

LES GALAXIES

4 juin 2011

*Conférence à la Société Astronomique de Montgeron par Claire Halliday,
Astrophysicienne, éditrice à la Revue Astronomy and Astrophysics*

Un petit glossaire

- * Une année-lumière est la distance que la lumière parcourt pendant une année, soit environ 10 000 milliards de kilomètres.
- * Dix puissance un égale dix, dix puissance deux égale cent, dix puissance trois égale mille, dix puissance quatre égale dix mille, et cetera.
- * Une masse solaire est la masse de notre Soleil soit deux fois dix puissance trente kilogrammes.

Un petit glossaire

- * Un Angström ($1\text{\AA}$) est une unité de mesure de longueur d'onde égale dix puissance moins dix mètres. Les lumières bleues et rouges ont, respectivement, des longueurs d'onde d'environ quatre virgule six et six virgule sept mille Angströms.
- * Un Kelvin est une unité de mesure de température, où 0K correspond à -273 degrés Celsius.

Qu'est ce qu'une galaxie?

- * Regardons dans la dictionnaire Larousse:
- * Une galaxie est un vaste ensemble d'étoiles, de poussières, et de gaz interstellaires, isolé dans l'espace dont la cohésion est assurée par la gravitation.

Qu'est ce qu'une galaxie?

- * Une galaxie est un vaste système d'étoiles qui contient généralement entre dix puissance cinq (cent milles) et dix puissance douze (mille milliards) d'étoiles.
- * La plupart des étoiles dans l'Univers sont localisées dans une galaxie.

Qu'est ce qu'une galaxie?

- * Notre Soleil est une étoile dans la Galaxie (ou la Voie lactée), qui est une galaxie spirale.
- * La Galaxie, comme toutes les galaxies spirales, est composée *d'un noyau contenant un trou noir très massif, d'un bulbe de vieilles étoiles, et d'un disque comportant des étoiles en moyenne plus jeunes que dans le bulbe.*

Qu'est ce qu'une galaxie?

Le Soleil est situé à
25 000 années-lumière
du centre de la
Galaxie.

Il est localisé dans le
disque de la Galaxie et
tourne autour du
centre à une vitesse
d'environ 200 km/s.



Qu'est ce qu'une galaxie?

- * Le disque de la Galaxie contient aussi du gaz sous forme atomique et moléculaire, principalement de l'hydrogène, et des poussières. Ces constituants forment le milieu interstellaire.
- * Ce milieu est très important pour la chimie de la Galaxie parce que ses nuages denses de gaz constituent les emplacements de formation des étoiles, et les étoiles en mourant éjectent dans le milieu interstellaire de la matière, qui est enrichie en métaux.

Qu'est ce qu'une galaxie?

Un trou noir est une région d'espace si compacte que même la lumière ne peut pas en échapper.

La Galaxie contient aussi un trou noir très massif dans sa région centrale, d'une masse d'environ quatre dix puissance six (quatre million) masses solaires.



La matiere noire

- * Je voudrais dire au début que je suppose que la matière noire existe. Il y avait plusieurs études qui soulignent les faiblesses de cette supposition mais elle reste le meilleur manière de décrire l'évolution de l'Univers.
- * **Mais attention! Ne pas confondre le trou noir,** qui est une région de l'espace extrêmement dense et aux propriétés physiques exceptionnelles, **avec la matière noire,** qui est de la matière dont les effets ont été détectés mais qui est invisible.

Qu'est ce qu'une galaxie?

- * La composante la plus grande de la Galaxie et des galaxies en général, sur le plan de la masse et de la taille, est le halo qui contient la matière généralement appelée matière noire.
- * Ce halo a un rayon qui est plus de vingt fois plus grand que la distance du Soleil au centre de la Galaxie.

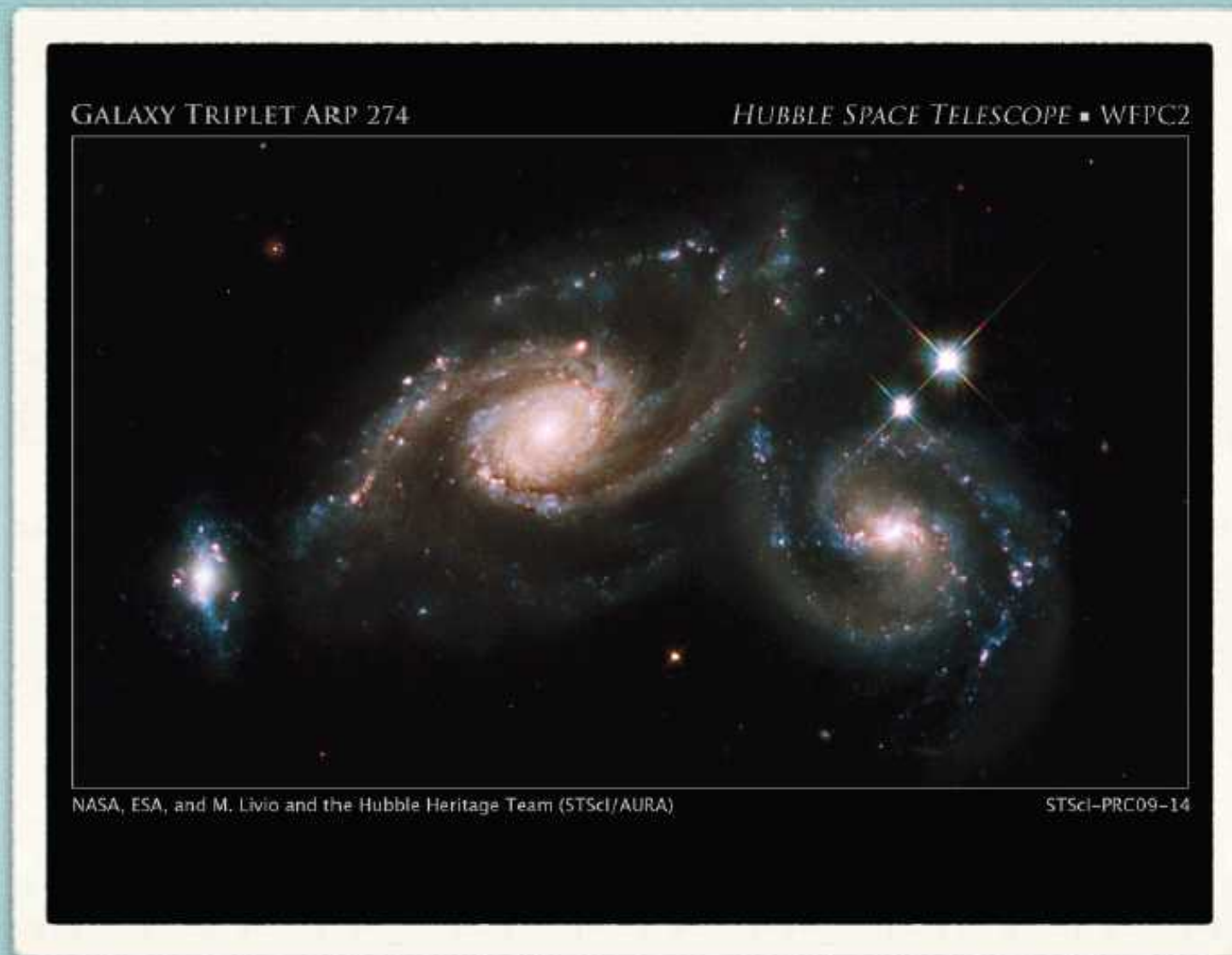
Qu'est ce qu'une galaxie?

- * Le halo est probablement constitué de particules non encore découvertes, par exemple les particules appelées en anglais "Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs)", qui peuvent être par exemple des neutrinos, c'est-à-dire des particules de charge électronique nulle et de masse faible qui nous croyons sont nombreuses dans l'Univers.

Quelles sont les différents types de galaxies?

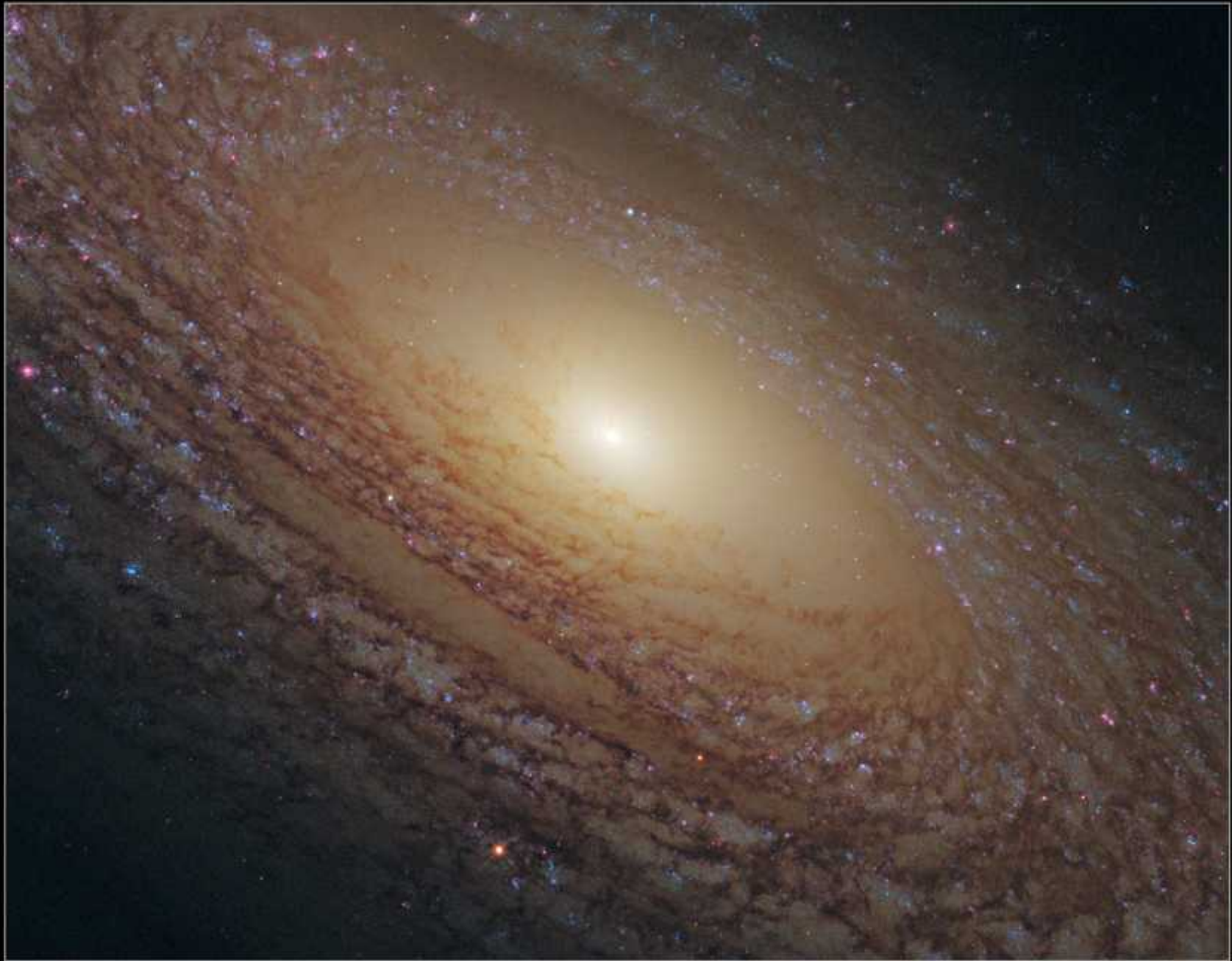
- * Les galaxies peuvent être caractérisées par les différentes morphologies, l'historique de la formation des étoiles, et les compositions chimiques.
- * Il existe en général des galaxies spirales, elliptiques, lenticulaires, et irrégulières. Les galaxies peuvent être aussi actives.

Les galaxies spirales



Les galaxies spirales sont similaires à notre Galaxie, sauf que les tailles relatives de leurs bulbes et disques peuvent varier.

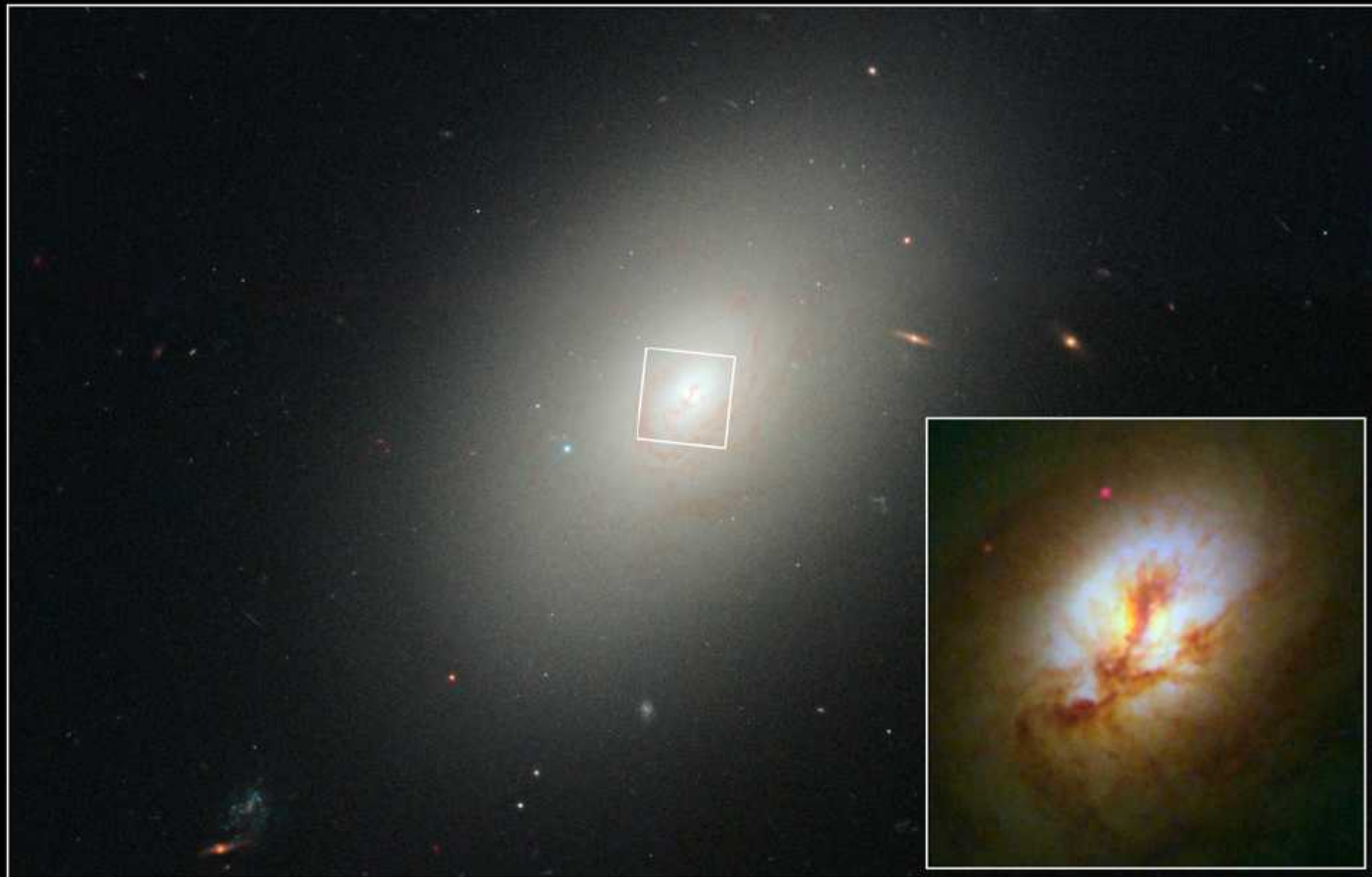
Spiral Galaxy NGC 284I



Hubble
Heritage

Les galaxies elliptiques

- * Les galaxies elliptiques ont une forme plutôt sphéroïdale ou ellipsoïdale.
- * Elles contiennent de vieilles étoiles pour la plupart et en général peu de gaz et peu de poussières.
- * Les mouvements de leurs étoiles ne sont pas nécessairement des mouvements de rotation autour d'un axe comme dans les galaxies spirales, mais sont des mouvements chaotiques.



Elliptical Galaxy NGC 4150
Hubble Space Telescope WFC3/UVIS



Les galaxies lenticulaires

Les galaxies lenticulaires sont similaires aux galaxies elliptiques sauf que leurs disques ont presque la même taille que leurs bulbes.



Les galaxies irrégulières

Les galaxies irrégulières ont des formes plus irrégulières et sont beaucoup plus petites que les elliptiques et les spirales, et sont souvent appelées *galaxies naines*.

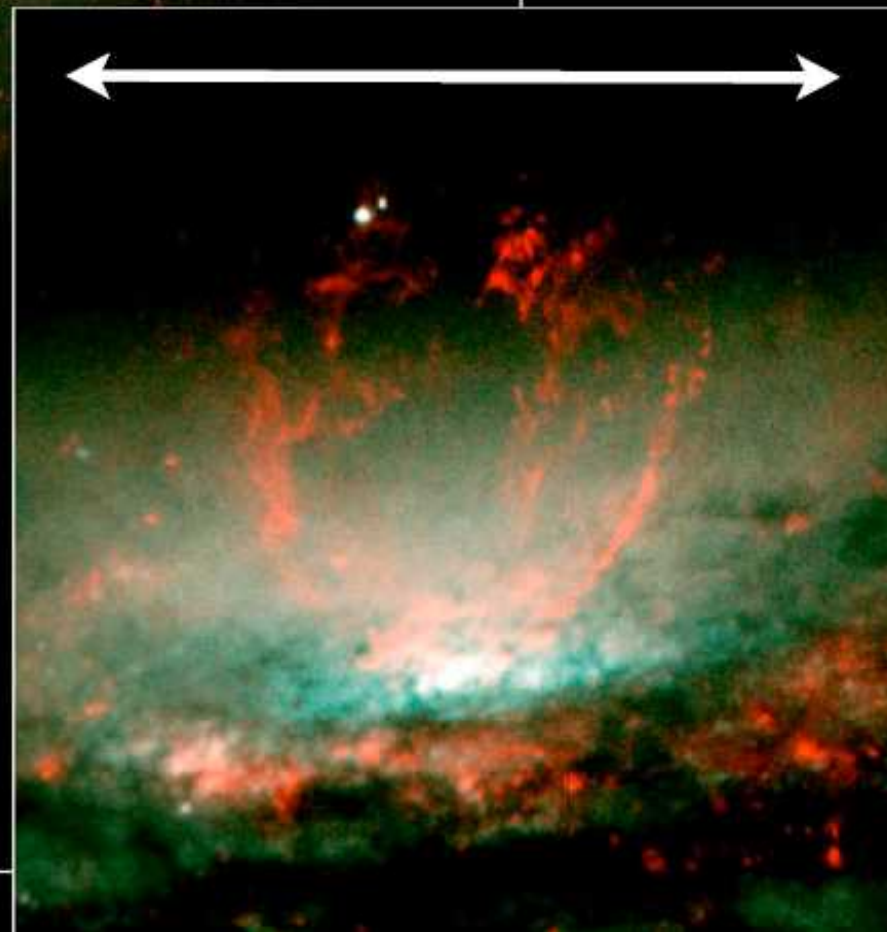
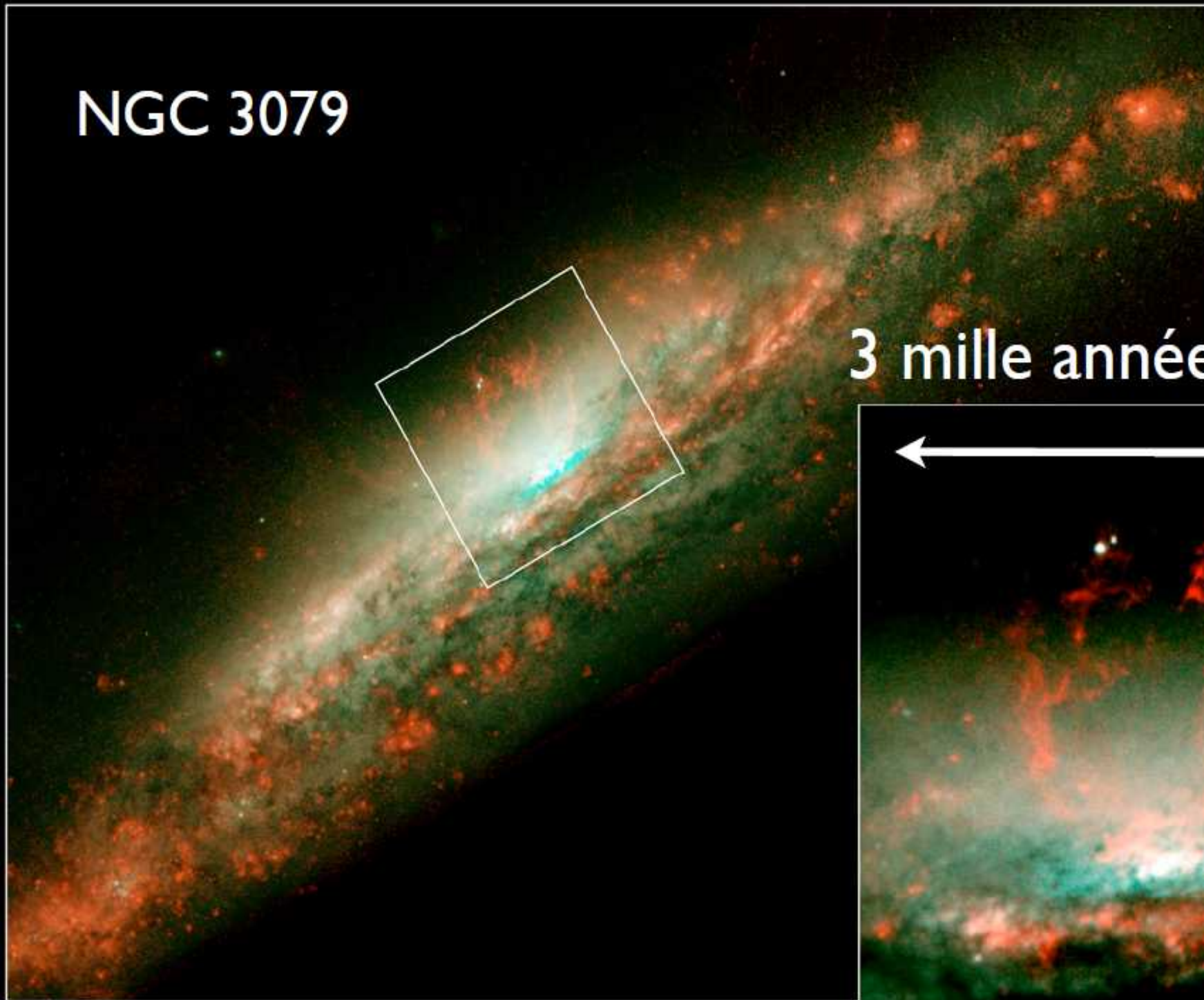


Les galaxies actives

- * De plus, il existent les galaxies actives qui sont caractérisées par une activité nucléaire ou une formation stellaire particulièrement forte, quand elle s'appelle une galaxie à sursaut de formation stellaire (ou une "starburst" en anglais et ci-après).
- * Une starburst peut avoir un taux de formation stellaire jusqu'à mille fois plus importante qu'une galaxie spirale de taille similaire.

NGC 3079

3 mille année-lumières



Quand les premières galaxies ont-elles été formées?

- * Nous devons pour le moment considérer l'évolution de l'Univers en général.
- * Nous croyons que l'Univers a été formé il y a 13,7 milliards d'années. Il avait une densité et une température très élevées et était constitué d'un mélange de quarks et gluons (qui sont les constituants des atomes), photons, et neutrinos.
- * Après sa création, l'Univers s'est mis en expansion.

Quand les premières galaxies ont-elles été formées?

- * Au fur et à mesure de son expansion, sa température a diminué.
- * Après trois minutes, les premiers noyaux d'atomes principalement d'hydrogène, et puis d'hélium et un peu de deutérium et de lithium ont été formés.
- * Il n'y avait pas assez de temps pour former les autres éléments, qui ont été produits beaucoup plus tard au centre des étoiles.

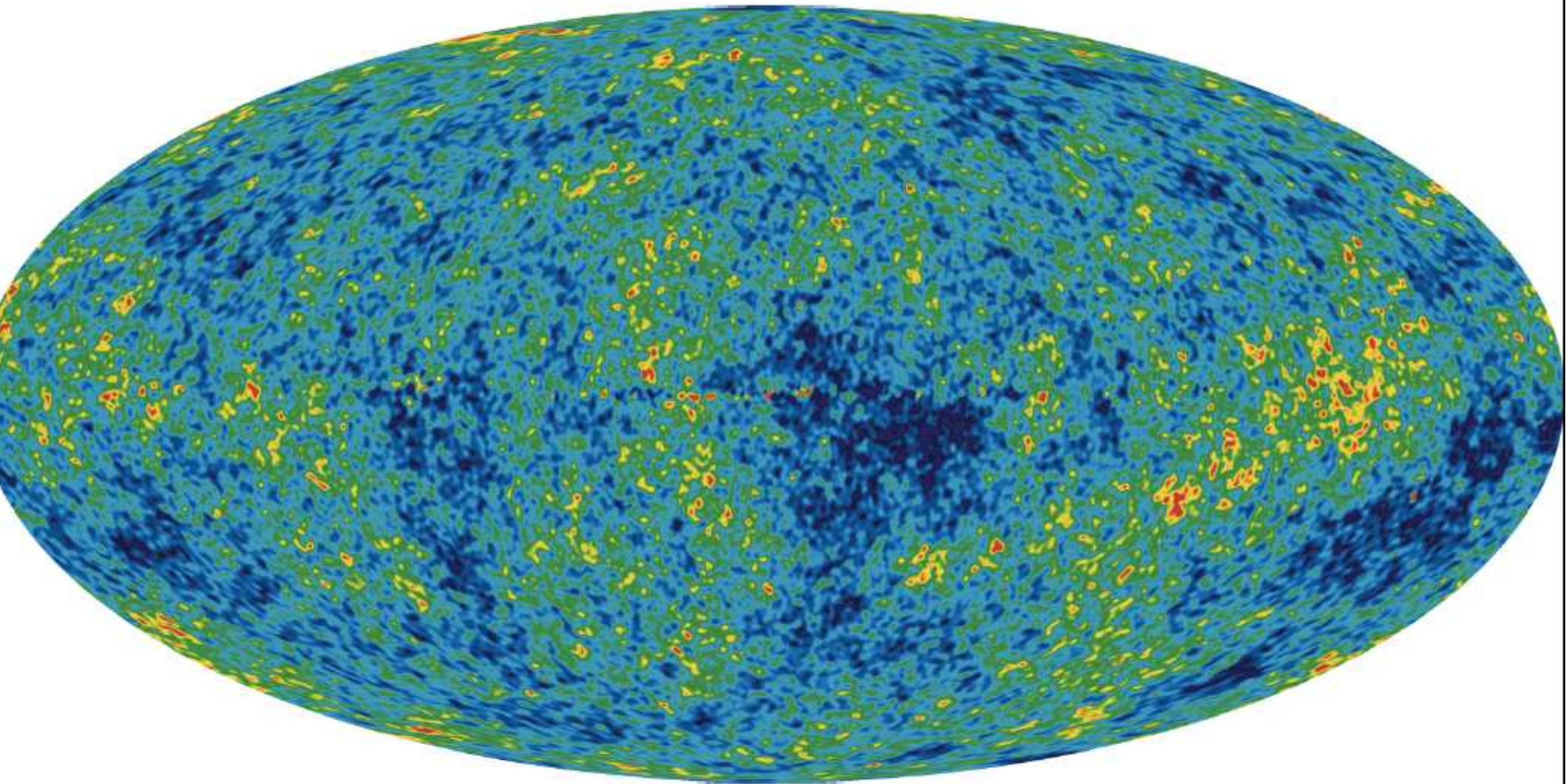
La matière baryonique

- * La matière baryonique ou les baryons est constituée d'atomes, de molécules, de protons, et d'électrons, c'est-à-dire la matière que nous pouvons voir.

Quand les premières galaxies ont-elles été formées?

- * Les premières fluctuations (c'est-à-dire concentrations) de matière baryonique étaient incapables de se développer tant que les protons et les électrons n'avaient pas fusionné pour former des atomes neutres quand l'Univers a eu 380 milles d'années.
- * Cependant, des fluctuations de matière noire avaient déjà commencé l'agglomération et les baryons ont ainsi commencé à se rassembler à l'intérieur de ces concentrations de matière noire.

Quand l'Univers a eu 380 mille ans...



Cette image montre les fluctuations de température d'environ 200 microKelvin, qui sont devenues les galaxies.

Quand les premières galaxies ont-elles été formées?

- * Comme les baryons se sont effondrés à l'intérieur de halos de matière noire, les atomes neutres d'hydrogène et d'hélium sont entrés en collision et ont provoqué une perte significative d'énergie par radiation.
- * Cette perte a conduit à une nouvelle contraction de la matière baryonique et la formation des premières étoiles, qui étaient certainement très pauvres en métaux.

Quand les premières galaxies ont-elles été formées?

- * Les premiers objets à se former dans l'Univers avaient probablement des masses d'environ 1000 masses solaires.
- * Après regroupement avec des objets semblables, ils auraient formé des objets ressemblant aux galaxies naines que nous observons dans le proche univers.

Comment les premières galaxies ont-elles été formées?

- * Trois scénarios sont généralement admis concernant la formation des galaxies.
- * Le premier scénario est *la théorie de l'effondrement monolithique* par lequel les étoiles sont formées pendant une période plus courte que la durée de l'effondrement rapide d'un nuage de gaz.

Comment les premières galaxies ont-elles été formées?

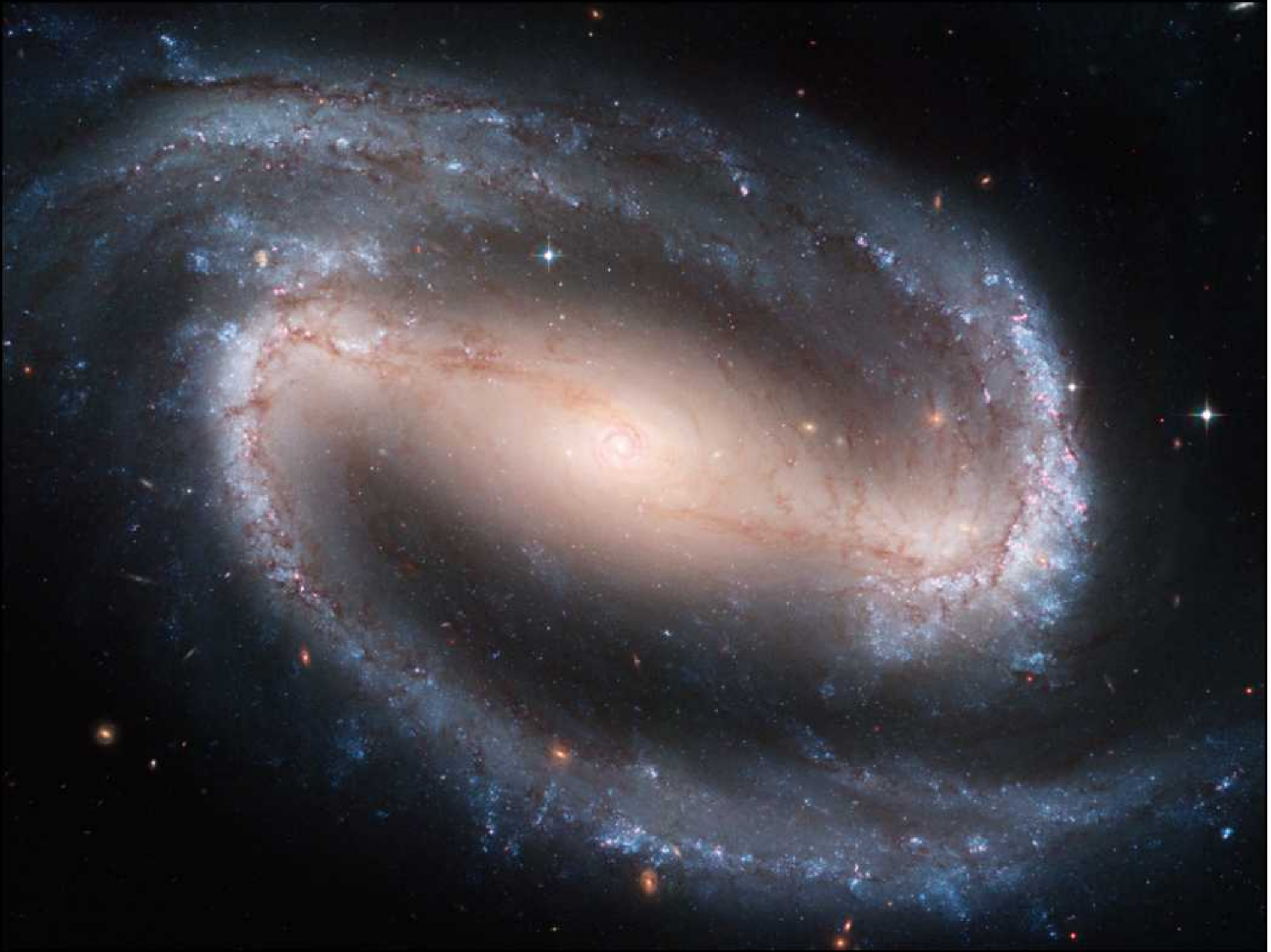
- * Le deuxième scénario est celui où les petites structures se forment les premières dans l'Univers et fusionnent pour former des structures plus grandes.
- * On croit que *les premières galaxies se sont formées pendant le premier milliard d'années de l'Univers*, alors que des amas de galaxies sont probablement encore en train de se former aujourd'hui.

Comment les premières galaxies ont-elles été formées?

- * Les galaxies peuvent fusionner à l'intérieur des groupes ou à la périphérie des amas.
- * Les groupes et les amas ont des propriétés communes; les groupes sont généralement plus petits que les amas mais il est très difficile d'établir la frontière entre les deux. On croit en effet que les amas ont été formés par fusions des groupes.

Comment les premières galaxies ont-elles été formées?

- * Le troisième scénario qui a été développé pour interpréter nos observations des galaxies est *l'évolution séculaire*.
- * Ce scénario consiste en *une réorganisation des dynamiques internes des galaxies et l'accrétion de matière de l'environnement proche*.
- * Cette matière fournit le gaz pour créer et maintenir *une barre* au centre de la galaxie.



L'environnement des galaxies

- * Un facteur déterminant quant au scénario le plus probable est la densité de l'environnement des galaxies.
- * Une galaxie peut faire partie d'un amas, d'un groupe, ou d'environnements isolés.

L'environnement des galaxies

On observe qu'environ 90% des galaxies du centre des amas sont elliptiques ou lenticulaires.

70% des galaxies qui composent les groupes et les amas sont des galaxies spirales.



L'environnement des galaxies

- * Les vitesses relatives des galaxies au centre des amas sont trop élevées pour permettre des fusions entre elles.
- * En revanche, les galaxies à l'intérieur de groupes peuvent fusionner parce que les groupes sont moins massifs et les vitesses relatives sont alors cinq fois plus lentes qu'au centre des amas.

Whirlpool Galaxy • M51

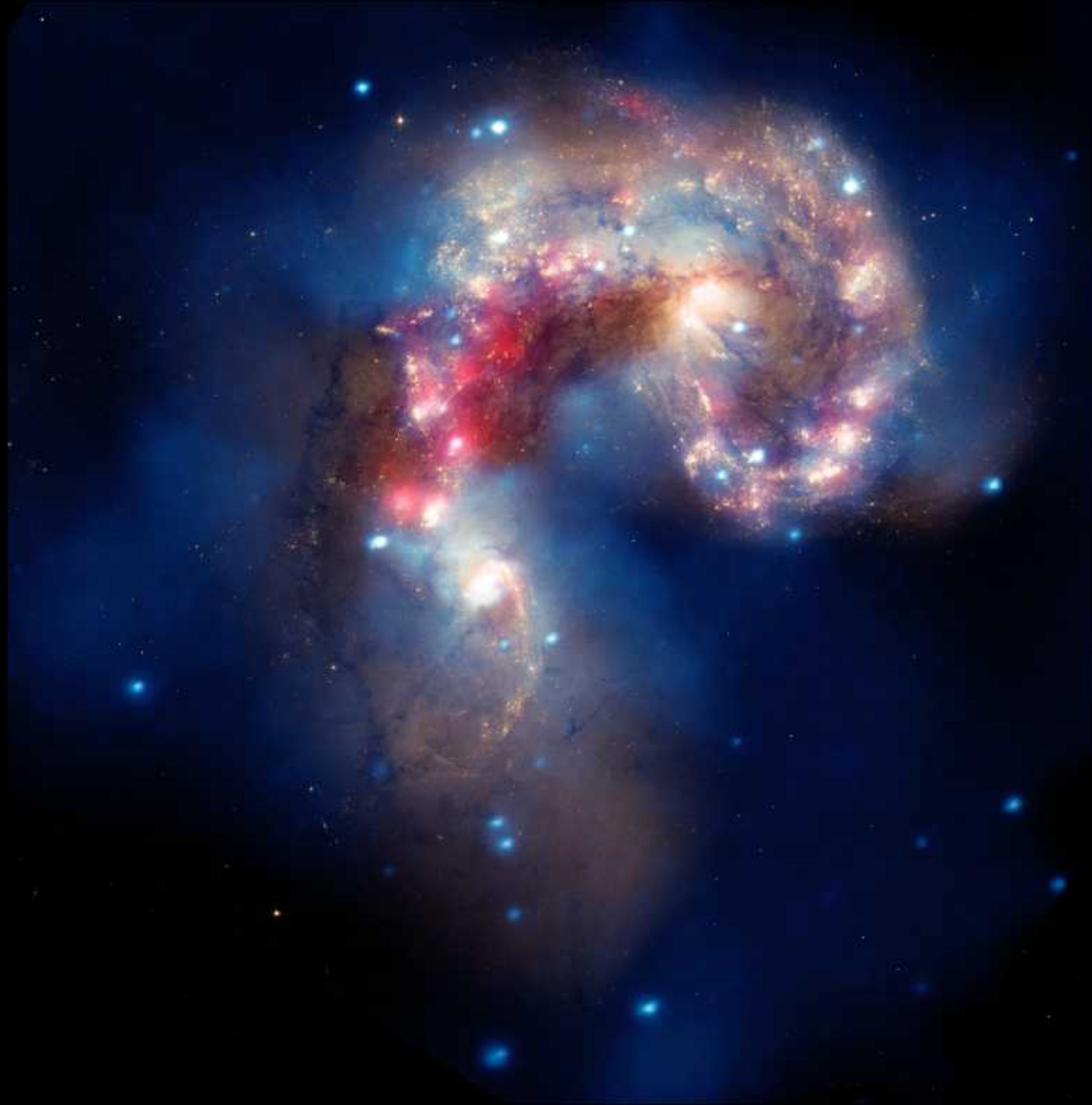


Hubble
Heritage

NASA, ESA, S. Beckwith (STScI), and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) • Hubble Space Telescope ACS • STScI-PRC05-12a

L'environnement des galaxies

- * Les composants des bulbes de galaxies pourraient aussi être produits par les interactions des galaxies spirales entre elles.
- * Quand deux galaxies spirales de masses comparables fusionnent, le gaz dans les disques est violemment bousculé, produisant d'importantes formations d'étoiles.
- * Les étoiles produites dans ces fusions n'entrent pas en orbites circulaires et coplanaires pour former un disque, mais plus probablement produisent un bulbe de galaxie.



Comment se passe la formation des étoiles dans les galaxies?

- * Nous croyons que les étoiles se forment à partir de gaz moléculaire très froid de température inférieure à 20 degrés Kelvin (c'est-à-dire -253 Celsius) et que lorsque ce gaz froid se rassemble l'importante formation d'étoiles qui suit convertit seulement une petite fraction du gaz en étoiles, éjectant le reste au loin.
- * Cette injection d'énergie dans le milieu interstellaire pendant la formation d'étoiles est capable d'empêcher toute nouvelle formation d'étoile.

La lumière et la poussière

- * Les métaux sont contenus principalement dans les particules solides s'appellent les grains de poussière.
- * La poussière est formée en fin de vie des étoiles quand les métaux sont éjectés dans le milieu interstellaire.
- * Ces particules constituent seulement un pour-cent (1%) de la masse du milieu interstellaire, mais représentent la quasi totalité de l'absorption et de l'extinction de lumière des étoiles dans une galaxie.

La lumière et la poussière

- * L'extinction par la poussière est en effet si forte que seulement un sur dix puissance douze photons qui sont émis du centre de notre Galaxie arrivent à nos télescopes.
- * Ces photons absorbés par la poussière sont ré-émis avec une énergie plus basse dans l'infrarouge.

A detailed astronomical image of the Black Eye Galaxy (Messier 64). The galaxy features a bright, glowing central core and a prominent, dark, dusty ring that encircles the core, giving it the appearance of a black eye. The surrounding space is filled with numerous small, distant stars.

Messier 64, qui est également connue sous les
nom de galaxie de l'œil noir.

Comment les premiers trous noirs super-massifs se sont-ils formés?

- * Nous croyons que la plupart des galaxies, sinon toutes, abritent un trou noir super-massif (super massive black hole soit SMBH en anglais) en leur centre.
- * Ces trous noirs ont des masses typiques entre un million et un milliard de masses solaires.
- * On a trouvé que la masse du trou noir super-massif est en relation étroite avec la masse de son bulbe galactique, au point que cette masse représente 0,14 pour cent de la masse du bulbe galactique.

Comment les premiers trous noirs super-massifs se sont-ils formés?

- * On pense que ces objets massifs proviennent des trous noirs qui se sont formés un milliard d'années environ après le Big Bang.
- * Comme ces trous noirs grandissaient, d'énormes quantités d'énergie ont été sorties lorsque l'énergie potentielle de la masse agrégée a été libérée.

- * Nous détectons ces objets aujourd'hui comme des quasars, qui sont des exemples éloignés des noyaux galactiques actifs vus aux centres de quelques galaxies voisines.
- * Le nombre de quasars a en fait été mesuré pour atteindre un maximum approchant un âge de l'Univers de trois milliards d'années de manière similaire au taux global de formation d'étoiles dans les galaxies.
- * Donc, le réapprovisionnement d'un trou noir super-massif central semble fonctionner comme la formation d'étoiles dans les galaxies.

Comment les premiers trous noirs super-massifs se sont-ils formés?

- * La vitesse d'augmentation de la masse par accrétion sur un SMBH varie comme le carré de sa masse.
- * Ainsi l'accrétion s'accélère au fur et à mesure que la masse du SMBH augmente.
- * Ainsi quand l'accrétion s'arrête, l'énorme production d'énergie s'arrête également.

Comment les premiers trous noirs super-massifs se sont-ils formés?

- * Les nombreux SMBHS détectés aux centres de galaxies voisines sont probablement les vestiges dormants des noyaux galactiques actifs observés en nombres plus importants à plus haut décalage vers le rouge.
- * Les noyaux galactiques actifs que nous observons vraiment dans l'Univers voisin peuvent être alimentés par les SMBH qui sont eux-mêmes en train d'être alimentés.

Qu'est ce que la lumière?

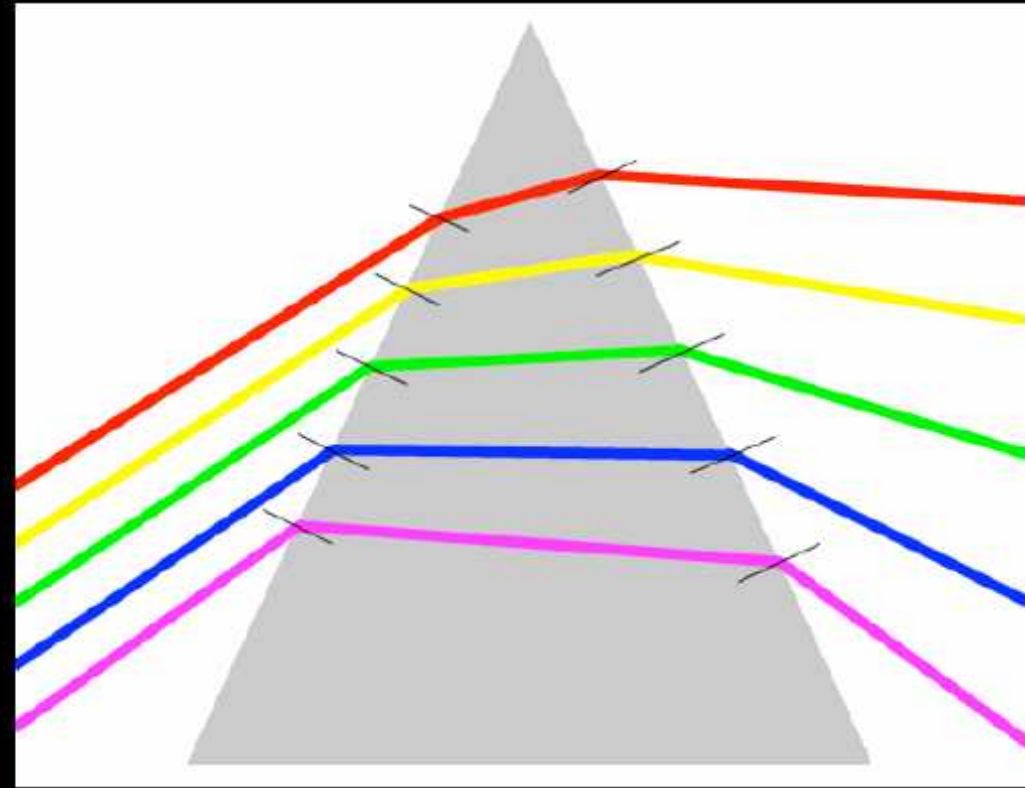
- * On peut considérer la lumière comme une particule s'appelle un photon qui a une énergie, ou comme une onde qui a une longueur d'onde en particulière.
- * Par exemple, la lumière ou la radiation de rayon-X a une longueur d'onde plus courte et une énergie de photon plus haute que la lumière nous détectons avec nos yeux ou la radiation de radio.

Qu'est ce qu'un spectre?

- * Nous avons tous vu un exemple d'un spectre de la lumière visible, un *arc-en-ciel*.
- * Ce spectre est produit quand la lumière du Soleil parcourt de l'eau en suspension dans l'air.



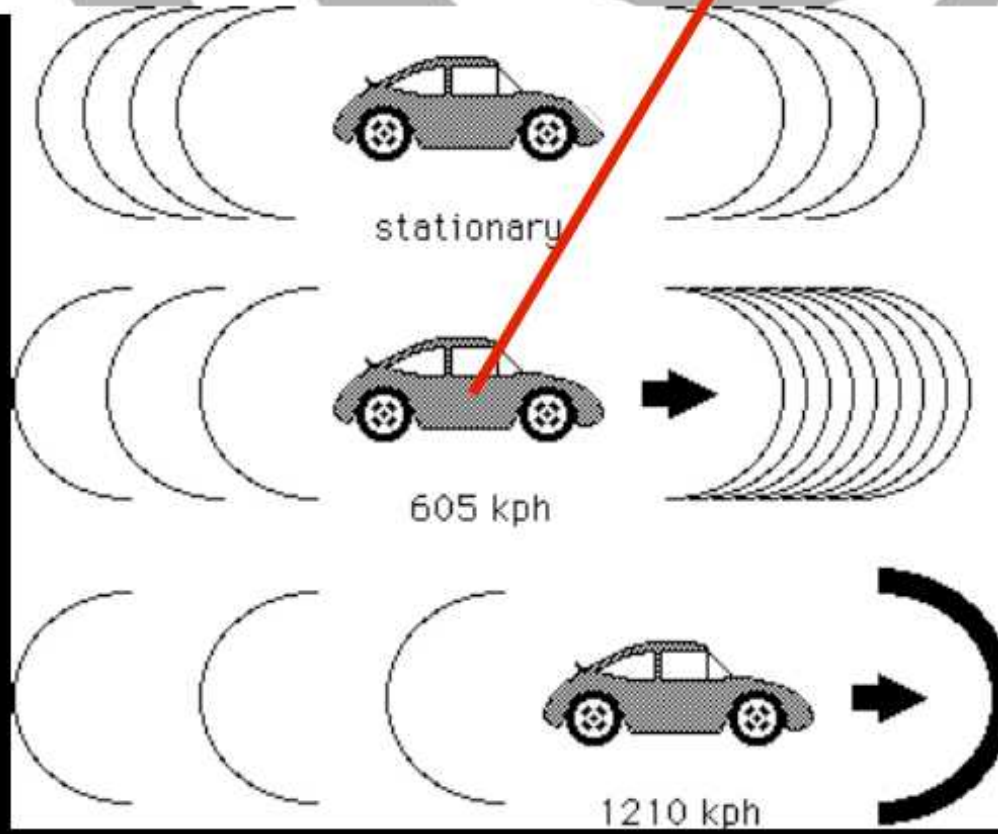
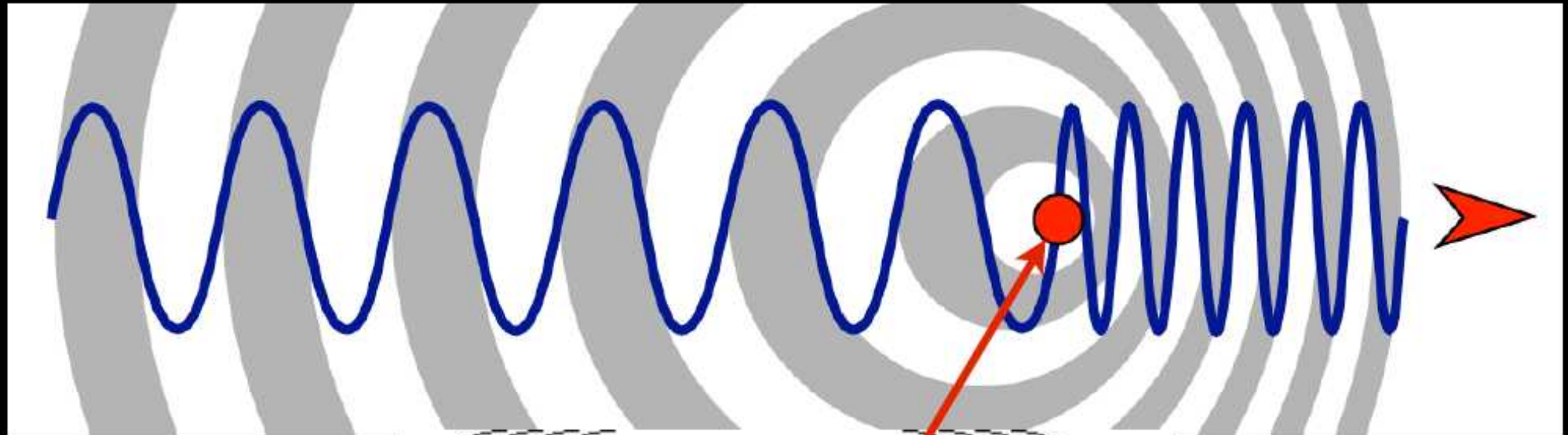
*La déviation de la lumière
par un disperser, comme
un prisme, dépende
de la longueur d'onde*



Qu'est ce que l'effet Doppler?

- * Nous pouvons observer l'effet Doppler pendant notre vie quotidienne.
- * Quand une voiture de pompiers passe par exemple, nous trouvons que la fréquence du son de sa sirène change quand le véhicule passe devant nous, c'est-à-dire la fréquence du son est plus haute lorsque la voiture s'approche et devient plus basse lorsqu'elle s'éloigne.

L'effet Doppler



Qu'est ce qu'un décalage vers le rouge?

- * Un phénomène similaire à l'effet Doppler peut être vu aussi quand nous étudions le spectre d'un astre dans l'Univers.
- * Nous définissons *un décalage vers le rouge* être le déplacement vers le rouge des raies du spectre d'un astre par rapport à celles d'un spectre de référence, par suite de l'éloignement de cet astre par rapport à la Terre.

Hubble et le décalage

- * L'astronome qui s'appelle Hubble a déduit que ce décalage est produit par l'expansion de l'Univers.
- * Il a découvert que le décalage vers le rouge (ou "*cosmological redshift*" en anglais) d'un astre est proportionnel à sa distance de la Terre.

Les éléments et les métaux

- * Tous les éléments plus lourds que *l'hydrogène* et *l'hélium* sont appelés *les métaux*.
- * *Le carbone* noir que nous voyons quand nous brûlons du pain, *l'oxygène* que nous respirons, *le calcium* dans nos os, et *le fer* dans notre sang sont les métaux, qui se sont tous formés dans les étoiles.

Quels différents types d'observations de galaxies peut-on faire?

- * Essentiellement, il existe deux types d'observations: l'acquisition des images avec des filtres différentes et la spectroscopie.

Les images et la spectroscopie

- * Les détecteurs que nous utilisons pour obtenir les images sont optimisés par les gammes qui correspondent aux filtres employés pour faire les observations.
- * La spectroscopie est l'étude de la lumière d'une galaxie pour une gamme de longueurs d'onde en particulier. Pratiquement, on disperse la lumière qui arrive au télescope en utilisant un élément disperseur, qui est typiquement un réseau de diffraction.

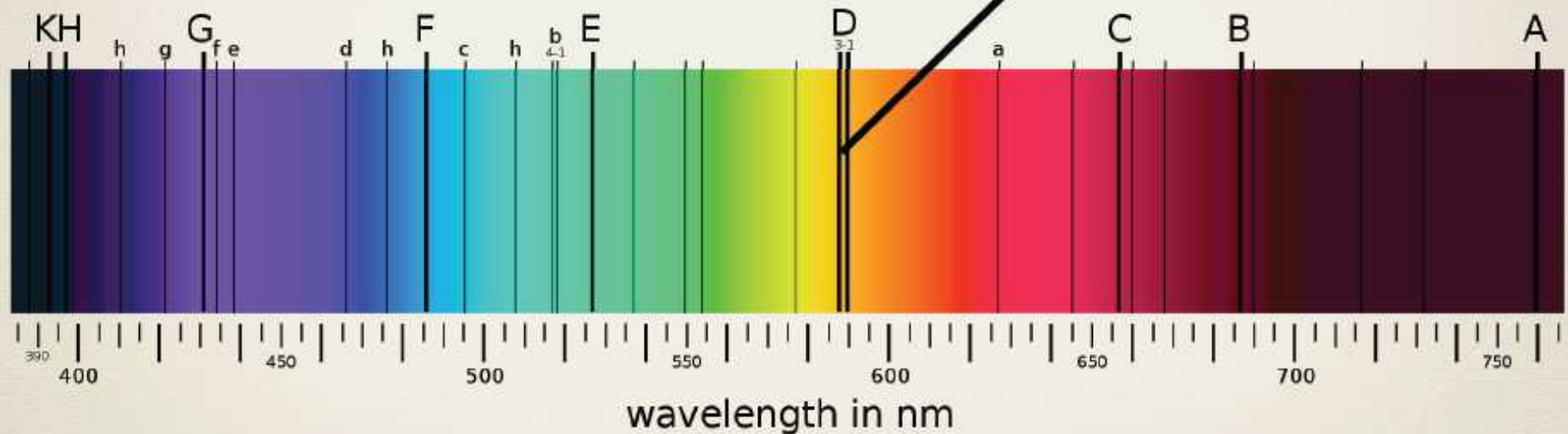
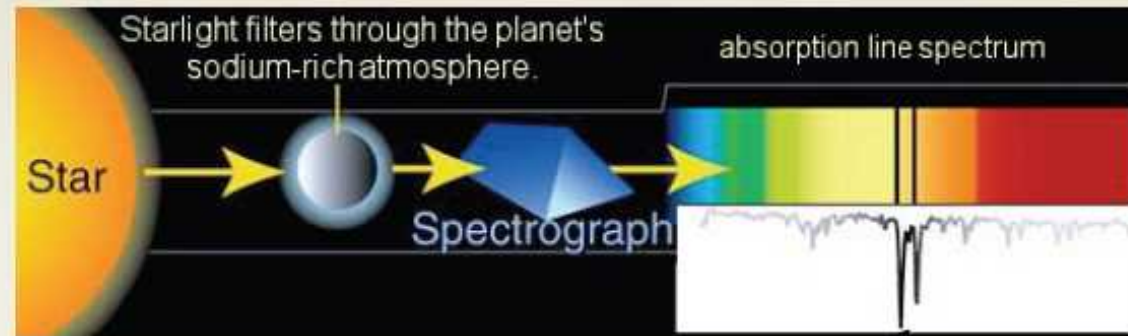
La spectroscopie

- * Chaque élément produit les raies d'absorption ou d'émission avec des longueurs d'onde discrètes. Ces ondes correspondent aux différences en énergie entre les niveaux énergétiques des électrons dans les atomes, et un atome peut absorber seulement les photons dont les énergies sont égales à ces différences.
- * La spectroscopie est un outil indispensable pour identifier la présence d'un élément parce qu'il nous permet de voir les raies d'absorption et d'émission qui correspondent aux différents éléments.

La spectroscopie

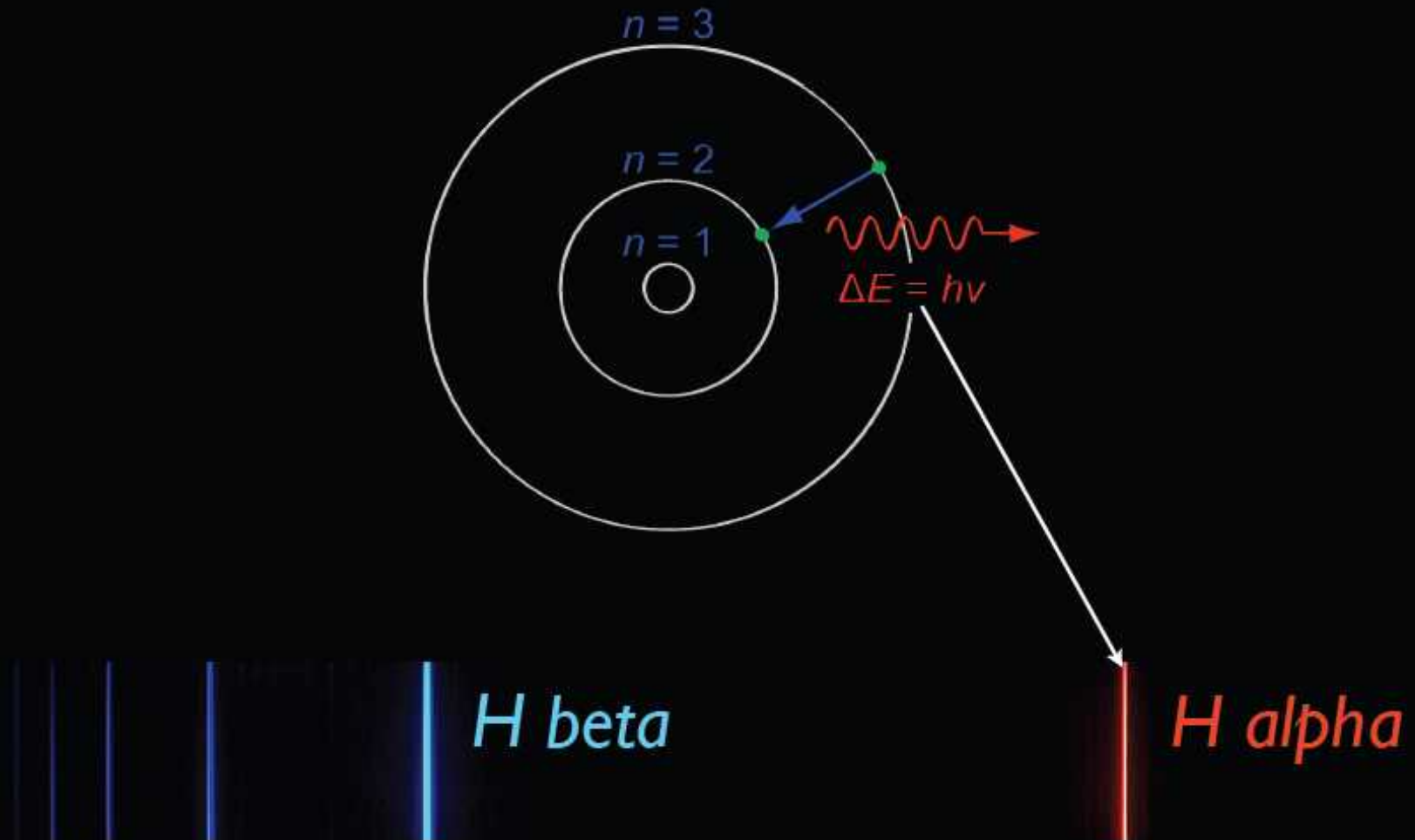
- * Un spectrographe nous permet d'étudier la lumière pour une gamme de longueurs d'onde donnée, et les largeurs de leurs raies permettent de déterminer la quantité des différents éléments.
- * Dans un spectre, on peut détecter au maximum une ou deux raies pour un élément en particulier. On détermine le décalage vers le rouge d'une galaxie, par exemple, en identifiant les raies qui correspondent aux éléments et en mesurant les différences des longueurs d'onde sur la Terre et dans le spectre.

Des spectres d'absorption



<i>H</i>	<i>F</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>A</i>
<i>Ca⁺</i>	<i>Hβ</i>	<i>Na</i>	<i>Hα</i>	<i>O₂</i>
3968.47Å	4861.34Å	5895.92Å	6562.81Å	7593.70Å

Le spectre d'émission de l'hydrogene



3889, 3970, 4102, 4341, 4861, and 6563 Å

Les propriétés des galaxies en général

- * De grandes études portant sur les galaxies ont identifié les distributions avec deux maxima importants, par exemple des couleurs, des morphologies et des taux de formation d'étoiles.

Les propriétés des galaxies en général

- * Les galaxies, en général, semblent être:
- * à dominance bulbe, ne formant pas d'étoiles, rouges ou à dominance spirales, formant des étoiles, bleues.
- * La limite entre ces deux populations est la masse de galaxie stellaire d'environ trois dix puissance dix masses solaires, soit la masse de la galaxie de la Voie lactée.

Les propriétés des galaxies en général

- * Certaines études indiquent que puisque les galaxies à dominance bulbe sont aussi plus compactes que les galaxies à dominance spirale, c'est la densité de surface de l'étoile qui est responsable de la différence dans les propriétés des deux populations.
- * De plus, nous déduisons que tandis que les galaxies du premier groupe abritent principalement des étoiles plus vieilles avec plus de métaux, les galaxies du deuxième groupe sont en majorité constituées d'étoiles plus jeunes avec moins de métaux.

Les propriétés des galaxies en général

- * Cela implique que la formation d'étoiles a eu lieu beaucoup plus tôt et était beaucoup plus efficace dans la conversion du gaz en étoiles pour les galaxies du premier groupe que pour les galaxies du deuxième groupe.
- * Les galaxies du premier groupe ont en effet des masses stellaires plus importantes que celles du deuxième groupe et la matière noire est en moindre proportion.

Les propriétés des galaxies en général

- * Les nettes différences et le manque de continuité entre les deux populations ont été interprétés en supposant que le processus qui peut avoir transféré des populations d'un groupe à l'autre a dû s'être produit rapidement.
- * Un processus possible est l'arrêt brusque de la formation d'étoiles par le bombardement du gaz qui a lieu quand les structures fusionnent dans l'Univers pour former, par exemple, des amas de galaxies.