

Cycle de Conférences du CPPM



L'Univers plein de vides

STÉPHANIE ESCOFFIER

Centre de Physique des Particules de Marseille

27 AVRIL 2019

Plan

- *Observation de l'Univers*
- *Le modèle standard de la cosmologie*
- *Le côté obscur de l'Univers*
- *Les grands sondages de galaxies*
- *La cosmologie avec les vides cosmiques*
- *Les futurs grands relevés de galaxies*
- *Conclusion*



OBSERVATION DE L'UNIVERS

L'observation du ciel



Les yeux de l'astronome



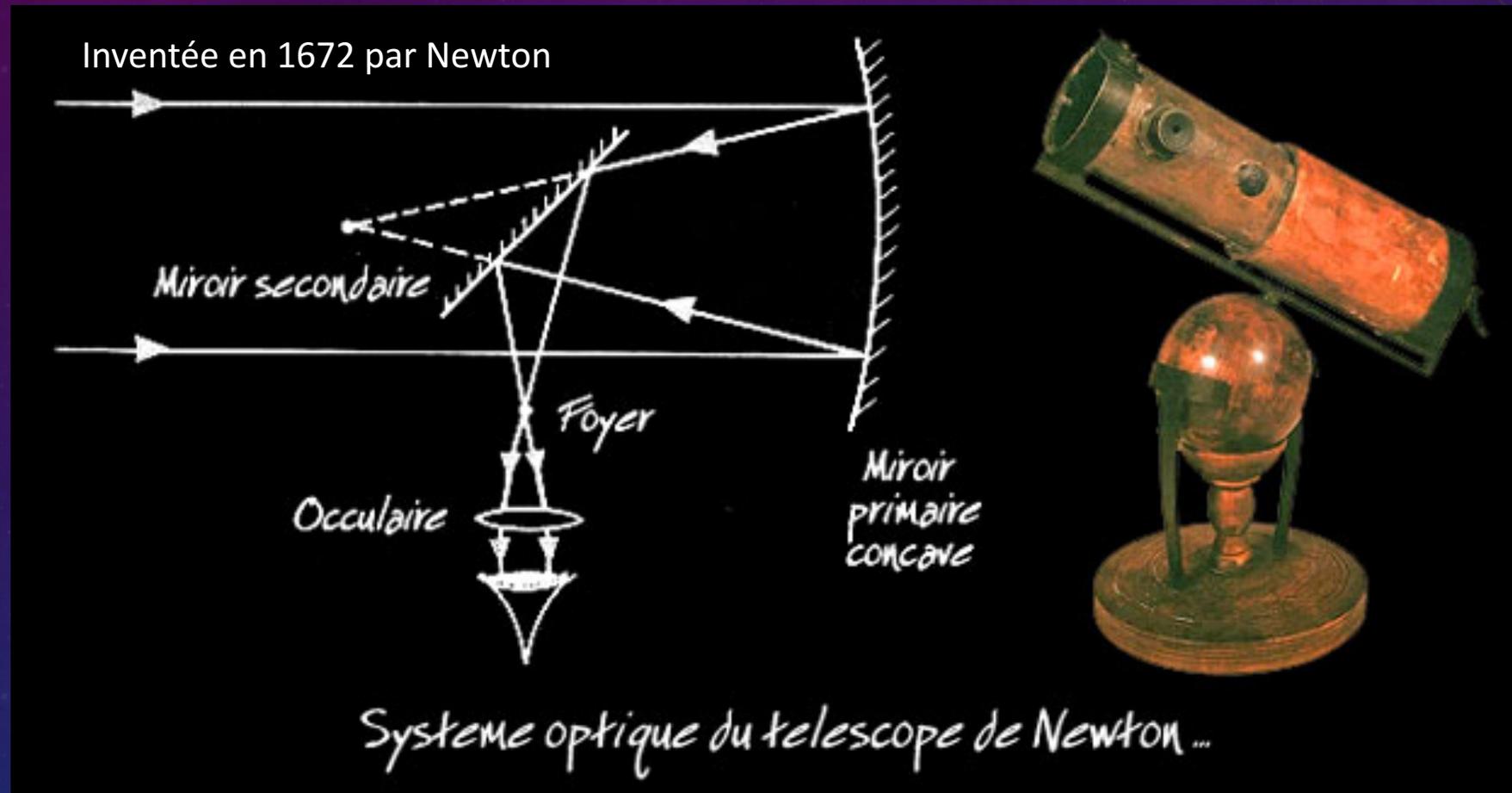
Crédit : Bibliothèque de l'Observatoire de Paris

La lunette astronomique

Inventée au XVII^e siècle par Galilée



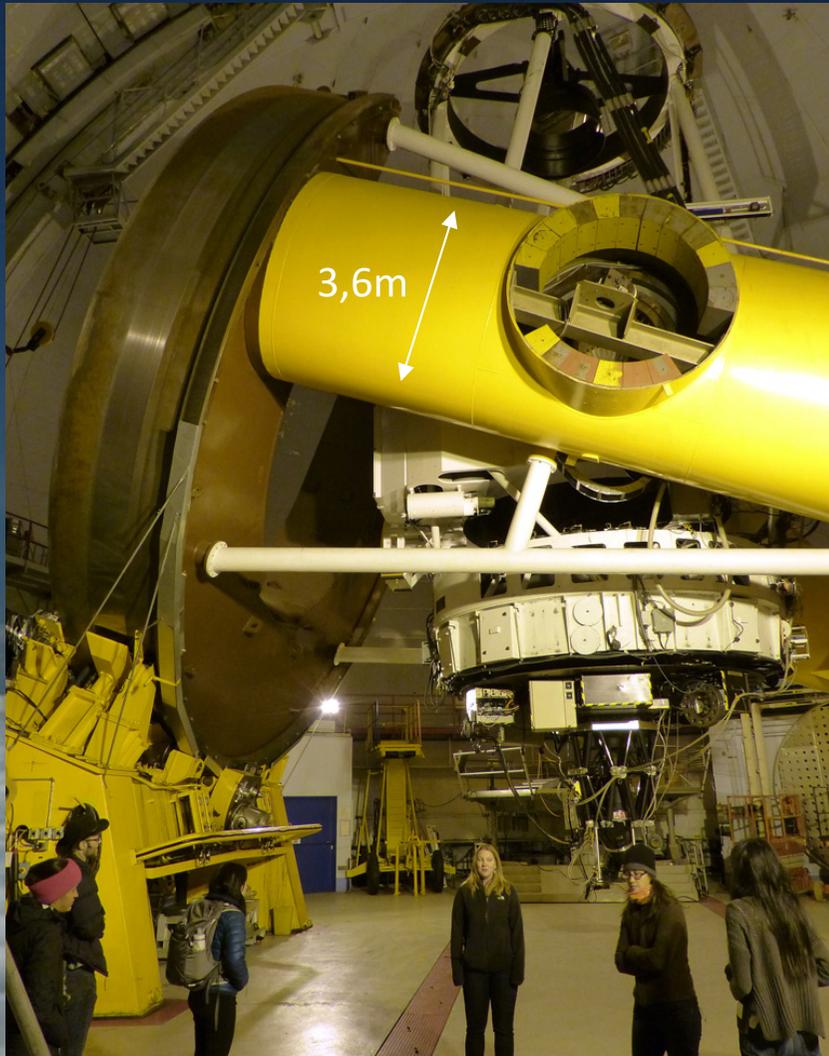
Le télescope de Newton



Les télescopes amateurs

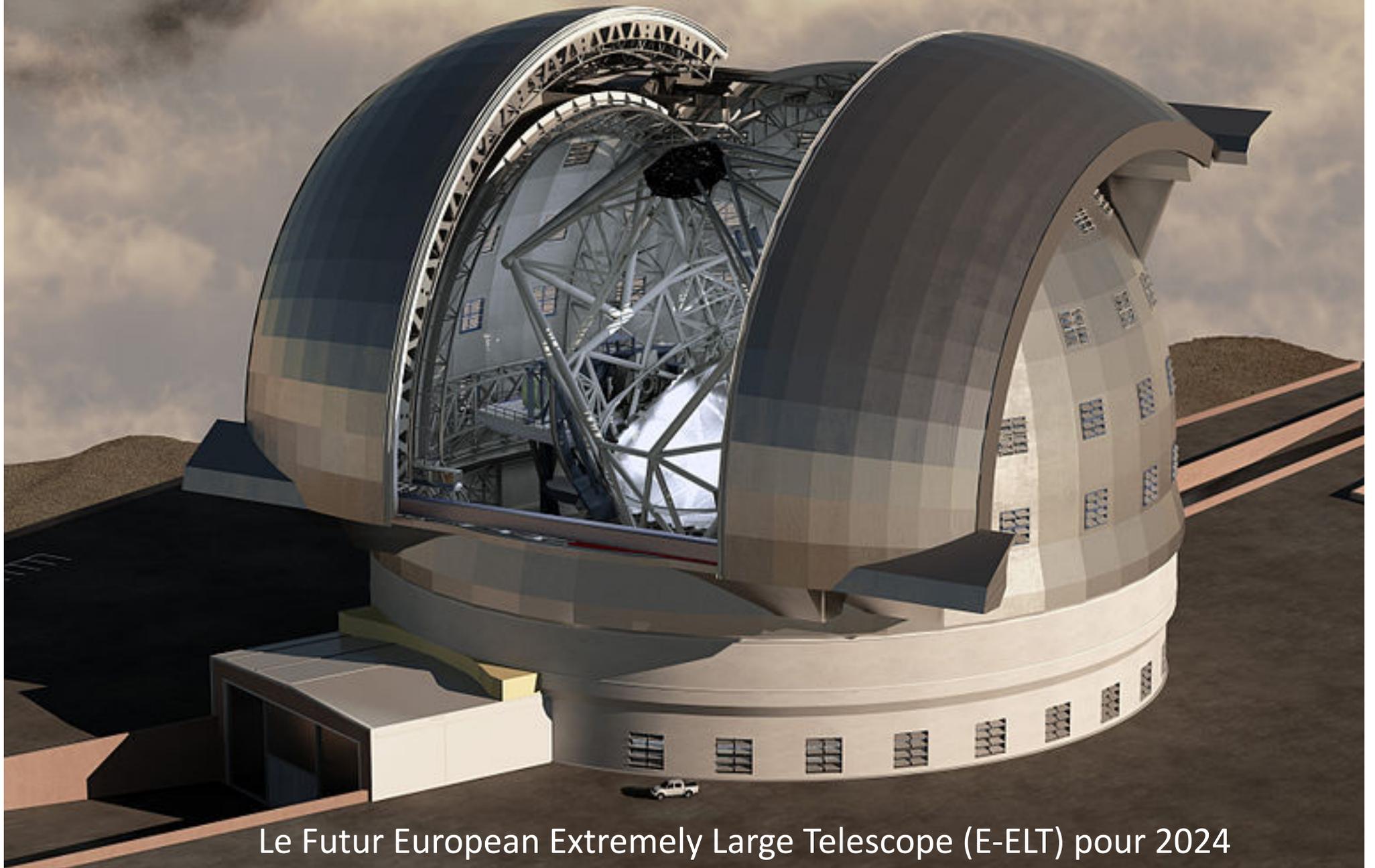


Les grands télescopes



4 200 mètres
d'altitude

Les très grands télescopes



Le Futur European Extremely Large Telescope (E-ELT) pour 2024

L'observation du ciel

Qu'est-ce que la cosmologie ?

L'infiniment grand ...des distances vertigineuses



Le Système solaire

La Terre



Soleil



Terre

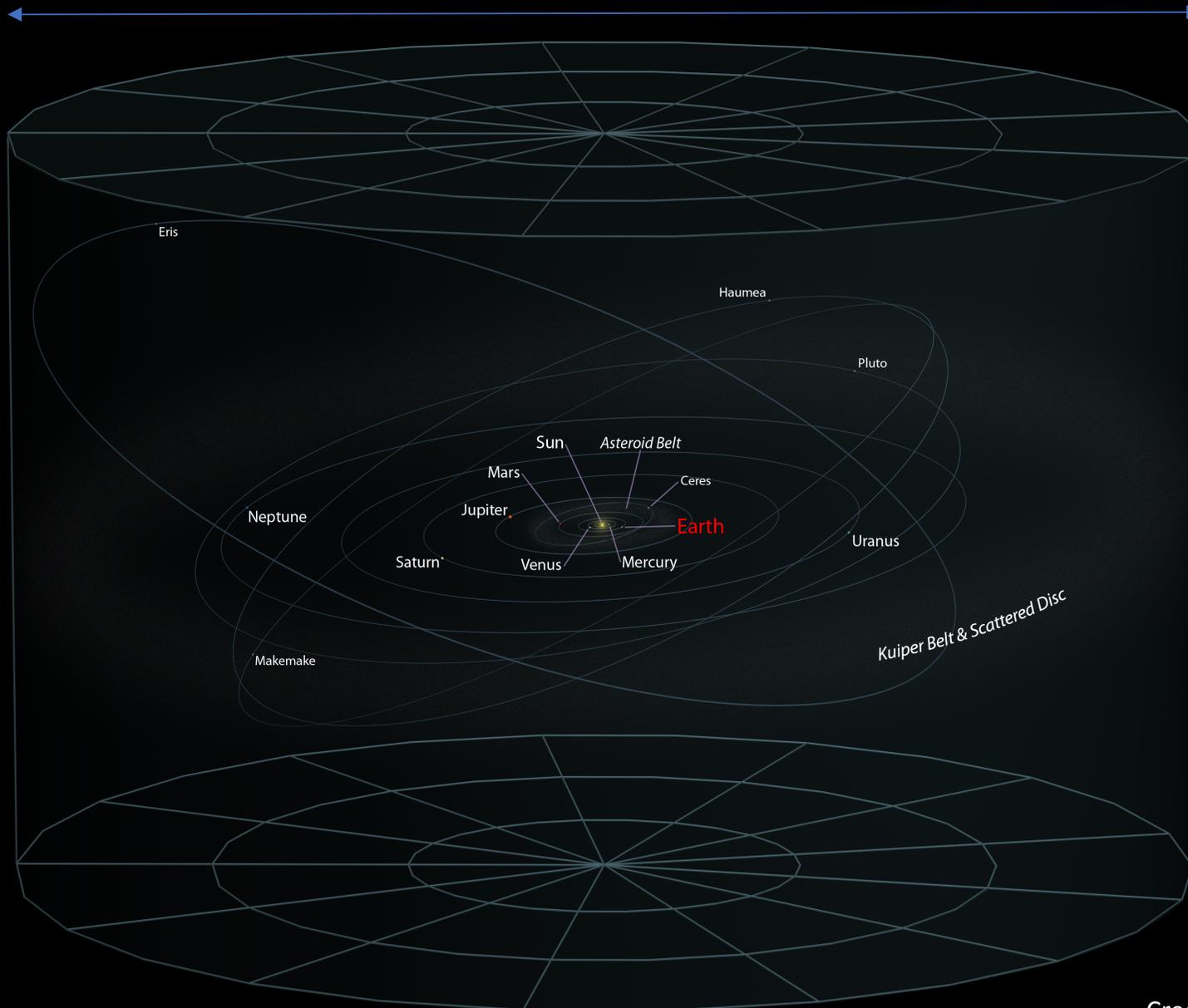
Pluton

Jupiter

Vitesse de la lumière $c = 300\,000$ km/s

Le Système solaire

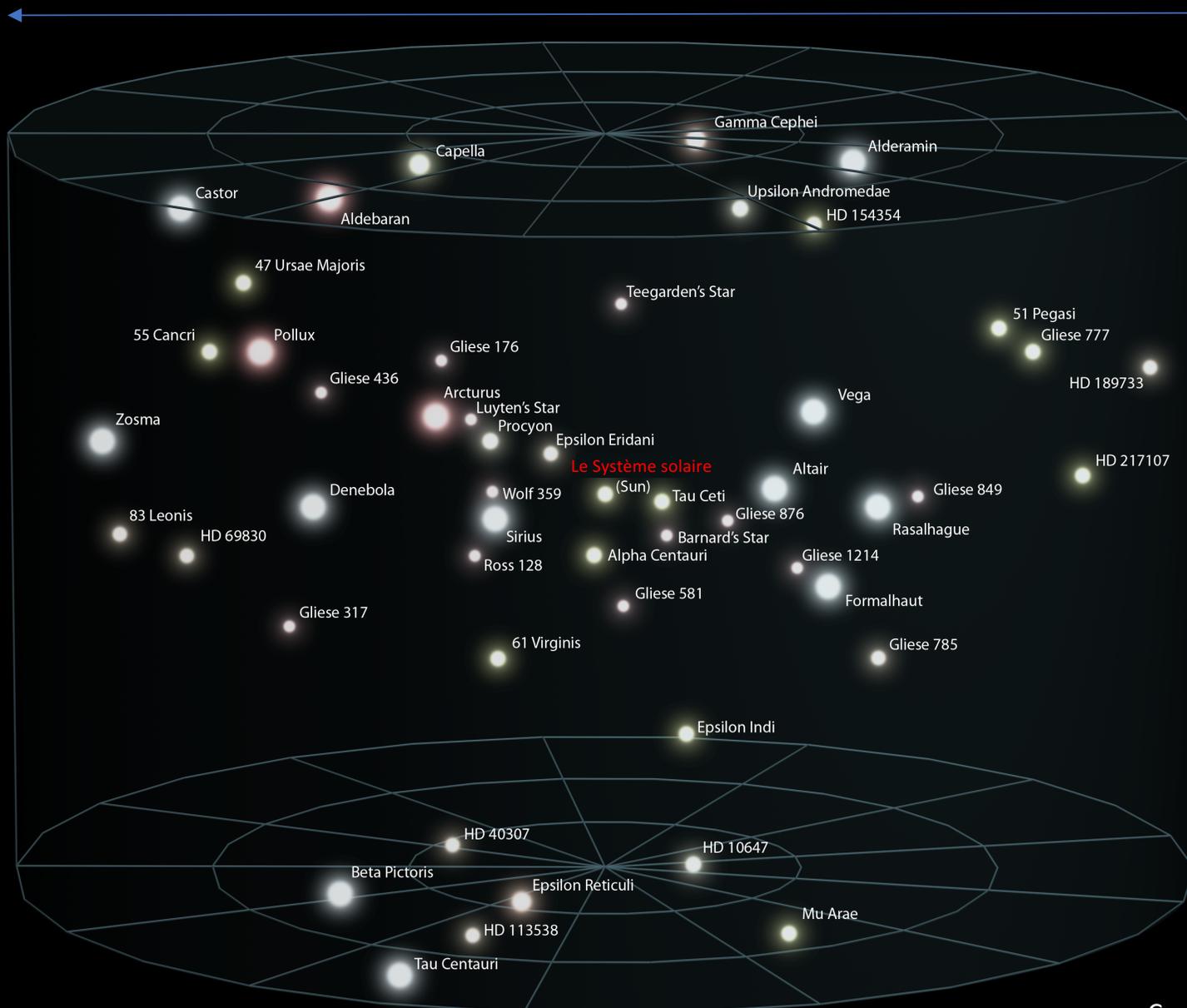
15 milliards de km = 20 heures lumière



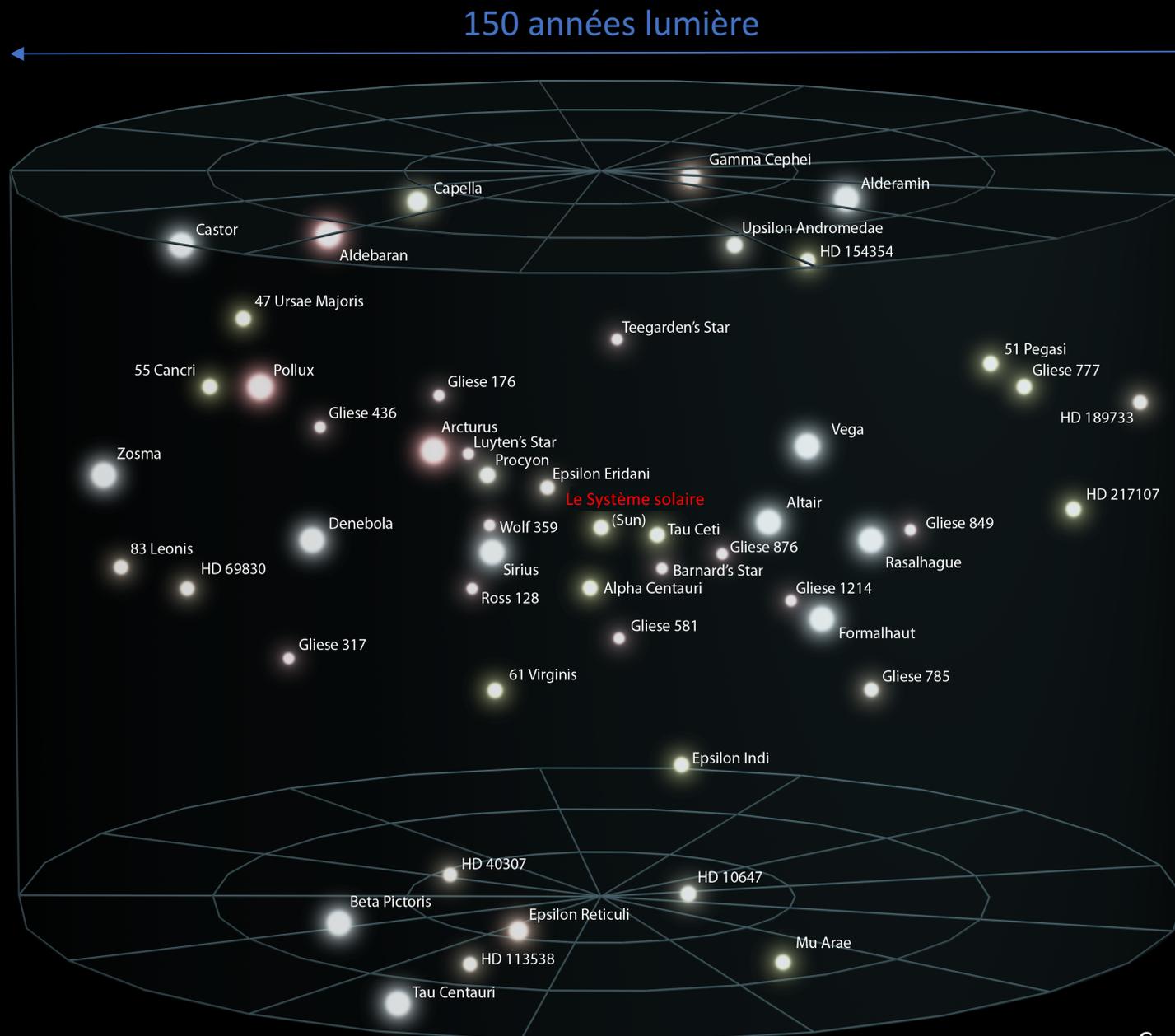
Credit: Andrew Z. Colvin

Le Système solaire

15 milliards de km = 20 heures lumière

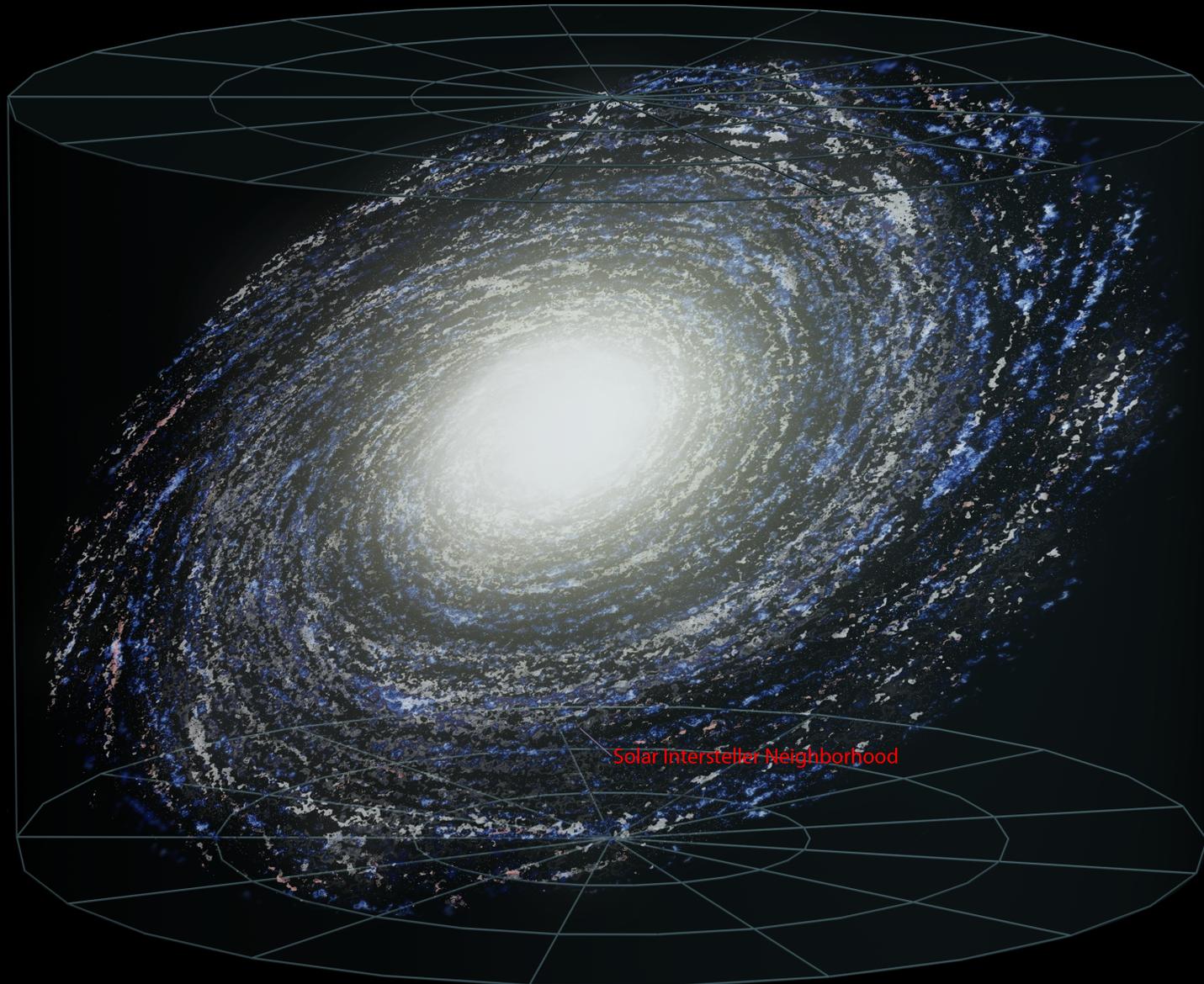


Le voisinage interstellaire



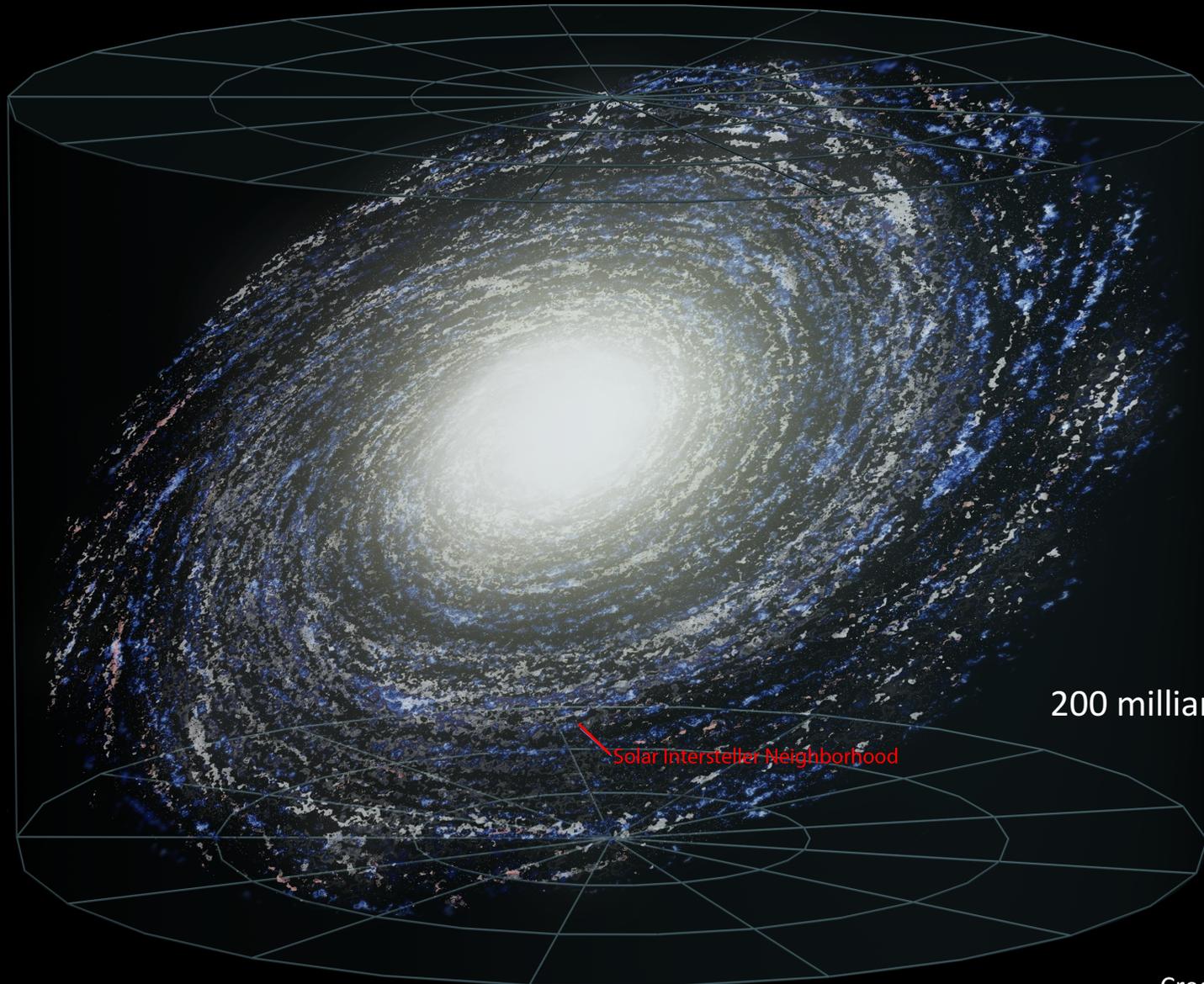
Le voisinage interstellaire

150 années lumière



La Voie Lactée

150 000 années lumière

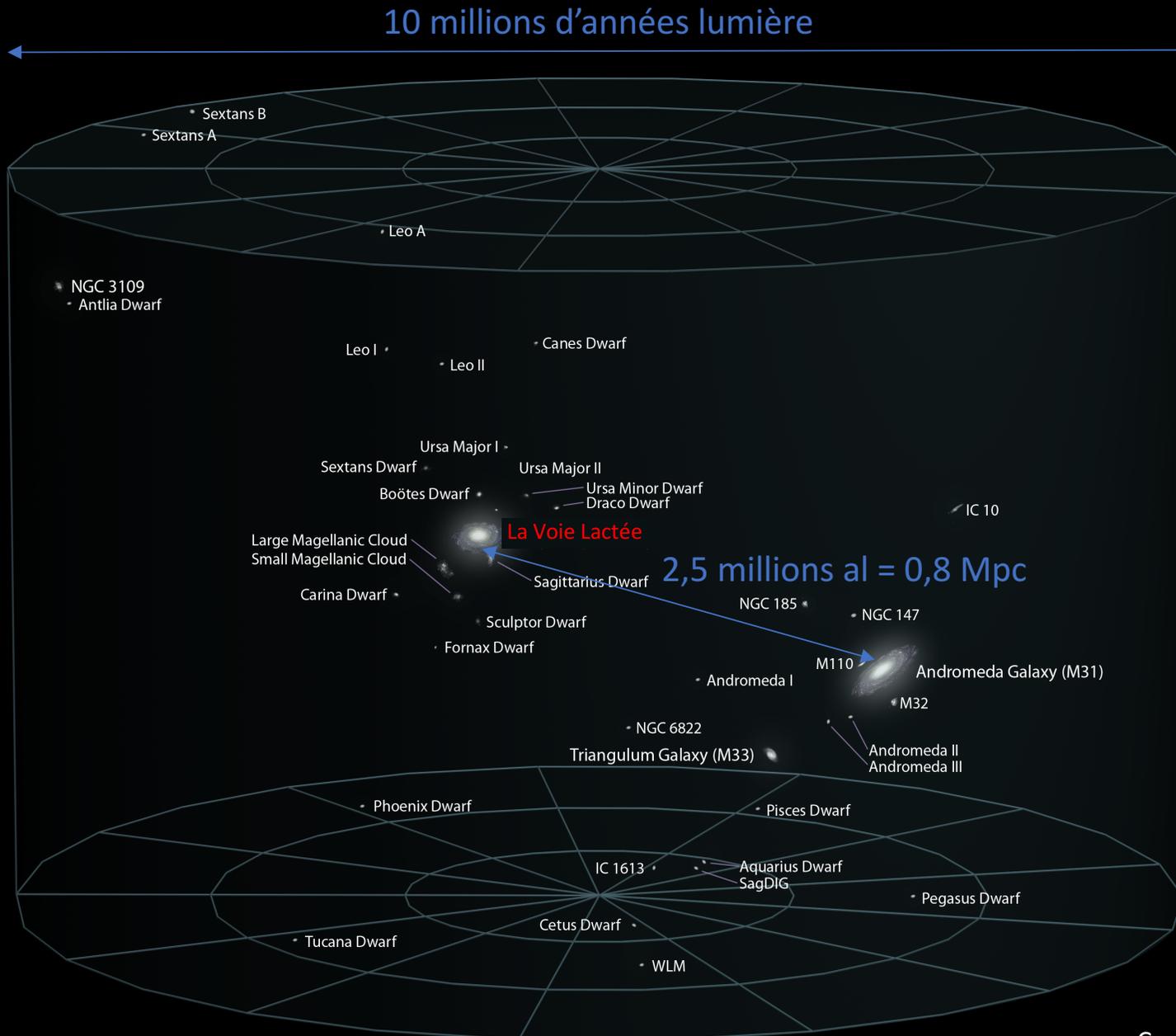


200 milliards d'étoiles...

La Voie Lactée vue de la Terre

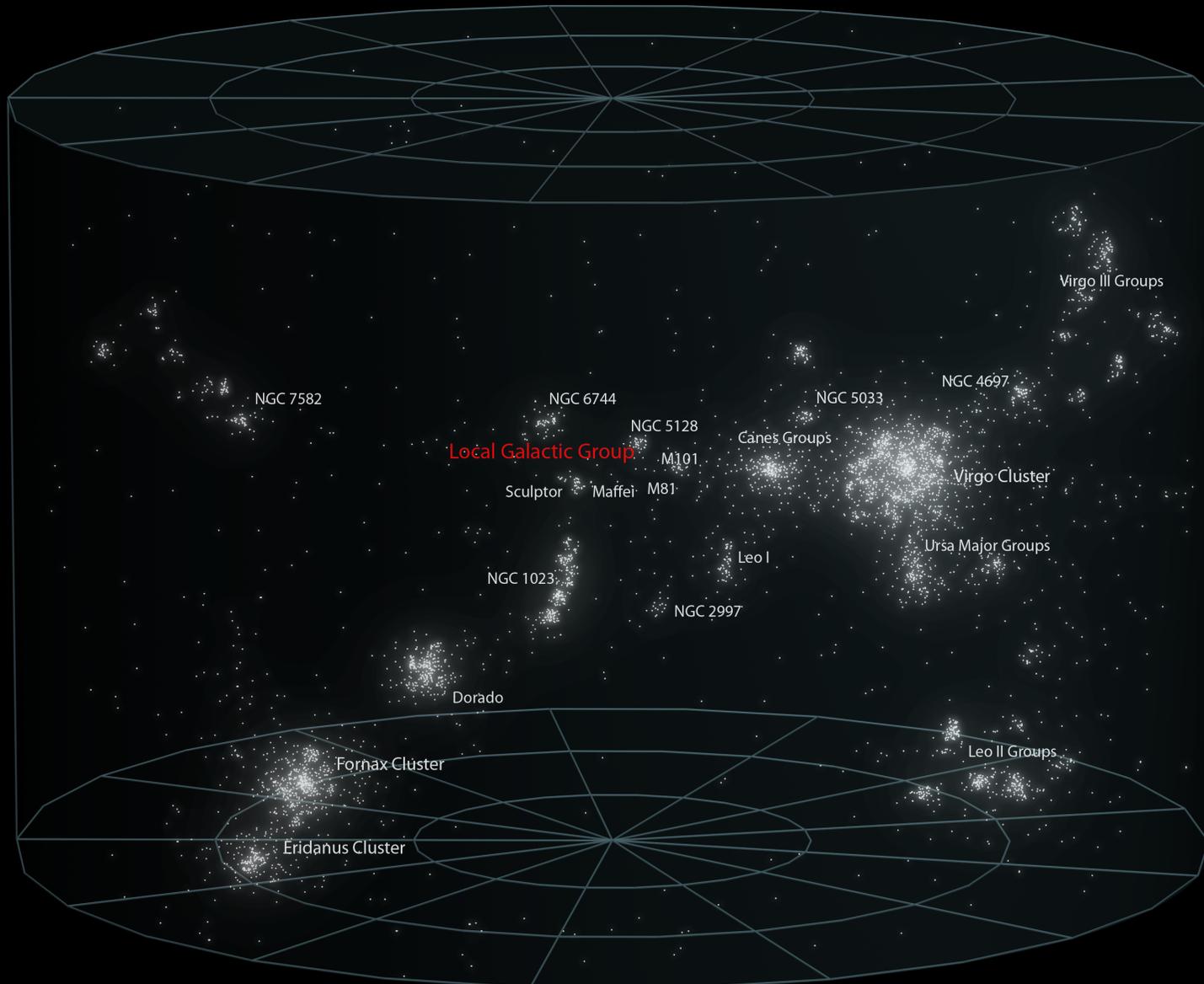


Le Groupe Local



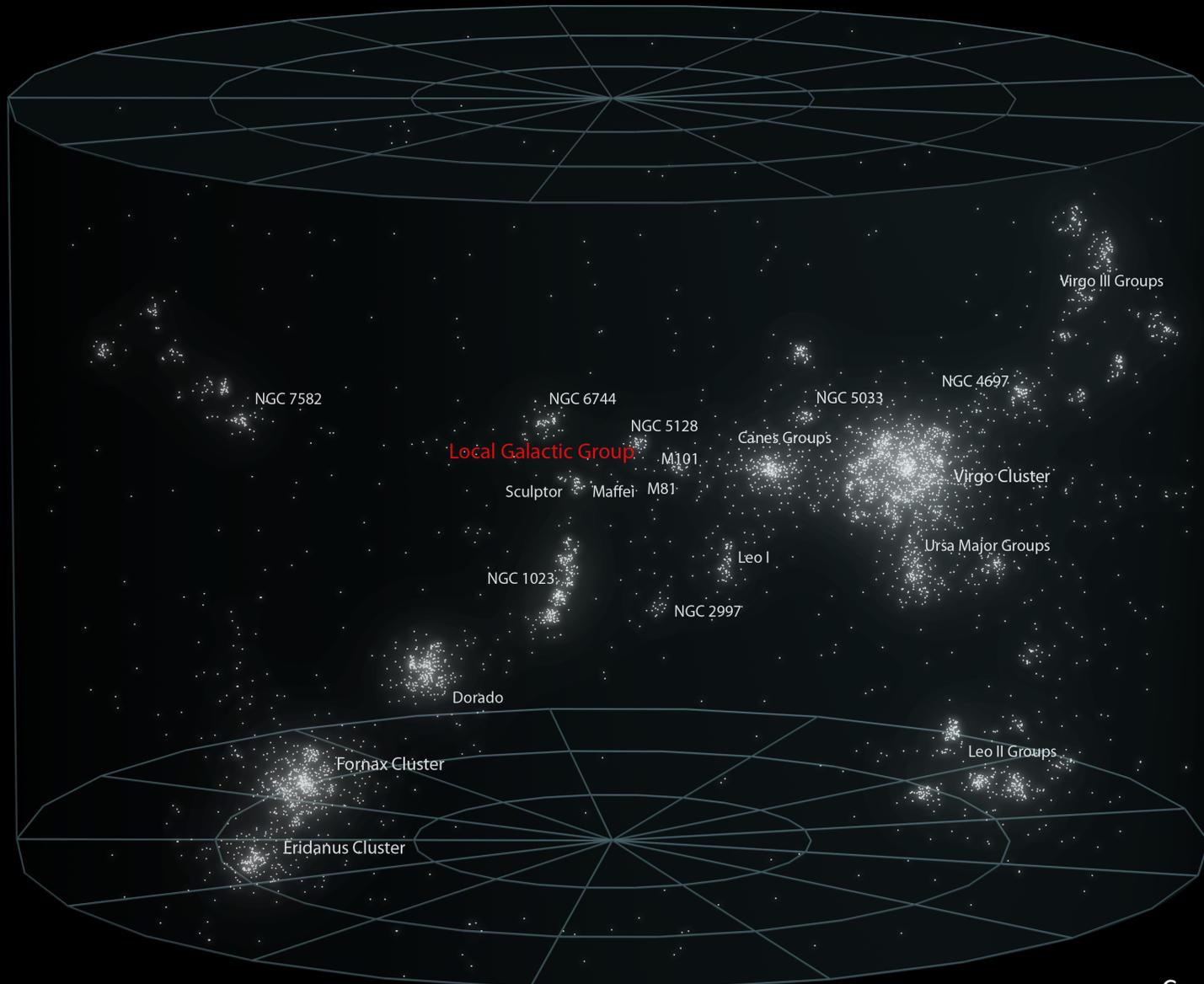
Le Groupe Local

10 millions d'années lumière



Le Superamas de la Vierge

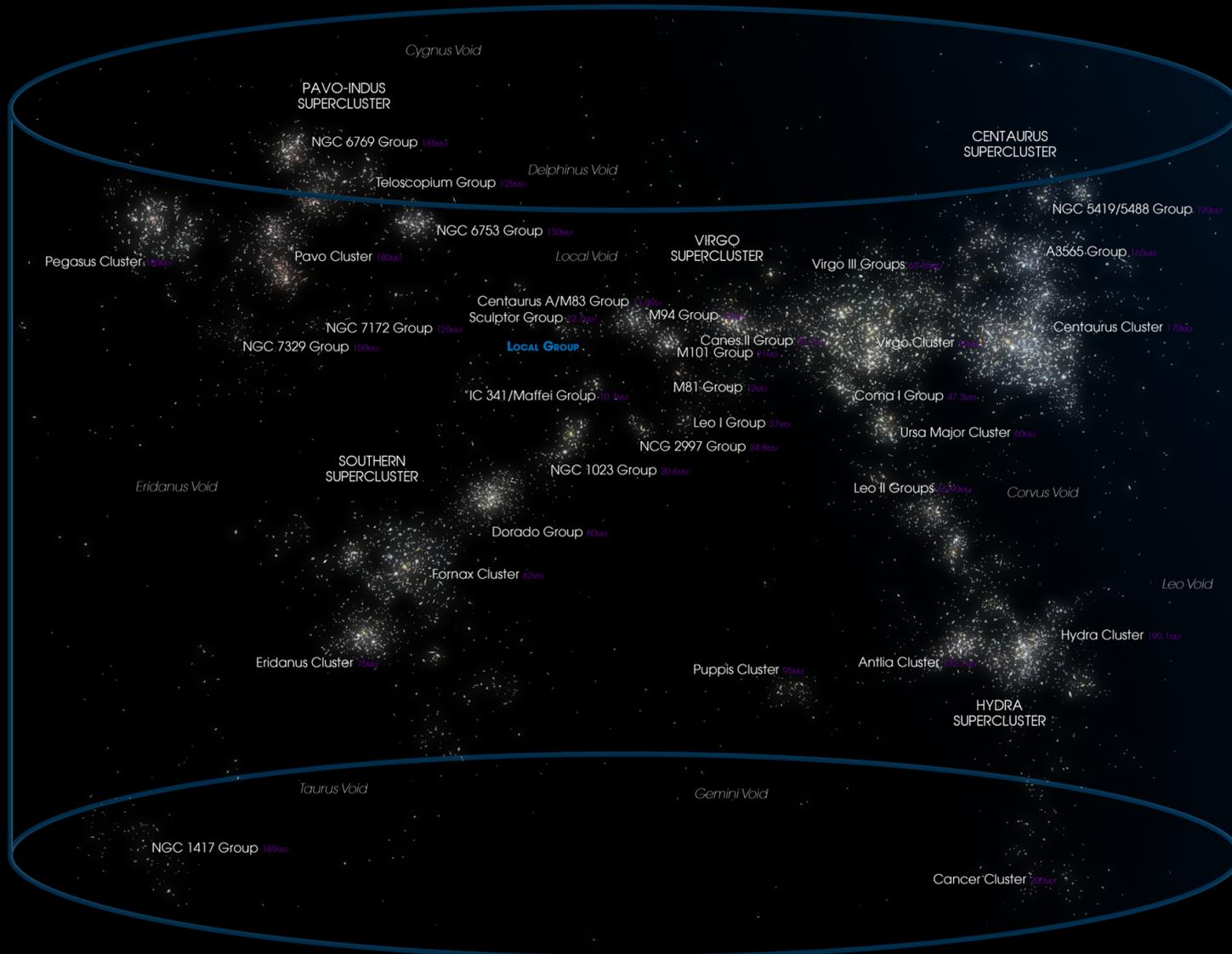
200 millions d'années lumière = 65 Mpc



Laniakea: « horizon céleste immense » en hawaïen

500 millions d'années lumière = 160 Mpc

LANIAKEA



L'infiniment grand

...des distances vertigineuses



Le grand vertige



- **A 100 millions années de nous**

Il y a 200 amas de galaxies, 2500 grandes galaxies et 200 milliards de milliards d'étoiles

- **A 1 milliard d'années de nous,**

Il y a 250 000 amas de galaxies, avec 3 millions de grandes galaxies et 250 000 milliards de milliards d'étoiles....

- **Dans l'Univers,**

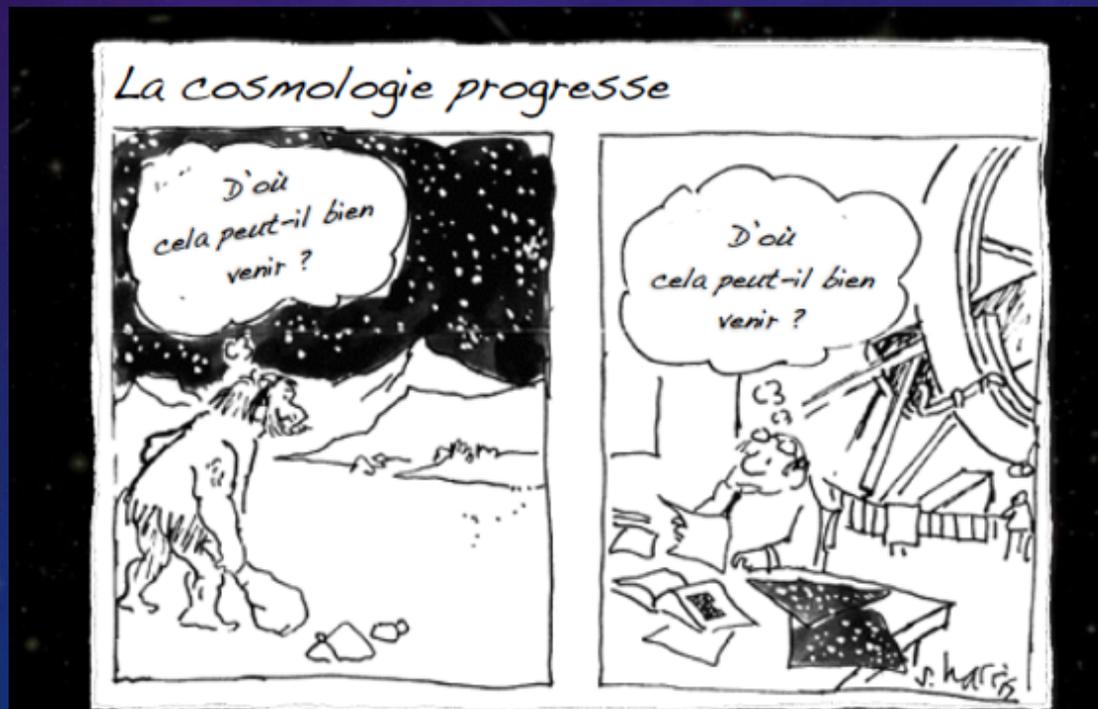
Il y a 25 milliards d'amas de galaxies avec 200 milliards de grandes galaxies et 30 milliards de milliards de milliards d'étoiles....

Qu'est-ce que la cosmologie ?

Il y a 100 ans, notre description de l'Univers était simple : il était éternel, statique et formé d'une seule galaxie contenant quelques millions d'étoiles.

Aujourd'hui, l'Univers observable renferme plus de 100 milliards de galaxies, elles-mêmes contenant plus de 100 milliards d'étoiles et probablement autant de planètes.

La cosmologie est la science qui essaie de décrire l'Univers, de comprendre comment il s'est formé et comment il évolue avec le temps.



LE MODÈLE STANDARD DE LA COSMOLOGIE

Un peu d'histoire...et quelques ingrédients

1915: Einstein publie la Relativité Générale comme description de l'espace-temps

1923: Hubble établit que la galaxie d'Andromède (M 31) est située largement en dehors de la Voie lactée, et donc qu'il existe d'autres galaxies que la nôtre.

1929: Hubble démontre que les galaxies s'éloignent toutes de nous!

1948: Naissance du modèle cosmologique actuel : le Big Bang (Gamow)

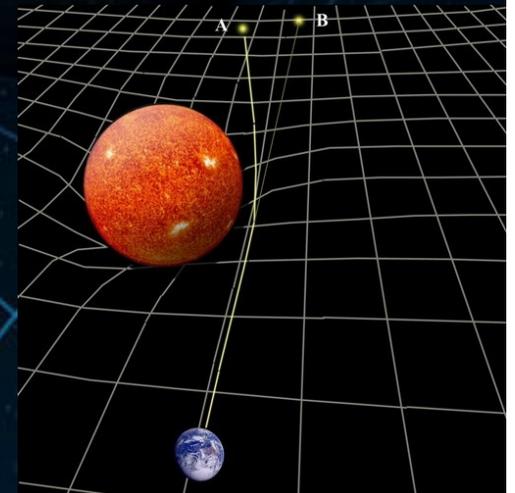
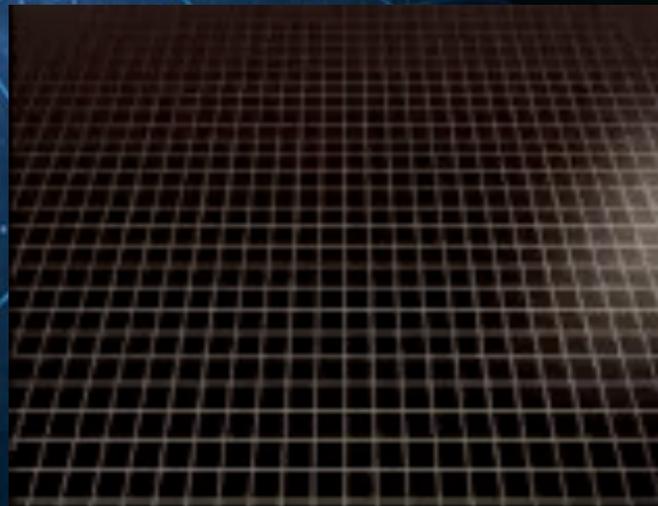


Un Univers courbe

- **Théorie de la Relativité Générale (1915)**

La gravitation se manifeste par la courbure de l'espace-temps

- La matière indique à l'espace-temps comment se courber
- L'espace-temps indique à la matière et au rayonnement comment et par où bouger

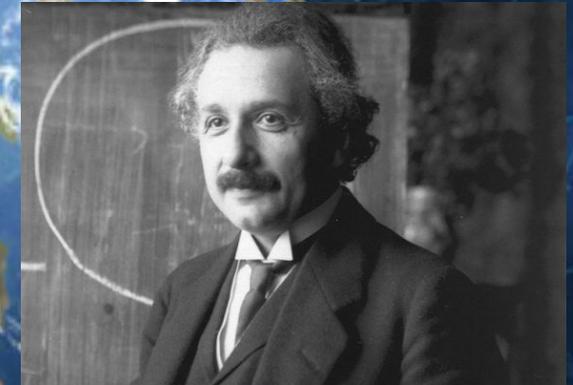


Un Univers courbe

- **Théorie de la Relativité Générale (1915)**

La gravitation se manifeste par la courbure de l'espace-temps

- La matière indique à l'espace-temps comment se courber
- L'espace-temps indique à la matière et au rayonnement comment et par où bouger



A. Einstein

géométrie de l'espace-temps
(longueurs et angles)

répartition énergie-masse
dans l'espace-temps

déformation de
l'espace-temps

constante
cosmologique

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu}$$

Géométrie de
l'espace-temps

Contenu en matière
et en énergie



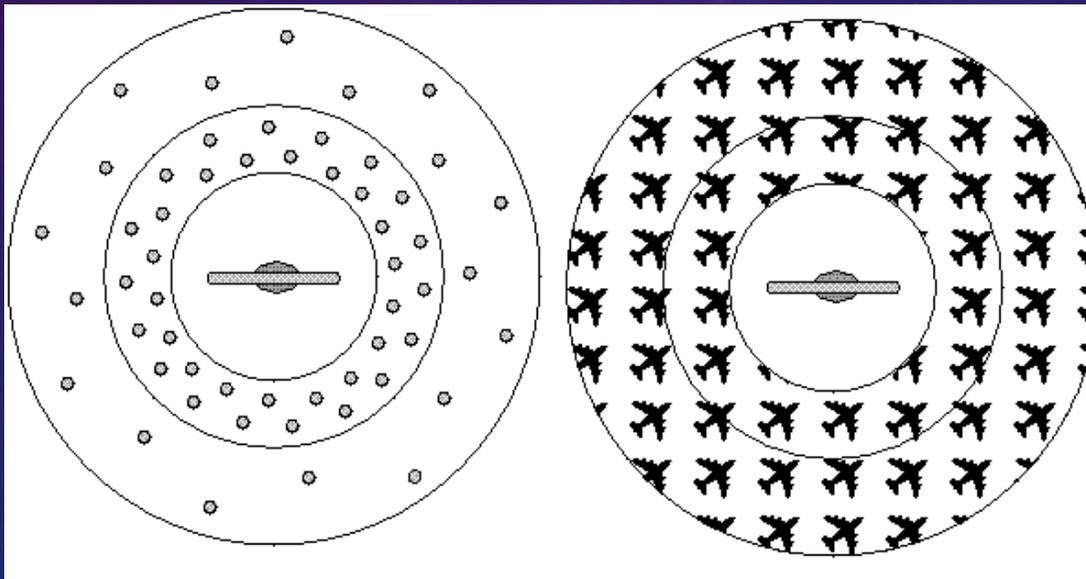
Le Principe cosmologique

La solution des équations de la relativité pour l'univers n'est pas facile. Les physiciens Friedman (Ru), Lemaitre (B), Robertson et Walker (USA) cherchent la solution des équations d'Einstein (1922-1933).

Il faut simplifier le problème: «Le Principe Cosmologique»

L'univers est homogène et isotrope

= l'Homme n'occupe pas de position privilégiée dans l'Univers



Isotrope mais non homogène

Homogène mais non isotrope

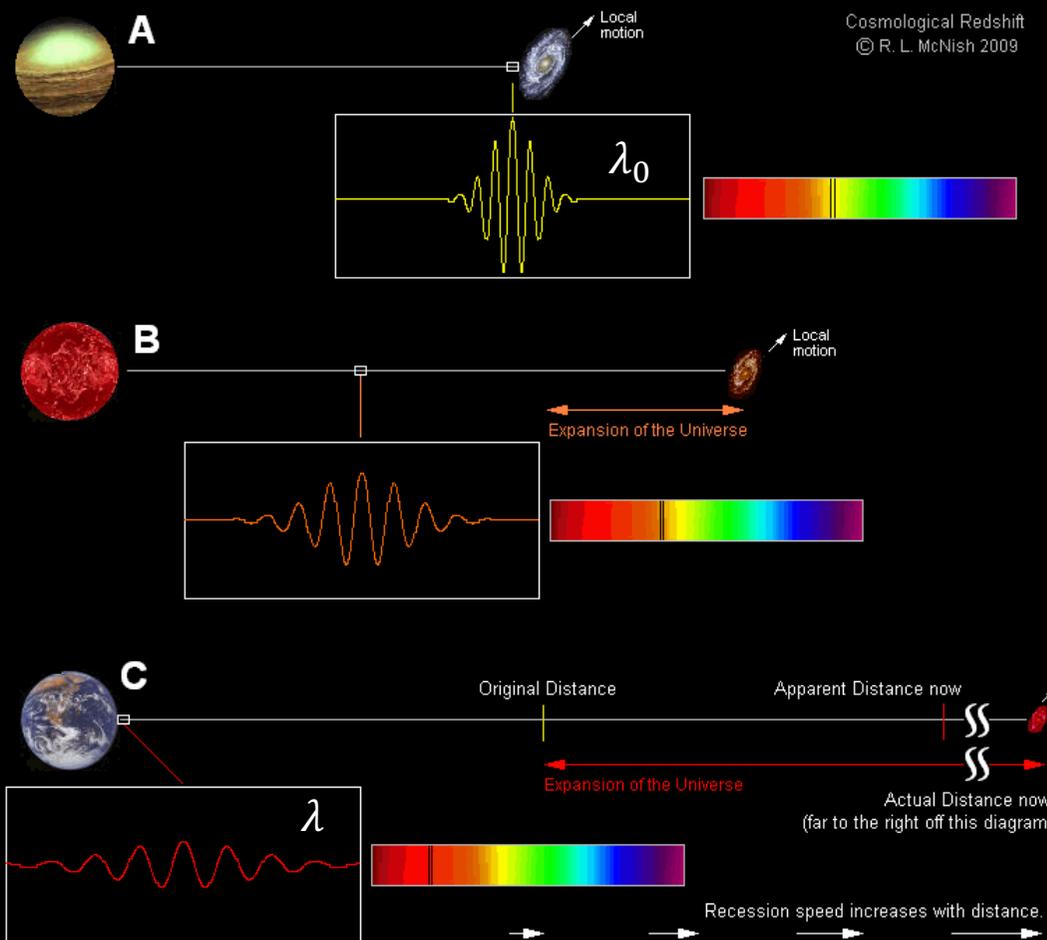
Un Univers en expansion

- La découverte du décalage vers le rouge en 1912-1920

L'américain Vesto Slipher observe pour la première fois le décalage des raies spectrales des galaxies, découvrant ainsi le décalage vers le rouge des galaxies.



V. Slipher



Lorsqu'un astre se déplace, ses raies spectrales sont également décalées

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

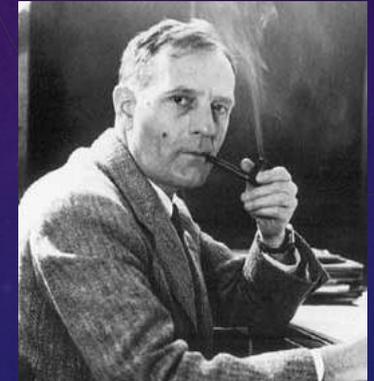
Un Univers en expansion

- La loi de Hubble-Lemaître en 1929

Edwin Hubble découvre une proportionnalité grossière entre les distances des objets et leurs décalages vers le rouge:

La loi de Hubble $v = H_0 d$

Si nous ne sommes pas au centre de l'univers, la loi de Hubble-Lemaître implique l'expansion de l'univers



E. Hubble



Cet écartement mutuel, que l'on pourrait prendre pour un mouvement des galaxies dans l'espace, s'interprète en réalité par un gonflement de l'espace lui-même.

Un Univers en expansion accélérée

- Cosmologie avec les supernovae (SNe)



Prix Nobel 2011

S. Perlmutter, B. Schmidt et A. Riess ont mis en évidence en 1998 que :

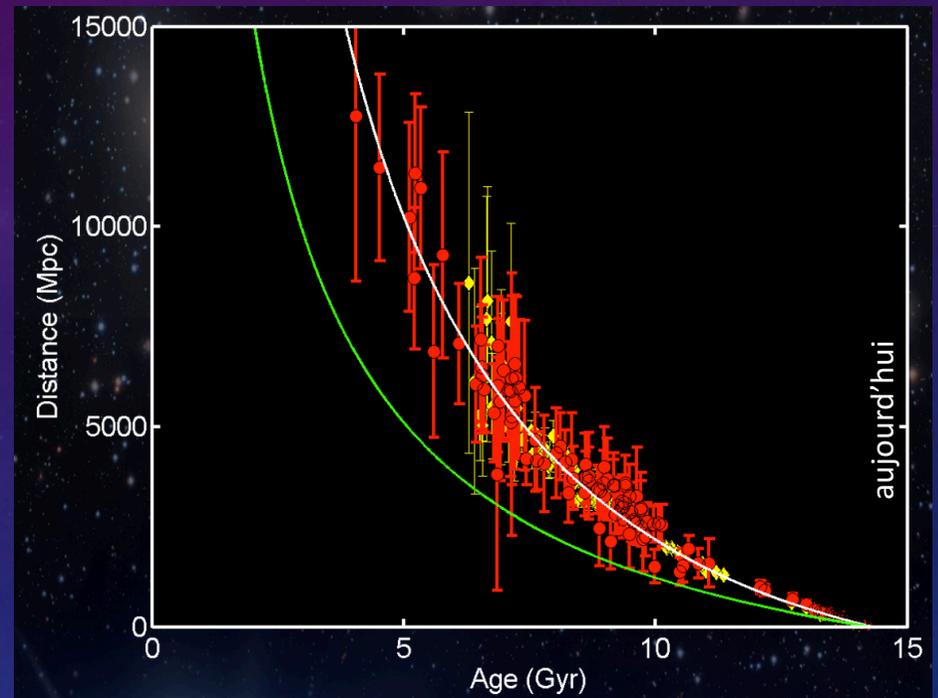
SNe sont moins lumineuses qu'attendues dans un Univers fait que de matière..



Elles sont plus éloignées que prévu



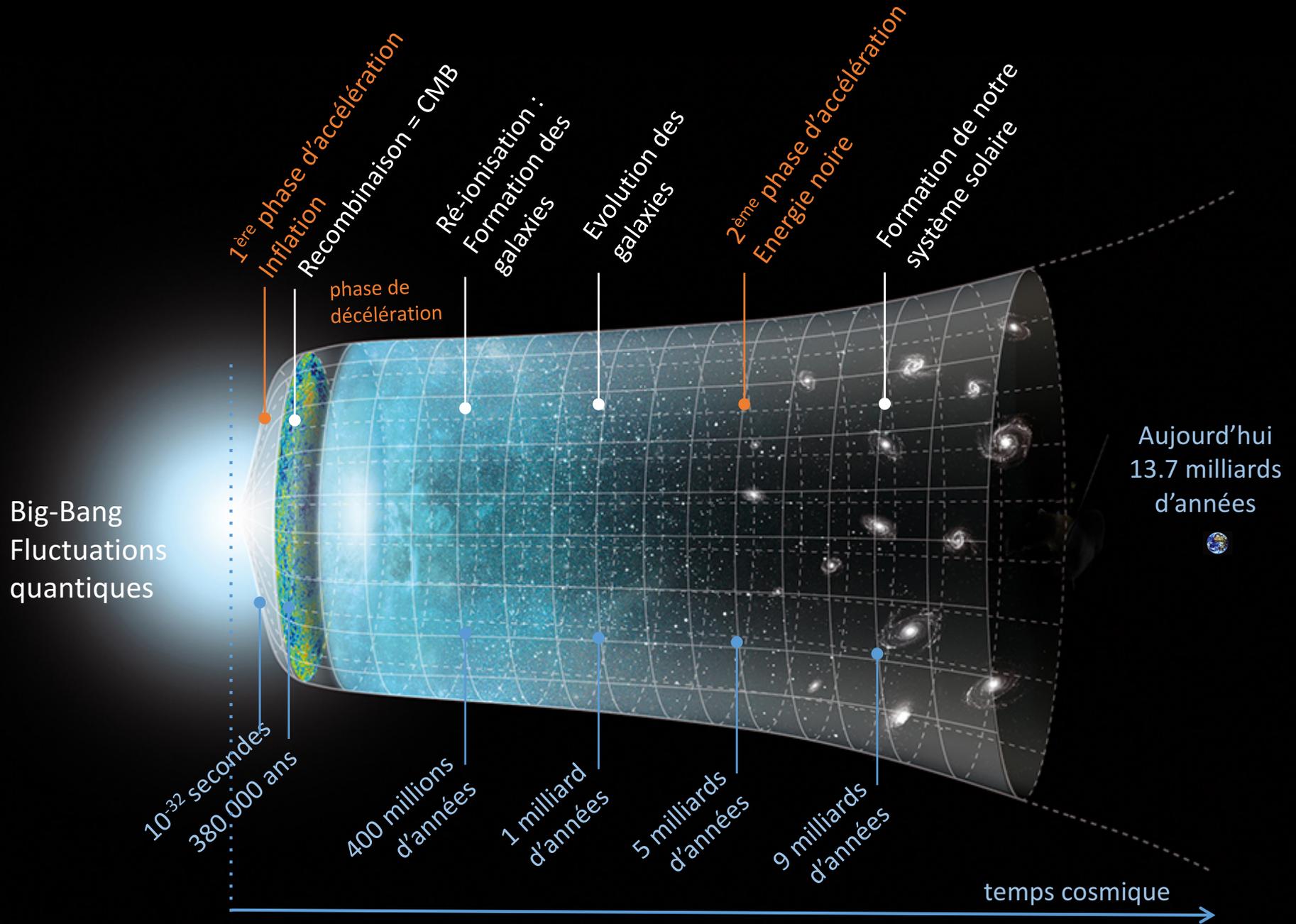
L'expansion cosmique a accélérée



- Décélération (100% Matière)
- Accélération (Matière et **Energie Noire**)

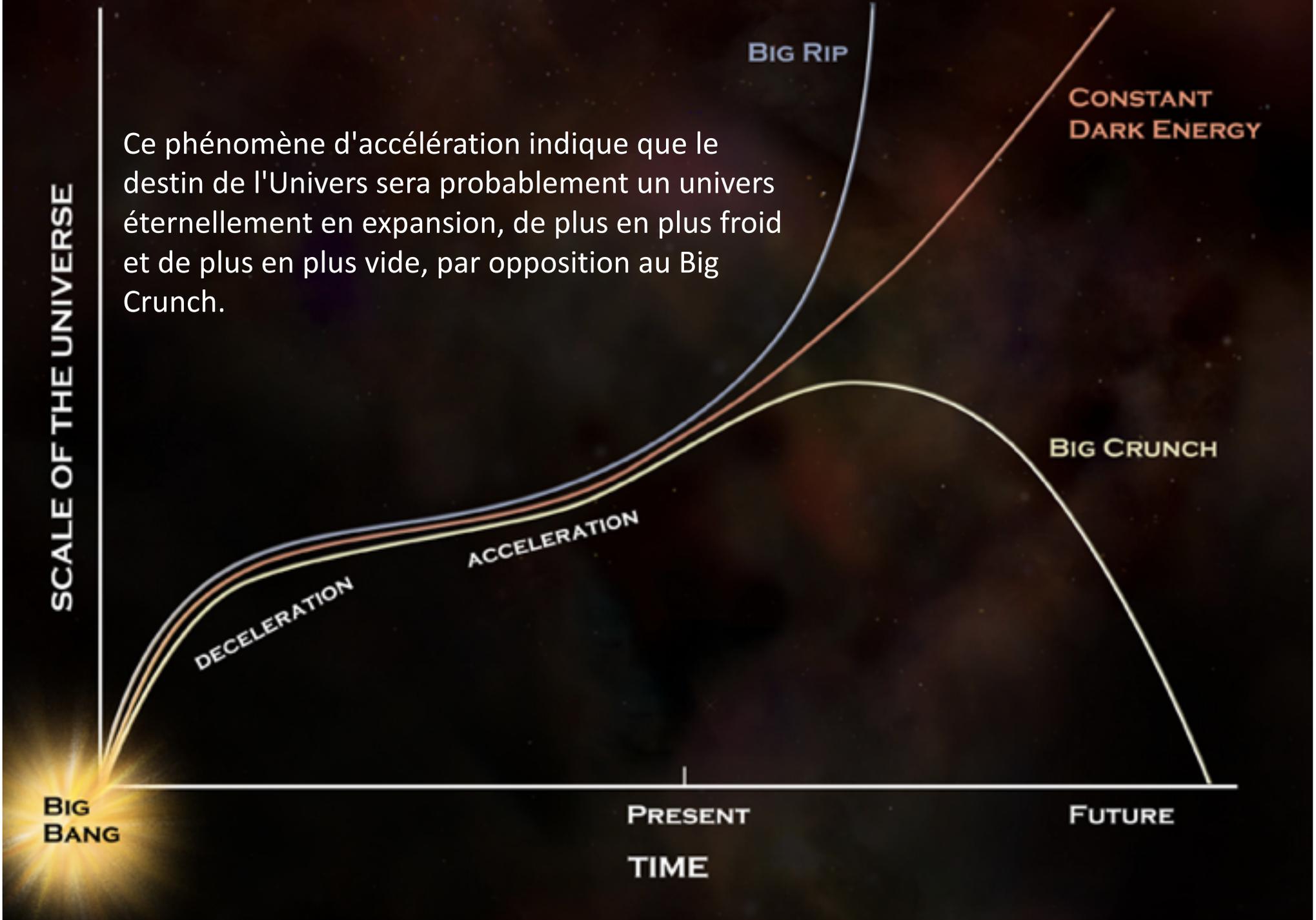
Energie noire = Effet répulsif bien plus intense que le champ gravitationnel

L'histoire de l'Univers



Un Univers en expansion accélérée

Ce phénomène d'accélération indique que le destin de l'Univers sera probablement un univers éternellement en expansion, de plus en plus froid et de plus en plus vide, par opposition au Big Crunch.

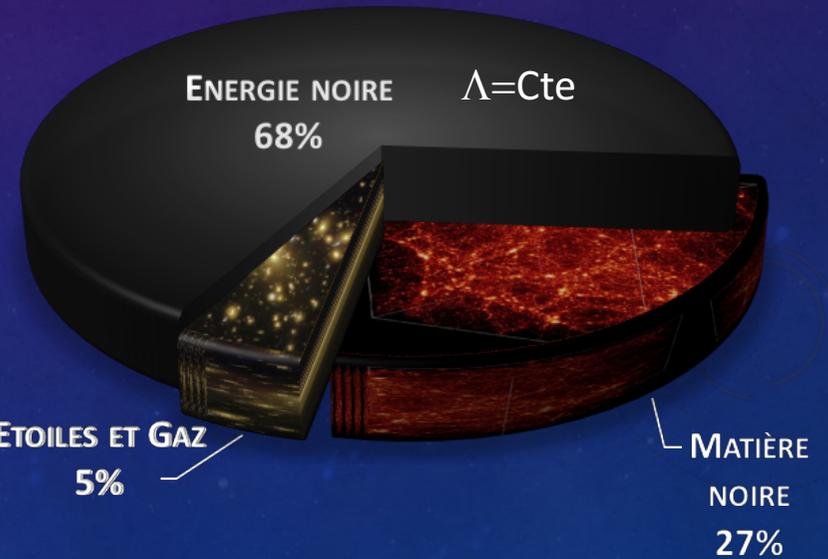
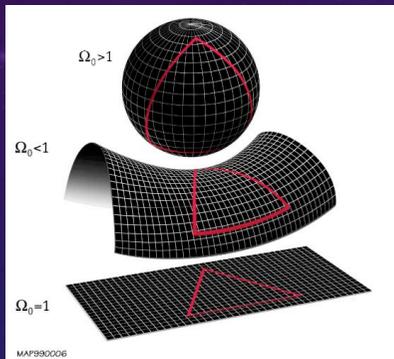


Le modèle standard de la cosmologie

Univers en expansion
Univers homogène et isotrope

Géométrie locale:
Courbure spatiale nulle

Contenu énergétique : composition de l'Univers



Géométrie de l'espace-temps

Contenu en matière et en énergie





LE COTE OBSCUR DE L'UNIVERS

L'énergie noire ?

Constante cosmologique Λ

Energie du vide?

Si lien avec l'énergie du vide, problème de 120 ordres de grandeur !

Energie noire
dynamique

Champ scalaire qui varie dans le
temps et dans l'espace

Gravité modifiée

Modification de la Relativité Générale aux
grandes échelles (théories $f(R)$, où le scalaire
de Ricci R est remplacé par une fonction
d'ordre supérieur en R)

Dimensions supplémentaires?
Nouveau paradigme cosmologique?
Nouvelle physique?
Pesanteur anormale?

+ Lien avec le champ responsable de l'inflation...

La matière noire



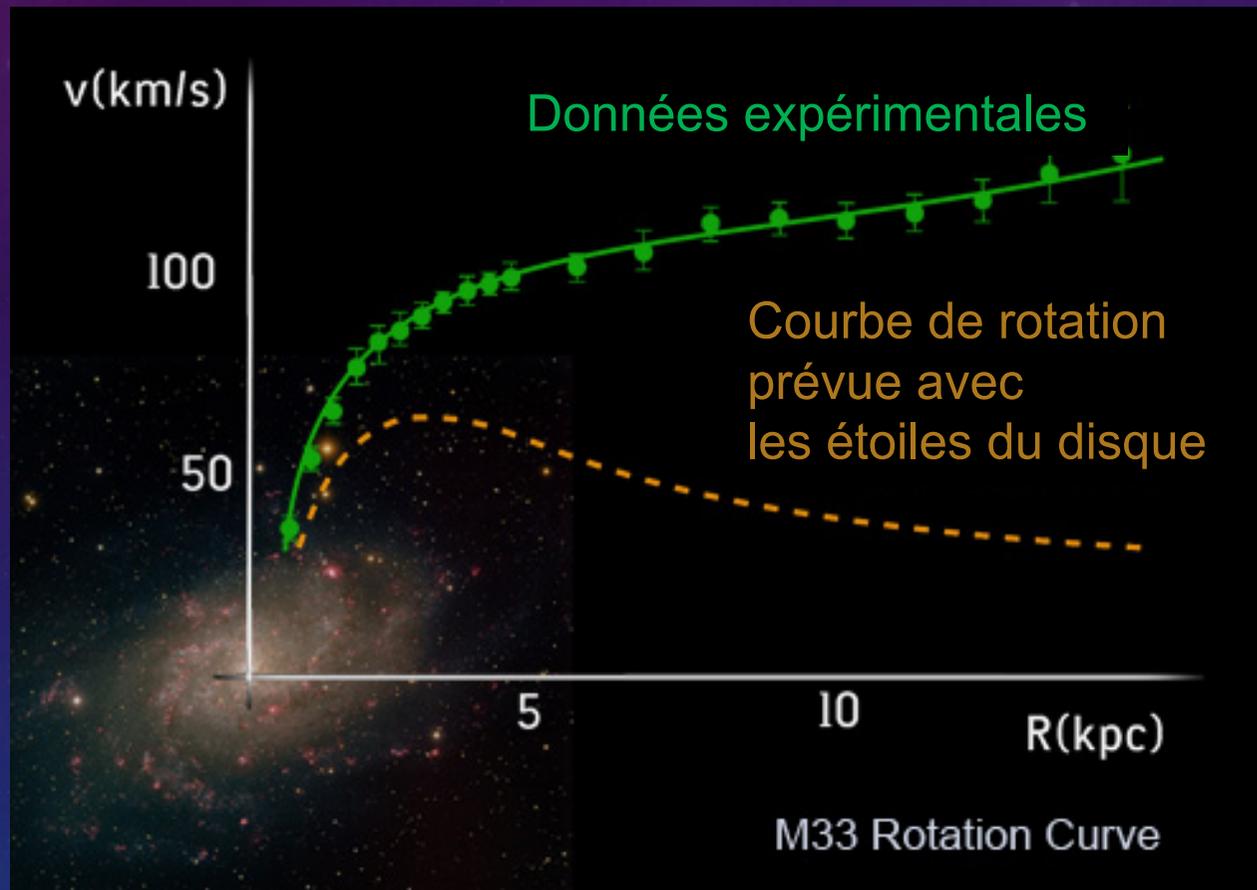
La matière noire n'est pas visible (en fait transparente) et de nature inconnue.

La nucléosynthèse primordiale impose que la matière ordinaire (baryonique) ne représente que 5% de la densité totale, donc que la matière noire représente 27%.

La matière noire Galactique

Les galaxies tournent trop vite dans les amas (F. Zwicky 1933, Badcock 1939)

Les étoiles tournent trop vite autour des galaxies (V. Rubin 1970)



Cohésion: il doit exister une grande quantité de matière invisible!

➔ Matière sombre de 3 à 10 fois plus importante que la matière stellaire.

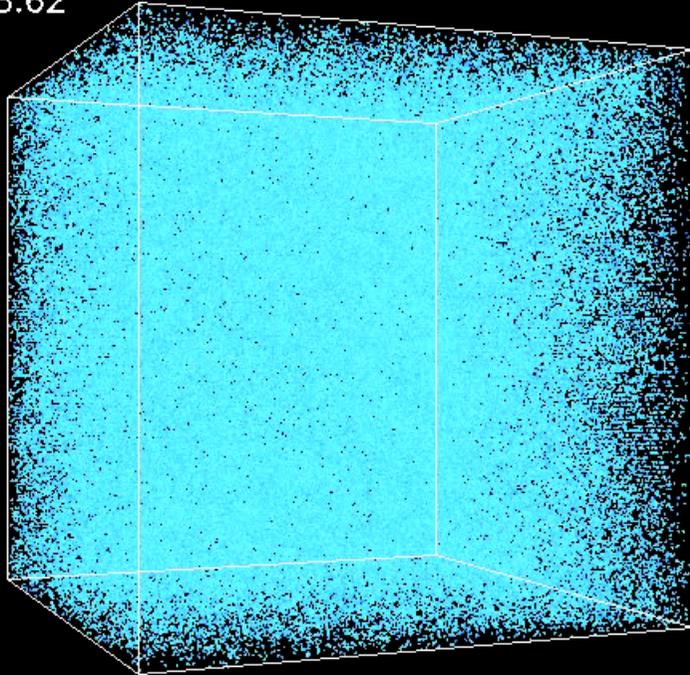
Lentillage gravitationnel

<https://www.youtube.com/watch?v=49L6XY2a-40>

Les mirages gravitationnels nous renseignent sur la distribution de la
matière noire intergalactique

Matière noire et formation des structures

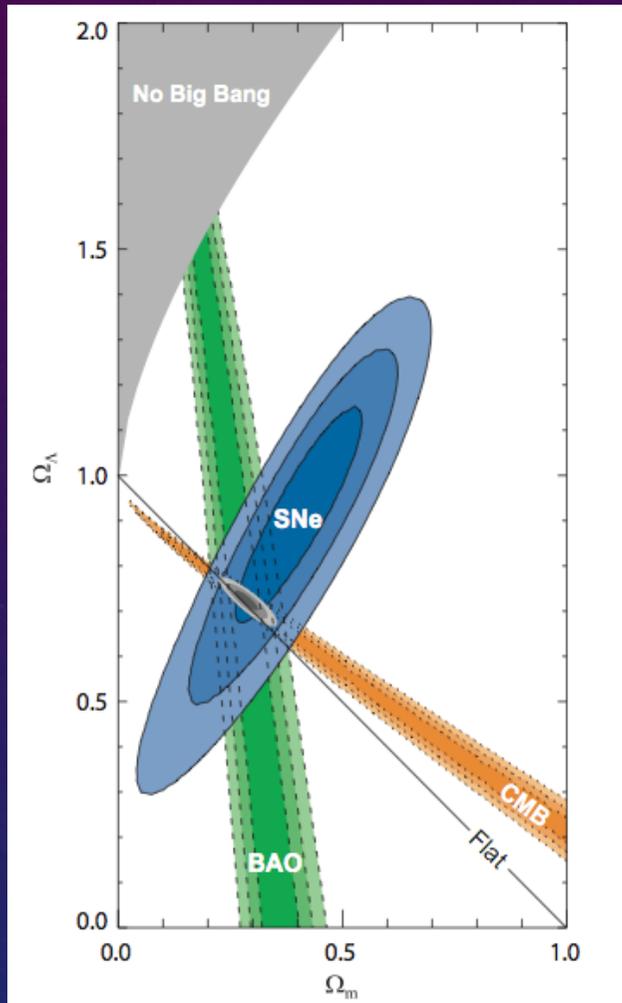
$Z=28.62$



<https://www.youtube.com/watch?v=74lsySs3RGU>

Les simulations numériques nous aident à comprendre comment les galaxies se sont formées à partir de l'effondrement de très grands nuages de gaz.
La matière noire y joue un rôle essentiel en accélérant la formation des galaxies.

Le modèle de concordance



Credit: Kowalski et al. 2008

On parle aussi de **modèle Λ CDM** pour indiquer ses deux constituants majoritaires, à savoir :

- énergie noire, symbolisée depuis Einstein par la lettre grecque Lambda (Λ).
- matière noire froide (pour "Cold Dark Matter")

Nature de l'énergie noire ?

Nature de la matière noire ?

Toutes les méthodes observationnelles convergent vers ce scénario Λ CDM, ou **modèle de concordance**.

$$\Omega_{\Lambda} = 68\%$$

$$\Omega_m = 27\%$$

$$\Omega_k = 0$$

LES GRANDS SONDAGES DE GALAXIES

Les grands sondages de galaxies

Un grand relevé de galaxies = une observation du ciel sur un large champ de vue, et sur de grandes distances

Intérêt

- Est-ce que l'Univers est homogène à grande échelle ?
- Comment se forment et évoluent les galaxies ?
- Quelle est l'histoire cosmique de l'Univers et quel sera son destin ultime ?

Difficulté: Calcul des distances

Observation du ciel en 2D -> Construction d'un catalogue de galaxies en 3D

Deux types de sondages

- Sondage photométrique
- Sondage spectroscopique

Les sondages photométriques

Caméra = gros appareil photographique



Caméra MegaCam =

256 millions de pixels
Champ de vue de 1 deg^2

Installée sur le CFHT en 2001



Les sondages photométriques

A deep-field astronomical image showing a vast field of stars, with many blue stars and a few yellow stars, set against a dark background. The stars are scattered across the frame, with some appearing as bright, distinct points and others as faint, diffuse spots. The overall color palette is dominated by dark blues and blacks, with occasional highlights of yellow and white.

Distance des objets ???

Les sondages photométriques

Les filtres photométriques

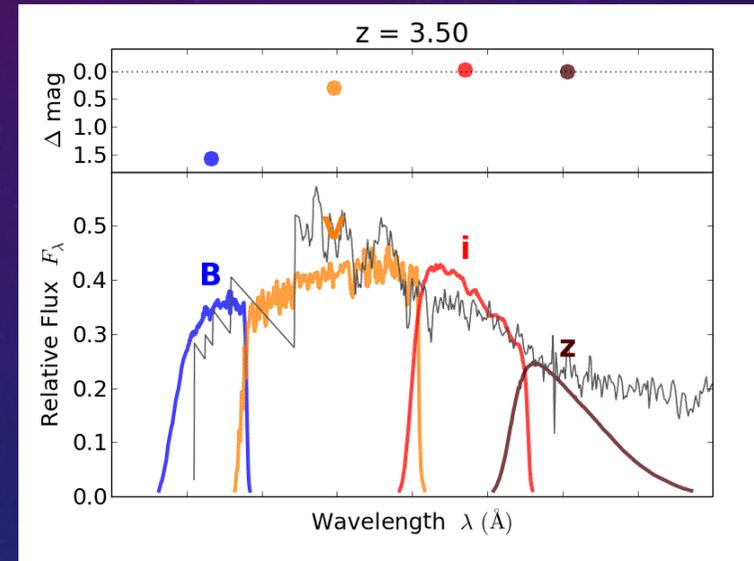


Crédit: LSST

Plus la galaxie est éloignée de nous, plus son spectre est décalé vers les grandes longueurs d'onde

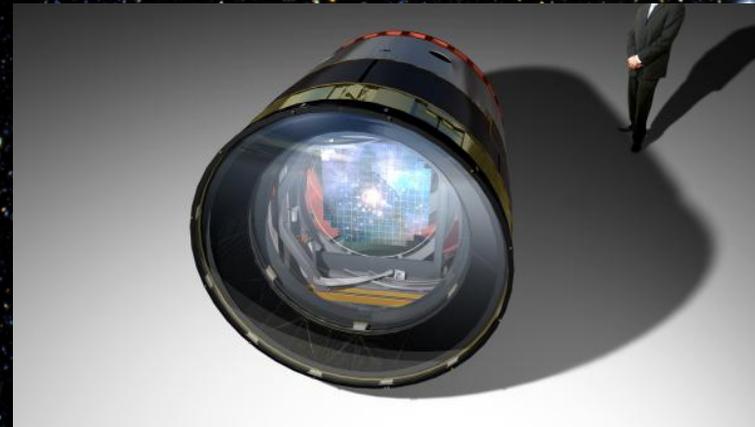
⇒ Le rapport des flux va changer

⇒ Estimation de la distance de l'objet, à $dz = 0.01$ près



Les sondages photométriques

Le Large Synoptic Survey Telescope (LSST)



3,2 milliards de pixels
Champ de vue de 40 deg²
5 filtres

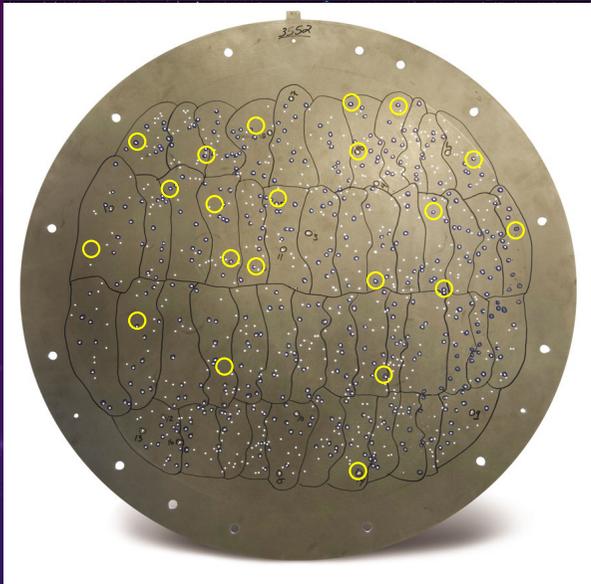
Premières lumières en 2022

Plusieurs milliards d'objets seront observés en 10 ans

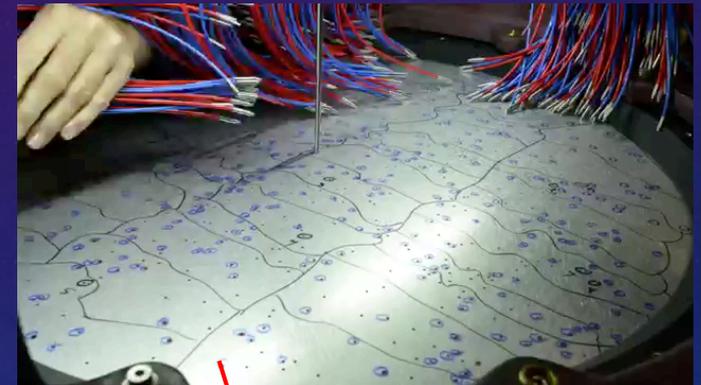
Crédit: LSST

Les sondages spectroscopiques

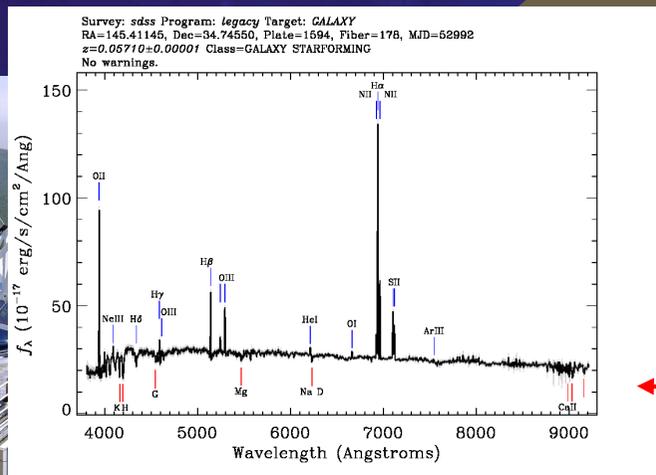
- Photométrie profonde en plusieurs couleurs
- Sélection des objets
- Spectroscopie multi-objets



Précision des trous à 0,009 mm



1000 fibres / plaques
5-6 plaques / nuit

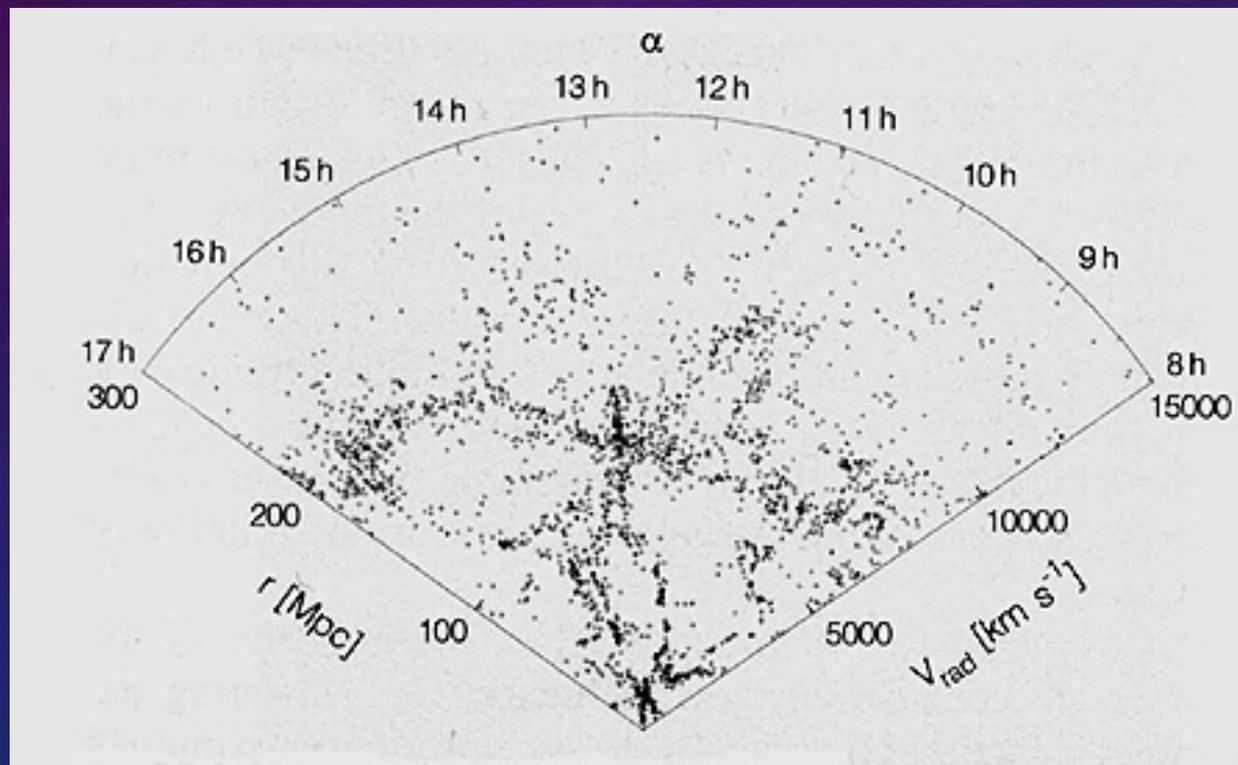


80 cm

⇒ Estimation de la distance de l'objet, à dz = 0.001 près

Le « Grand Mur »

- **1989**: Le sondage de galaxies **CfA** a été le premier relevé systématique de **2400** galaxies sur environ 20% du ciel qui a révélé l'existence des grandes structures.

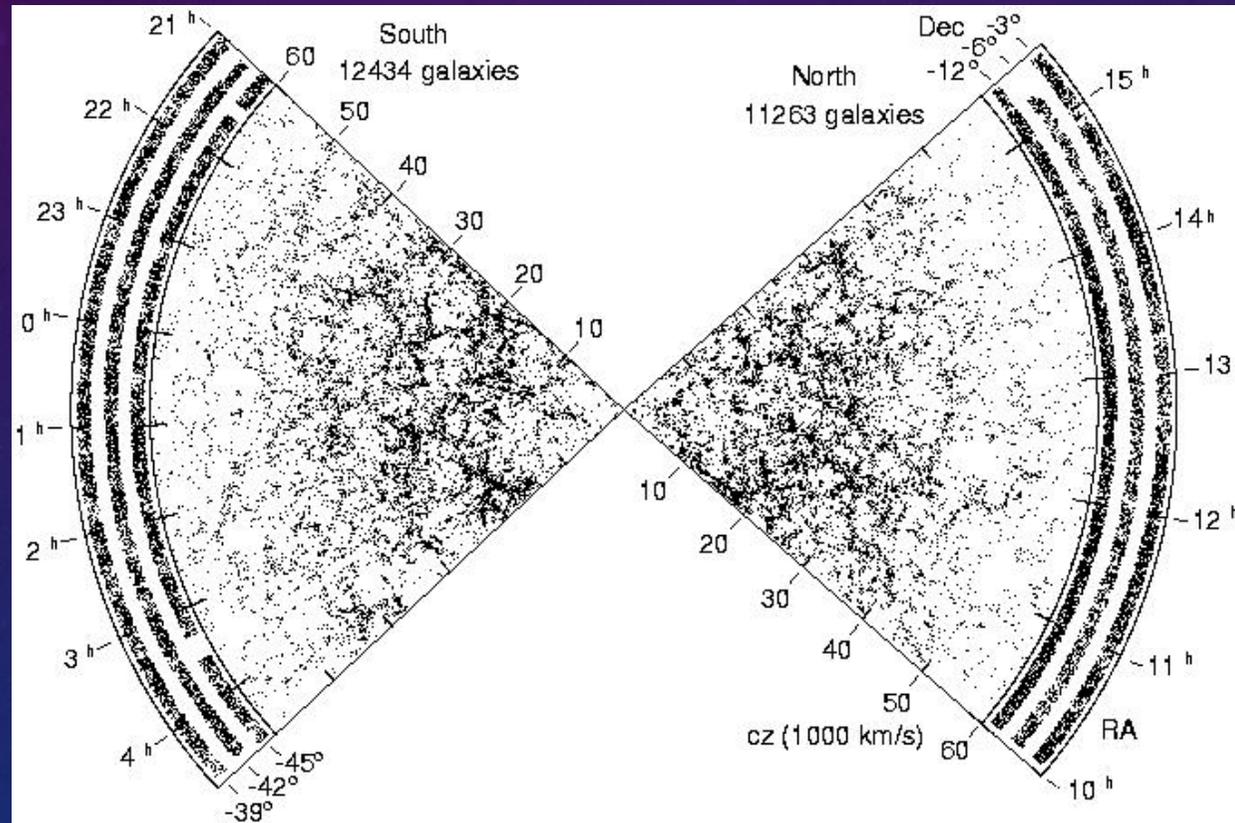


Geller et Huchra (1989), Science 246, 897.

Il a montré qu'à une échelle inférieure à 200 Mpc, l'Univers est encore très hétérogène.

L'étude des grandes structures

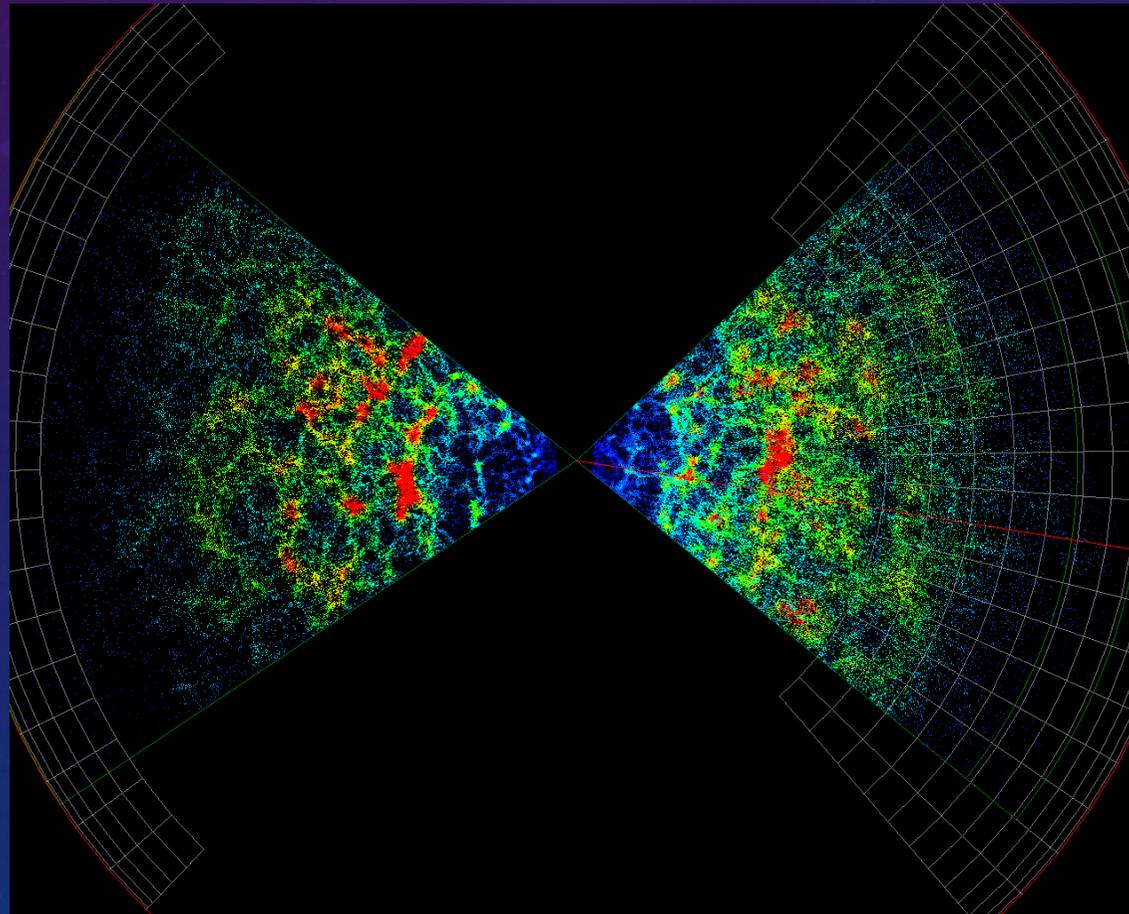
- **1989**: Le sondage de galaxies CfA a été le premier relevé systématique de **2400** galaxies sur environ 20% du ciel qui a révélé l'existence des grandes structures.
- **1996** : Las Campanas Redshift Survey mesure **25 000** galaxies sur 1,7 % du ciel



➔ Confirmation des superamas et des vides

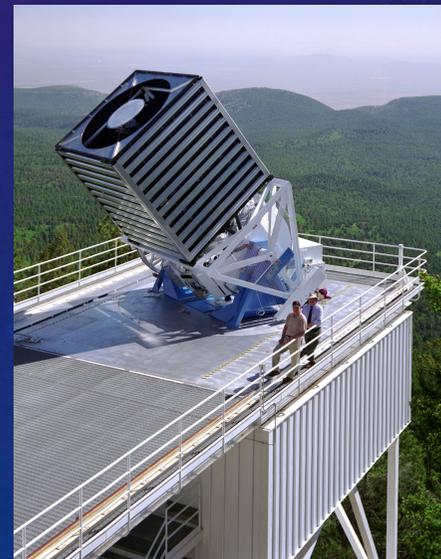
L'étude des grandes structures

- **1989**: Le sondage de galaxies **CfA** a été le premier relevé systématique de **2400** galaxies sur environ 20% du ciel qui a révélé l'existence des grandes structures.
- **1996** : **Las Campanas Redshift Survey** mesure **25 000** galaxies sur 1,7 % du ciel
- **2005**: Le **2dFGRS** mesure **250 000** galaxies sur 1500 deg² (5% du ciel)



L'étude des grandes structures

- **1989**: Le sondage de galaxies **CfA** a été le premier relevé systématique de 2400 galaxies sur environ 20% du ciel qui a révélé l'existence des grandes structures.
- **1996** : **Las Campanas Redshift Survey** mesure 25 000 galaxies sur 1,7 % du ciel
- **2005**: Le **2dFGRS** mesure 250 000 galaxies sur **1500 deg²** (5% du ciel)
- **2009**: le **6dFGS** mesure le spectre de 100 000 nouvelles galaxies sur **17 000 deg²** (50% du ciel)
- **2014**: le **SDSS** (Sloan Digital Sky Survey) mesure **1 million de galaxies** sur 25 % du ciel.



Le relevé de galaxies - Sloan (SDSS)

SDSS et SDSS-II (2000-2008)

Grand mur de Sloan



Carte 3D de 200 000 galaxies

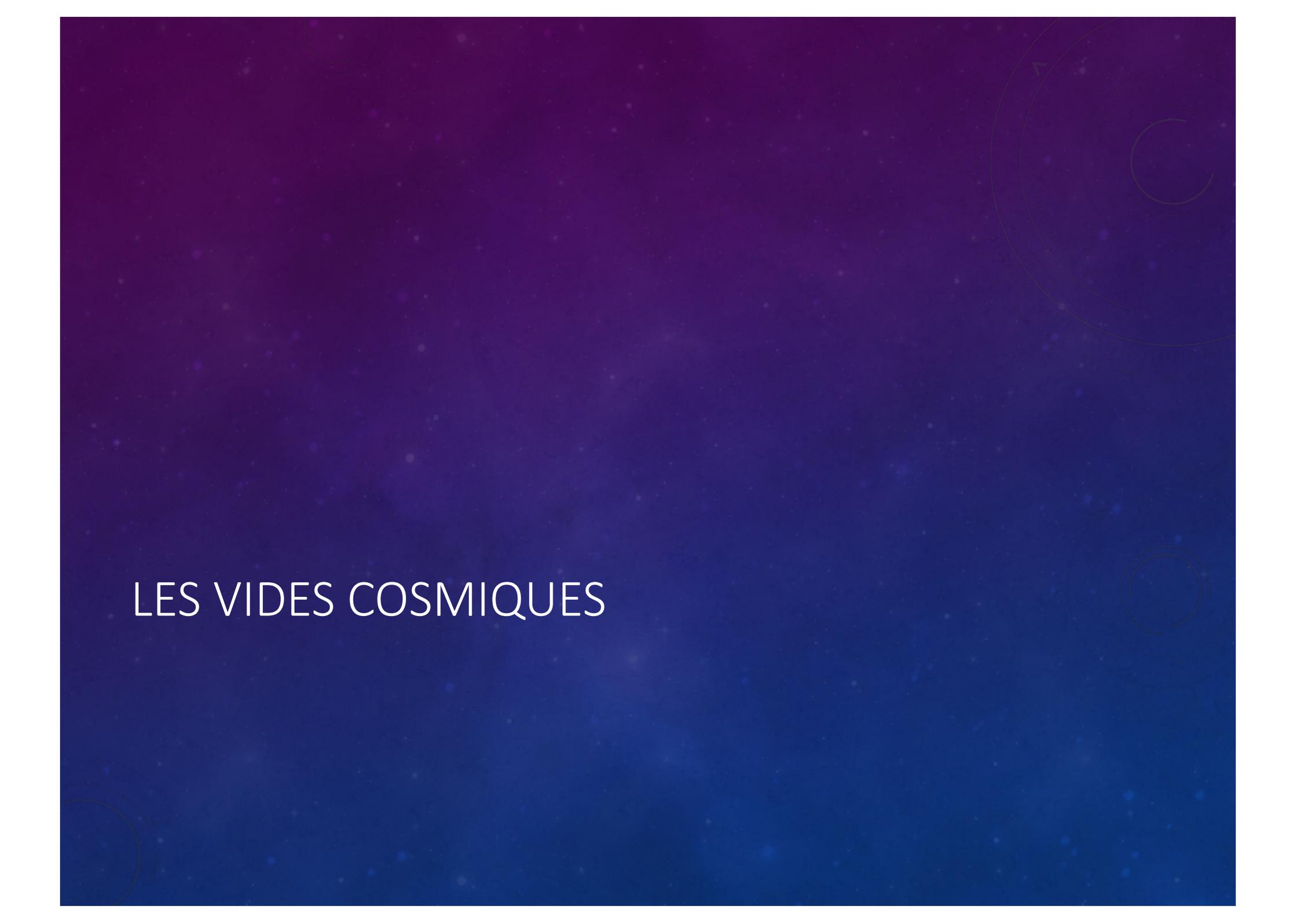
Le relevé de galaxies BOSS - (SDSS-III)

<https://www.youtube.com/watch?v=08LBltePDZw>

Structures à grandes échelles

Une cartographie qui voit apparaître les filaments, les vides, des structures primordiales d'il y a près de 5 milliards d'années-lumière...

LES VIDES COSMIQUES

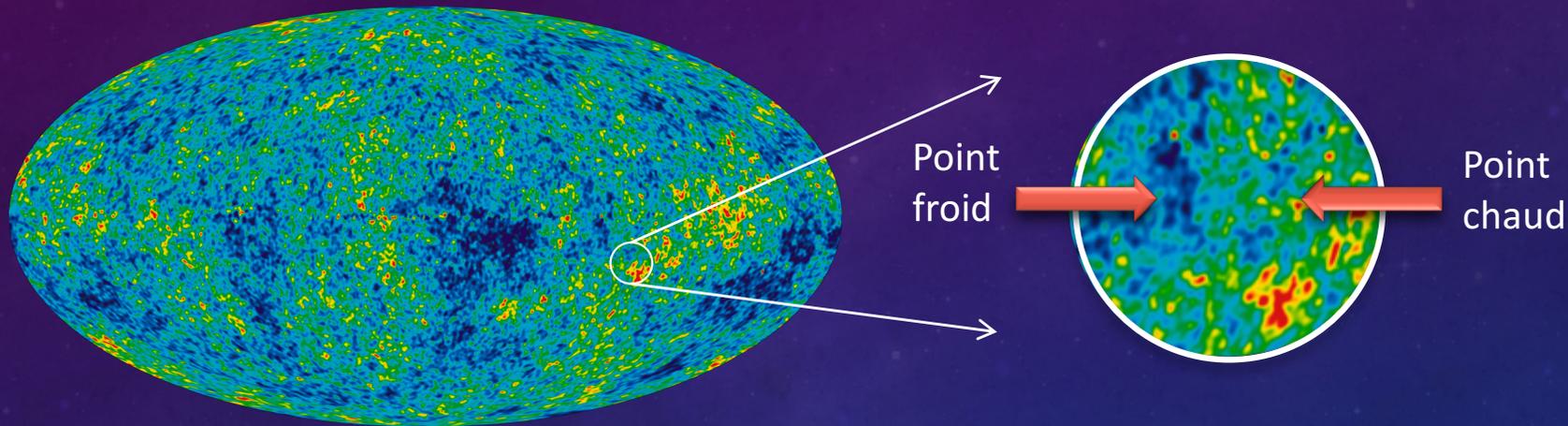
The background is a dark blue gradient with a field of small white dots representing stars. On the right side, there are faint, light-colored circular outlines representing cosmic voids. One large circle is in the upper right, and a smaller one is below it. In the lower right, there are two concentric circles. In the lower left, there is a partial circle. The text 'LES VIDES COSMIQUES' is centered in the lower-left quadrant.

A dense field of stars in shades of teal and blue against a dark background. The stars vary in brightness and size, creating a rich, textured appearance. The overall color palette is dominated by deep blues and vibrant teals, with some brighter, more prominent stars scattered throughout.

Qu'est-ce qu'un vide cosmique ?

Formation des vides cosmiques

Le Fonds Diffus Cosmologique (CMB) est l'empreinte de la distribution de matière à l'époque de la recombinaison, soit 380 000 ans après le Big-Bang.

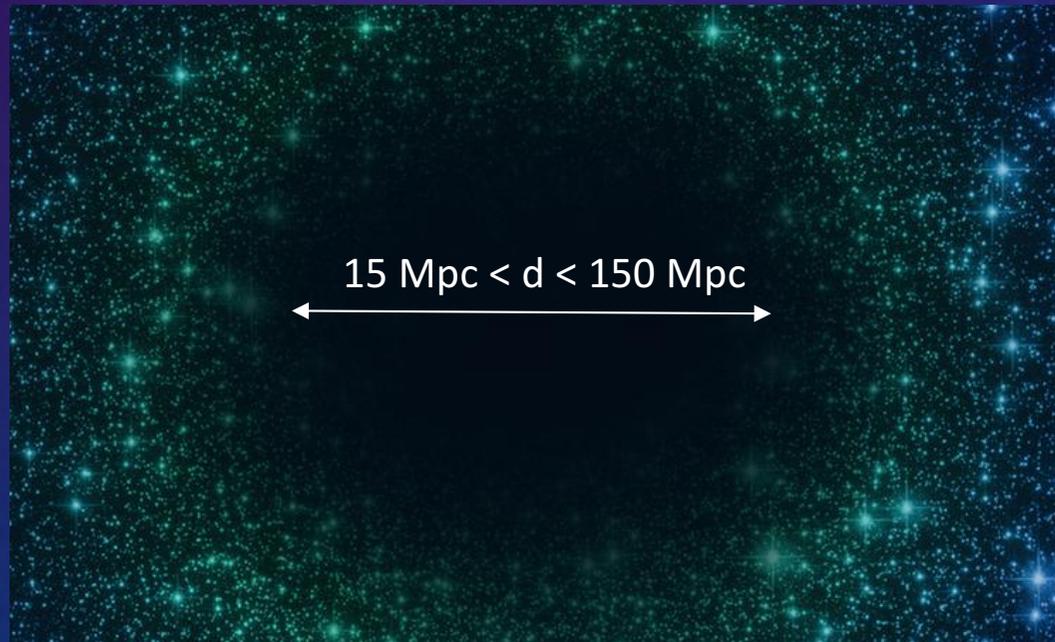


Formation des structures cosmiques

- **Points chauds:** le gaz s'effondre gravitationnellement dans les régions un peu plus denses que la moyenne : c'est la formation des structures cosmiques: naissance des galaxies et des amas de galaxies.
- **Points froids:** régions de sous-densités de matière, qui donneront naissance aux vides cosmiques.

Carte d'identité des vides cosmiques

- Régions vides de matière, en tous cas qui contiennent très peu de galaxies
- Typiquement ont une densité de l'ordre de 1/10 de la densité moyenne de l'Univers
- Les vides séparent les amas de galaxies et les filaments des uns des autres
- Occupent 95% de notre Univers
- Ont un diamètre entre 15 et 150 *Mpc* (*entre 50 et 500 millions années-lumière*)



Construction des vides cosmiques

Algorithme VIDE: Void IDentification and Examination

Les vides cosmiques sont définis à partir des galaxies

Etape 1: Pavage en cellules à partir d'un ensemble de points



Construction des vides cosmiques

Algorithme VIDE: Void IDentification and Examination

Les vides cosmiques sont définis à partir des galaxies

Etape 1: Décomposition de Voronoï

Découpage du plan (pavage) en cellules à partir d'un ensemble discret de points.

Ici les points sont les galaxies.

A chaque galaxie (cellule) est associée un volume V_i , ainsi qu'une densité:

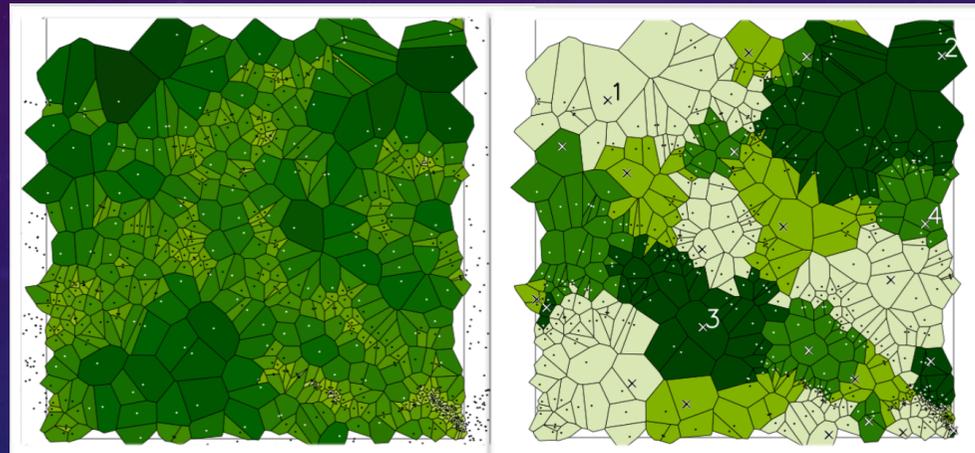
$$\rho = \frac{1}{V_i}$$



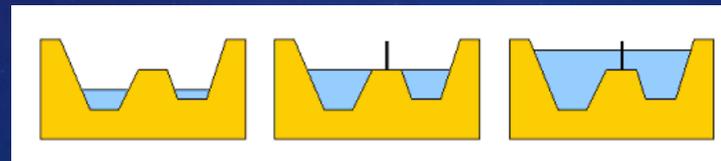
Construction des vides cosmiques

Algorithme VIDE: Void IDentification and Examination

Etape 2: Transformée Watershed



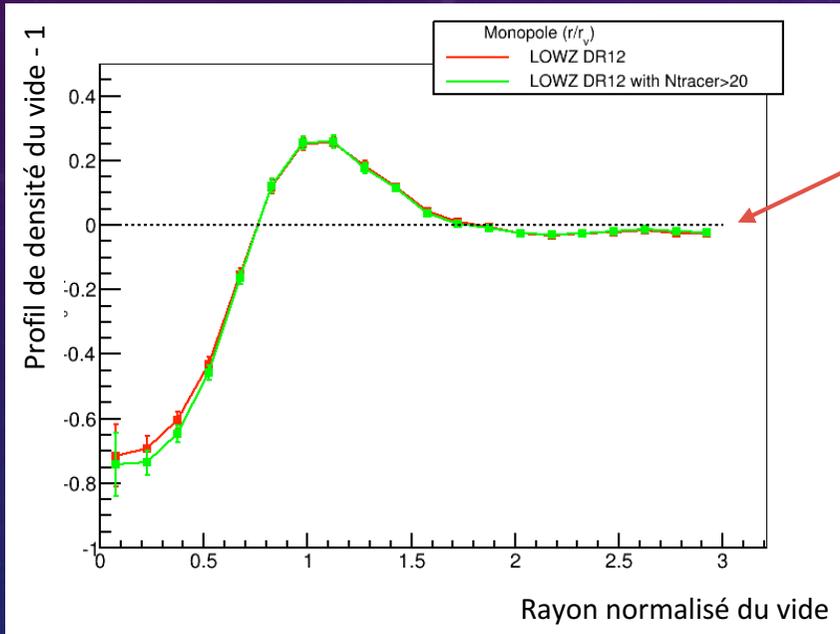
Les bassins sont unis en un même vide si le bord entre eux est celui à plus faible densité.



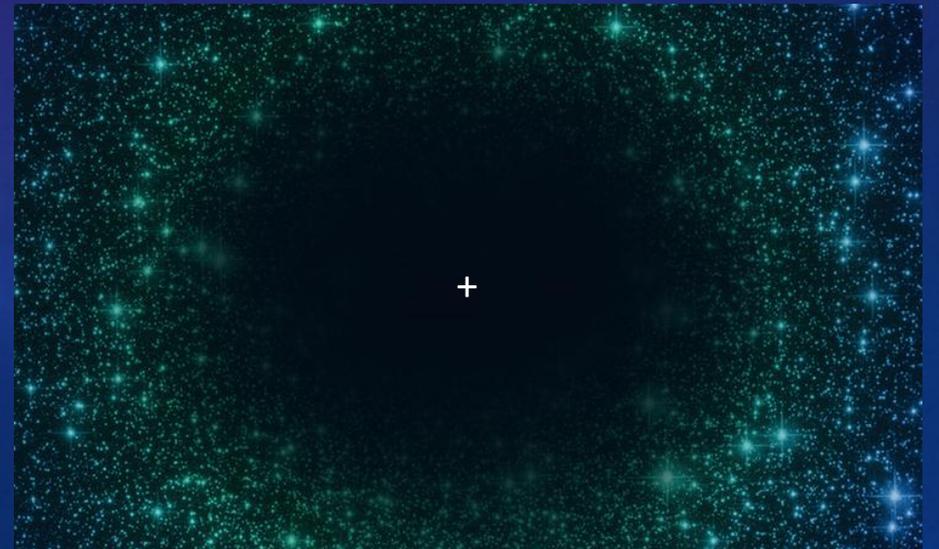
Construction des vides cosmiques

Algorithme VIDE

Profil de densité d'un vide cosmique



Densité moyenne de l'Univers $\bar{\rho} - 1$



Définition des vides cosmiques

Il existe de nombreuses définitions des vides cosmiques, dépendantes de l'algorithme utilisé pour les trouver.

Il n'y a pas de bonne ou de mauvaise définition. Il y a des définitions plus sensibles en fonction de l'application.

Nous devons nous assurer que la définition choisie maximise le signal.

**Les vides cosmiques, par définition, contiennent peu de matière.
Si l'énergie noire existe, elle doit dominer l'évolution et les propriétés des vides.**



Comment utiliser les vides
pour extraire de l'information cosmologique ?

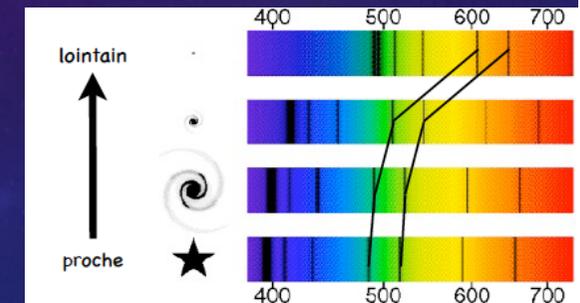
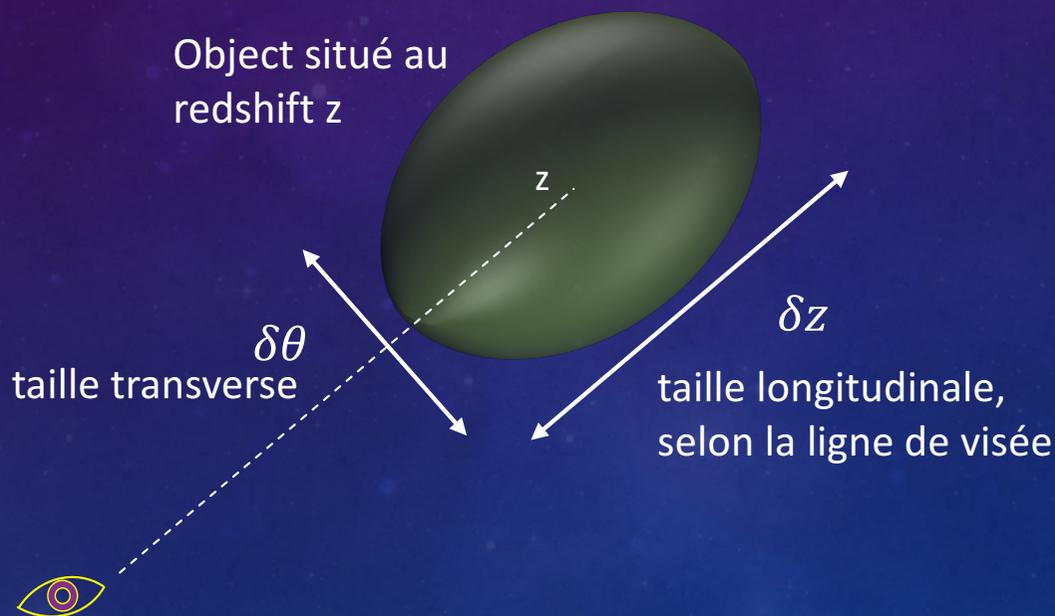
Le test d'Alcock-Paczynski

Le test d'Alcock-Paczynski

Test cosmologique proposé en 1979 pour mesurer l'histoire cosmique de l'Univers

RAPPEL sur les notions de distances

Principale difficulté en cosmologie, on ne mesure pas des distances, mais **des redshifts et des angles**.



Mesure du redshift

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

Pour convertir ces mesures en distances physiques, nécessité d'introduire un modèle cosmologique ($\Omega_M, \Omega_\Lambda, \Omega_k$)

Le test d'Alcock-Paczynski

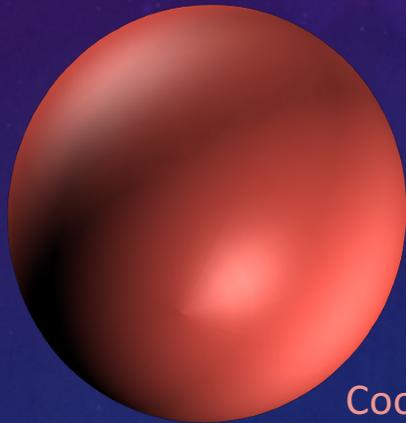
Test cosmologique proposé en 1979 pour mesurer l'histoire cosmique de l'Univers

PRINCIPE

On suppose un objet à symétrie sphérique, soit

$$\Delta r_{\parallel} = \Delta r_{\perp}$$

Espace réel

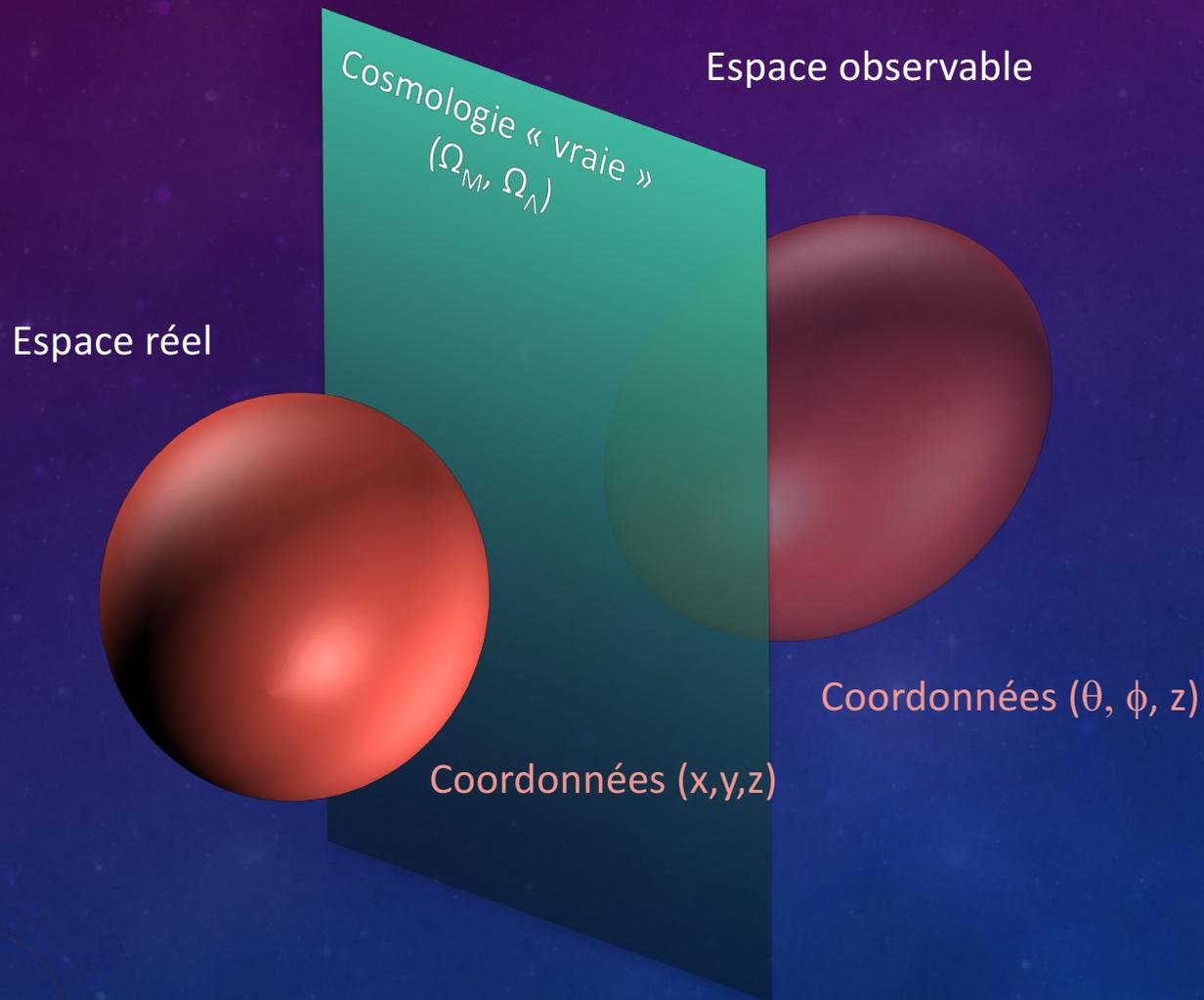


Coordonnées (x,y,z)

Le test d'Alcock-Paczynski

Test cosmologique proposé en 1979 pour mesurer l'histoire cosmique de l'Univers

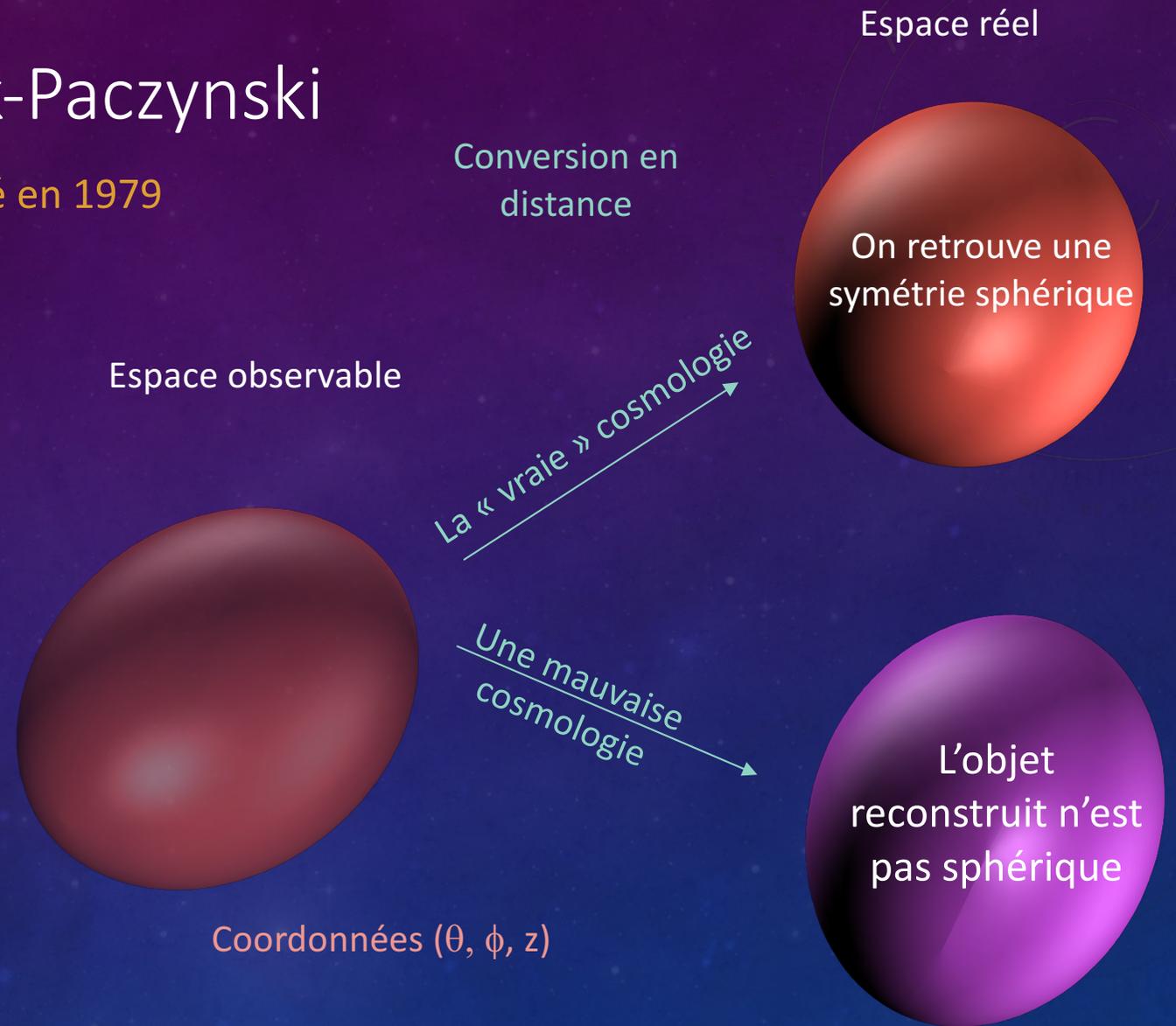
PRINCIPE



Le test d'Alcock-Paczynski

Test cosmologique proposé en 1979

PRINCIPE

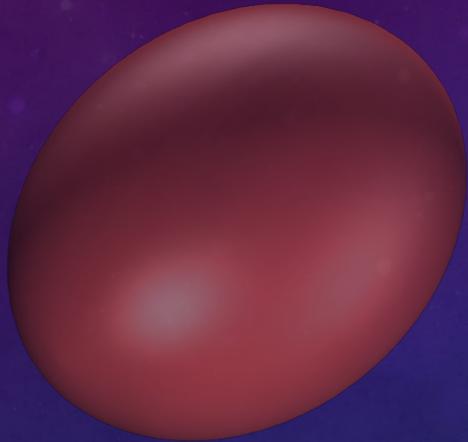


La cosmologie vraie est celle pour laquelle un objet « sphérique » est reconstruit « sphérique »

Le test d'Alcock-Paczynski

Test cosmologique proposé en 1979 pour mesurer l'histoire cosmique de l'Univers

FORMULATION Mathématique



$$\Delta r_{\perp} = D_A(z) \Delta \theta$$

$D_A(z)$ est la distance de diamètre angulaire

$$\Delta r_{\parallel} = \frac{c \Delta z}{H(z)}$$

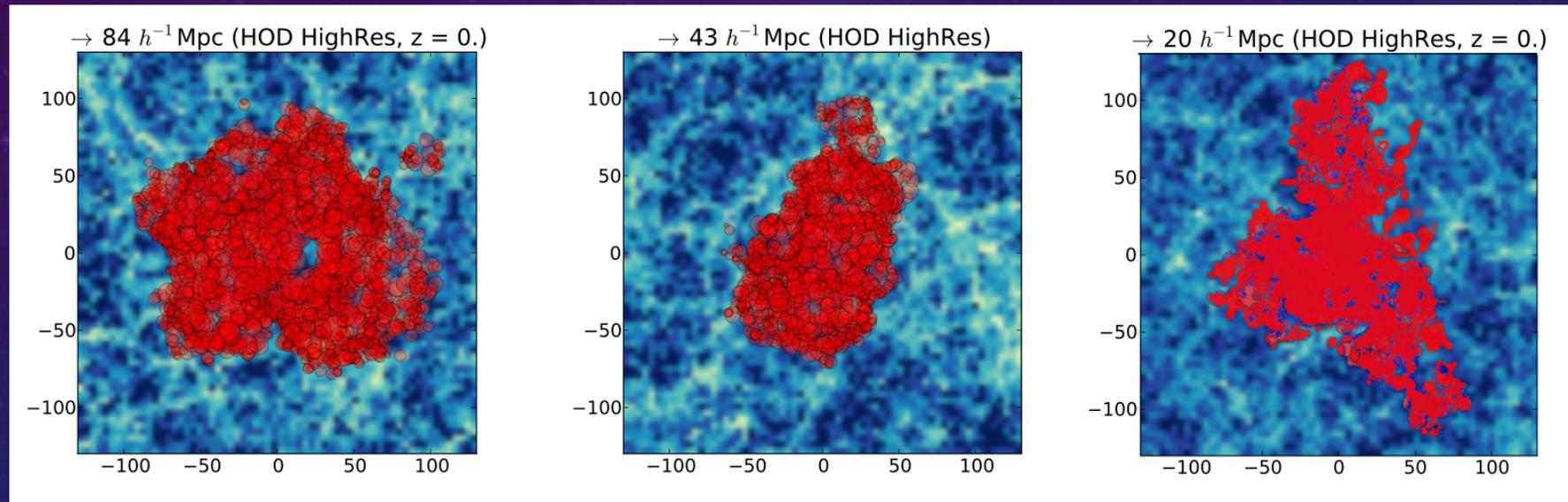
$H(z)$ est le paramètre de Hubble

Symétrie sphérique: $\Delta r_{\parallel} = \Delta r_{\perp}$ donc $\frac{c \Delta z}{\Delta \theta} = D_A(z) H(z)$

Le test d'Alcock-Paczynski

APPLICATION aux vides cosmiques

Idée de Barbara Ryden: appliquer ce test aux vides cosmiques (1995)



Mais les vides ont tous des formes différentes!!!

Comment appliquer le test AP ?

Le test d'Alcock-Paczynski

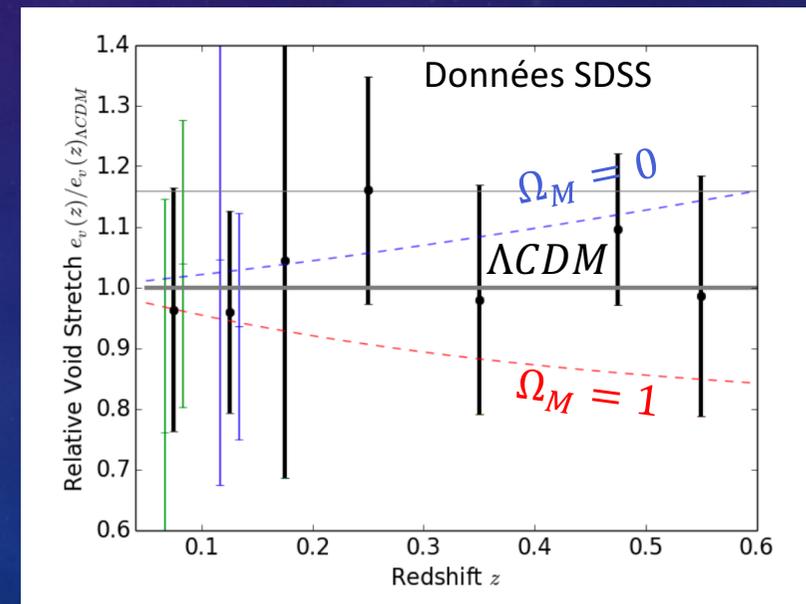
APPLICATION aux vides cosmiques

Astuce proposée en 2012 avec l'arrivée des sondages de galaxies de plus en plus grands:
Empilement des vides cosmiques (Lavaux et Wandelt 2012)

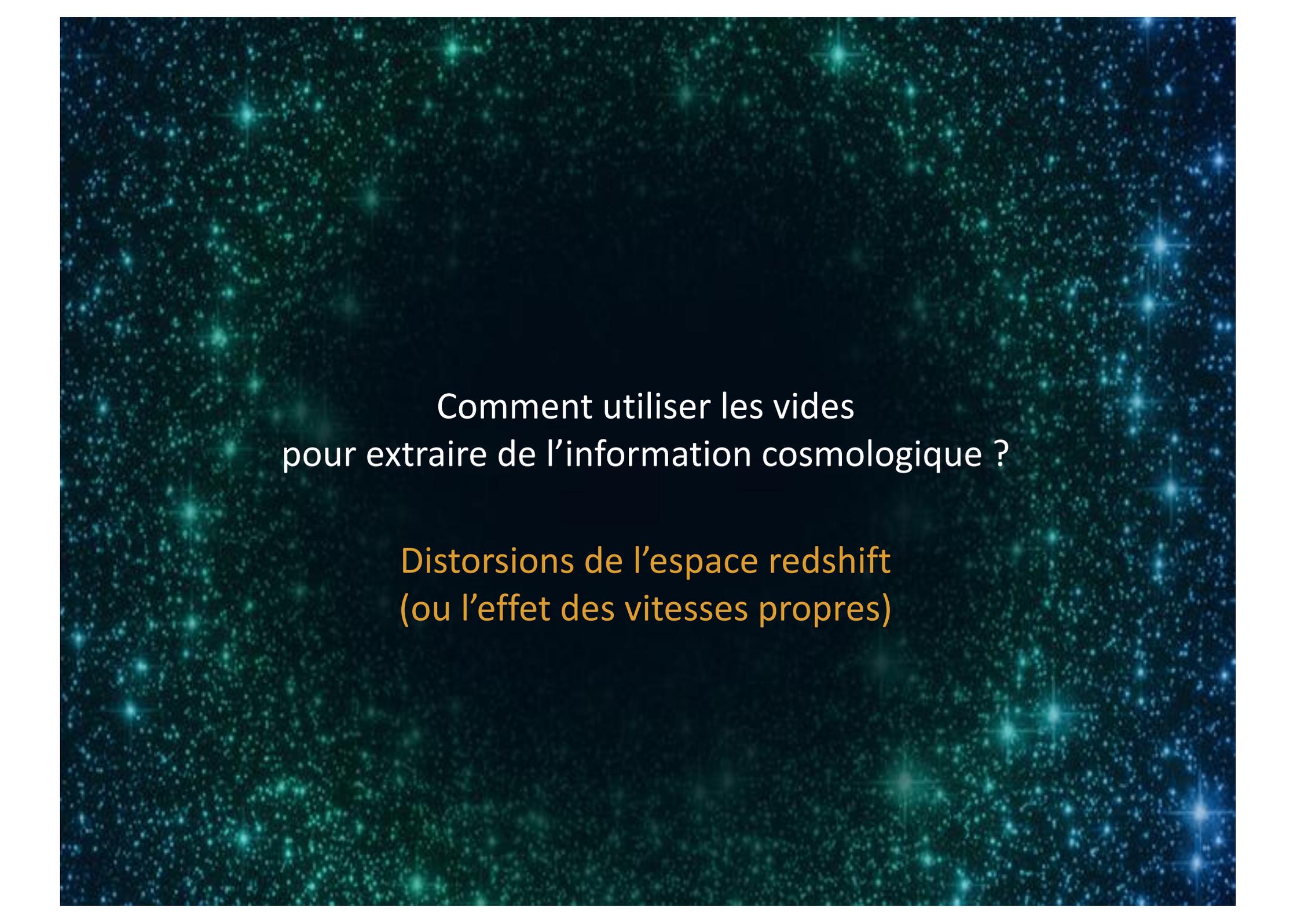
En accord avec le principe cosmologique, dans un Univers homogène et isotrope, les vides doivent, en moyenne, être sphériques.



→ Le test AP peut s'appliquer sur les vides cosmiques.



Sutter et al 2014



Comment utiliser les vides
pour extraire de l'information cosmologique ?

Distorsions de l'espace redshift
(ou l'effet des vitesses propres)

L'effet des vitesses propres

Le redshift mesuré se compose de 2 contributions :

$$cz = H_0 d + v \cos \theta$$

redshift cosmologique
Effet de l'expansion

redshift Doppler
Effet des vitesses propres

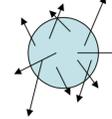


Deux régimes de déformations (RSD)

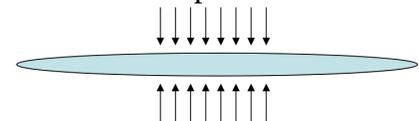
- Une contribution dominante aux petites échelles (< 1 Mpc), qui provient de vitesses aléatoires des galaxies les unes par rapport aux autres.
- Une contribution sur des échelles plus grandes, correspondant aux mouvements des galaxies qui tombent sur des structures plus grosses. Ce mouvement est cohérent entre les galaxies adjacentes qui vont se déplacer dans la même direction.

Random (thermal) motion

(fingers-of-god)



Coherent/supercluster infall



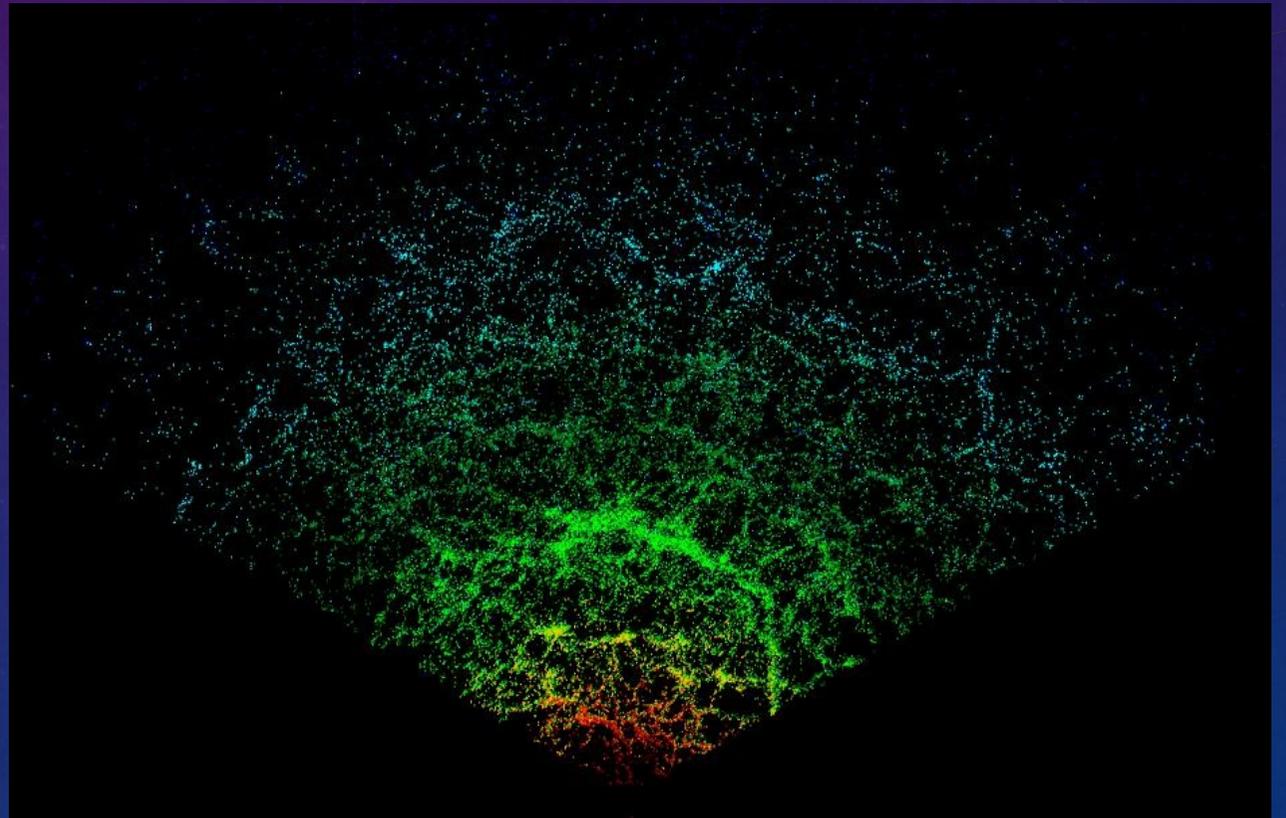
L'effet des vitesses propres

Le redshift mesuré se compose de 2 contributions :

$$cz = H_0 d + v \cos \theta$$

redshift cosmologique
Effet de l'expansion

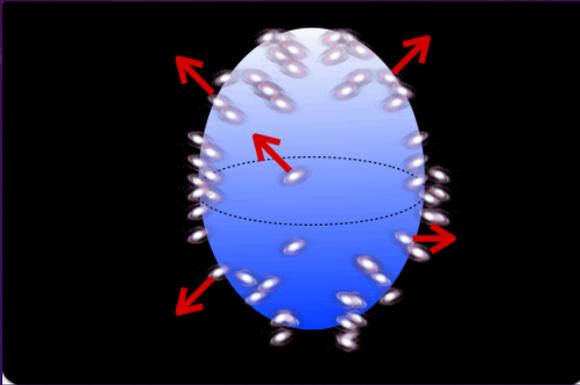
redshift Doppler
Effet des vitesses propres



Les vitesses propres déforment les structures dans l'espace des redshifts

La croissance des structures

Dégénérescence avec le test AP



Ces vitesses propres vont modifier la forme des vides, donc il faudra sans affranchir pour le test AP.

Test clé pour confronter l'énergie noire aux modèles de gravité modifiée

la croissance des structures est mesurable grâce aux vitesses propres des galaxies, y compris celles autour des vides cosmiques

$$\beta = \frac{f}{b} = \frac{\Omega_m(z)^\gamma}{b}$$

f: taux de croissance des structures

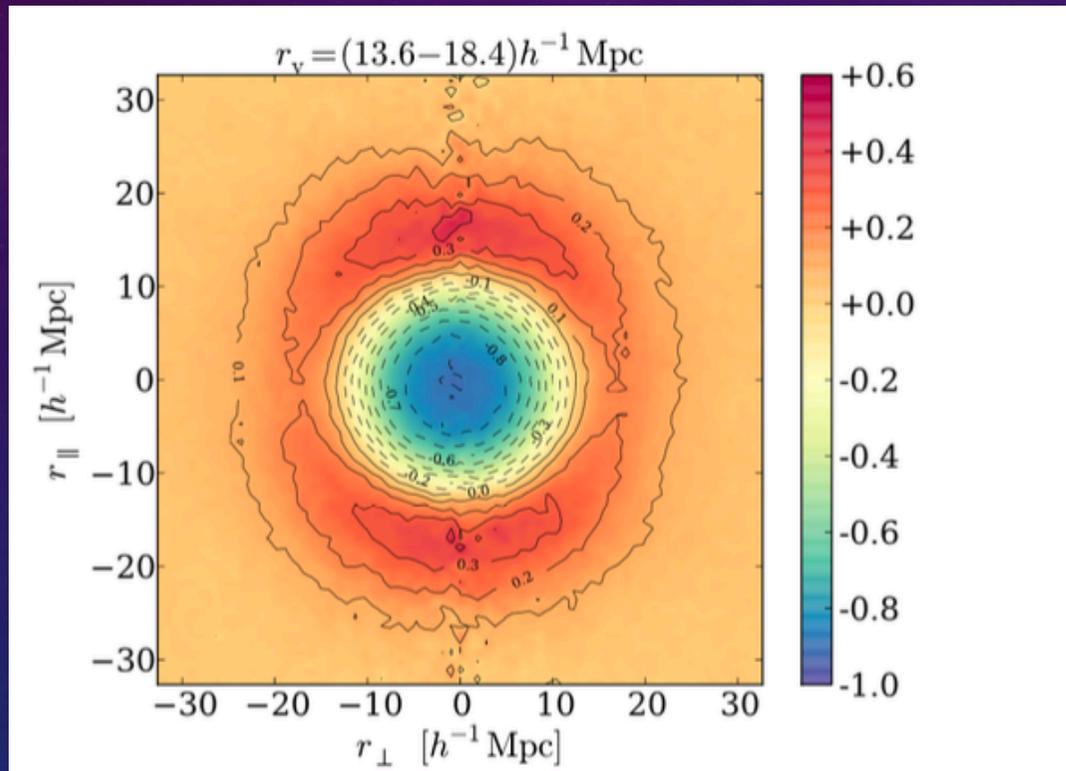
b: biais des galaxies

La Relativité Générale fait une prédiction unique sur la croissance des structures, $\gamma = 0.55$.

→ tout écart par rapport à cette valeur signerait une déviation par rapport aux lois de la RG

La croissance des structures

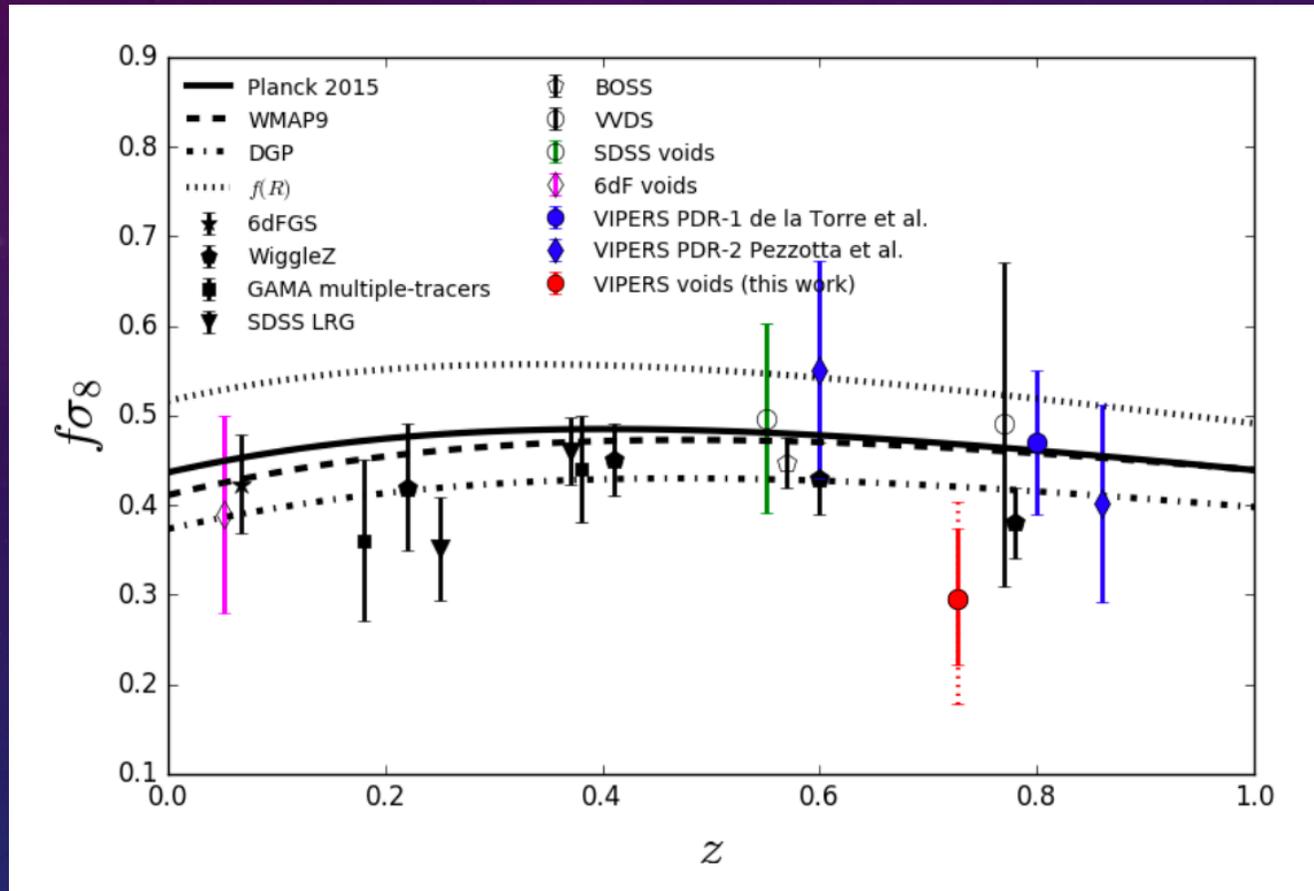
Application aux vides cosmiques



Hamaus et al. 2015

Modélisation des vitesses propres dans les vides

La dynamique des vides



Hawken et al. 2017

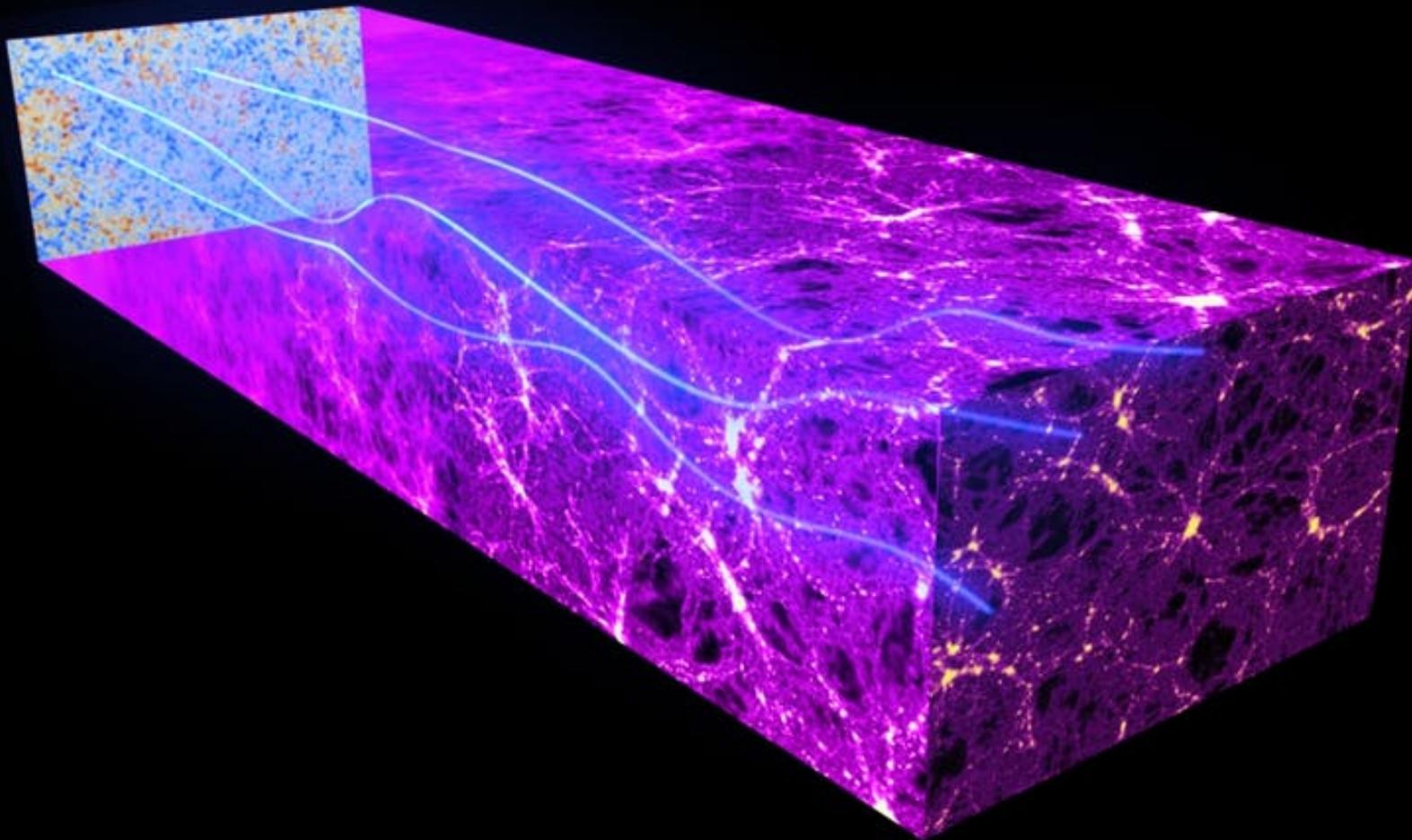
Le taux de croissance des structures peut être mesuré aussi bien avec la distribution de galaxies, qu'avec les vides cosmiques ... méthodes complémentaires



Comment utiliser les vides
pour extraire de l'information cosmologique ?

Les supervides et le Point Froid du CMB

Lien entre le CMB et les supervides

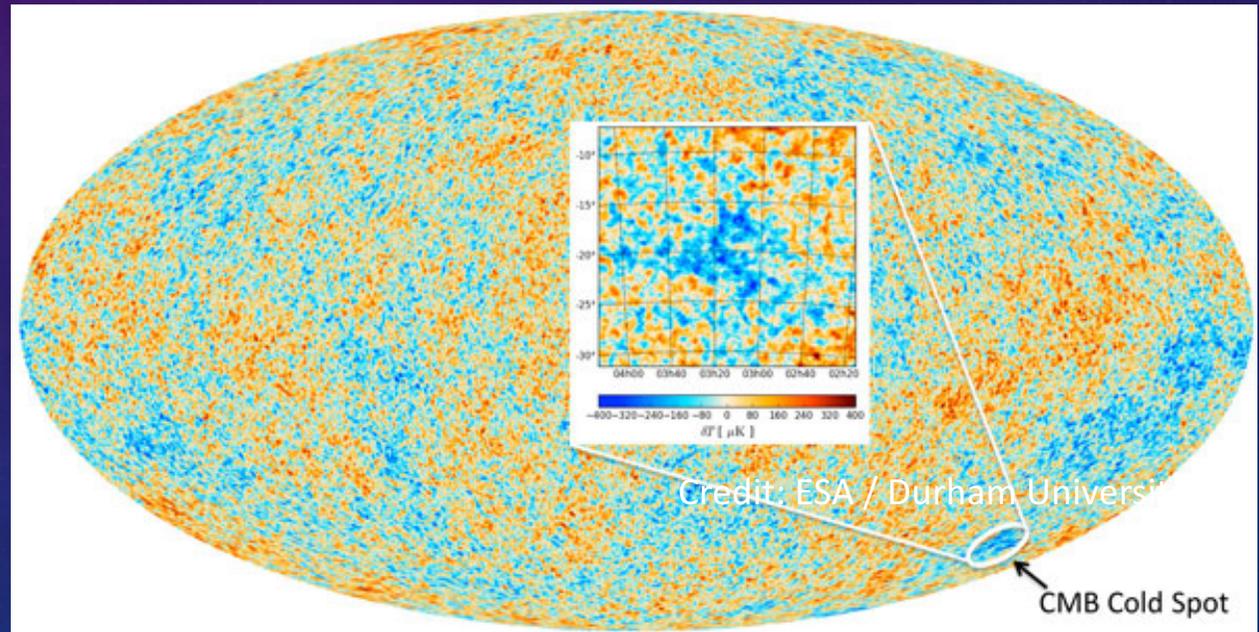


Débat sur le Point Froid de l'Univers

Contexte

Mis en évidence en 2004 d'un **Point Froid**, cad une région froide du ciel exceptionnellement étendue (20 fois la taille de la Lune).

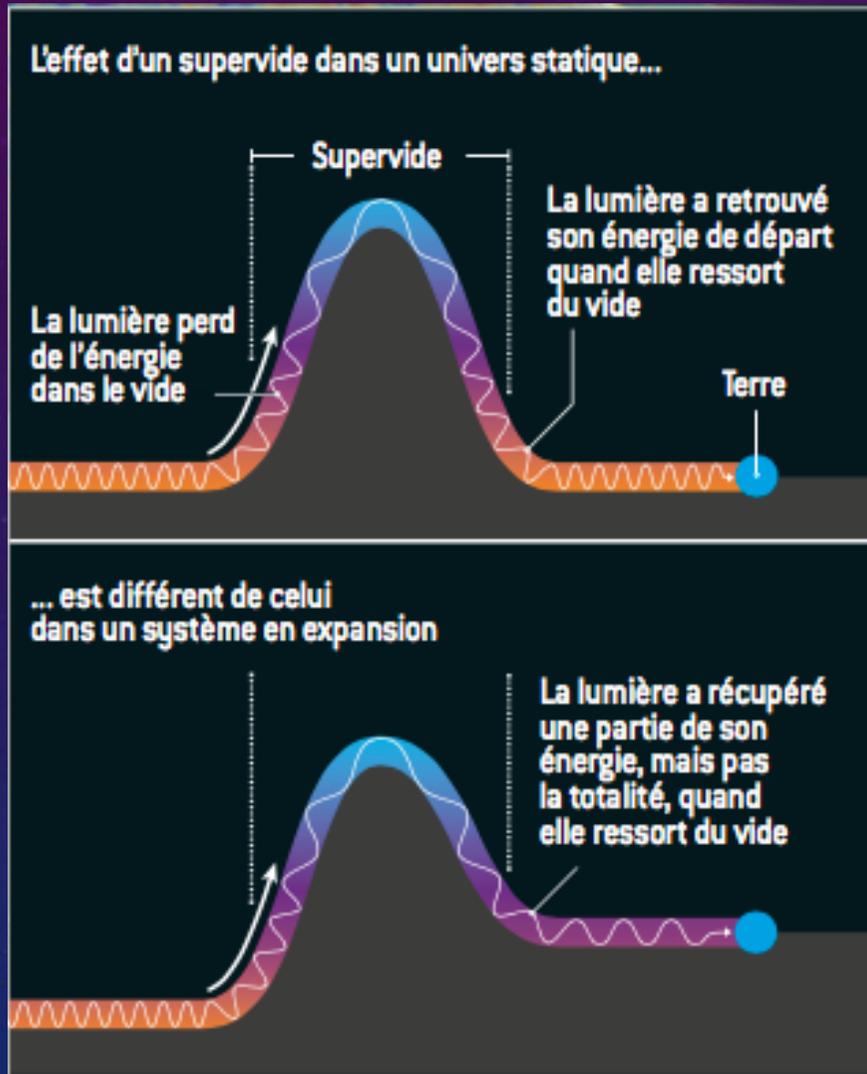
Si le Point Froid est issu directement du Big-Bang, il pourrait être le signe d'une nouvelle physique au-delà du modèle standard.



Si le Point Froid est la conséquence d'une structure située entre nous et le CMB, alors il doit s'agir d'une structure très large extrêmement rare.

Débat sur le Point Froid de l'Univers

L'effet Sachs-Wolfe intégré



Credit: Pour la Science

Les photons du CMB perdent de l'énergie lors de leur traversée d'une région vide, donc les photons froids sont encore plus froids.

Le supervide et le Point Froid viennent de la même direction

→ Explication possible à l'anomalie du Point Froid de l'Univers.

Débat sur le Point Froid de l'Univers

Un supervide

En 2014, grâce aux données du sondage PanSTARR1, une équipe d'astrophysiciens (I. Szapudi) de l'Université d'Hawaii ont découvert un vide très très large, un **supervide**, qui s'étend sur une zone de 1,8 milliard d'années-lumière de diamètre (550 Mpc).

En fait, toute structure de vide allongé correspond à un temps de parcours des photons plus grand que pour un vide de même taille angulaire mais sphérique.

Conclusion temporaire

Un sondage, réalisé en 2017, releva 7000 galaxies autour de la direction du Point Froid: Ils trouvèrent 3 vides dans cette direction, dans celui de 2014 qui sembla plus petit qu'initialement. Le calcul montra que ces vides ne peuvent être expliqués que 9 microKelvin, alors que le Point Froid est à 70 microKelvin de la moyenne du CMB.

LES FUTURS SONDAGES DE GALAXIES

Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI)



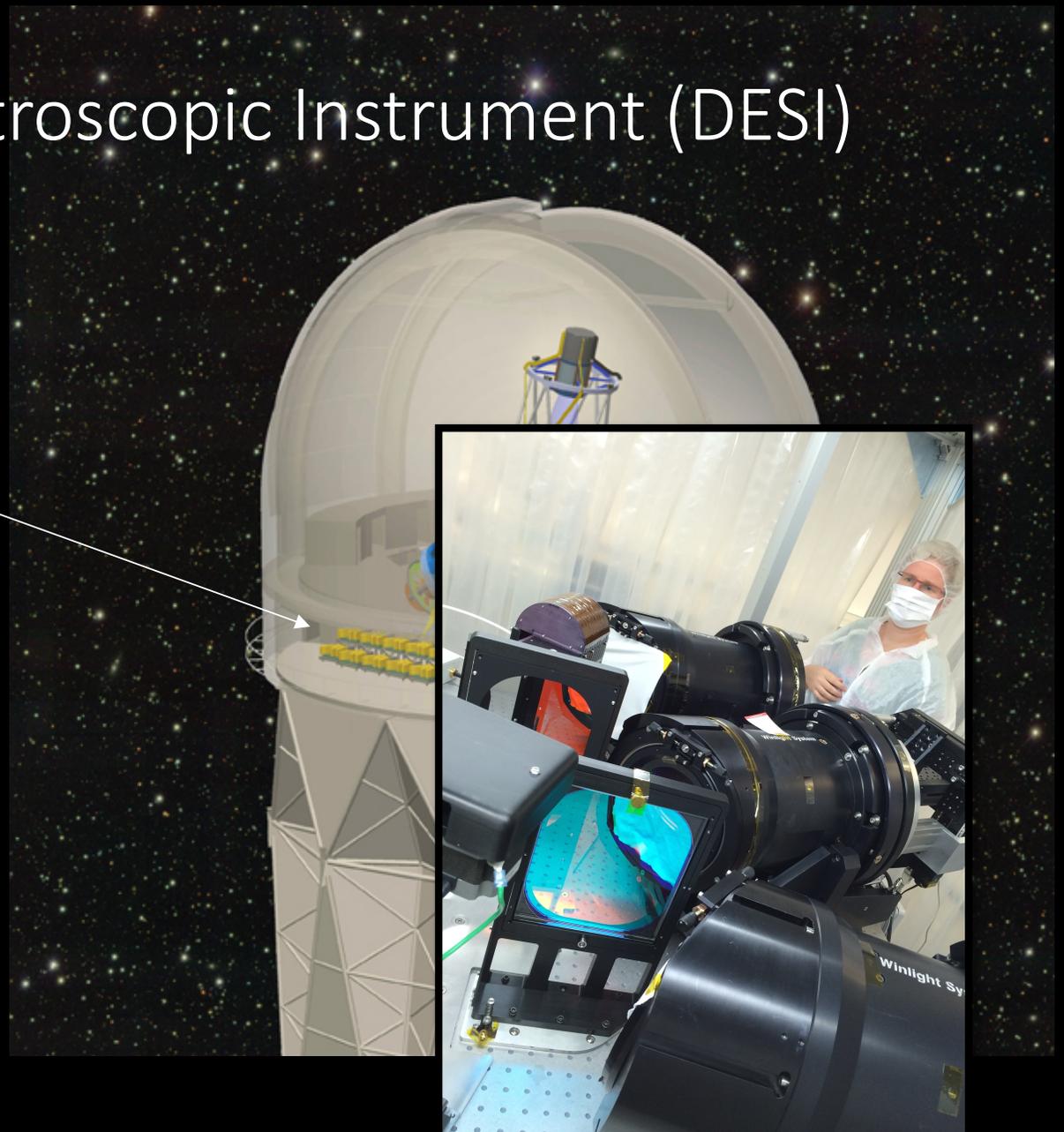
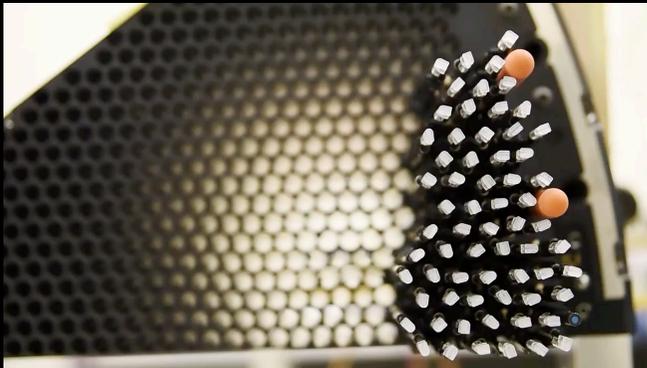
Le sondage DESI va commencer ses observations mi-2019

Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI)

Télescope de 4 mètres

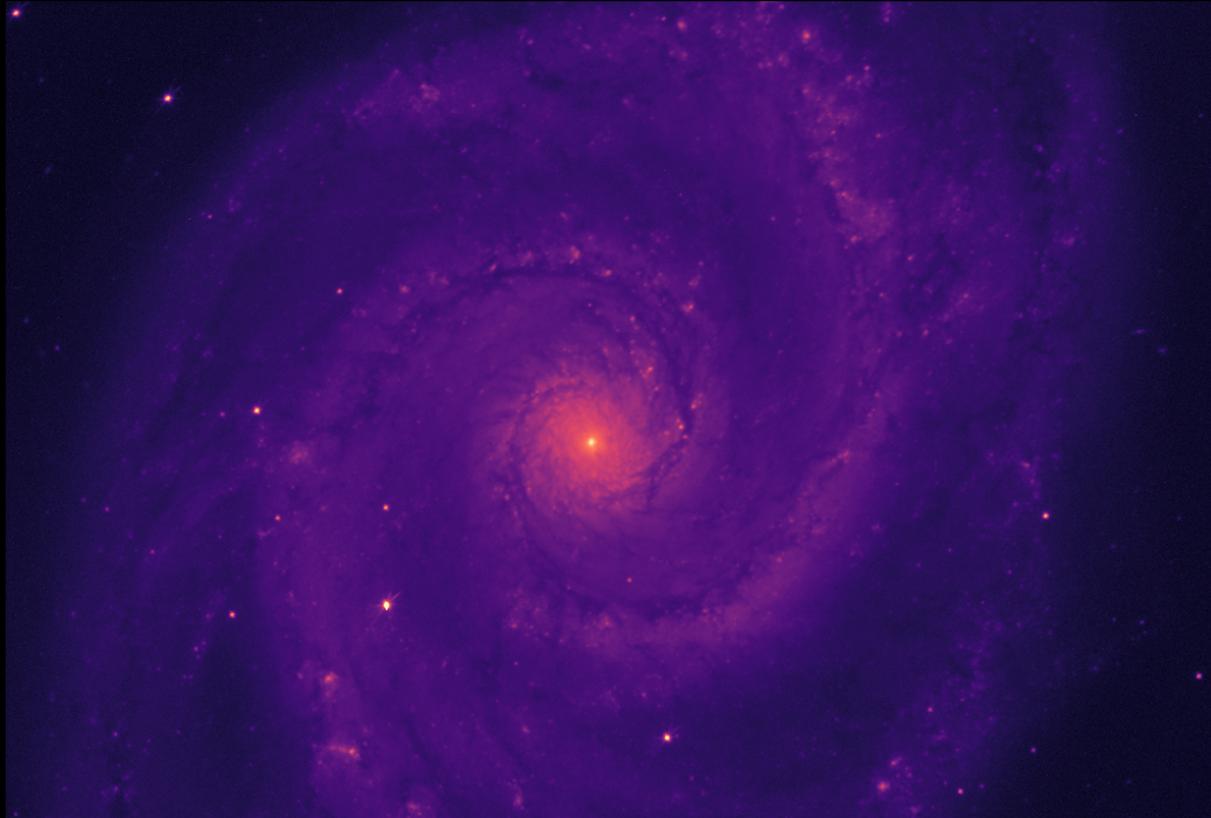
10 spectrographes de 500 fibres
fabriqués par la société Winlight à Pertuis

Positionnement automatique des fibres



Plus de 35 millions de galaxies vont être observées sur 5 ans.

Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI)



Première image DESI prise en avril pendant le commissioning

<https://newscenter.lbl.gov/2019/04/03/dark-energy-instruments-lenses-see-night-sky-first-time/>

La mission spatiale Euclid



La mission spatiale Euclid

Survey de 15000 deg²
Visible & infrarouge
Diamètre de 1.2 m
Champ de 0.5 deg²

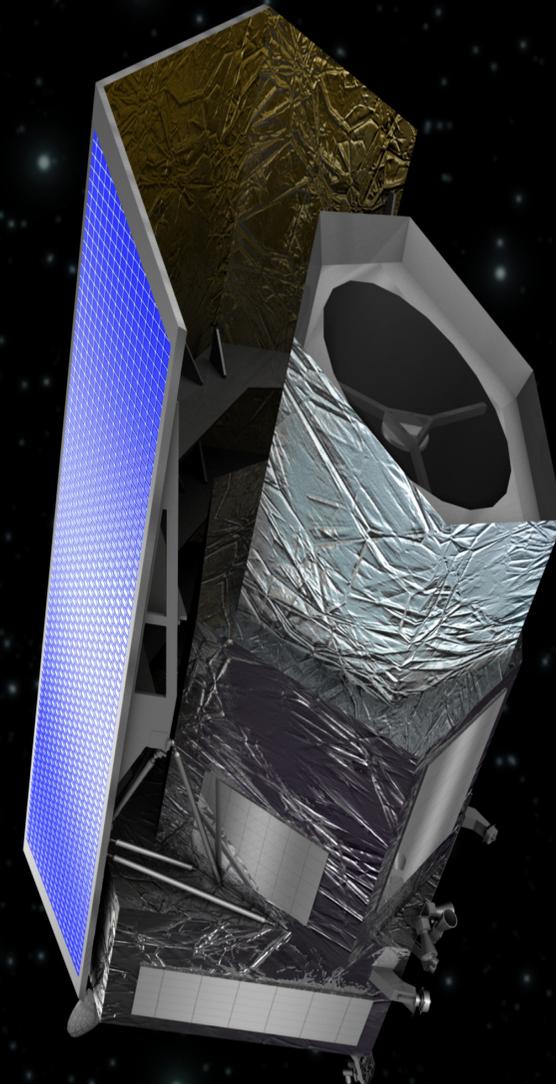
modèle Λ CDM ?



Gravité modifiée ?

Spectres de 50 millions de galaxies,
et images de milliards d'objets

Soit près de 800 000 vides cosmiques



La mission Euclid (ESA) sera lancée en 2022 sur un lanceur Soyouz, et mis en orbite au point de Lagrange L2 pour une durée de 6 ans

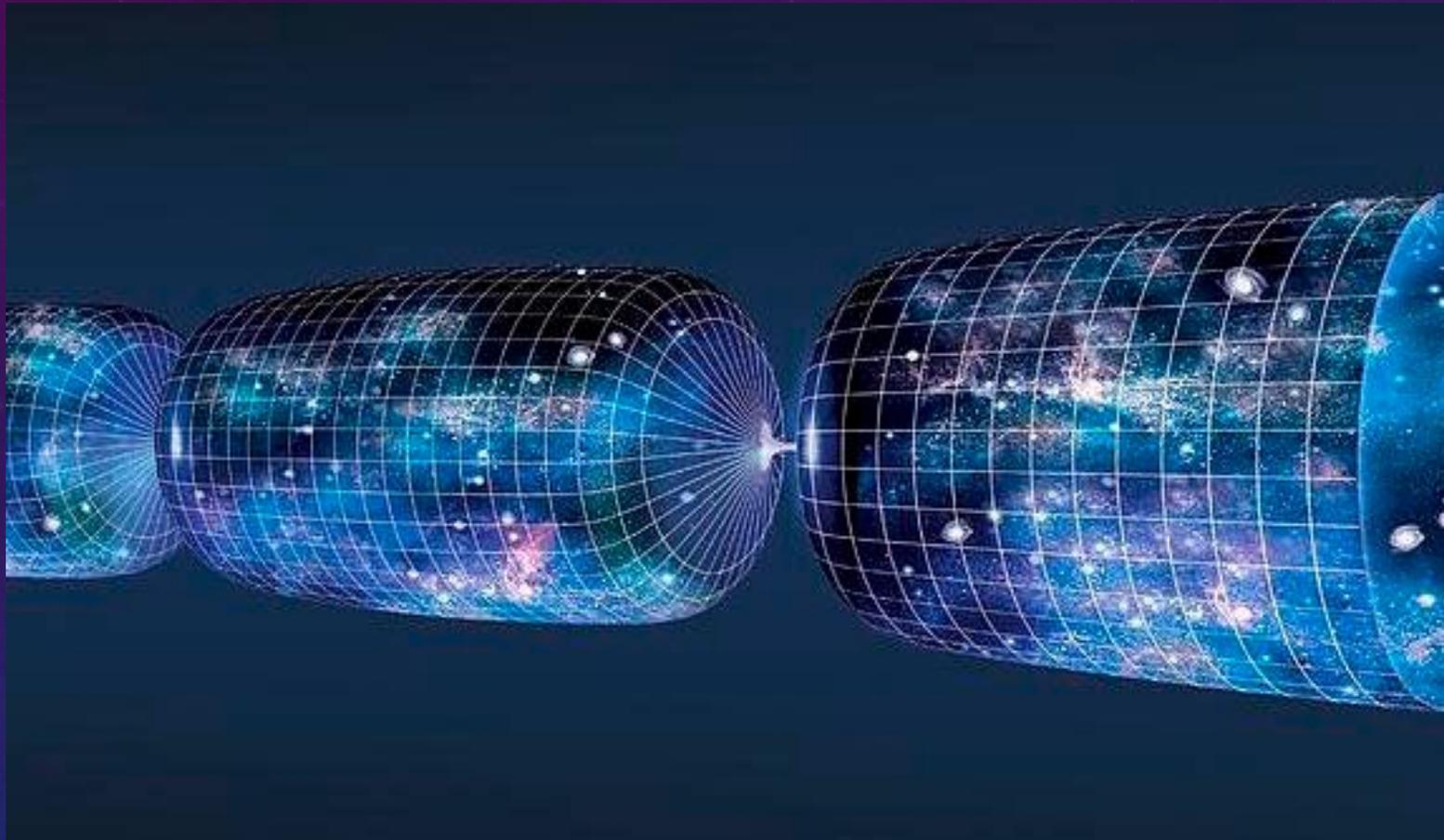
THEORIES ALTERNATIVES ??

Les Multivers

Andrei Linde, un des pères de l'inflation cosmique, a supposé l'existence d'une « inflation éternelle », qui n'a ni début ni fin : un nombre infini d' « univers bulles », sans connexions les uns avec les autres.

Les lois de la physique n'auraient aucune raison d'être les mêmes dans chaque univers

L'Univers cyclique, ou la théorie du Grand Rebond



Selon le physicien John Wheeler, l'Univers traverserait une succession de Big Bangs et de Big Crunchs, qui se succéderaient de façon cyclique. Permet de s'affranchir de la singularité initiale.

Les fluctuations quantiques du vide

Le physicien W. Unruh a proposé en 2017 que l'expansion accélérée de l'Univers ne serait due qu'à l'effet des fluctuations quantiques de la densité d'énergie du vide.



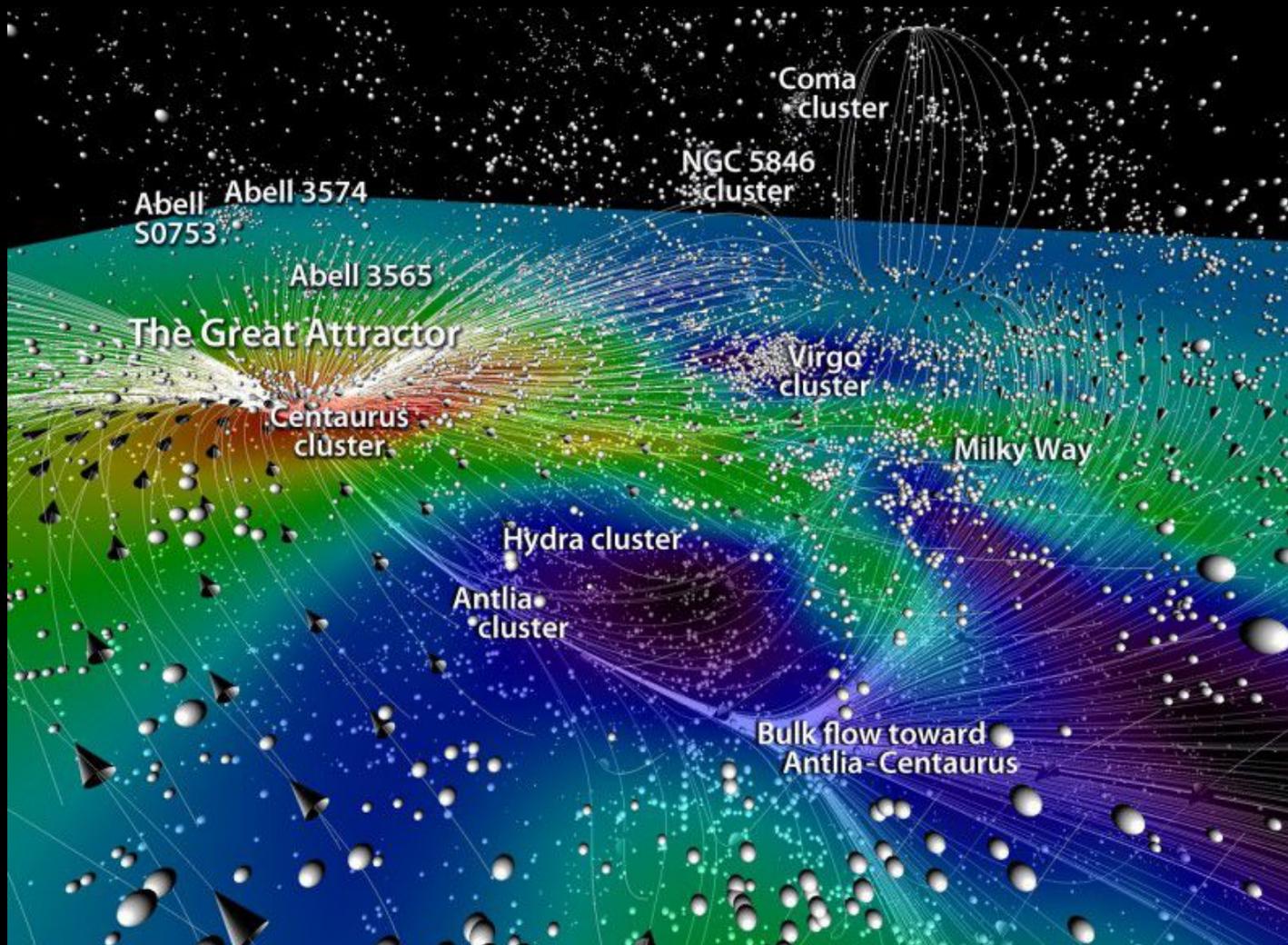
En chaque point de l'espace, l'Univers fluctue entre expansion et contraction, avec un bilan positif pour l'expansion, qui force l'Univers à s'étendre lentement à un rythme accéléré.

Conclusions

- L'Univers semble bien décrit par le modèle standard de la cosmologie, Λ CDM, mais il demeure 95% de son contenu que nous ne comprenons pas.
- D'un point de vue observationnelle, la cosmologie est entrée dans une ère de précision, où le pourcent est désormais accessible. Les relevés de galaxies dédiés à la cosmologie, DESI en 2019, Euclid et LSST en 2022, promettent de belles choses, peut-être une mise en évidence d'une déviation des lois de la gravitation avec le RG?
- Dans ce contexte, les vides cosmiques représentent des objets prometteurs pour contraindre les modèles cosmologiques.
- D'un point de vue théorique, beaucoup de modèles sont proposés, et peut-être que l'interprétation de l'expansion accélérée viendra d'un modèle alternatif ?

MERCI

Laniakea



<https://www.youtube.com/watch?v=tTyzwaC4oYc>