

La matière noire

Richard Taillet - 2016



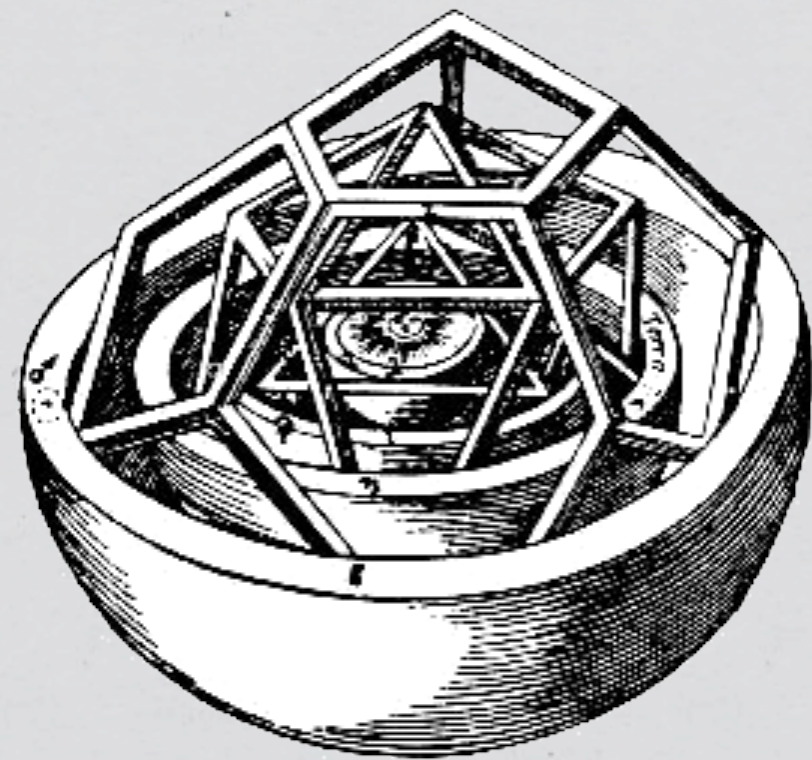
un peu de vocabulaire

Astronomie

Astrophysique

Cosmologie

Astrologie



un peu de vocabulaire

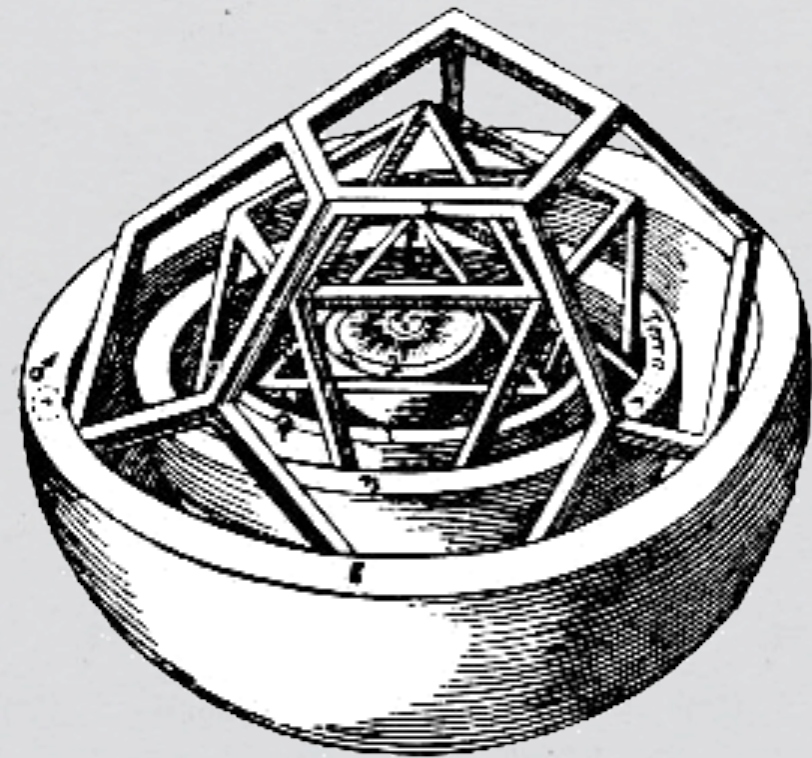
Astronomie

L'astronomie est à l'astrologie ce que la gastronomie est à la gastrologie

Astrophysique

Cosmologie

Astrologie





ce qu'on voit dans l'Univers



ce qui émet de la lumière



ce qui émet de la lumière



ce qui réfléchit de la lumière



ce qui émet de la lumière

ce qui réfléchit de la lumière



ce qui absorbe de la lumière

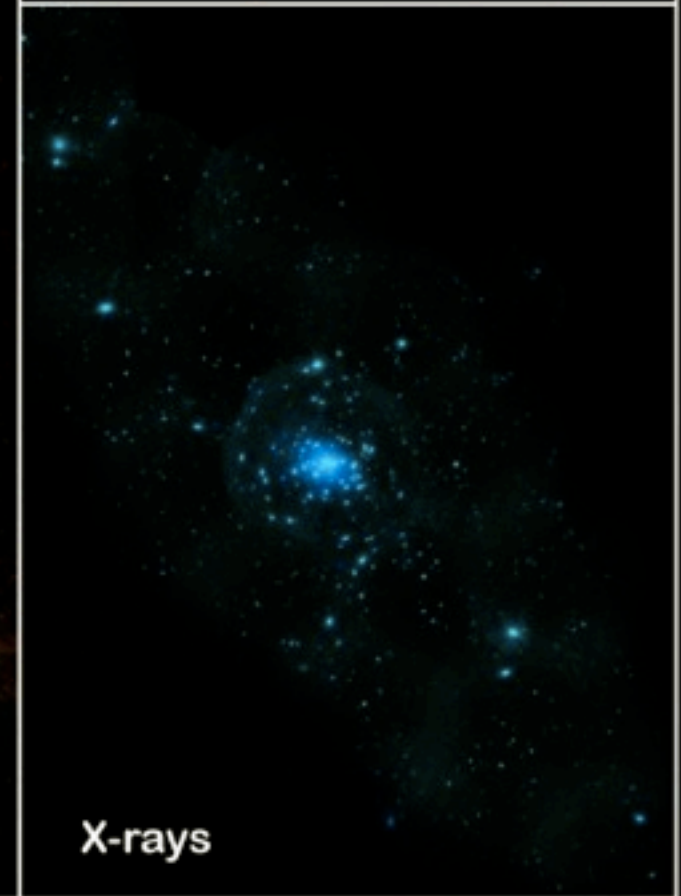
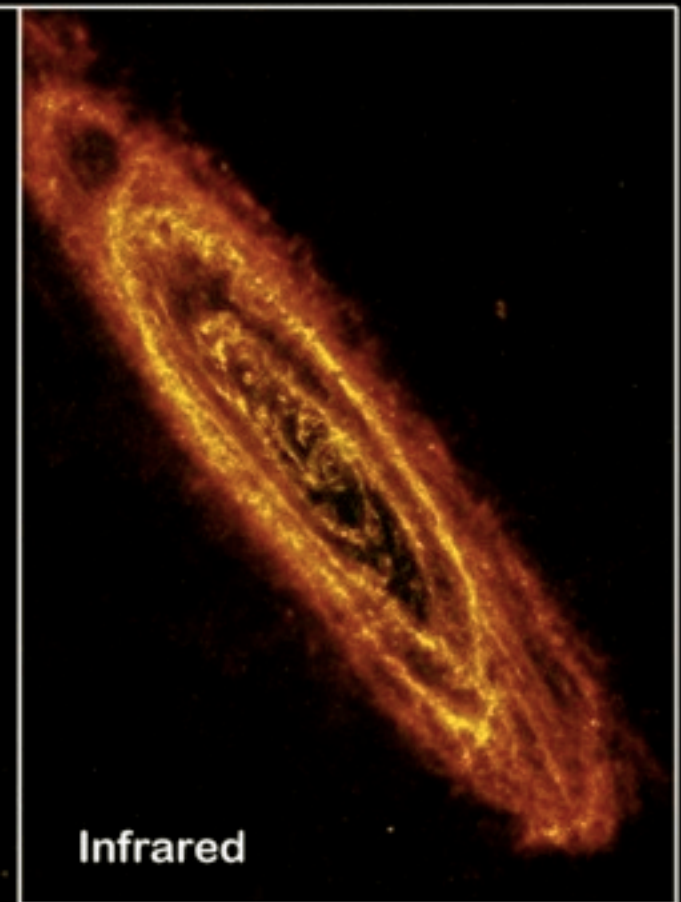
ce qu'on voit dans l'Univers

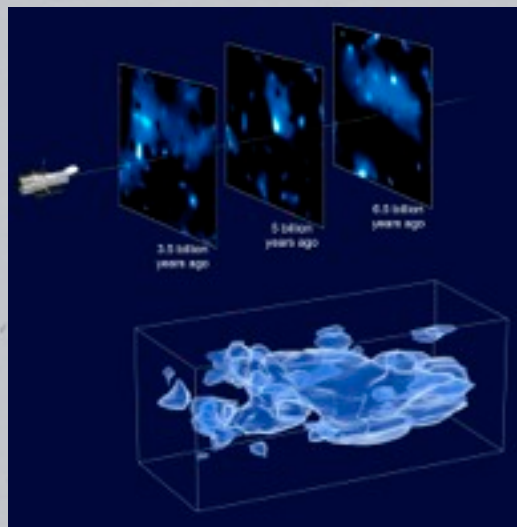
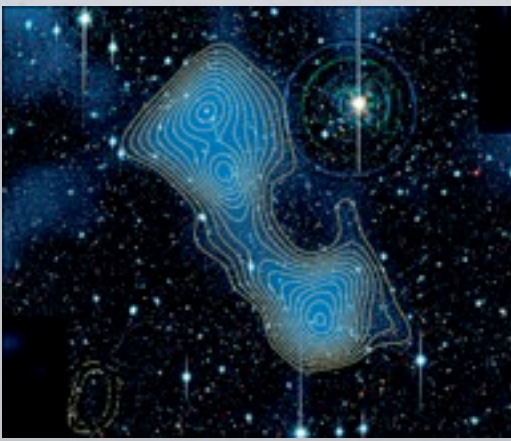
La lumière n'est pas la seule onde électromagnétique

ce qu'on voit dans l'Univers

La lumière n'est pas la seule onde électromagnétique

longueur d'onde comprise entre 400 et 700 nm





ce qu'on ne voit pas

ce qui n'émet ni n'absorbe rien ?
détecter la matière par sa masse

estimer la masse des objets

dans la vie courante, on estime le poids des objets
(force subie)



$$\vec{F} + m\vec{g} = 0$$

estimer la masse des objets

dans la vie courante, on estime le poids des objets
(force subie)

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

estimer la masse des objets

problème lorsque la force en jeu est la gravitation

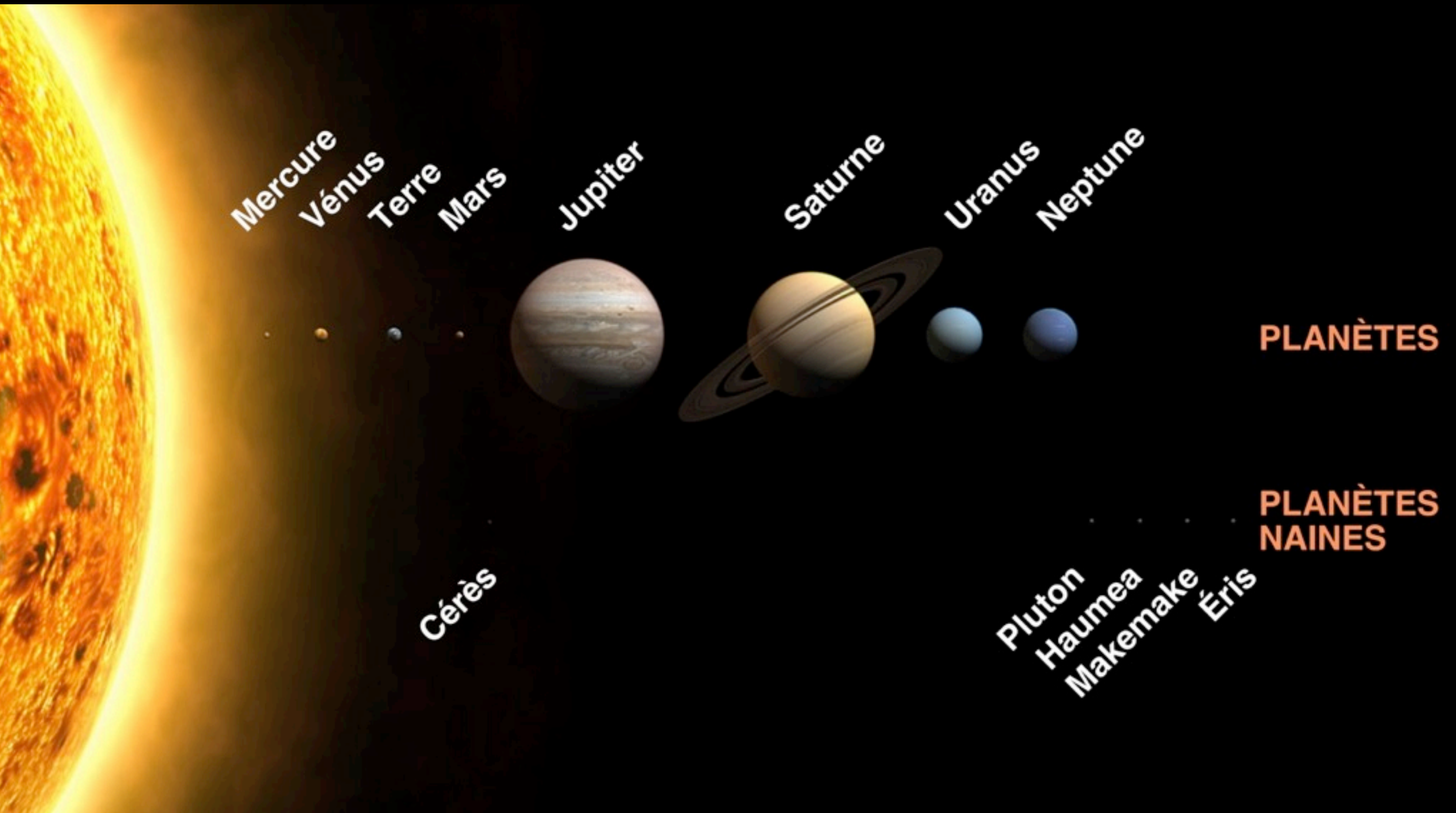
$$-\frac{GMm}{r^2}\vec{u}_r = m\vec{a}$$

estimer la masse des objets

dans la vie courante, on estime le poids des objets
(force subie)

en astrophysique, on étudie l'influence gravitationnelle
des objets
(force exercée)

masse du Soleil et des planètes



masse du Soleil et des planètes

troisième loi de Kepler

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM} a^3$$

masse du Soleil et des planètes

pas de surprise au niveau des masses
des objets du Système solaire

masse du Soleil et des planètes

plus

~~pas~~ de surprise au niveau des masses
des objets du Système solaire

découverte de Neptune en 1846
par LeVerrier/Adams

masse des galaxies

masse des galaxies

masse visible :

- les étoiles
- le gaz interstellaire
- la poussière interstellaire
- les planètes

masse des galaxies

courbes de rotation des galaxies spirales



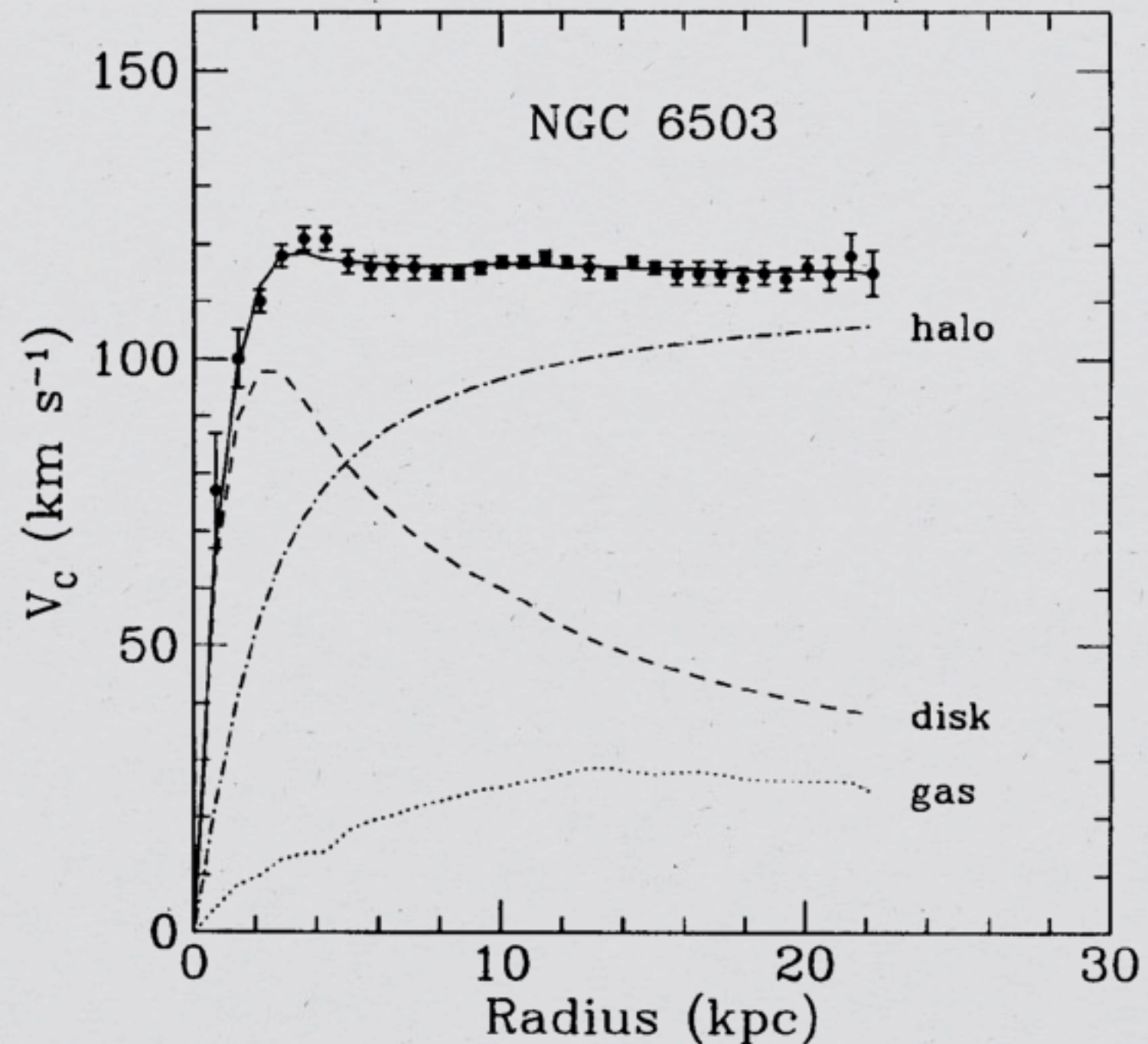
masse des galaxies

courbes de rotation des galaxies spirales



masse des galaxies

courbes de rotation des galaxies spirales



masse des galaxies

dispersion de vitesse des galaxies elliptiques



masse des galaxies

dispersion de vitesse des galaxies elliptiques



Bilan provisoire

Les galaxies semblent contenir 10x plus de matière que ce qu'on voit

c'est la **matière noire**, ou matière sombre, masse cachée, masse manquante...

masse des amas de galaxies

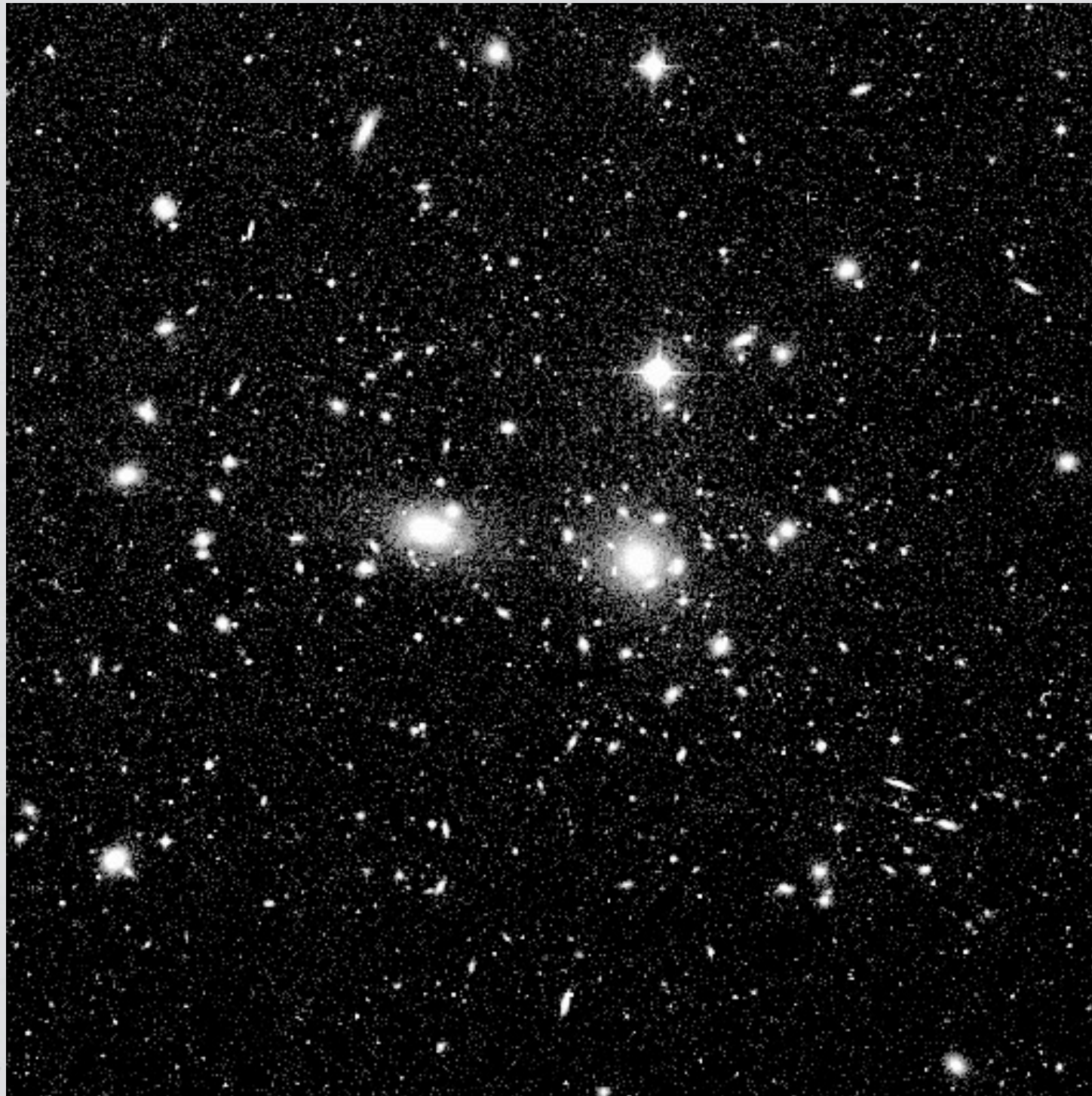
dispersion de vitesse des amas de galaxies
(théorème du Viriel, Zwicky 1937)

masse des amas de galaxies

dispersion de vitesse des amas de galaxies
(théorème du Viriel, Zwicky 1937)

température du gaz au cœur des amas de galaxies
(émission X) : distribution de matière noire

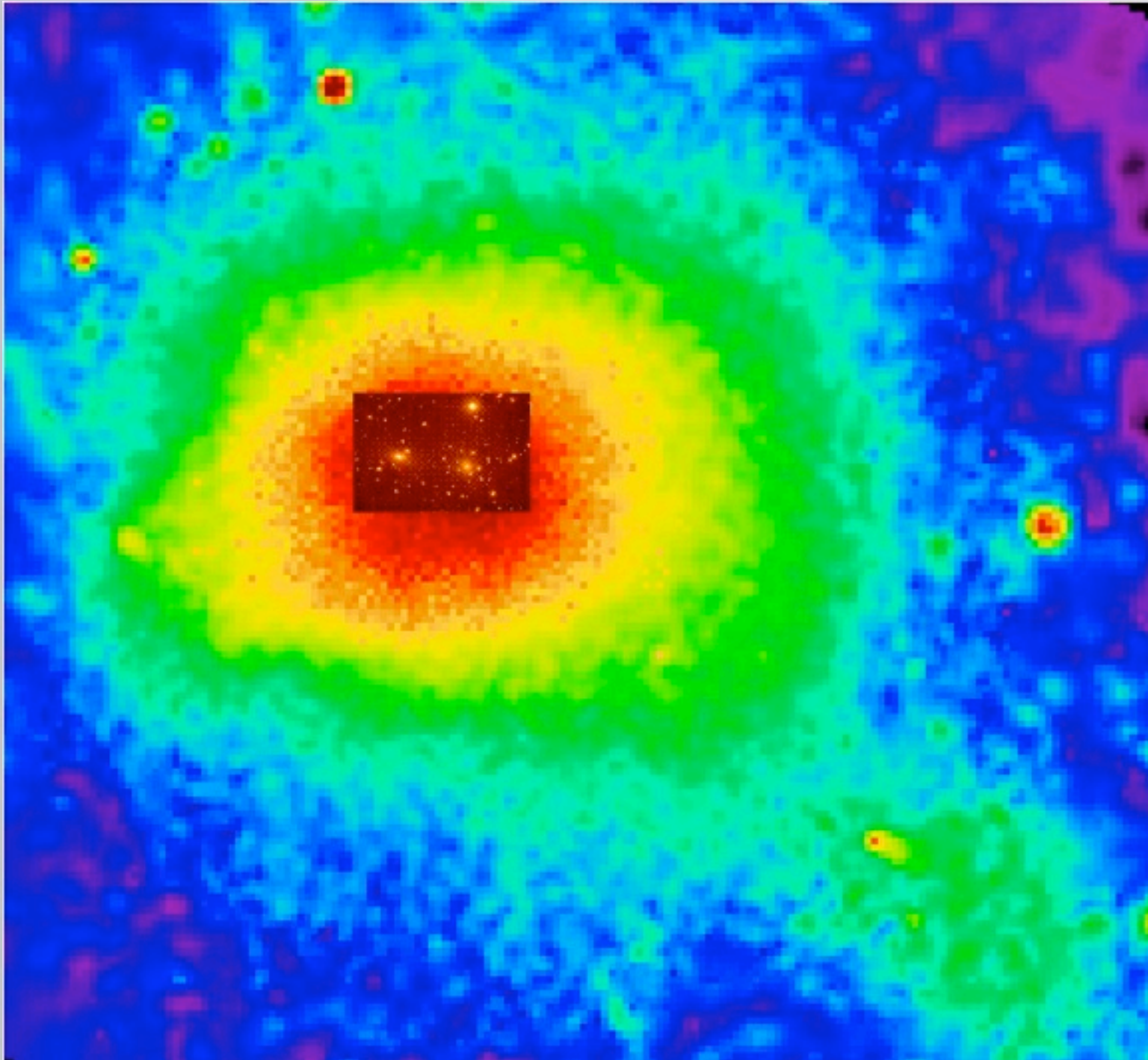
masse des amas de galaxies



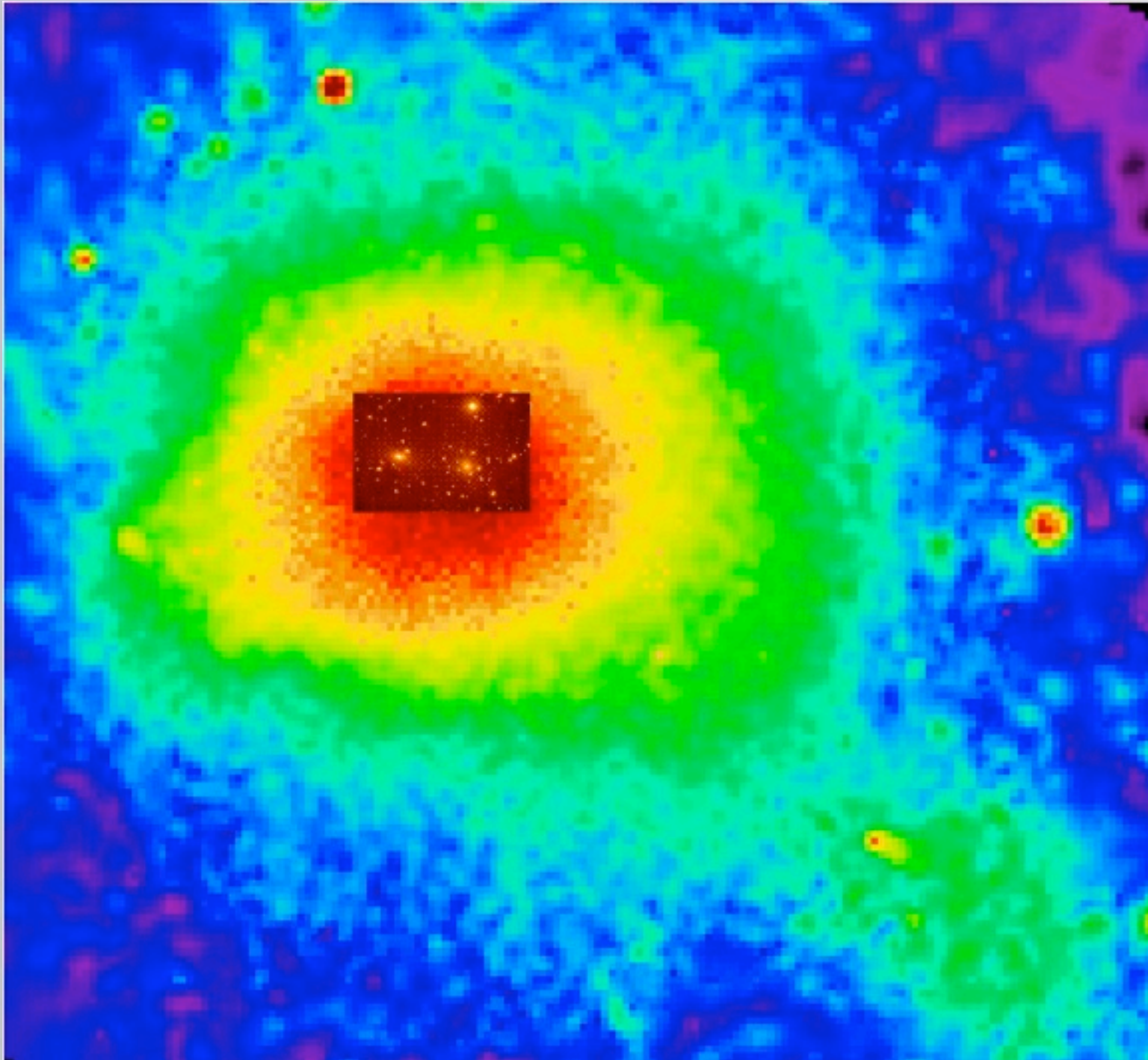
masse des amas de galaxies



masse des amas de galaxies



masse des amas de galaxies



émission
en rayons X

estimer la masse des objets

Tout cela repose sur la mécanique newtonienne

estimer la masse des objets

Tout cela repose sur la mécanique newtonienne



Des pistes sont envisagées pour une modification de la mécanique newtonienne :

MOND (Modified Newtonian Dynamics)

estimer la masse des objets

Tout cela repose sur la mécanique newtonienne

Certains effets demandent de se placer dans le cadre de la relativité générale.

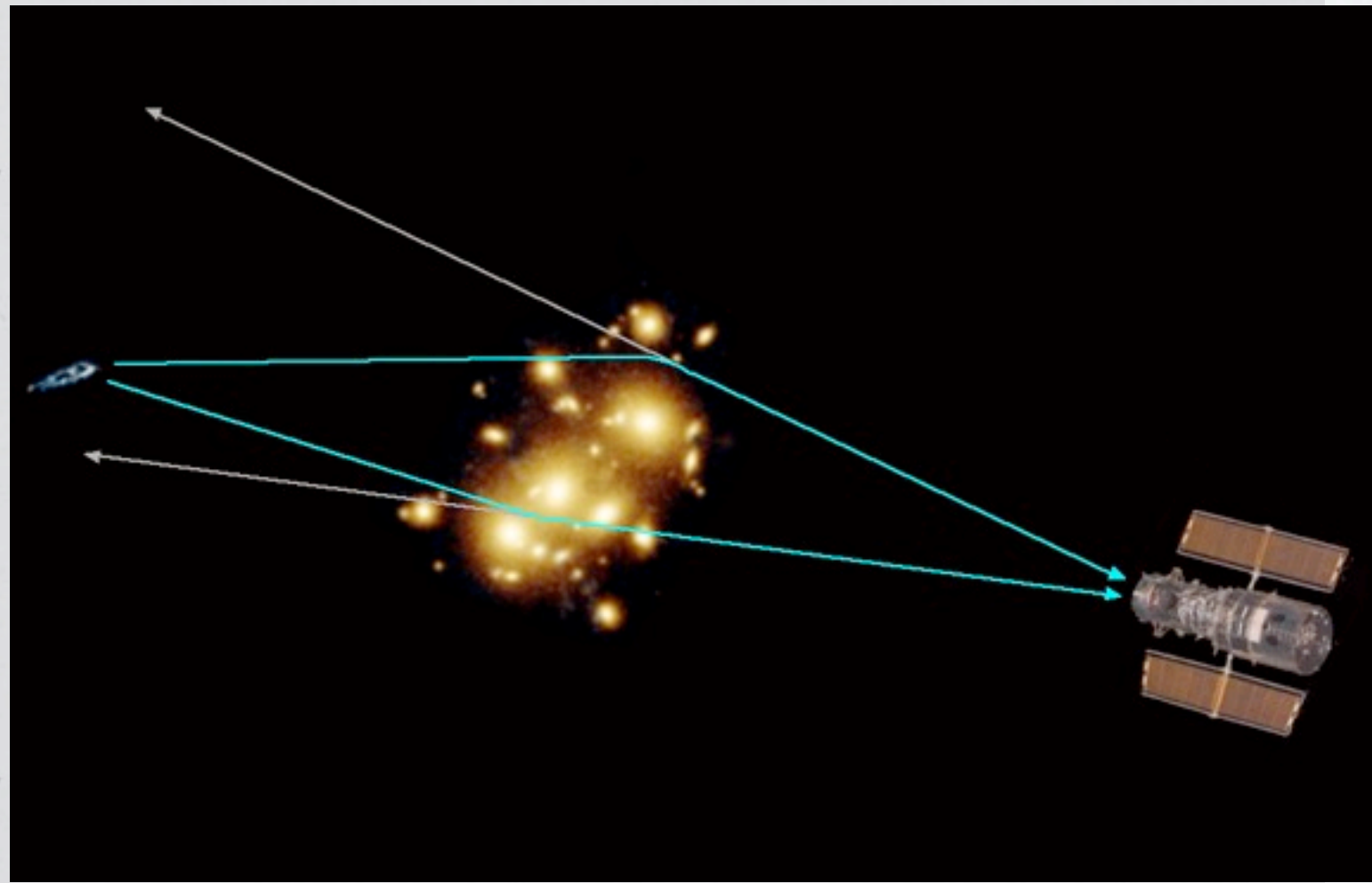
estimer la masse des objets

lentilles gravitationnelles



estimer la masse des objets

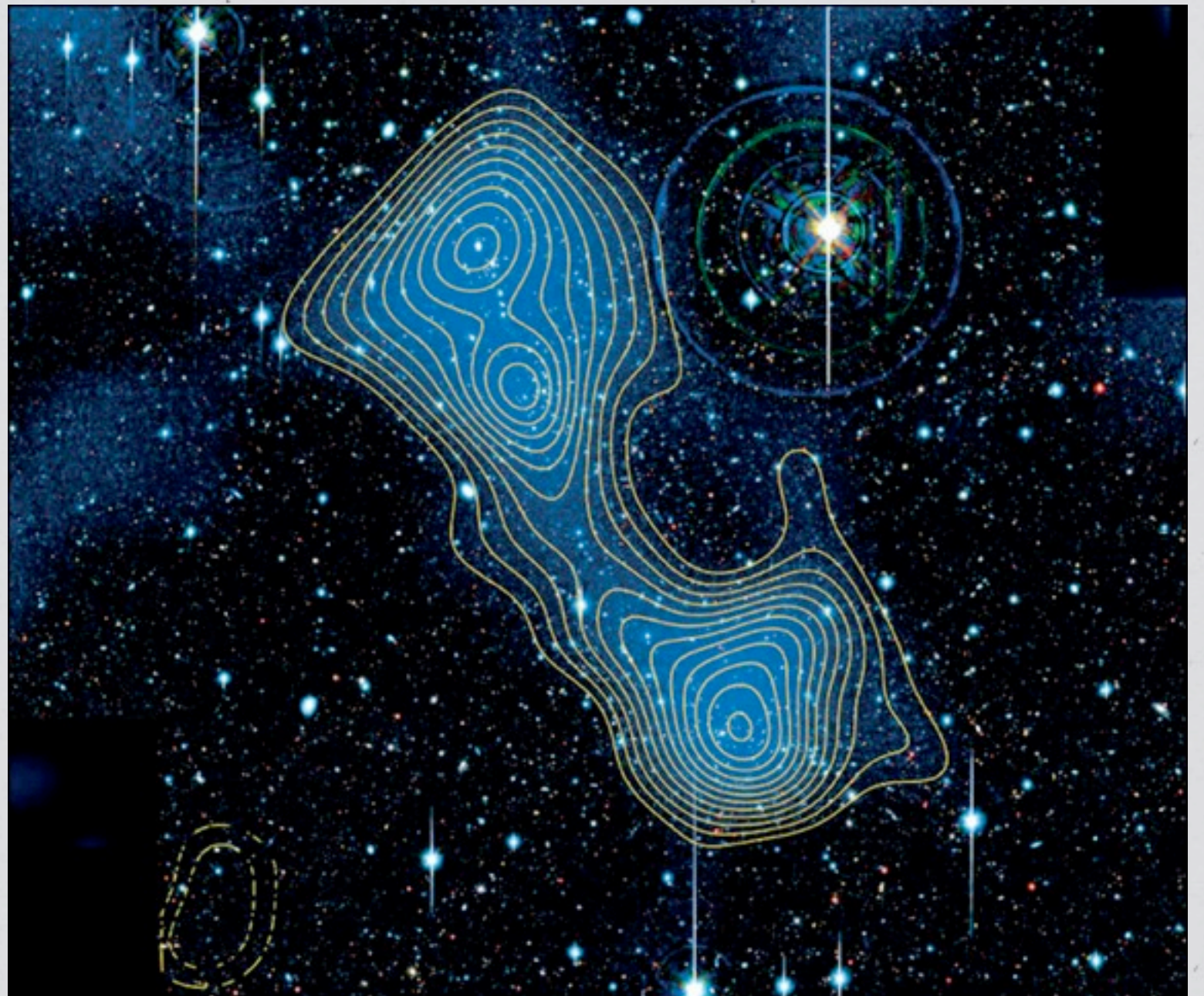
lentilles gravitationnelles

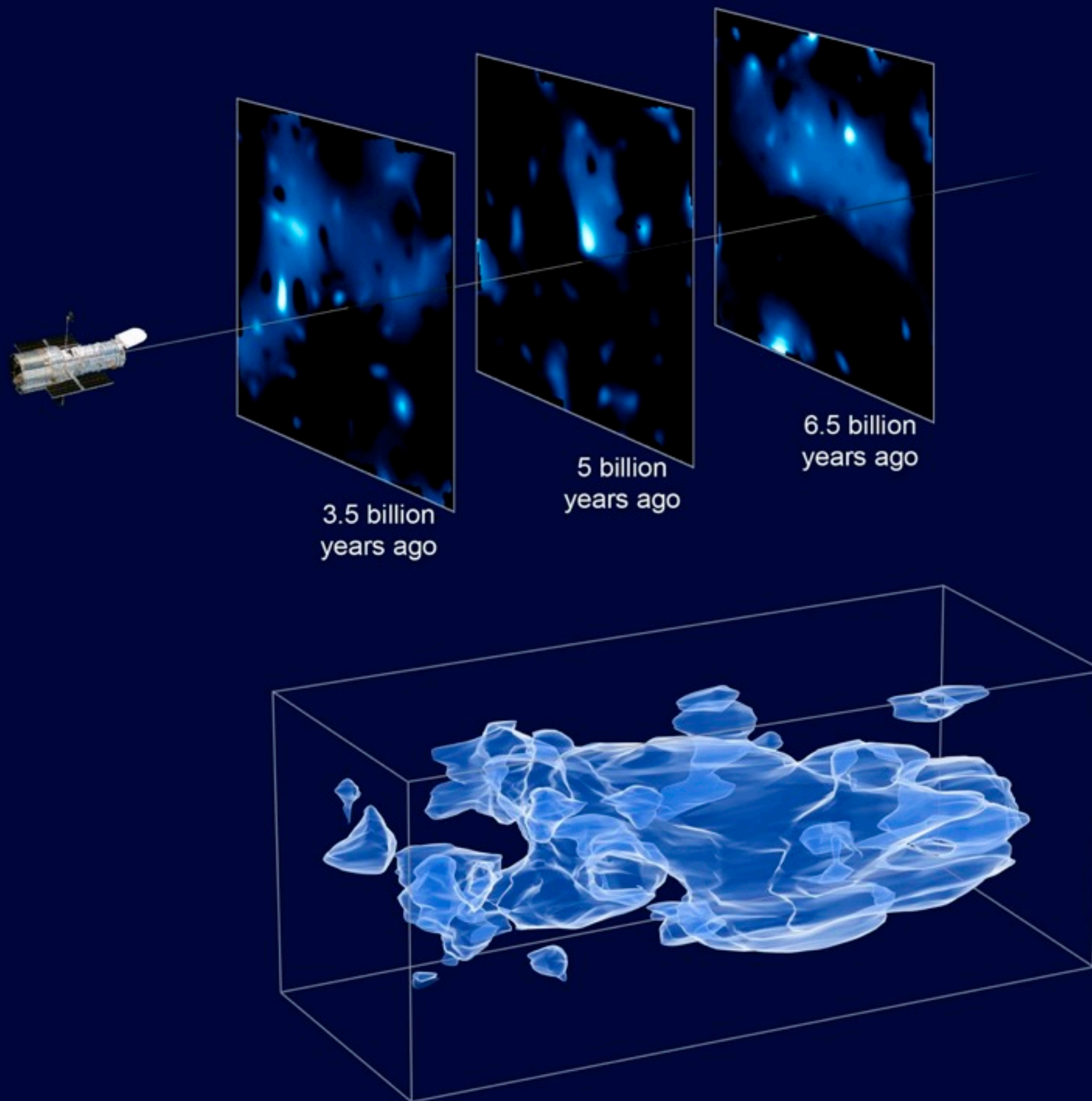


estimer la masse des objets

lentilles gravitationnelles

on obtient des
cartes de
matière noire





cosmologie

cosmologie

1. géométrie de l'espace-temps
2. formation des grandes structures
3. nucléosynthèse primordiale

1. géométrie de l'espace-temps

la géométrie de l'espace-temps
est reliée à son contenu

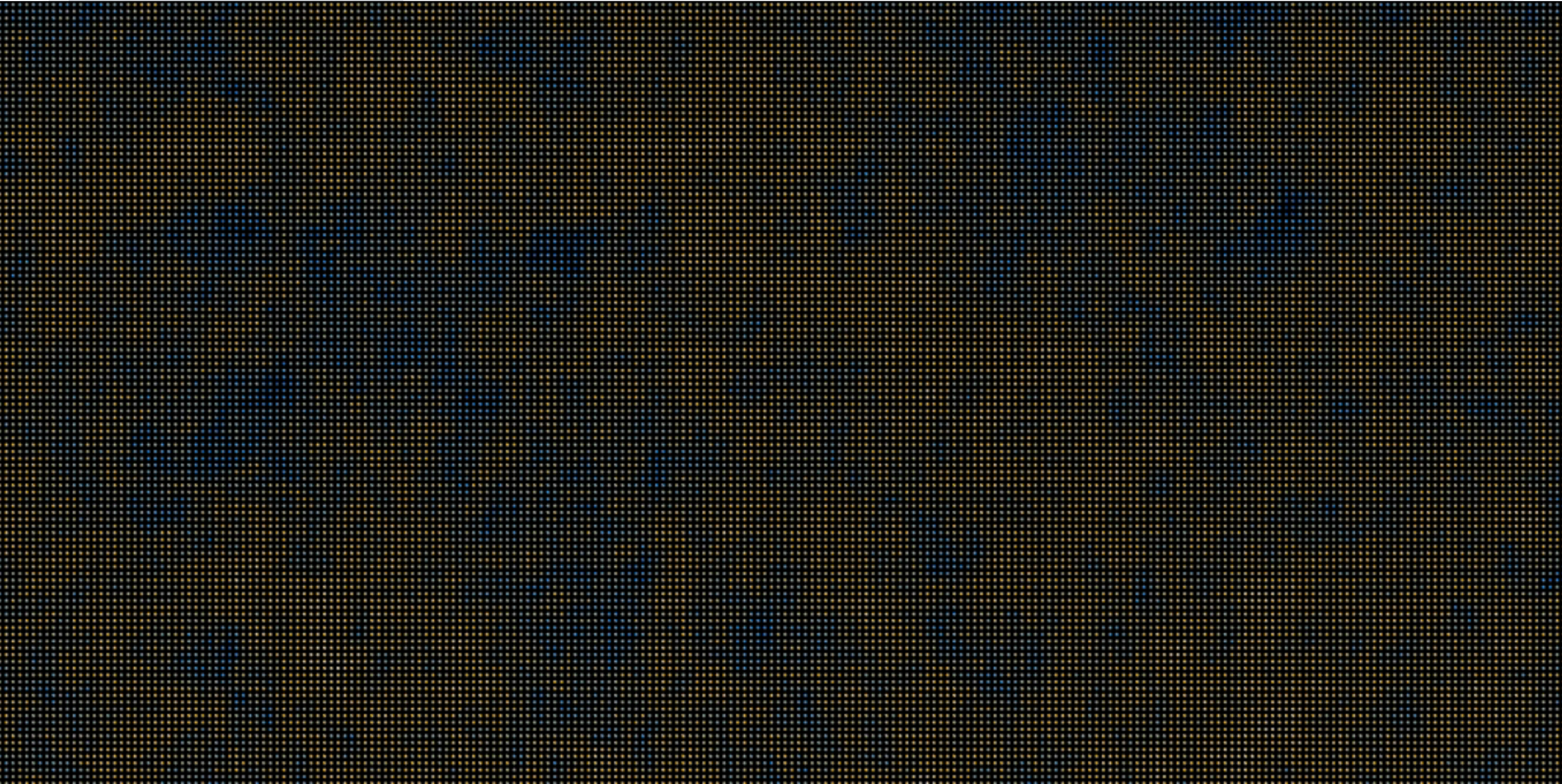
2. formation des grandes structures

formation des grandes structures

géométrie de l'espace-temps

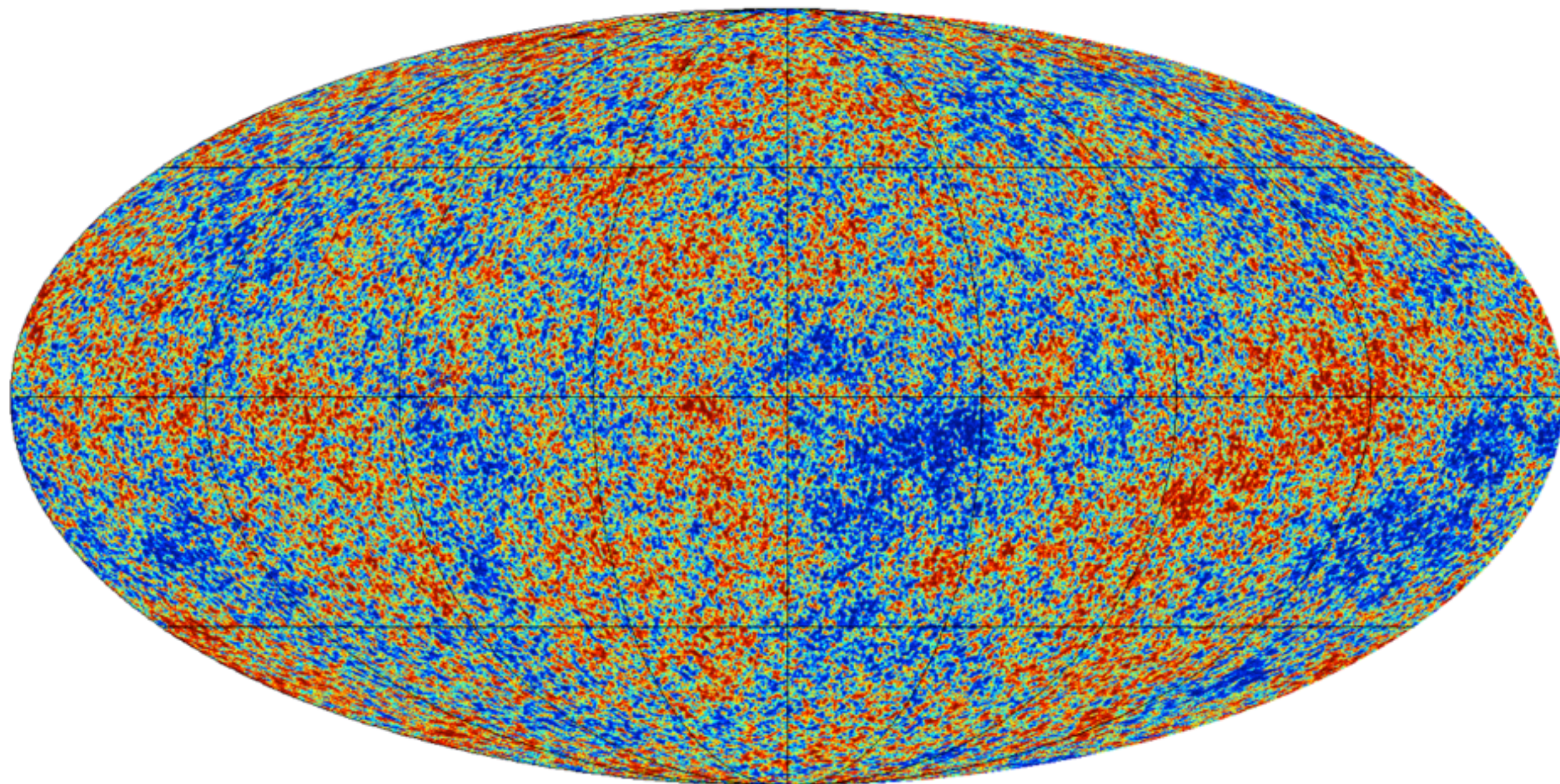
nucléosynthèse primordiale

2. formation des grandes structures



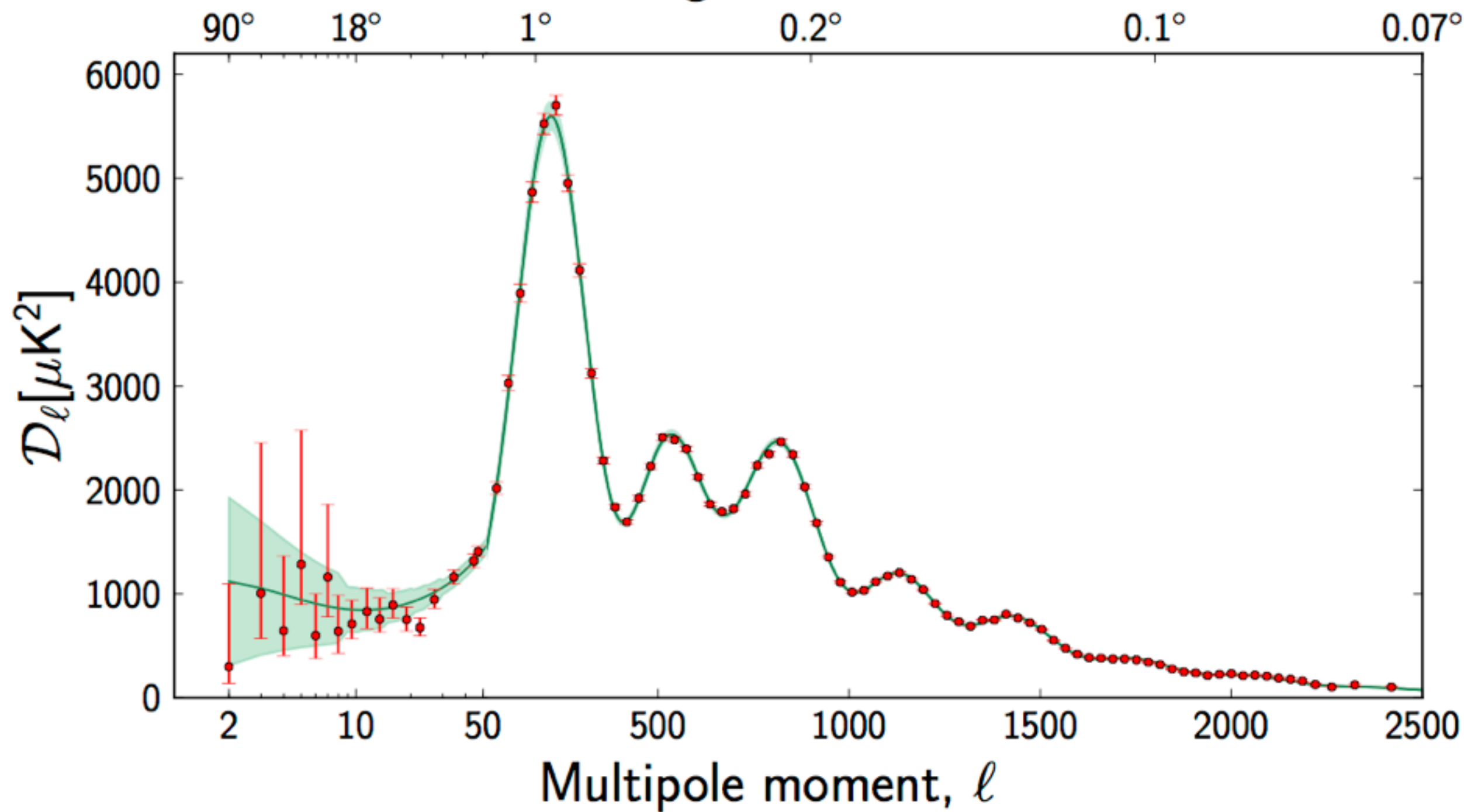
COM_CompMap_CMB-nile_2048_R1.20 INP_CMB

2048 NESTED GALACTIC

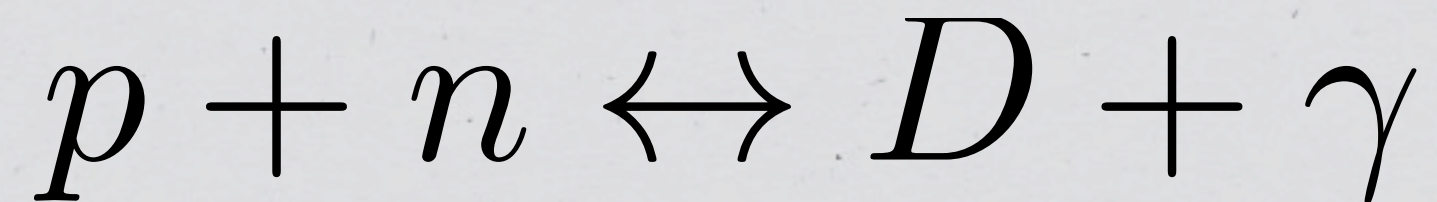


-877 1409 uK_cmb

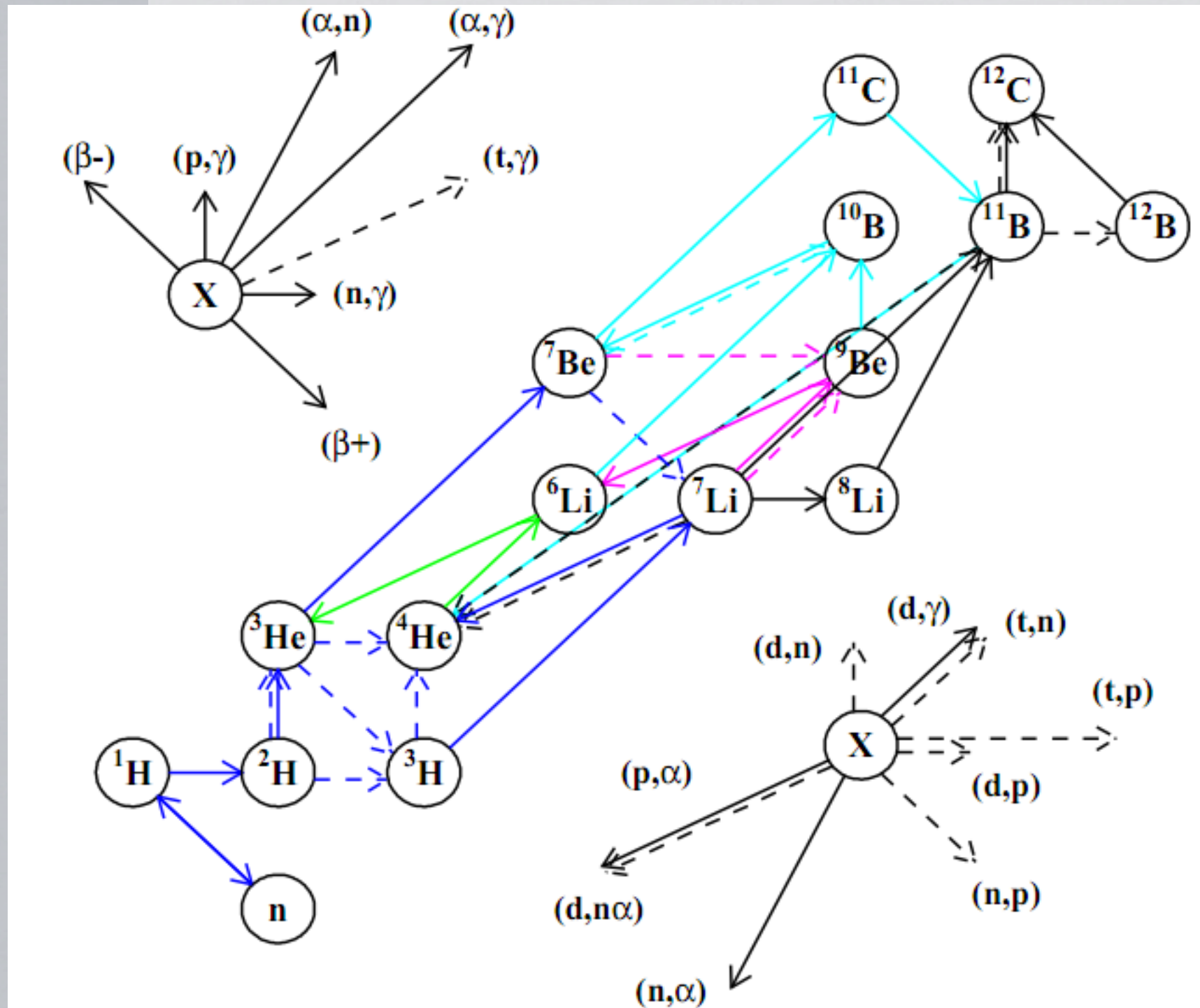
Angular scale



3. nucléosynthèse primordiale



3. nucléosynthèse primordiale



3. nucléosynthèse primordiale

Les abondances des noyaux atomiques légers nous informent sur le rapport photon/proton

Bilan raffiné

L'Univers semble contenir davantage de matière ayant un effet gravitationnel que celle qu'on « voit ».

cette matière n'est pas intégralement baryonique

Un cas d'école : l'amas du Boulet



Conclusion

Conclusion

Un ensemble d'indices indépendants indiquent de façon cohérente que :

L'Univers semble contenir une très grande quantité de matière sous une forme non baryonique.

Post-Scriptum



Pour que quelque chose existe, il faut qu'on puisse l'observer. Pour que quelque chose existe, il faut qu'il ait une position dans l'espace et dans le temps. Ceci explique pourquoi les neuf dixièmes de la masse de l'Univers sont manquants. Ces neuf dixièmes de l'Univers, c'est l'information sur la position et la direction de tout ce qui se trouve dans le dernier dixième. Chaque atome a sa biographie, chaque étoile son dossier, chaque réaction chimique l'équivalent de son contrôleur avec son petit bloc-note. Ça n'est pas comptabilisé car c'est en train de comptabiliser le reste, or on ne peut pas voir l'arrière de sa propre tête. Les neuf dixièmes de l'Univers, en fait, c'est de la paperasse.



Terry Pratchett, « Thiefs of Time », 2001 (trad. libre).

Merci pour votre attention !

taillet@lapth.cnrs.fr

richard.taillet@univ-savoie.fr

Merci pour votre attention !

taillet@lapth.cnrs.fr

richard.taillet@univ-savoie.fr



podcast.grenet.fr/weightless/



<http://www.scilog.fr/signal-sur-bruit/>



« Dictionnaire de physique »
sur Facebook