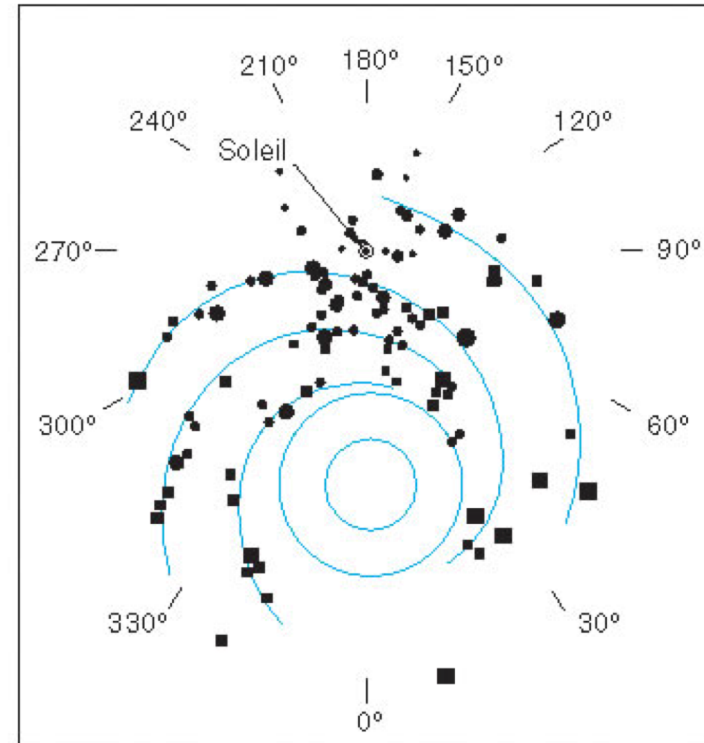
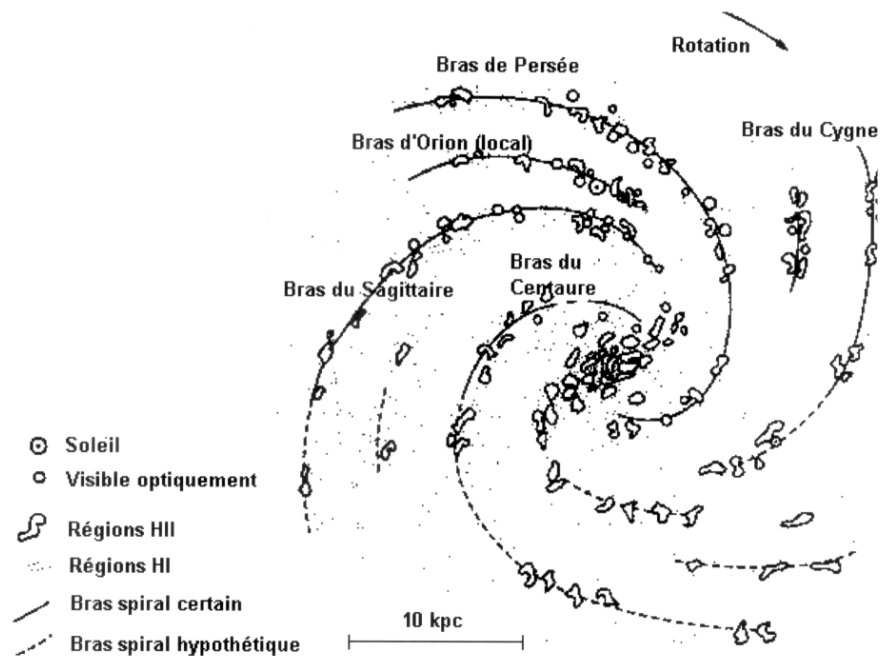
## *Une galaxie spirale?*

Vue de l'intérieur : comment vérifier qu'il s'agit bien d'une galaxie spirale?

Les bras spiraux sont peuplés par des **étoiles bleues** (massives et lumineuses), ainsi que par des **régions HII** illuminées par ces étoiles

Comment se répartissent ces objets dans notre Galaxie? Nécessité de réaliser une **cartographie**

# Cartographie des régions HII

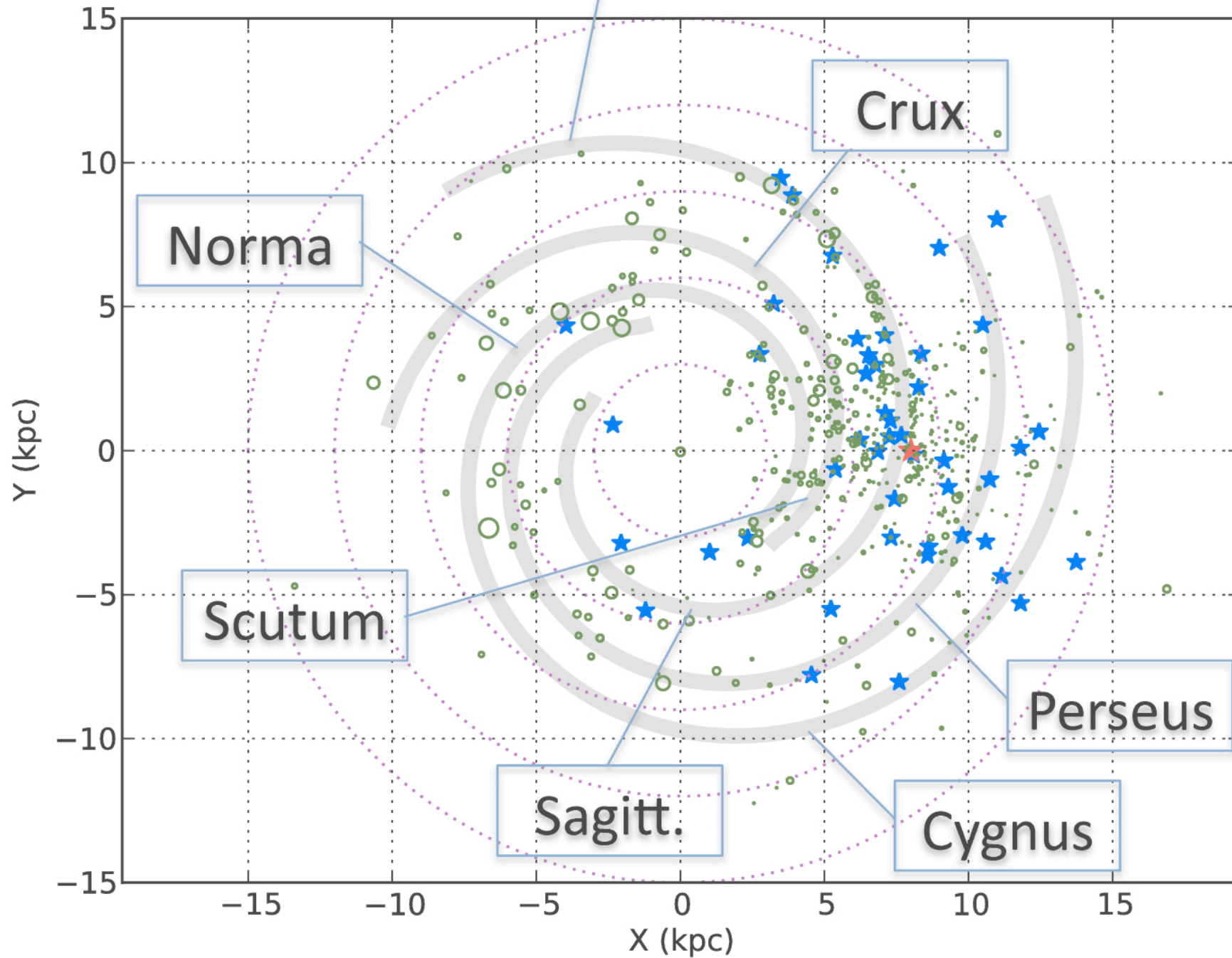


**Distribution des zones de formation stellaire:** les régions HII sont positionnées au sein de la Voie Lactée après détermination de leur distance

➤ des **bras spiraux** semblent se dessiner

régions de formation  
stellaire

binaires X  
(étoiles bleues)



# La Voie Lactée

## *Une galaxie spirale?*

Vue de l'intérieur : comment vérifier qu'il s'agit bien d'une galaxie spirale?

Les bras spiraux sont peuplés par des **étoiles bleues** (massives et lumineuses), ainsi que par des **régions HII** illuminées par ces étoiles

Comment se répartissent ces objets dans notre Galaxie? Nécessité de réaliser une **cartographie**

La position des étoiles bleues et des régions HII dessinent des **bras spiraux**

➤ la Voie Lactée est bien une **galaxie spirale**

# Bras spiraux

## Origine

### Composition des bras spiraux

Si les bras spiraux émettent plus de lumière que le reste du disque galactique, c'est surtout à cause des **traceurs** : étoiles chaudes et bleues & régions HII

Si l'on en fait abstraction, il n'y a plus beaucoup de différence entre les bras et le **reste du disque** (à l'exception d'une légère augmentation de la densité de matière dans les bras)

Or les traceurs sont des phénomènes **éphémères**, car étoiles chaudes et bleues (durée de vie:  $10^6$  à  $10^7$  ans)

Mais les bras spiraux ne sont pas nécessairement éphémères: ils se composent de traceurs sans cesse **renouvelés**

➤ quelle est l'**origine** des bras spiraux?



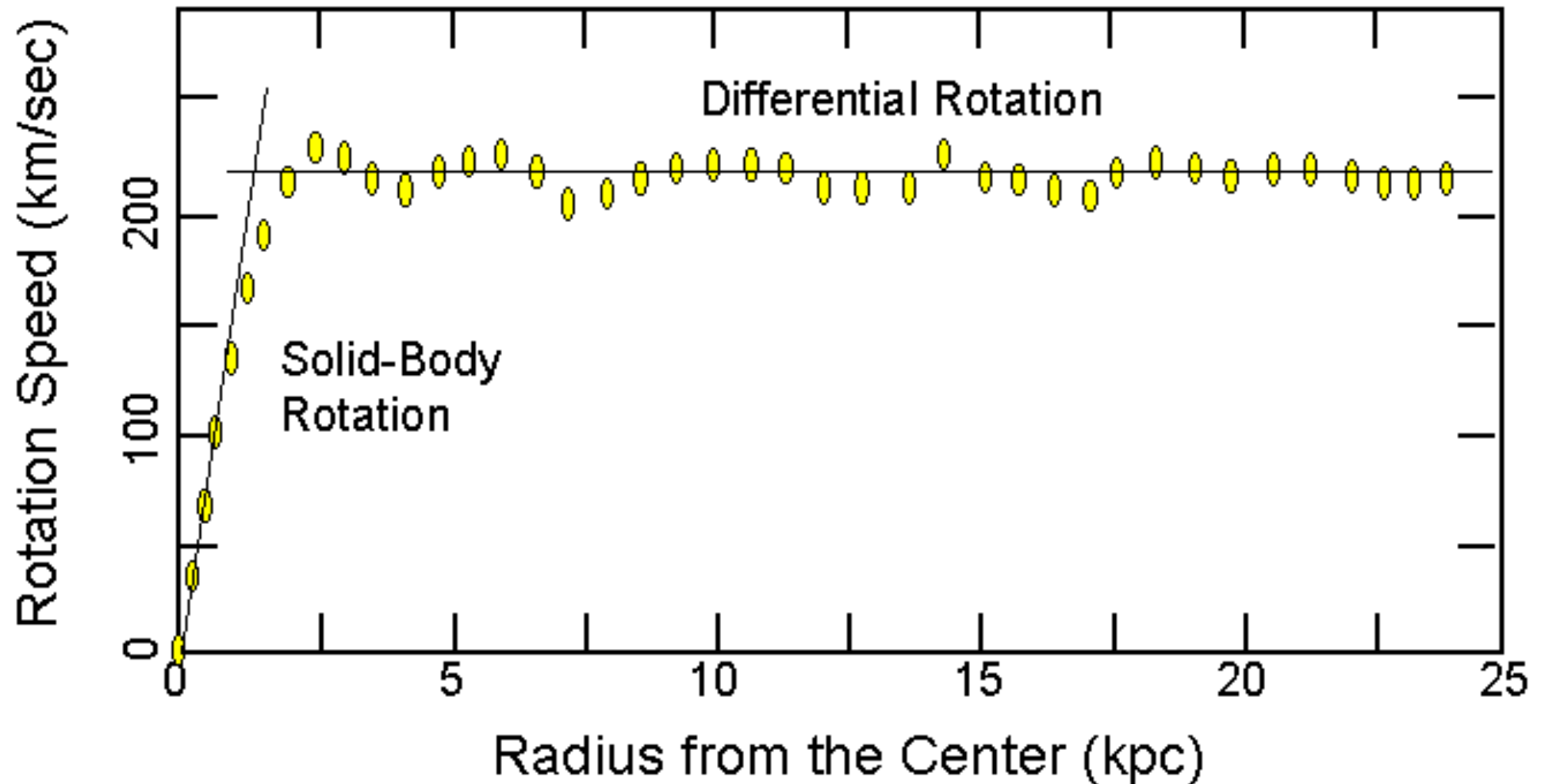
# Bras spiraux

## *Rotation de la Galaxie*

Mesure de la vitesse de rotation des étoiles autour du centre galactique

Le Soleil a une orbite quasi-circulaire de rayon 8 kpc (distance au centre galactique)  
à la vitesse  $V_{\text{sol}} = 220 \text{ km/s}$ , soit une **révolution en  $220 \cdot 10^6$  ans**

# Vitesse de rotation galactique



# Bras spiraux

## *Rotation de la Galaxie*

### Mesure de la vitesse de rotation des étoiles autour du centre galactique

Le Soleil a une orbite quasi-circulaire de rayon 8 kpc (distance au centre galactique) à la vitesse  $V_{\text{sol}} = 220 \text{ km/s}$ , soit une **révolution en  $220 \cdot 10^6$  ans**

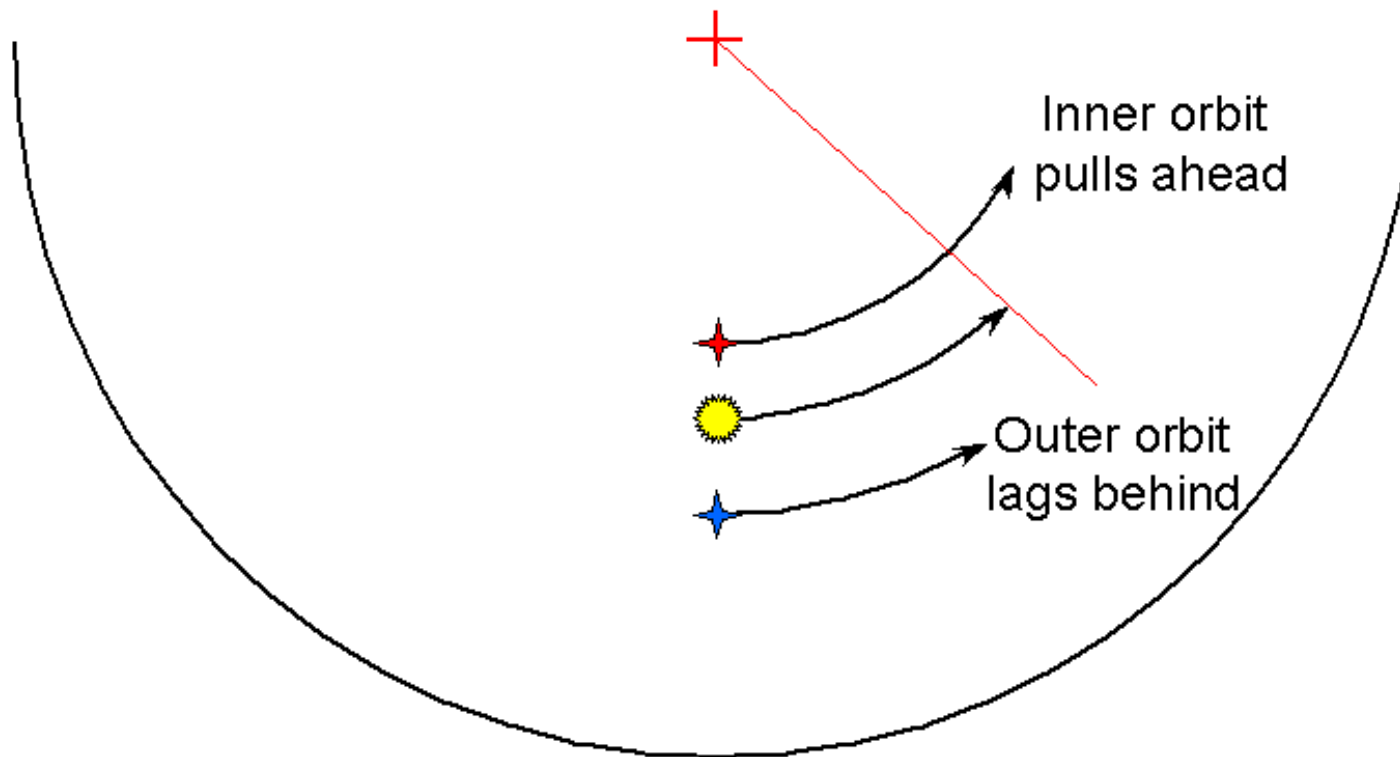
Nombre de tours en 5 milliard d'années :  $5 \cdot 10^9 / 0.22 \cdot 10^9 \sim$  **23 tours** depuis la naissance du Soleil

Or, les étoiles **plus proches** du centre mettent moins de temps à accomplir un tour

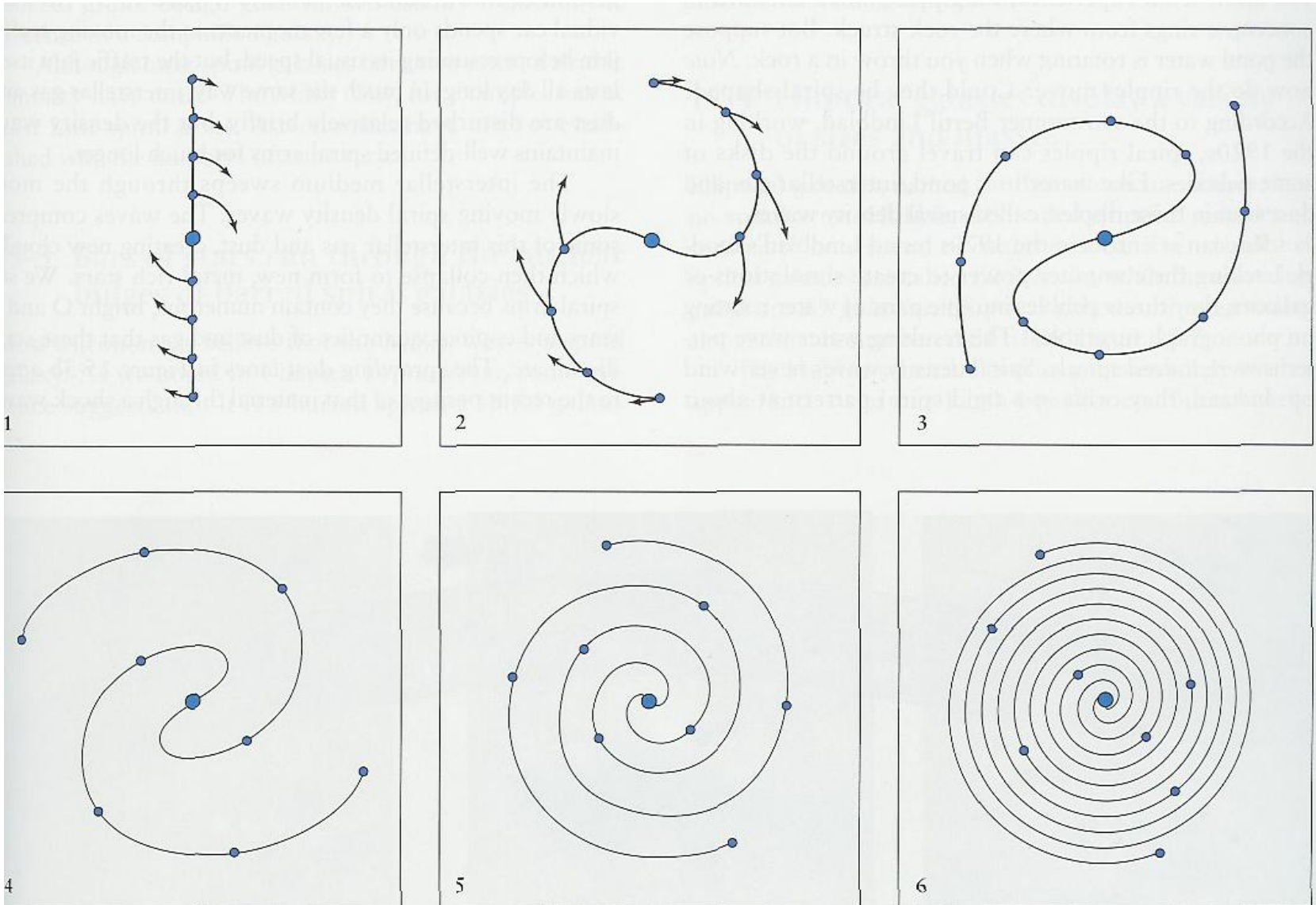
➤ **rotation différentielle** des étoiles au sein de la Galaxie

# Rotation différentielle

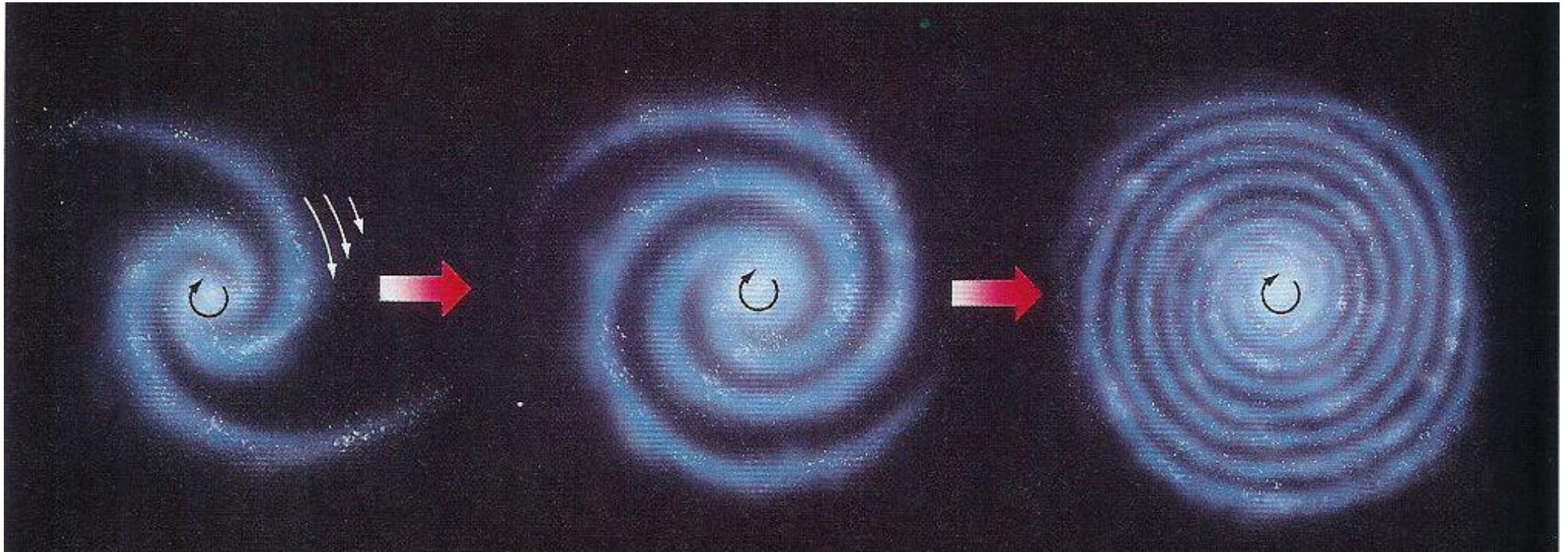
## Differential Rotation



# Allure des bras spiraux si liés à rotation différentielle



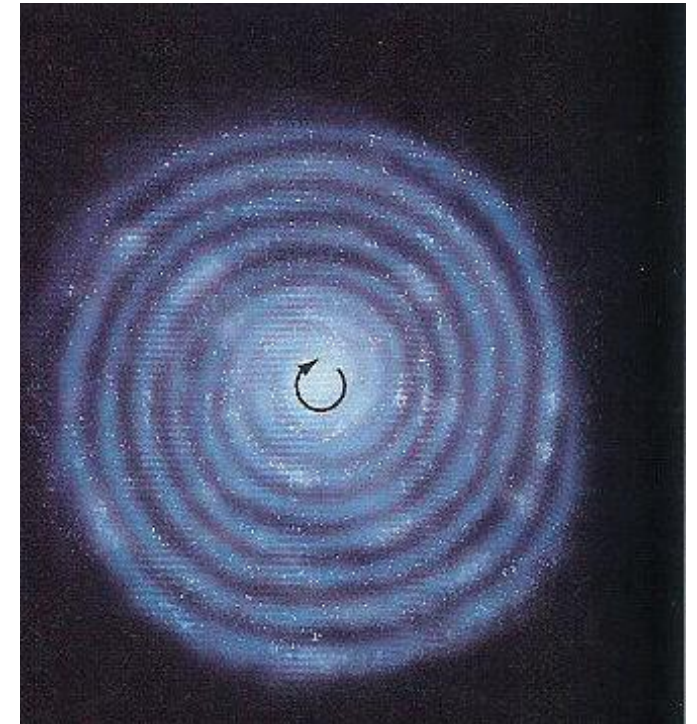
# Bras spiraux attribuables à rotation différentielle?



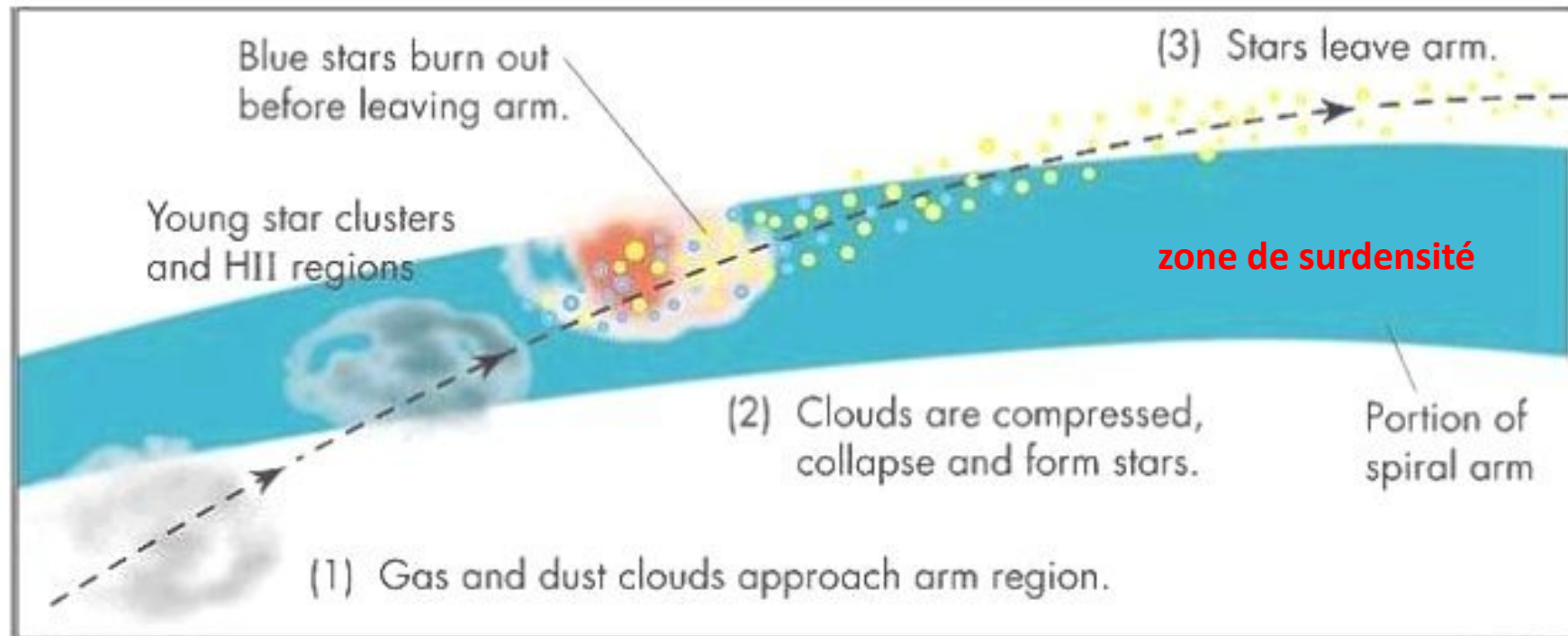
# Bras spiraux attribuables à rotation différentielle?



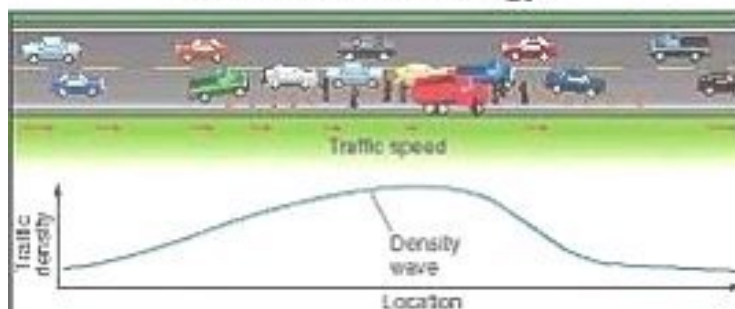
**NON !**



# Bras spiraux attribuables à zones de surdensité



Traffic Jam Analogy



analogie de l'embouteillage se déplaçant sur une autoroute



# Bras spiraux

## *Onde de densité*

### Zones de compression

Les **ondes de densité** se déplacent plus lentement que les étoiles et le gaz

Le gaz entre dans l'onde de densité/bras spiral par l'arrière, est **comprimé**, s'effondre, forme des étoiles

Les étoiles chaudes et bleues nouvellement formées rendent l'onde de densité **visible**

Après quelques millions d'années, les étoiles bleues arrivent en fin de vie, et cette région du disque retrouve une **luminosité normale**, tandis que l'onde de densité a avancé dans le disque

➤ les bras spiraux **matérialisent les zones de surdensité**

La  
Structure  
de l'Univers



# Anatomie de la Voie Lactée

## *Disque – Bulbe – Halo*

### Composantes de notre Galaxie

**Disque** = 90% de la matière (visible); diamètre 100 000 AL = 30 kpc

- épaisseur  $\sim$  2000 AL = 600 pc
- Soleil situé à 26 000 AL = 8 kpc du centre, 50 AL = 15 pc au-dessus du plan
- étoiles jeunes et modérément vieilles + gaz et poussières

**Bulbe** = 5% de la matière (visible); diamètre 7000 AL = 2 kpc

- étoiles de tous âges

**Halo** = 5% de la matière (visible); sphère de diamètre 100 000 AL = 30 kpc

- étoiles très vieilles et amas globulaires (environ 200 associés à notre Galaxie)

➤ **populations** distinctes d'étoiles

*Amas globulaire*

*Halo stellaire*

*Bulbe en X*

*Disque épais*

*Disque mince*

# Amas globulaire



**Groupements stellaires sphériques:** 200 structures d'environ **1 million** d'étoiles très vieilles dans une structure gravitationnellement liée; les orbites des amas sont orientées au hasard par rapport au disque galactique (distribution à symétrie sphérique)

➤ **reliquats d'une phase antérieure de la Galaxie**

### Age, cinématique et métallicité

Les **propriétés cinématiques**, la **composition chimique** (*métallicité*, i.e. le contenu en éléments plus lourds que He) et la **distribution spatiale** sont corrélées lorsque l'on considère deux grands ensemble d'étoiles :

#### **Population I** = disque galactique

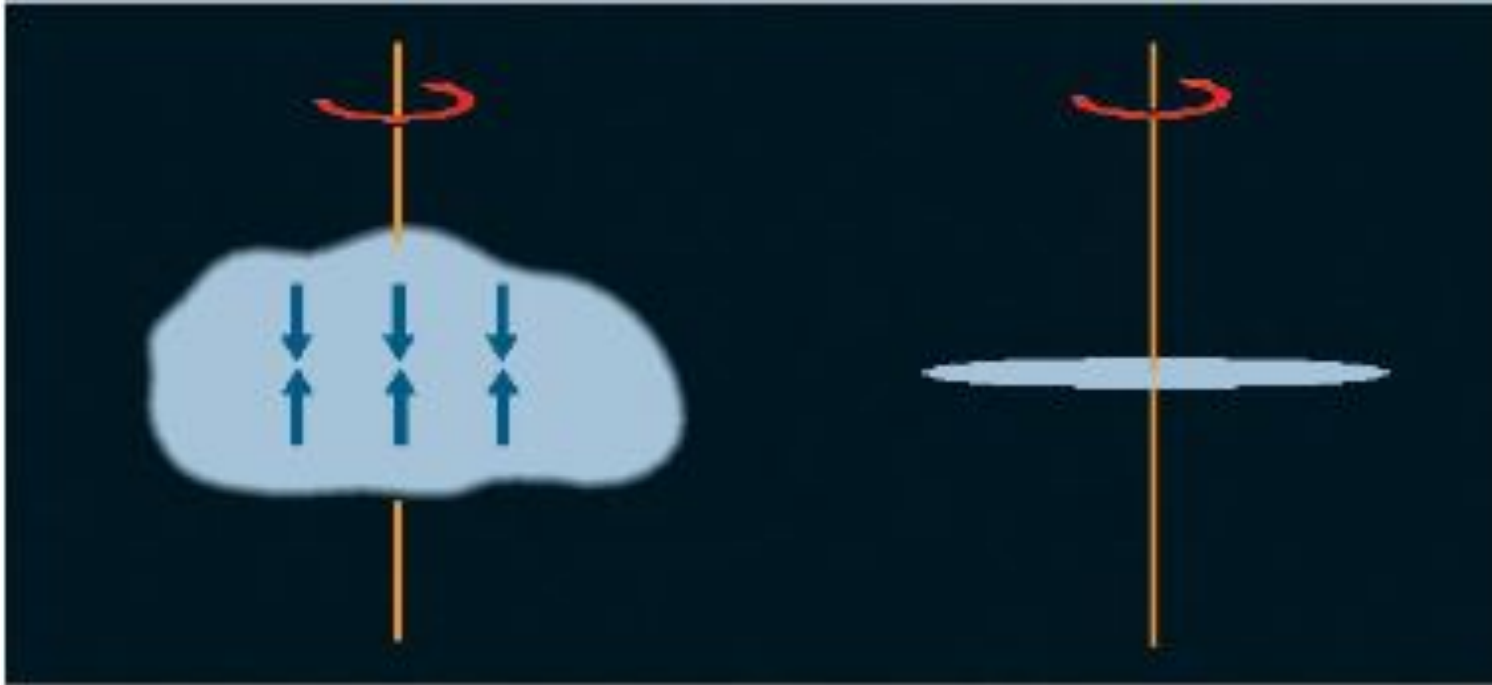
- orbites dans le disque
- étoiles jeunes et modérément vieilles
- étoiles de métallicité entre 0.1 et 1 fois solaire

#### **Population II** = halo galactique

- orbites distribuées à symétrie sphérique
- étoiles très vieilles et amas globulaires
- étoiles de métallicité inférieure à 0.1 fois solaire

➤ quel **scénario de formation** de la Galaxie est compatible avec ces corrélations?

# Formation de la Voie Lactée

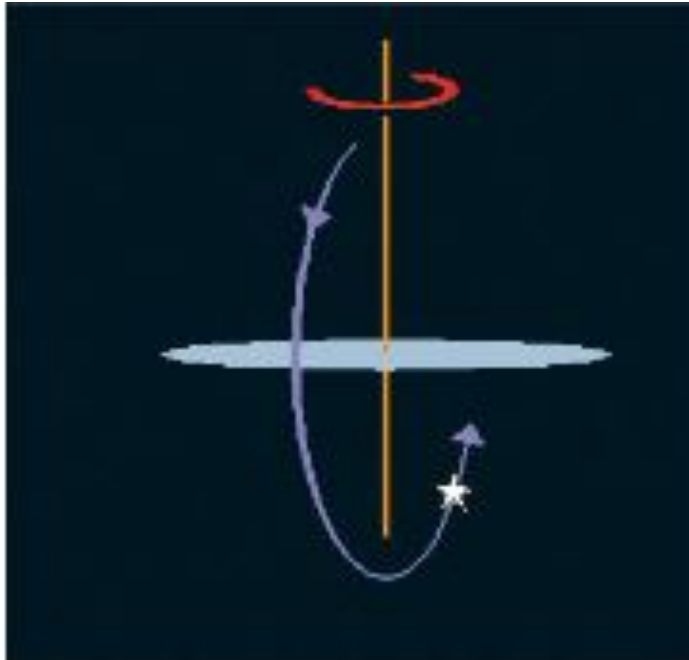


**Nuage diffus de matière:** contraction avec conservation du moment angulaire initial => rotation de plus en plus rapide => aplatissement

➤ formation d'un **disque de gaz**

# Formation de la Voie Lactée

A



B



**Disque de gaz:** si une **étoile** est déjà formée dans le halo, elle traversera le disque de gaz sans difficulté (pas de frottement) => **A**  
Par contre, l'interaction d'un **nuage de gaz du halo** avec le gaz du disque en rotation sera beaucoup plus forte; lors de son arrivée dans le disque, le nuage de gaz du halo sera happé par la rotation du disque => **B**



## How Galaxies Work Evolution of a Galaxy

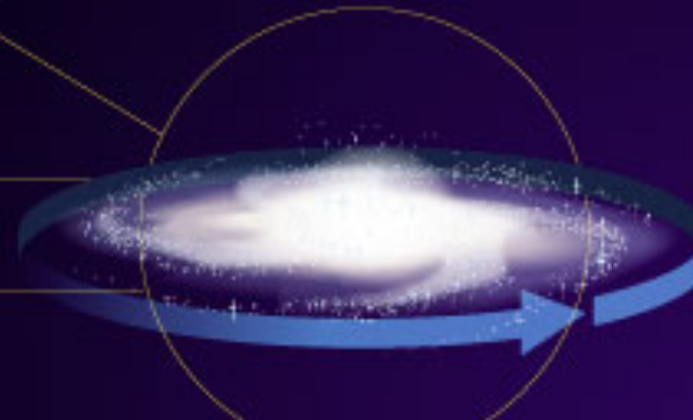
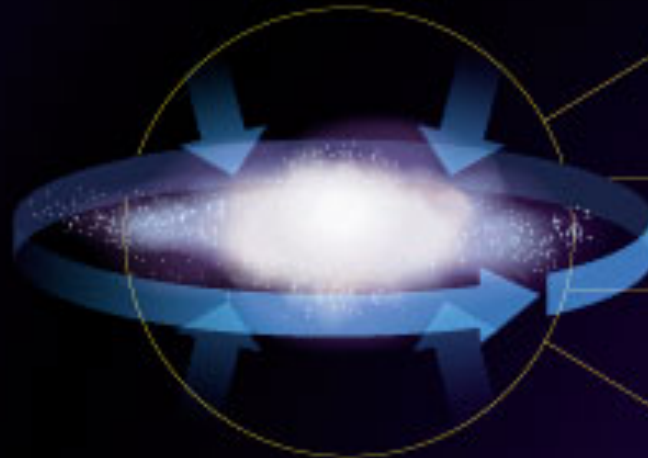
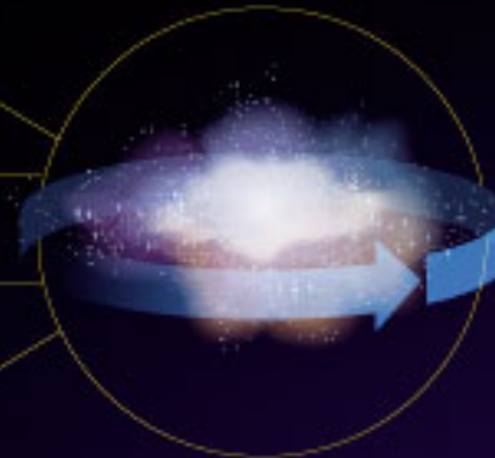
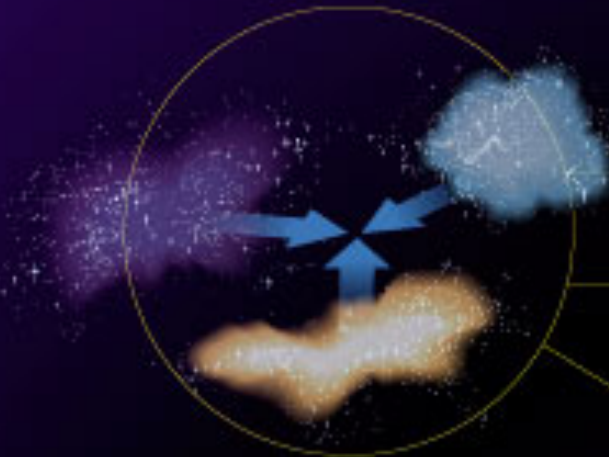
One model explains that, like stars, spiral galaxies formed from collapsing and rotating clouds of gas and dust.

1. Bodies of gas, dust and young stars collide.

2. The stars begin to rotate around the center of the mass.

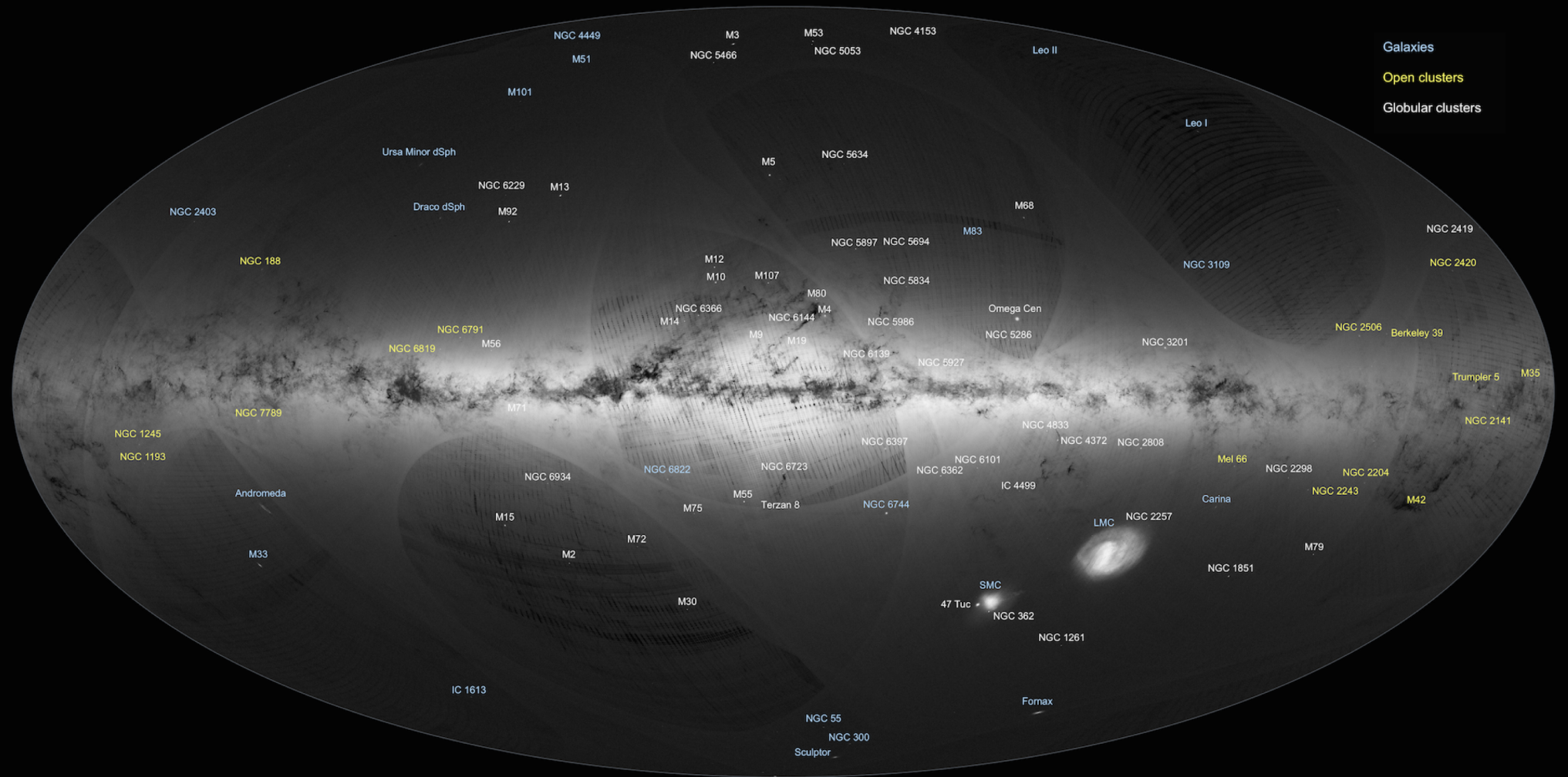
3. The rotation contracts the cloud and forms a galactic disk.

4. Motion created by the spinning disk causes spiral arms to form.



# La Voie Lactée

## Cartographiée par le satellite GAIA (2016)



# Voyage au centre de la Galaxie

## Disque de 100 000 AL de diamètre



Lorem ipsum dolor sit amet

*Lorem ipsum dolor sit amet*

