

A deep field image of the universe, showing a vast field of galaxies and stars. The galaxies are of various shapes and sizes, including spiral, elliptical, and irregular forms. The stars are scattered throughout the field, with some appearing as bright, multi-pointed sources. The overall scene is a rich, multi-colored tapestry of cosmic objects.

# A la recherche de l'énergie sombre: la mission spatiale Euclid

Y. Mellier  
Institut d'Astrophysique de Paris

Petite introduction

pour se fixer les idées

# Qu'est-ce que la cosmologie ?

La science de l'Univers dans son ensemble

- La description des propriétés de l'Univers  
*comment se présente t-il à nous ?*

- L'inventaire de son contenu  
*de quoi est-il fait?*

- La compréhension des lois de la physique qui contrôlent ses propriétés et son évolution  
*pourquoi et comment il s'est formé et il évolue?*

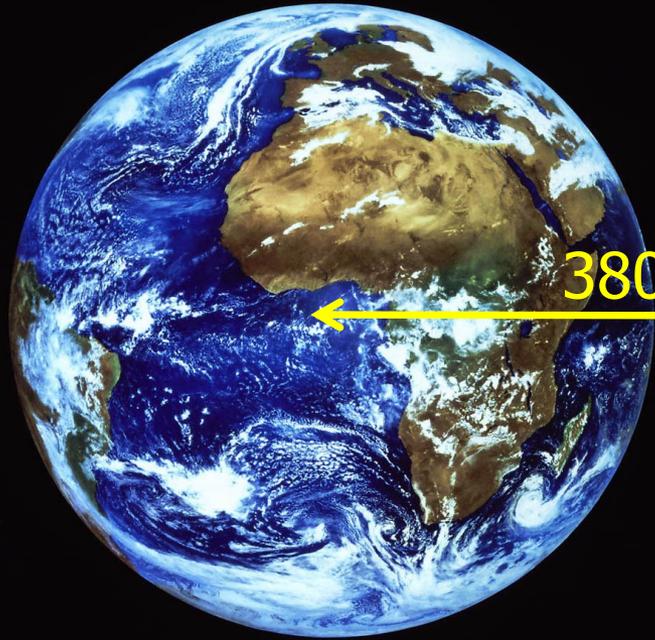
# Une tâche difficile

- Décrire des populations composées de milliards d'objets, la plupart situés à des milliards de milliards de kilomètres...
- Décrire et interpréter son organisation à « très grande échelle »
- Raconter 15 milliards d'années
- Y découvrir les interactions fondamentales et les processus en présence tout au long de son histoire.

# Distance et temps se mélangent

- La lumière ne se propage pas de façon instantanée d'un point à un autre.
- Les particules de lumière (les photons) se déplacent à 300 000 km/s.
- Conséquence: voir loin = voir le passé

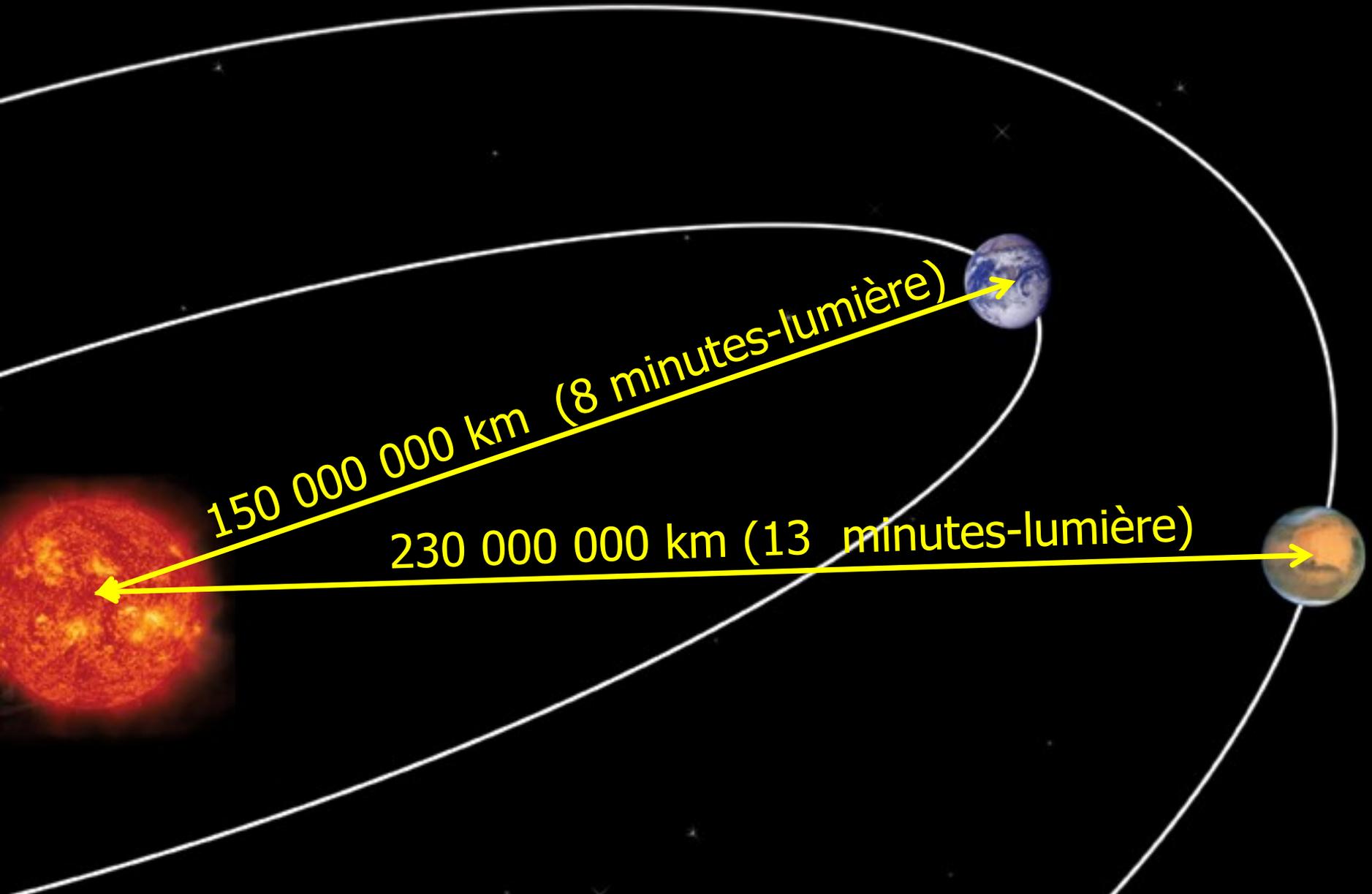
# Le système Terre-Lune



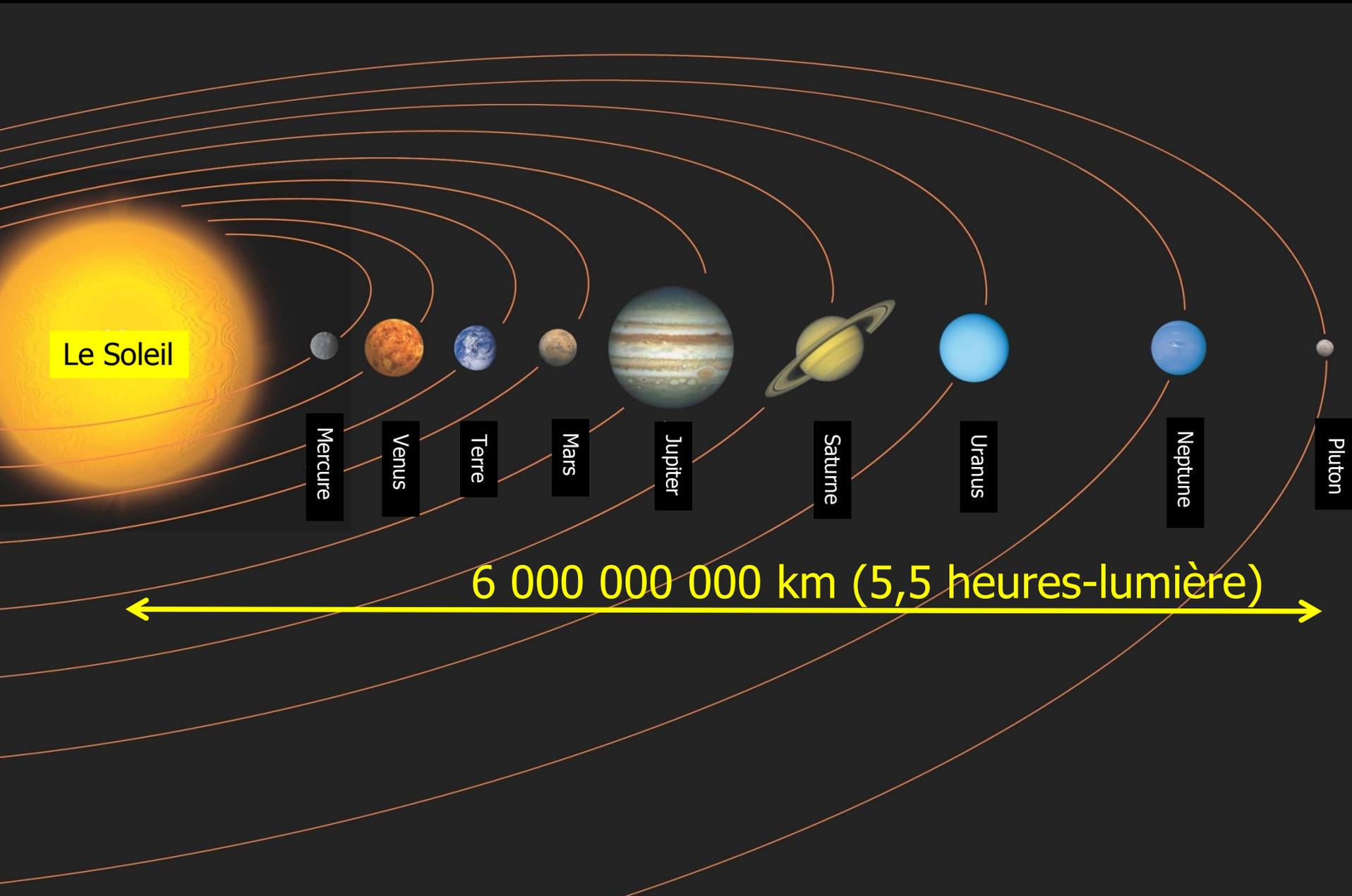
380 000 km (1,3 seconde-lumière)



# Soleil-Terre et Soleil-Mars

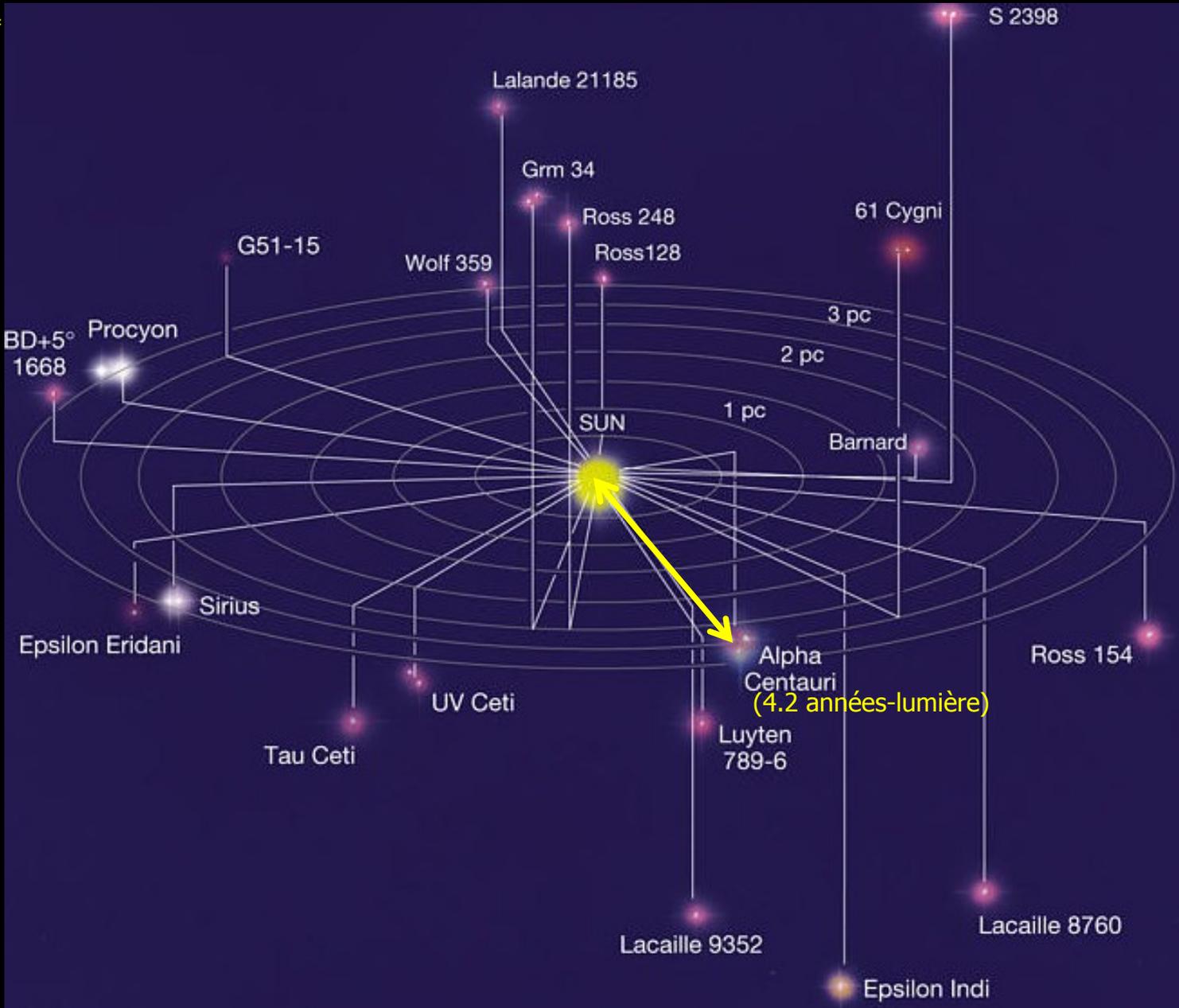


# Le Système Solaire



# Les étoiles au voisinage du Soleil

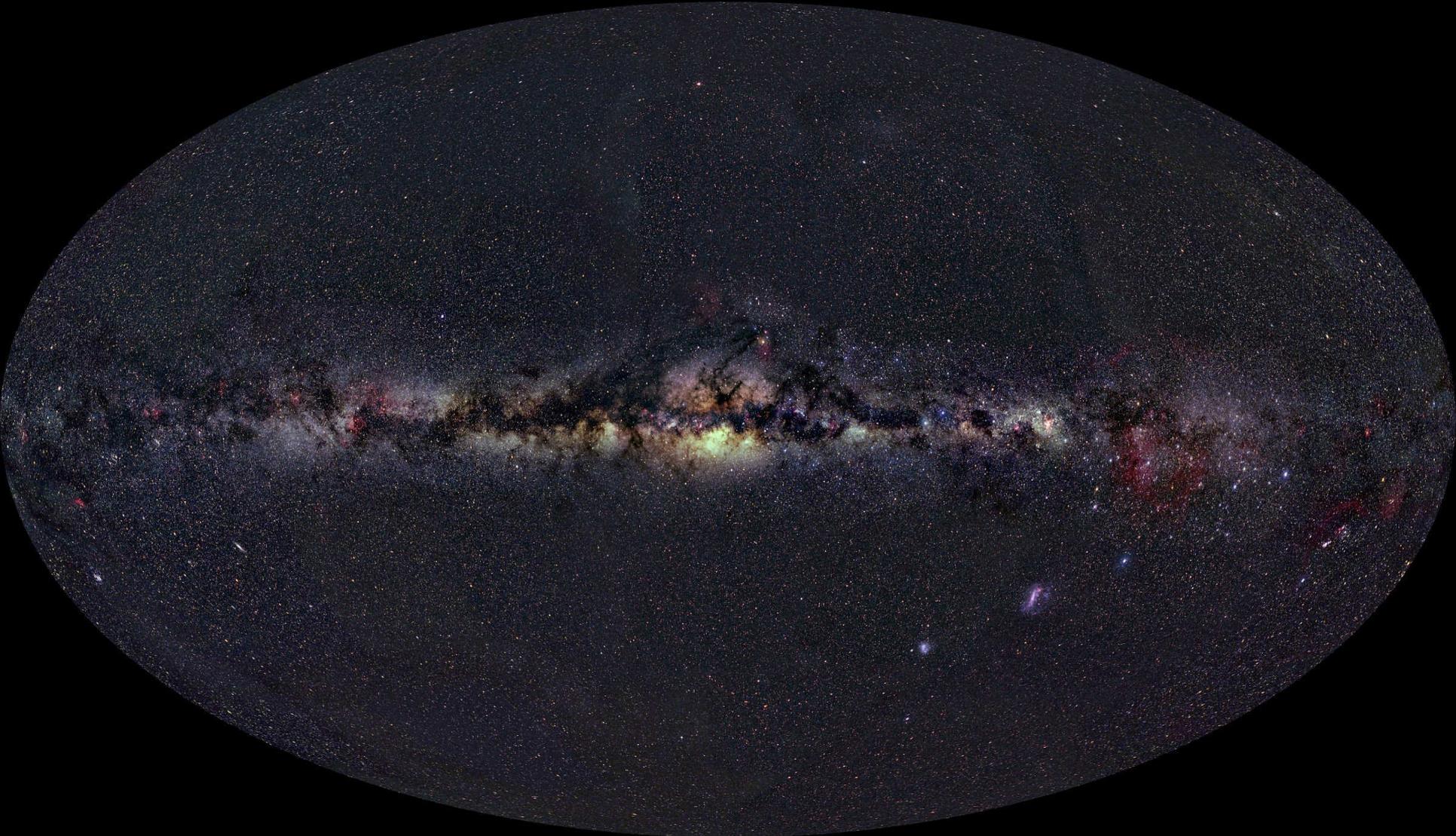
1 année-lumière=  
9461 milliards  
de km



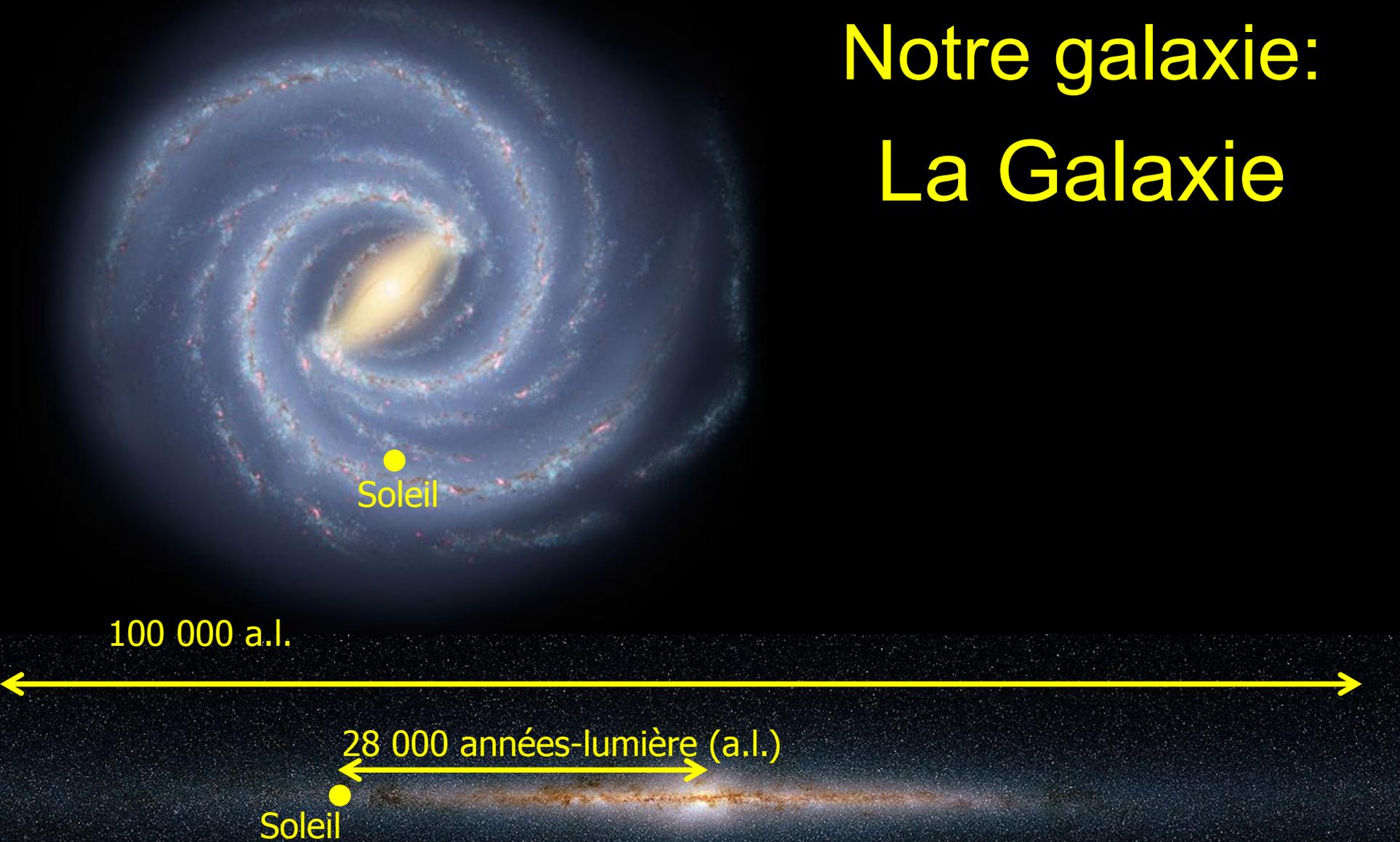


# La Voie Lactée vue de France

La Voie Lactée reconstruite sur  
tout le ciel = notre Galaxie



# Notre galaxie: La Galaxie

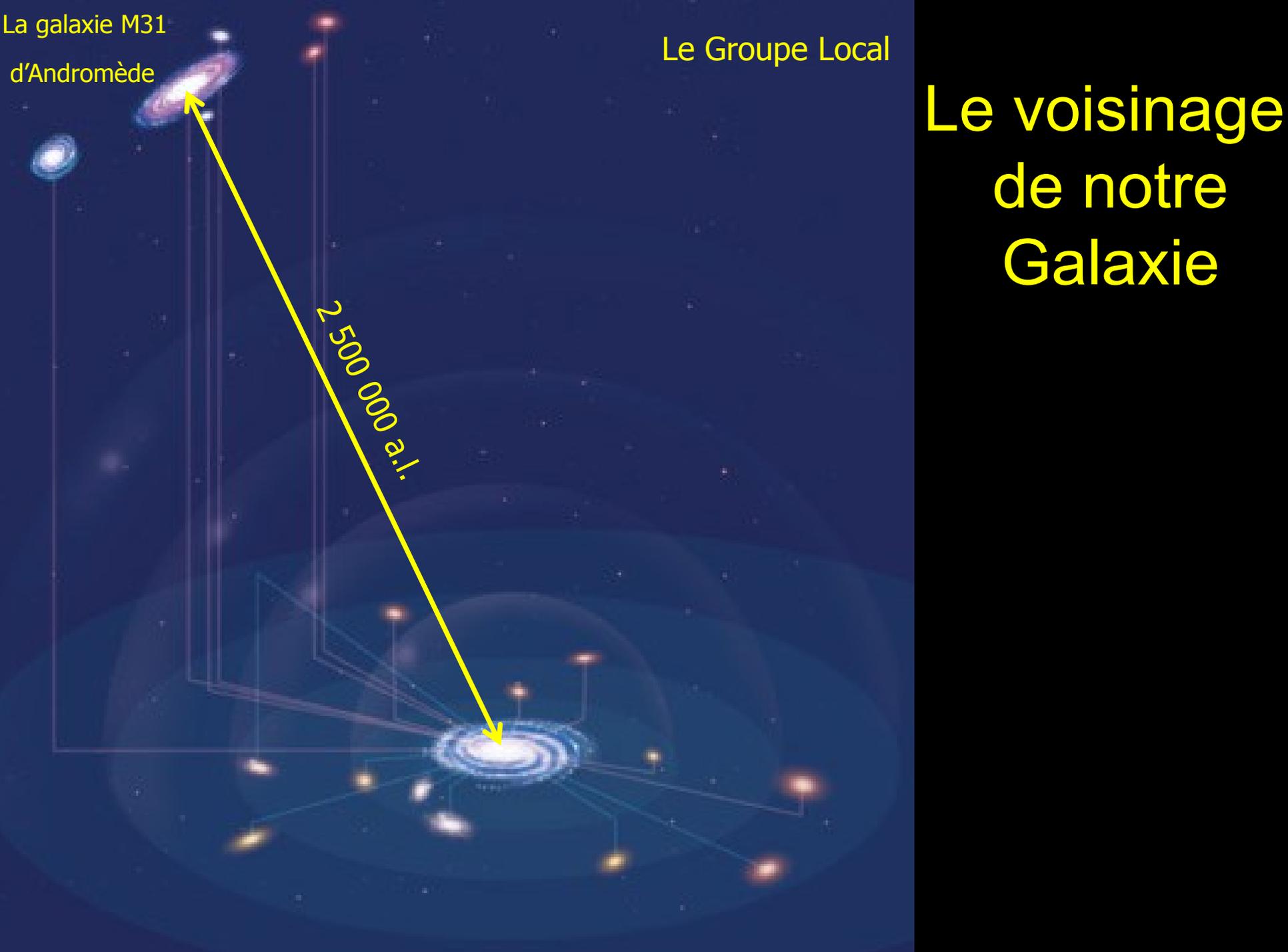


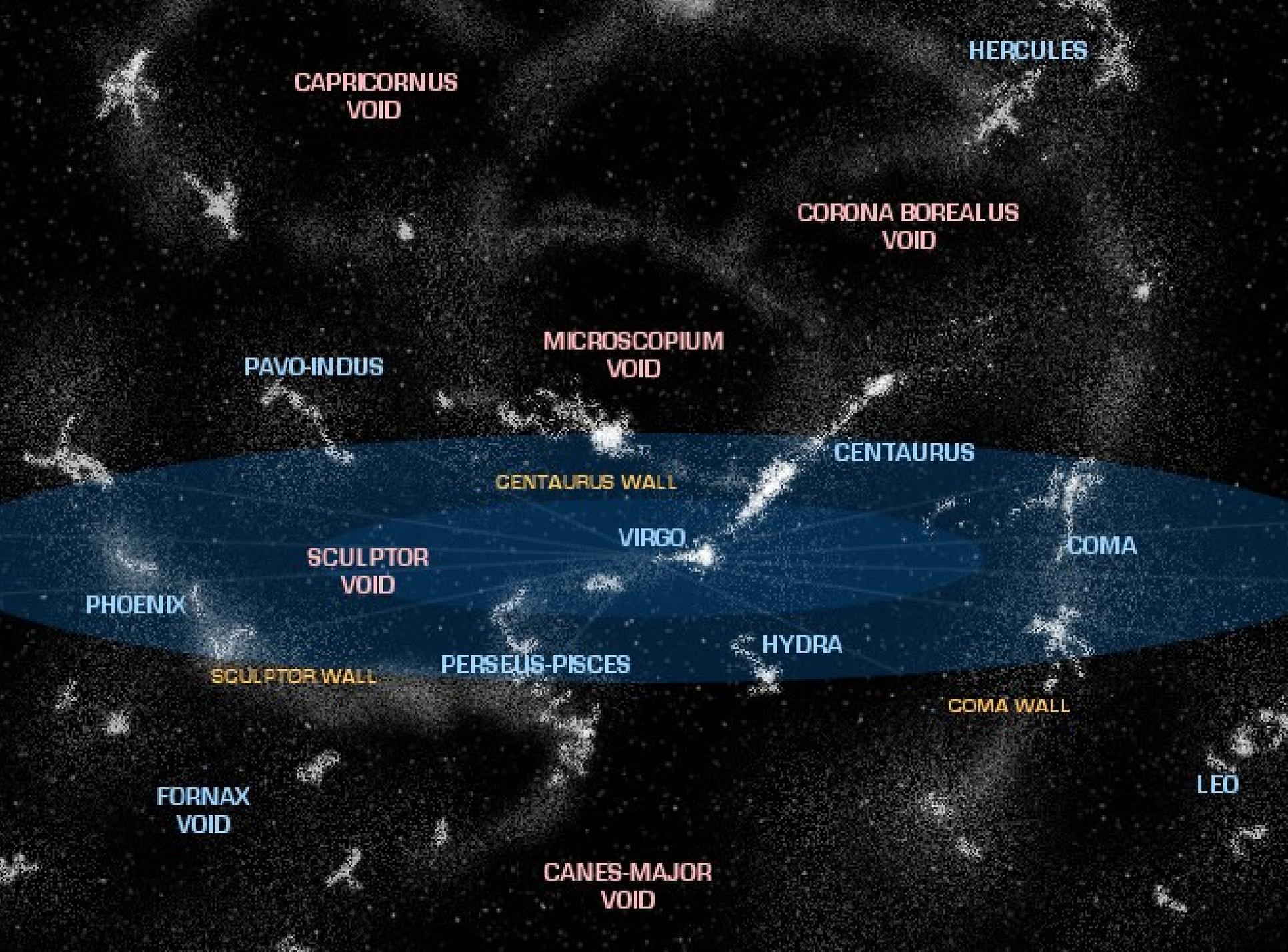
La galaxie M31  
d'Andromède

Le Groupe Local

Le voisinage  
de notre  
Galaxie

2 500 000 a.l.

A diagram illustrating the Local Group of galaxies. At the bottom center, the Milky Way galaxy is depicted with a bright core and spiral arms. A yellow double-headed arrow extends from the Milky Way to the galaxy M31 (Andromeda) in the upper left. The arrow is labeled with the distance '2 500 000 a.l.'. The background is a dark blue space filled with numerous stars and several other galaxies, some connected to the Milky Way by thin lines, representing the Local Group. The text 'Le Groupe Local' is in the top right, and 'Le voisinage de notre Galaxie' is on the far right. The labels 'La galaxie M31 d'Andromède' and '2 500 000 a.l.' are positioned near the arrow.



CAPRICORNUS  
VOID

HERCULES

CORONA BOREALIS  
VOID

MICROSCOPIUM  
VOID

PAVO-INDUS

CENTAURUS

GENTAURUS WALL

VIRGO

COMA

SCULPTOR  
VOID

PHOENIX

SCULPTOR WALL

PERSEUS-PISCES

HYDRA

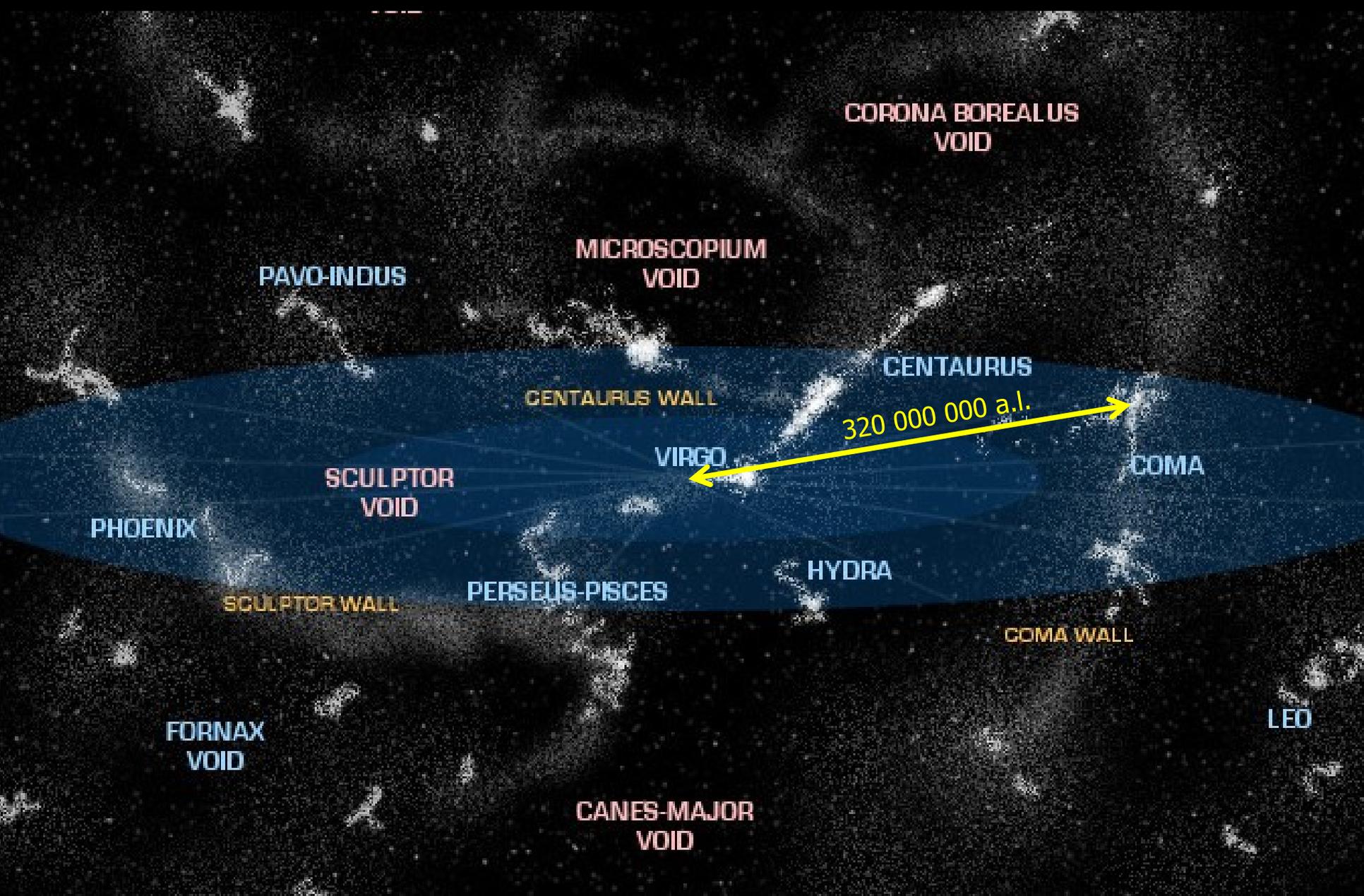
COMA WALL

FORNAX  
VOID

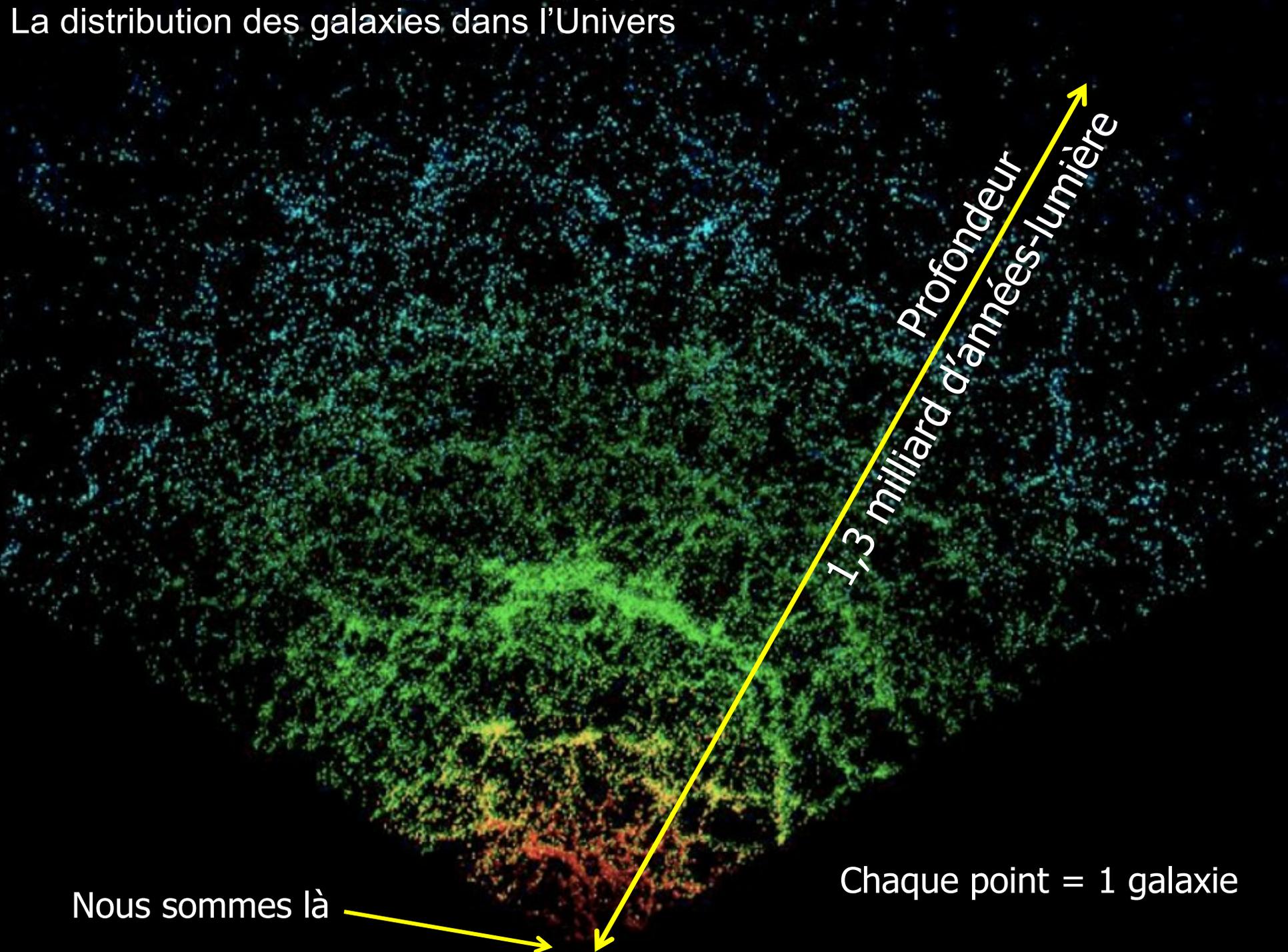
LEO

CANES-MAJOR  
VOID

La structuration de l'Univers à « grande échelle » = les échelles cosmologiques (> quelques centaines de millions d'années-lumière)



# La distribution des galaxies dans l'Univers



Profondeur  
1,3 milliard d'années-lumière

Nous sommes là

Chaque point = 1 galaxie

# Comment donner un sens physique à toutes ces observations?

Il faut établir des hypothèses et des théories décrivant les processus physiques dans l'Univers:

- Les forces de la nature sont « universelles »: elles s'appliquent à tous les corps sont les mêmes partout dans l'Univers
- Les propriétés observées de l'Univers sont les mêmes dans toutes les directions
- Dans l'univers à grande échelle actuel, c'est la gravitation qui semble l'acteur avec le premier rôle : les planètes, les étoiles, les galaxies et l'univers tout entier naissent, vivent, se déplacent , s'agglutinent et organisent l'Univers à cause de la gravitation.

Une grande découverte qui a  
bouleversé la cosmologie...

# 1929 : Edwin Hubble:

## l'Univers est en expansion

Plus les galaxies sont lointaines,  
plus elles s'éloignent de nous...

- Mais selon une loi très simple :

Vitesse d'expansion =  $H \times$  Distance

H est appelé la Constante de Hubble

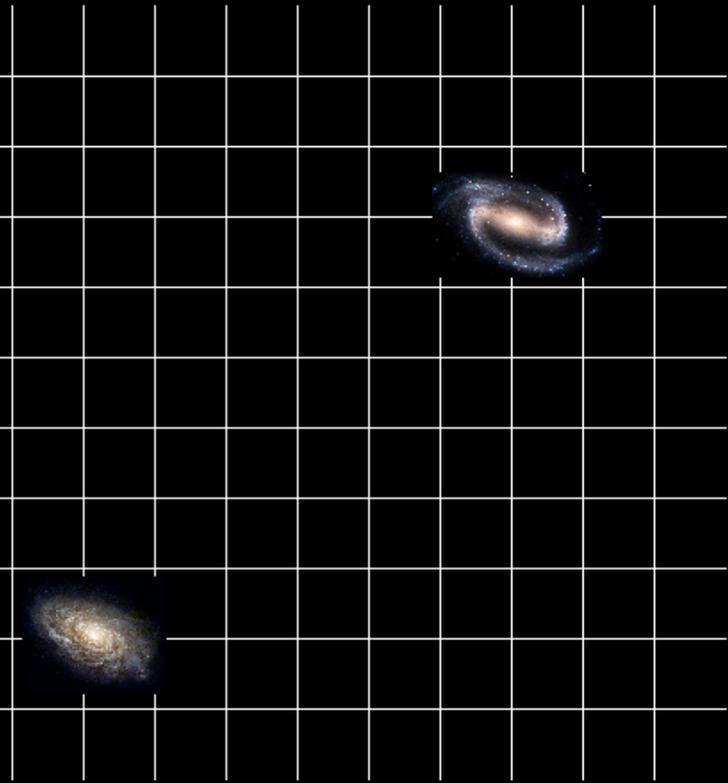
- ATTENTION:

les objets ne bougent pas et ne  
grandissent pas...

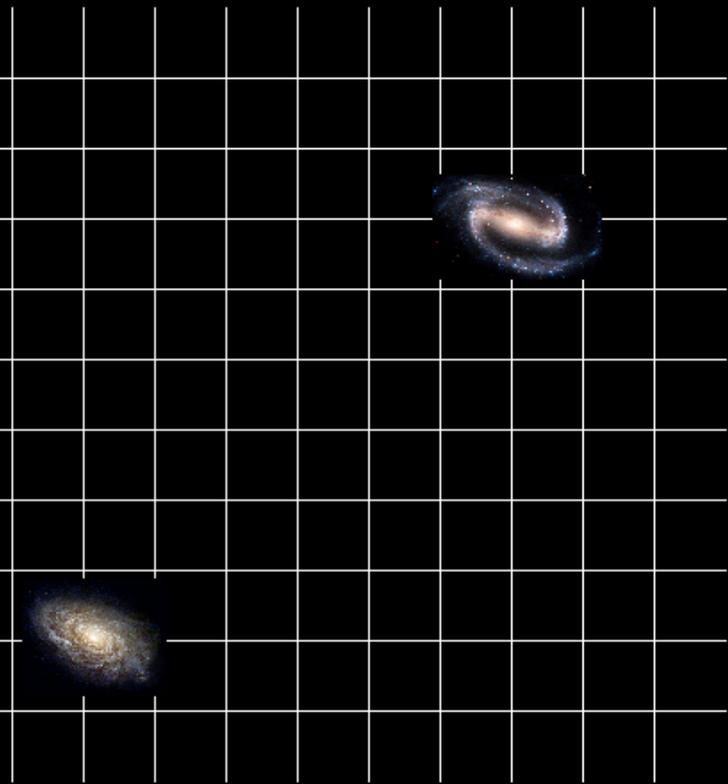
**c'est l'univers qui grandit!**



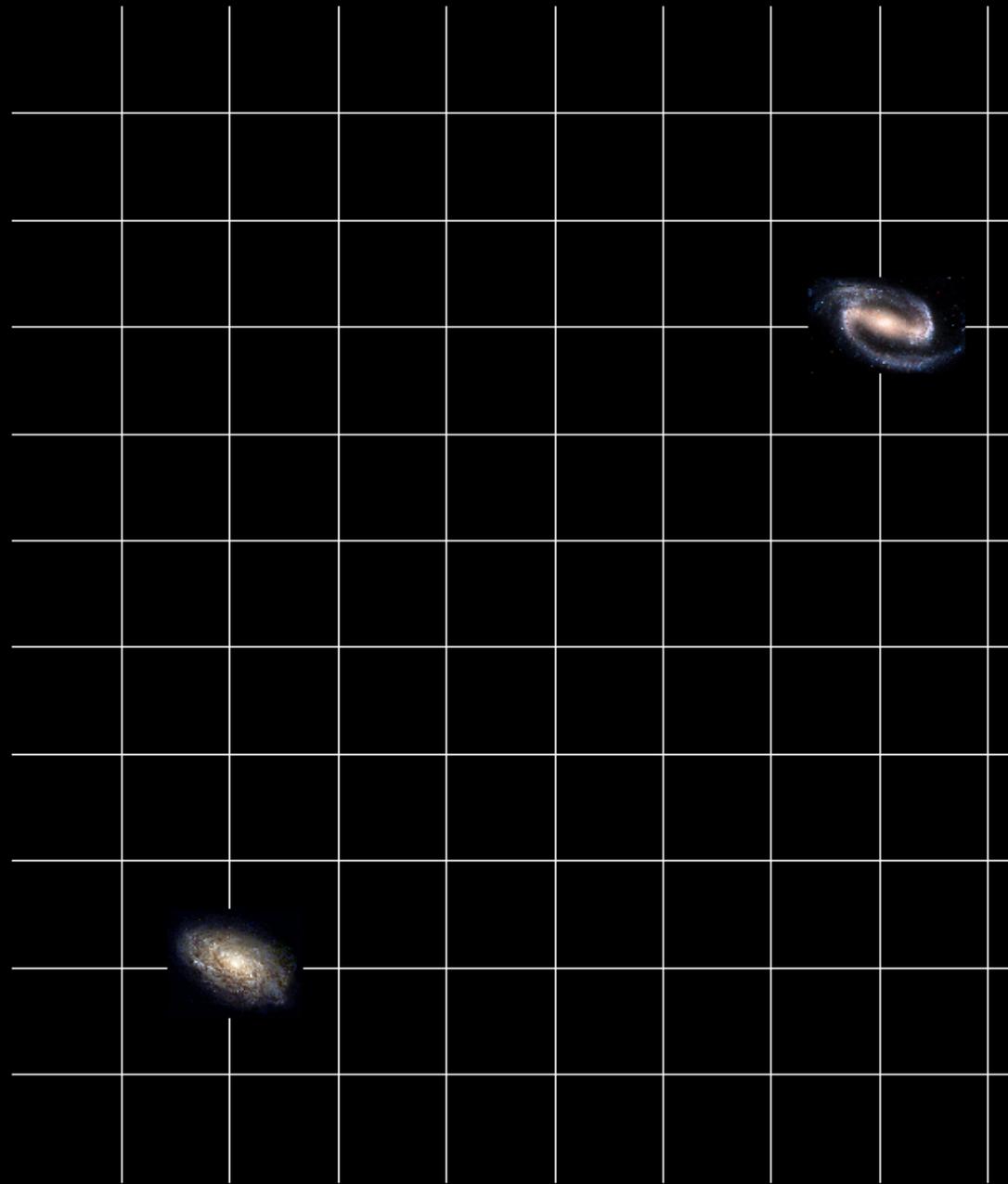
# Un instant donné



Un instant donné



... plus tard



# 1998 : S. Perlmutter, B. Schmidt, A. Riess

## l'expansion de l'univers s'accélère



Photo: U. Montan

**Saul Perlmutter**



Photo: U. Montan

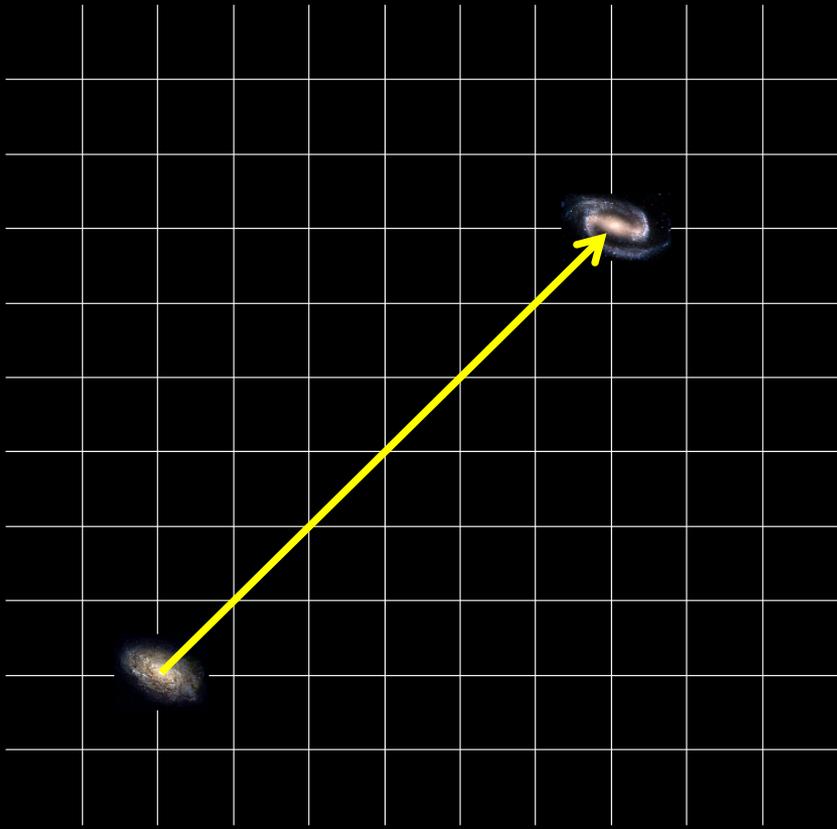
**Brian P. Schmidt**



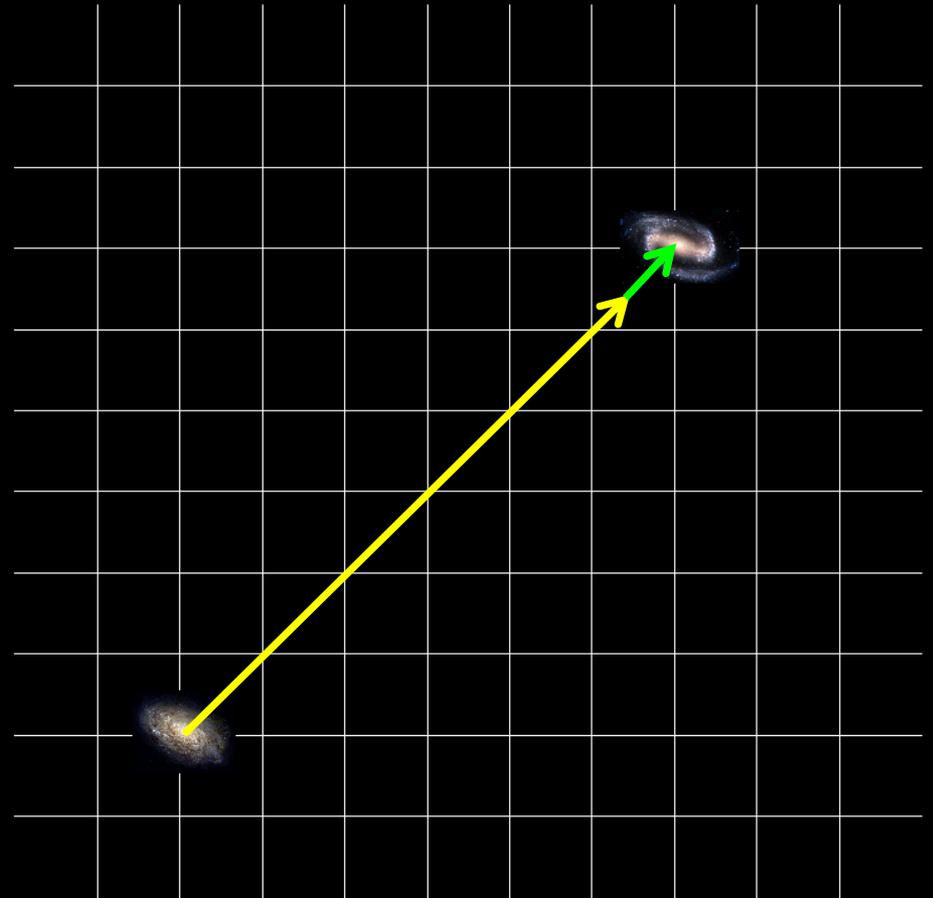
Photo: U. Montan

**Adam G. Riess**

Plus tard sans accélération



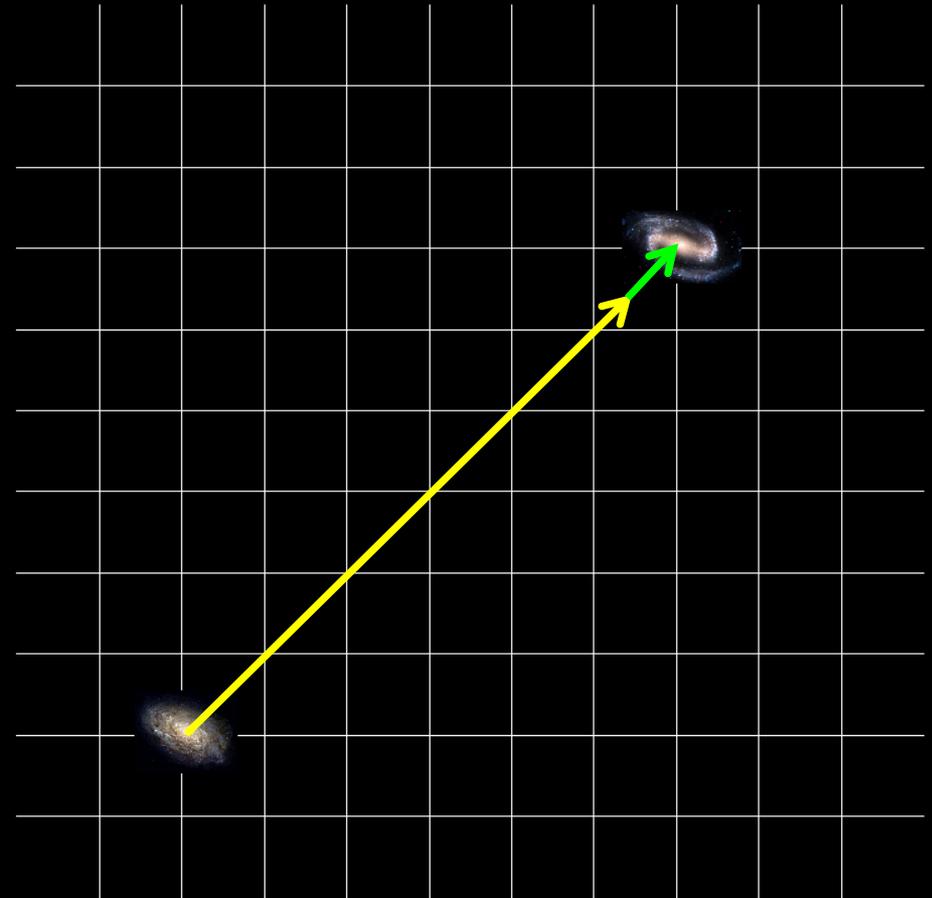
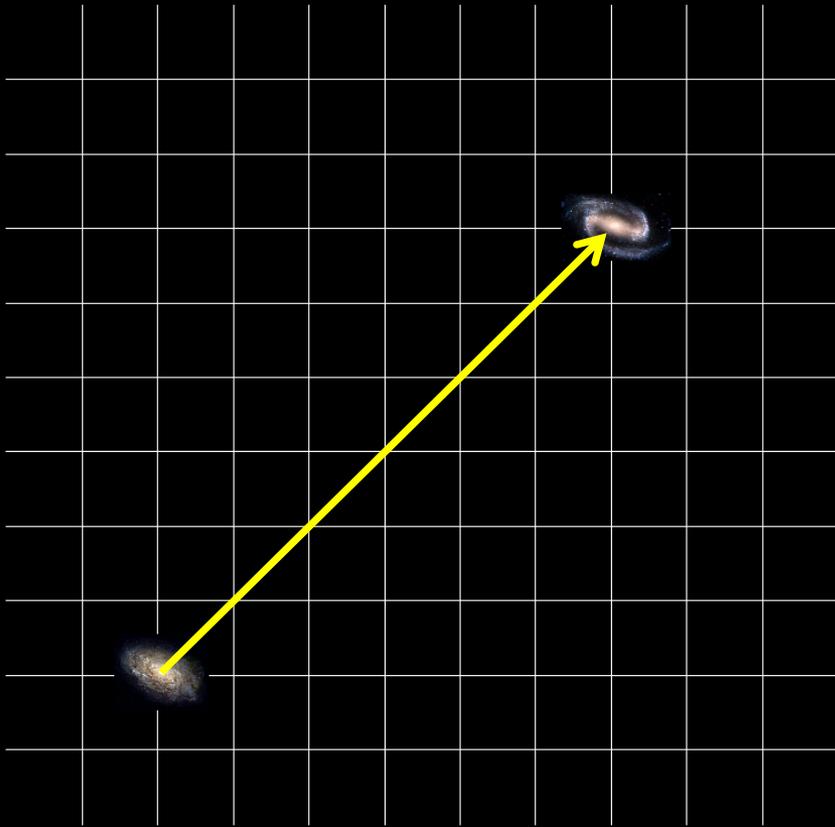
Plus tard avec accélération



Plus tard sans accélération

Plus tard avec accélération

Plus les objets sont éloignés, moins ils sont brillants...  
si l'expansion de l'Univers s'accélère, les objets lointains  
seront moins brillants que s'il n'y avait pas d'accélération



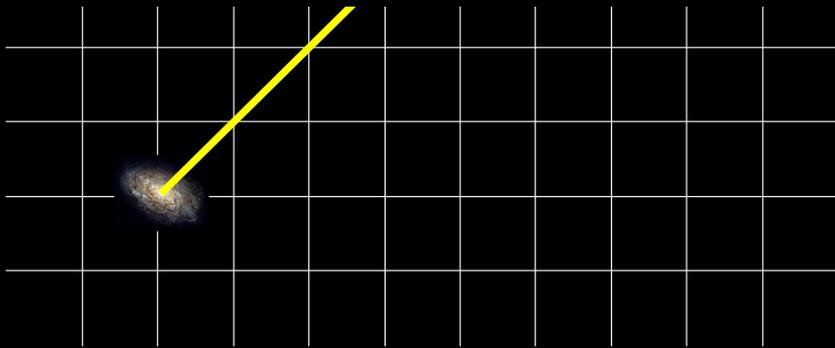
## Plus tard sans accélération

## Plus tard avec accélération

Plus les objets sont éloignés, moins ils sont brillants...

si l'expansion de l'Univers s'accélère, les objets lointains seront moins brillants que s'il n'y avait pas d'accélération

... pour vérifier ce phénomène, il faut observer des objets qui ont la MÊME luminosité intrinsèque, mais situés à différente distance de nous... le changement apparent de luminosité n'est alors qu'un effet de distance.



## Plus tard sans accélération

## Plus tard avec accélération

Plus les objets sont éloignés, moins ils sont brillants...

si l'expansion de l'Univers s'accélère, les objets lointains seront moins brillants que s'il n'y avait pas d'accélération

... pour vérifier ce phénomène, il faut observer des objets qui ont la MÊME luminosité intrinsèque, mais situés à différente distance de nous... le changement apparent de luminosité n'est alors qu'un effet de distance.

Question: quels objets connaissons-nous dans l'Univers qui ont une luminosité intrinsèque connue et la même partout dans l'Univers?

Plus tard sans accélération

Plus tard avec accélération

Plus les objets sont éloignés, moins ils sont brillants...

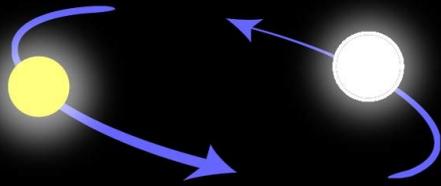
si l'expansion de l'Univers s'accélère, les objets lointains seront moins brillants que s'il n'y avait pas d'accélération

... pour vérifier ce phénomène, il faut observer des objets qui ont la MÊME luminosité intrinsèque, mais situés à différente distance de nous... le changement apparent de luminosité n'est alors qu'un effet de distance.

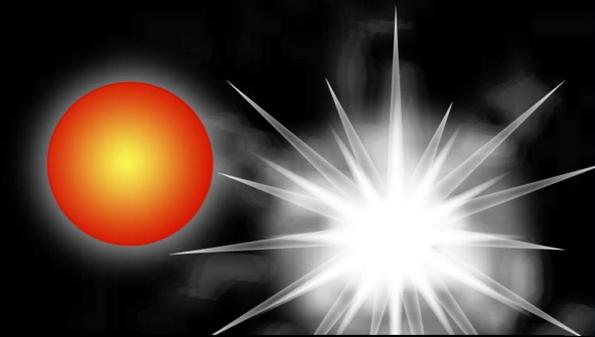
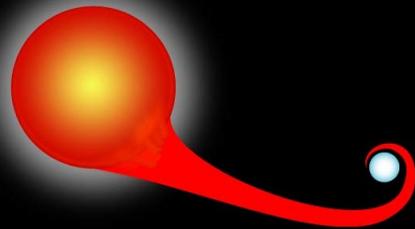
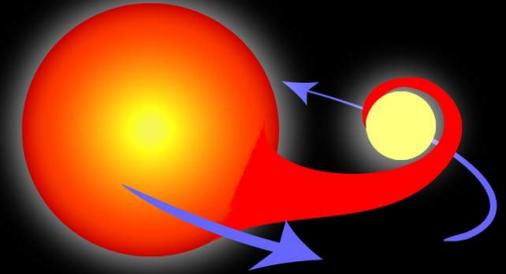
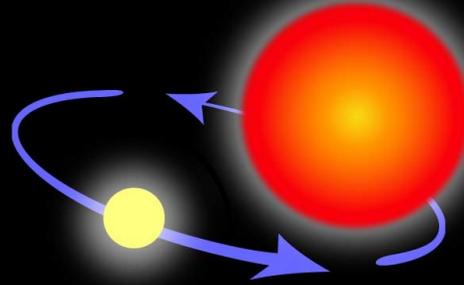
Question: quels objets connaissons-nous dans l'Univers qui ont une luminosité intrinsèque connue et la même partout dans l'Univers?

Réponse: les Supernovae de type Ia

# L'origine des supernovae de type Ia



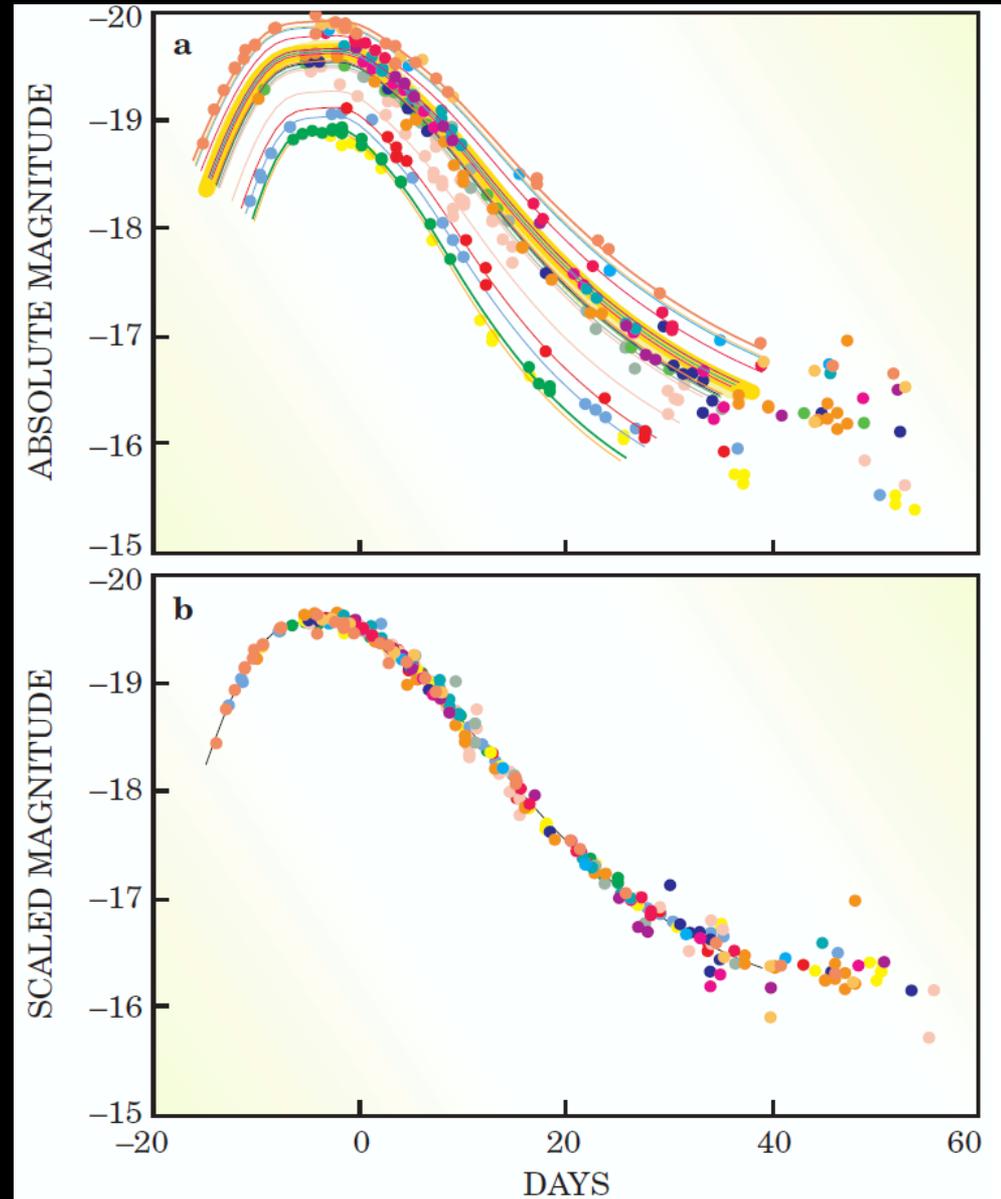
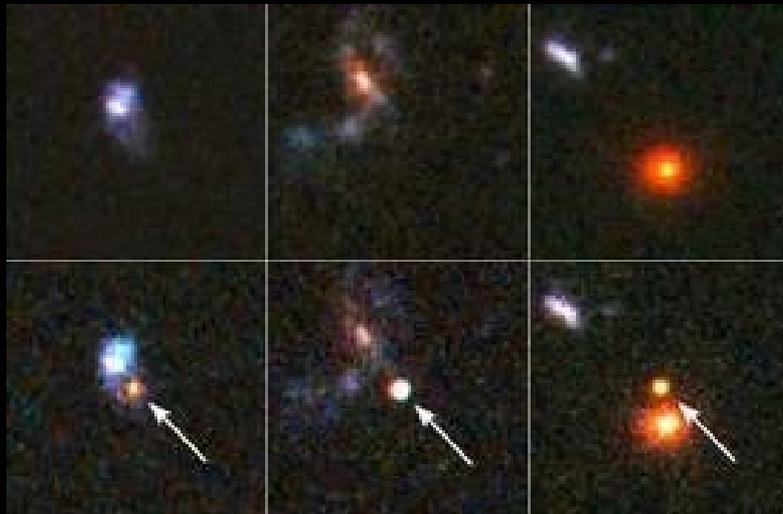
A la source: des systèmes  
d'étoiles doubles



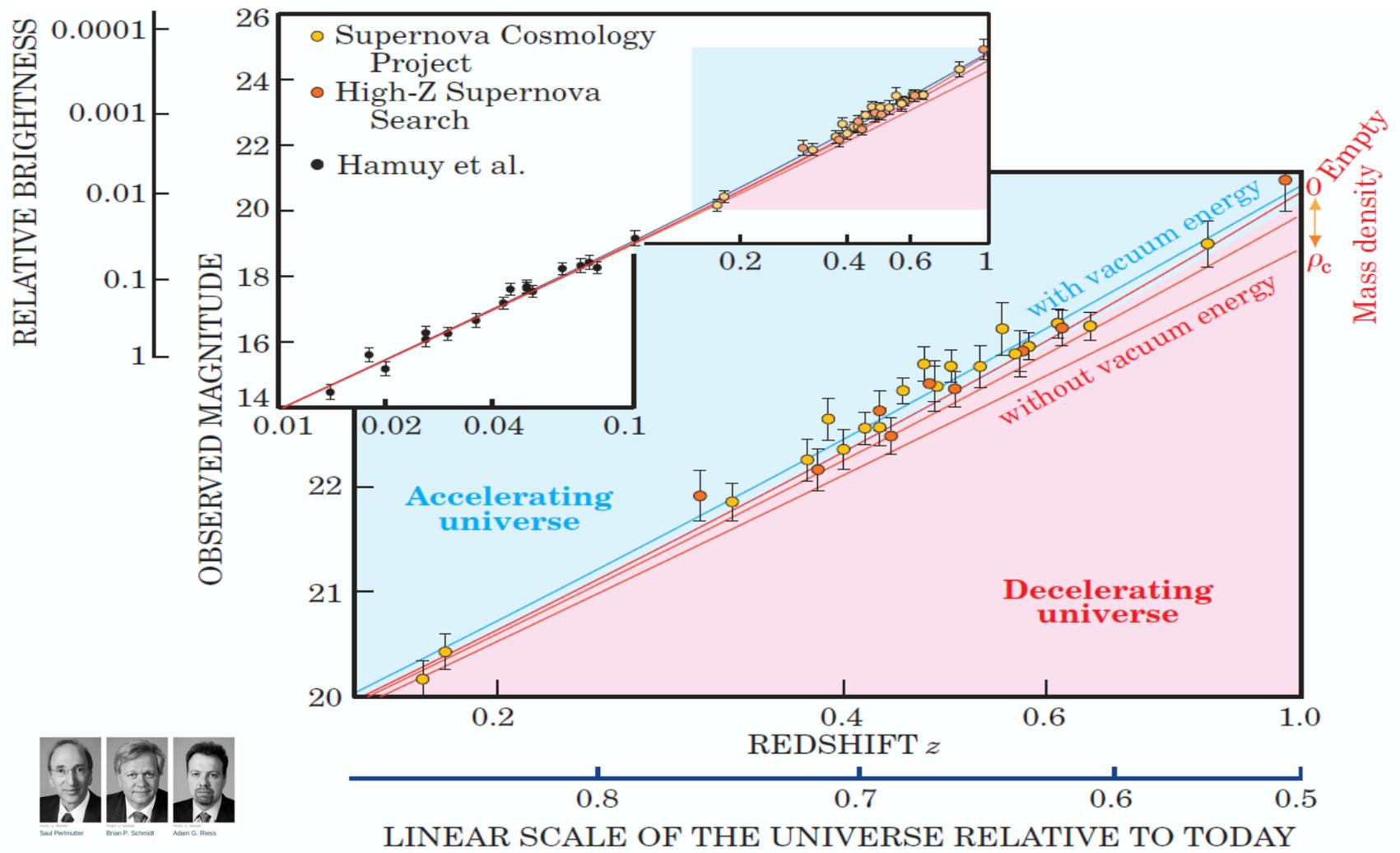
Au pic de l'explosion, toutes les  
supernovae emettent exactement la  
même quantité de lumière...

La différence de luminosité  
apparente dépend  
uniquement de leur  
distance.. Qui dépend des  
propriétés de l'Univers... et  
donc son contenu en  
matière et en énergie

# « Courbes de lumière » de supernovae de type Ia

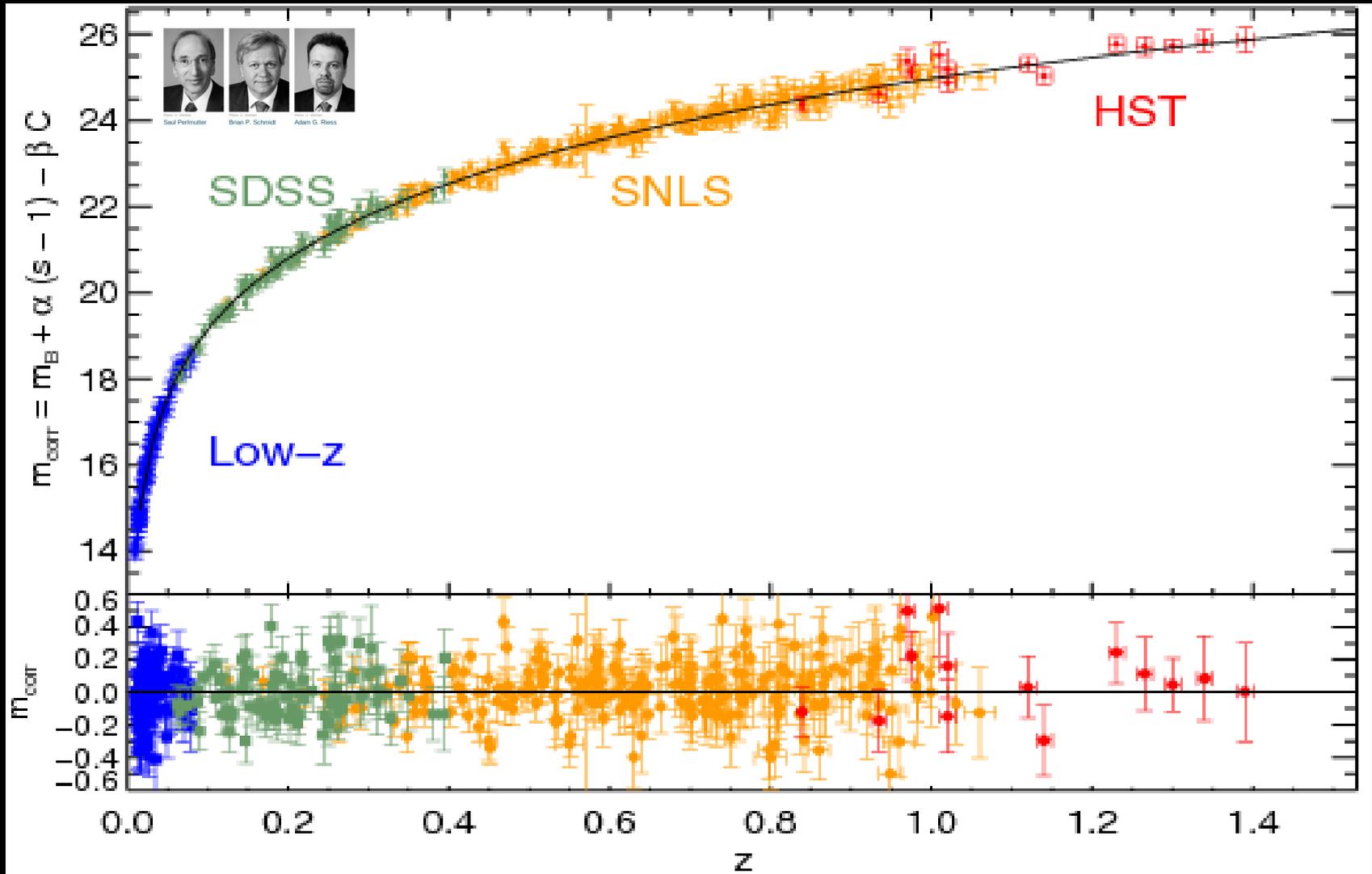


# 1998-2000: comparaison des courbes de lumière des supernovae Ia avec les prédictions théoriques d'Univers avec ou sans expansion accélérée



Saul Perlmutter Brian P. Schmidt Adam G. Riess

# 2012 : l'expansion de l'univers s'accélère: confirmé avec un degré de confiance de 99.999%



# Aux sources de l'accélération de l'expansion

- Pourquoi l'expansion de l'Univers s'accélère?
- Comment l'observation de l'Univers peut nous aider à trouver une réponse à cette question?

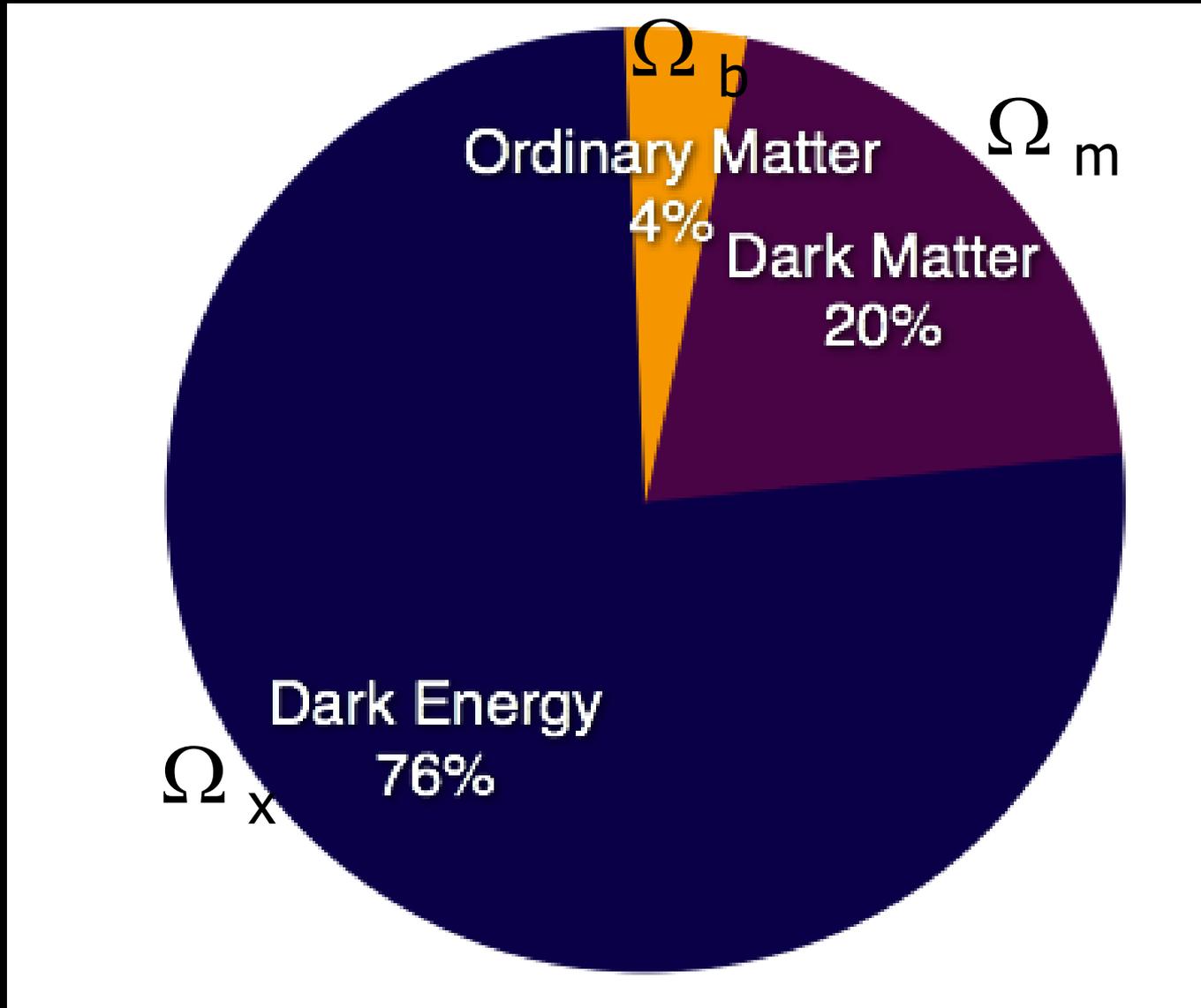
# Pourquoi l'expansion de l'Univers s'accélère?

- S'il y a une accélération, *quelque chose* qui nous est encore inconnu doit en être la cause...

Plus remarquable:

- les observations montrent que ce *quelque chose* représente 70% du contenu en matière-énergie de l'Univers!

# Contributions des constituants de l'Univers à sa densité de matière-énergie



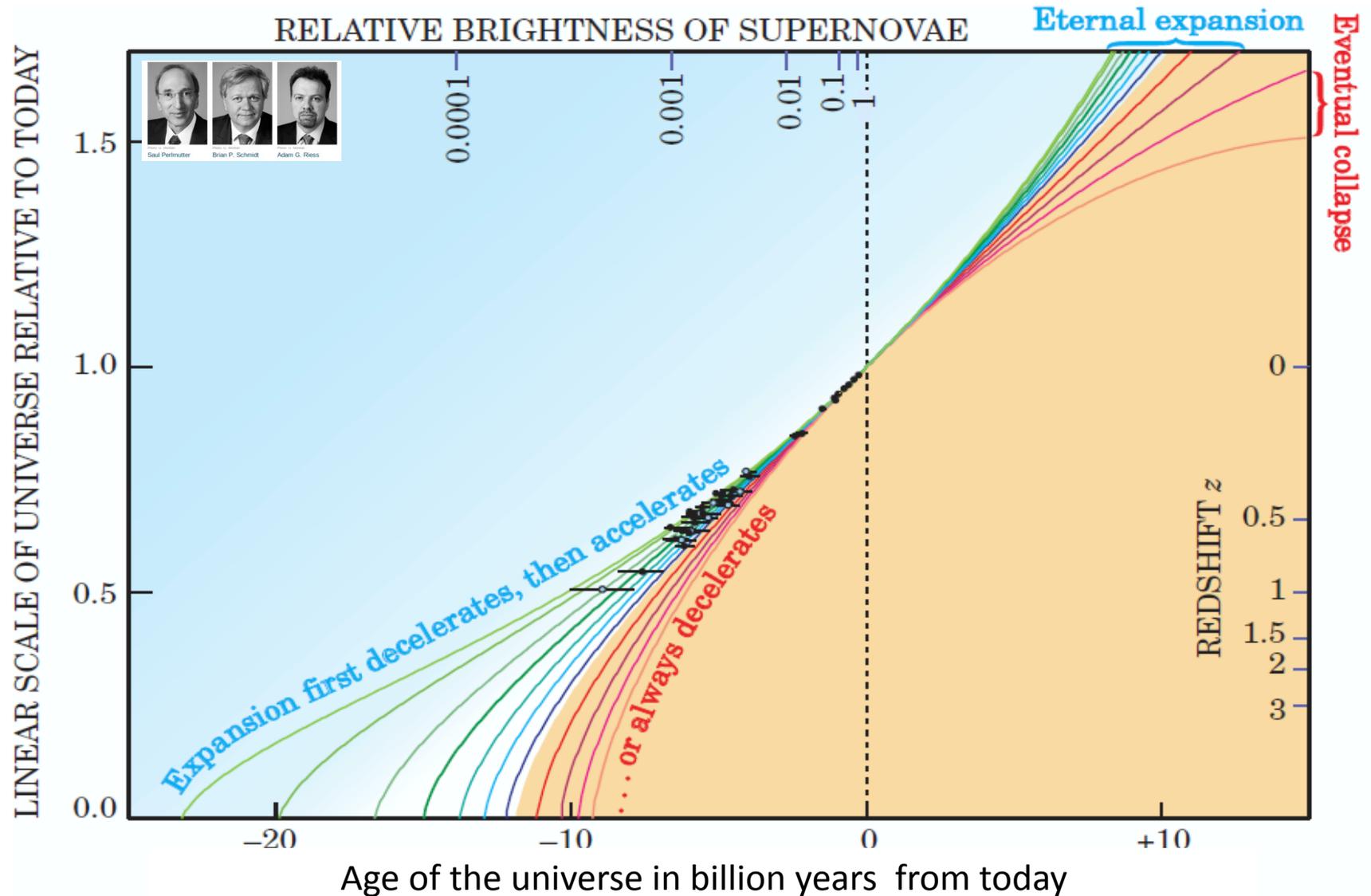
# Pourquoi l'expansion de l'Univers s'accélère?

- S'il y a une accélération, *quelque chose* qui nous est encore inconnu doit en être la cause...

Plus remarquable:

- les observations montrent que ce *quelque chose* représente 70% du contenu en matière-énergie de l'Univers!
- Cette domination vis-à-vis des autres composantes de l'Univers est contemporaine!

# L'expansion accélérée de l'Univers est récente



# Pourquoi l'expansion de l'Univers s'accélère?

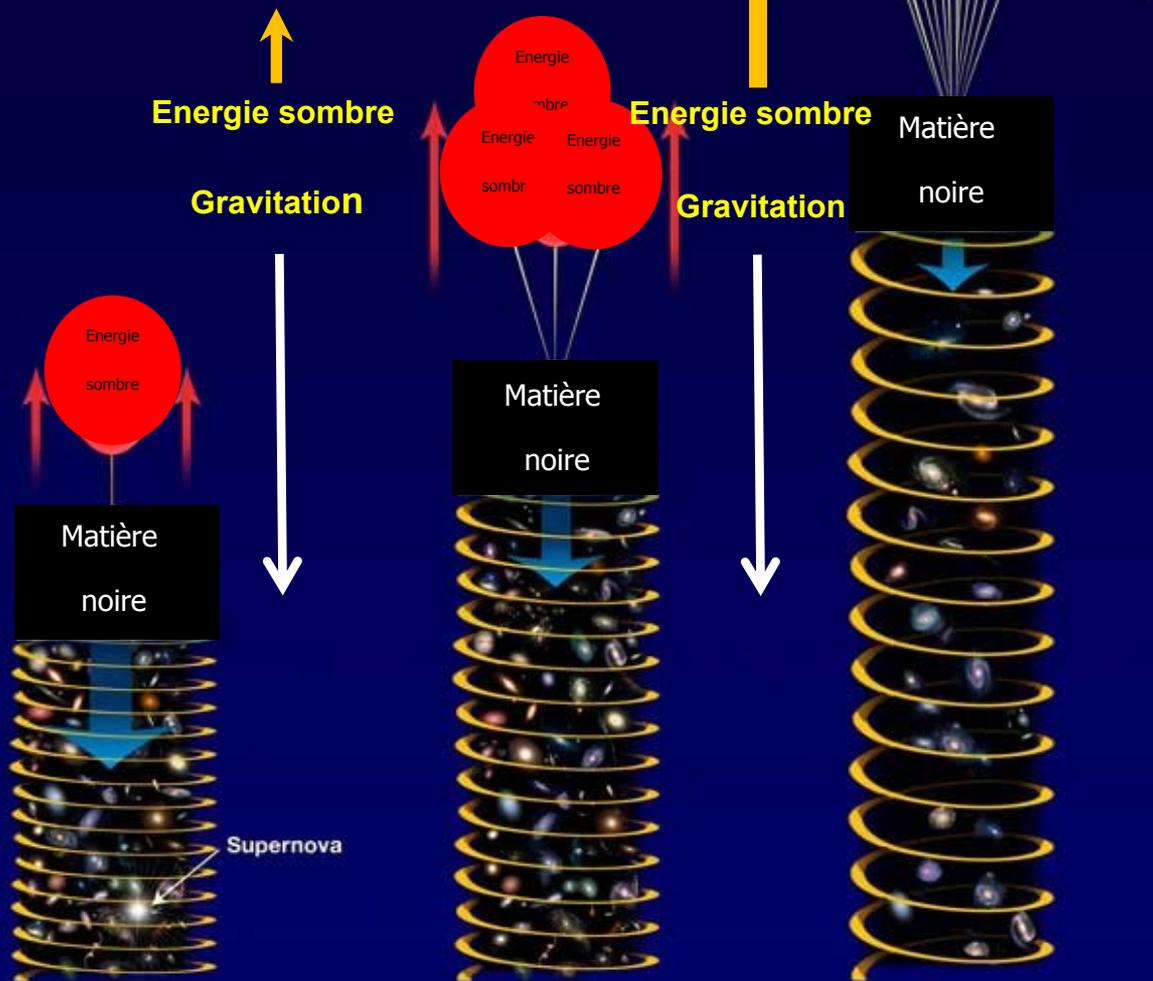
Une des plus grandes énigmes de la physique actuelle

- Hypothèses:

- Une nouvelle substance/interaction de nature inconnue, « **l'énergie sombre** », s'oppose à la gravitation aux très grandes échelles de l'Univers?... Elle agit comme une pression négative.

- Les **lois de la gravitation**, telles qu'elles sont formulées dans la théorie d'Einstein, ne sont plus valides aux très grandes échelles de l'Univers?

# La gravité vaincue: l'énergie sombre domine et dominera de plus en plus l'Univers



Il y a 10 milliards d'années

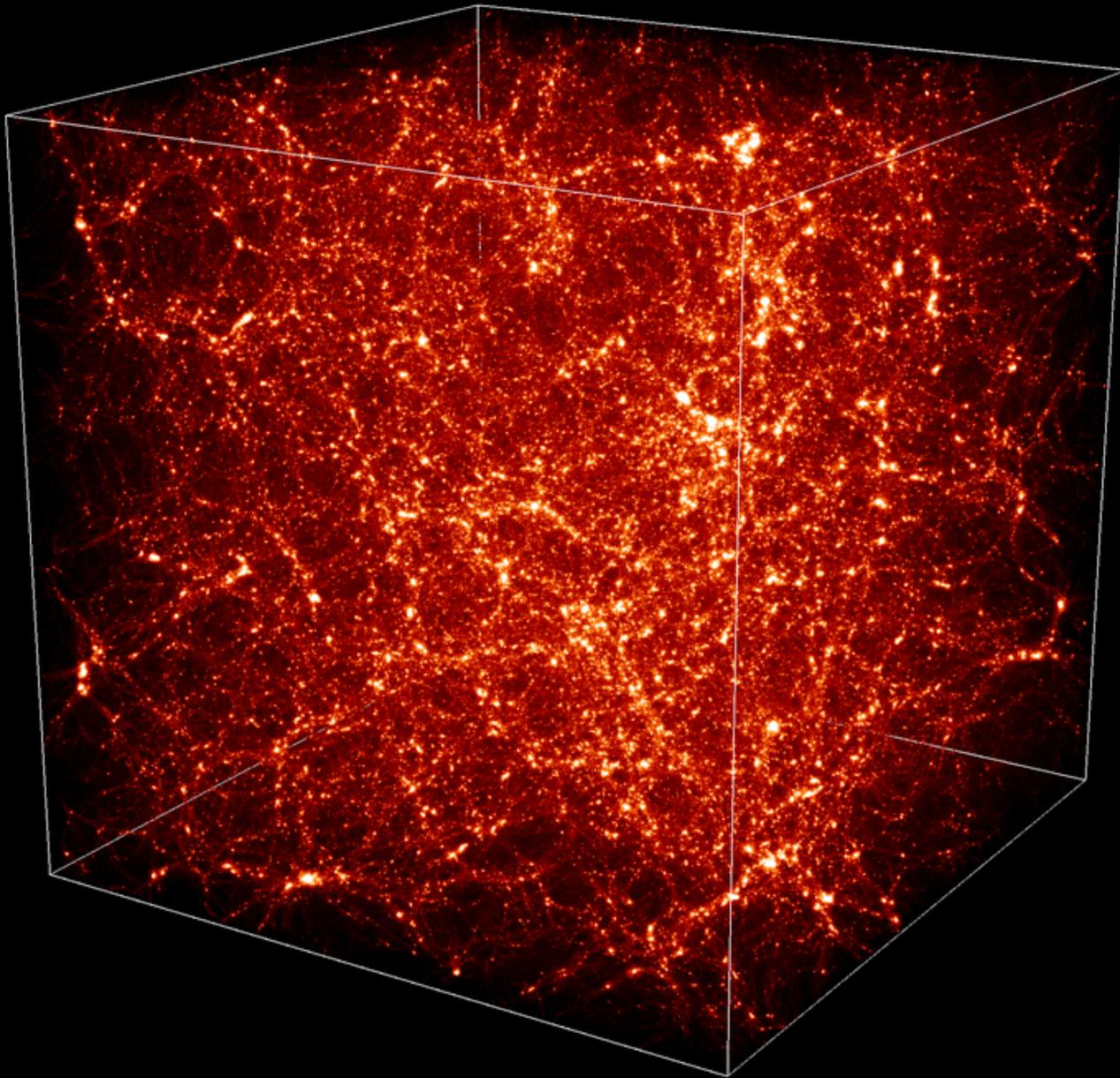
Aujourd'hui

# Energie sombre ou gravitation, comment savoir quelle est la bonne hypothèse?

Les effets sur l'évolution de l'Univers de l'énergie sombre et de la gravitation peuvent être séparés en mesurant:

- Leurs effets sur l'histoire de l'expansion de l'Univers;
- Leurs effets sur l'histoire de la formation des structures de matière (noire) dans l'Univers;

Comprendre en  
simulant l'Univers...



de la matière ordinaire,  
de la matière noire,  
de l'énergie sombre...  
et la gravitation en action

# Les effets de l'énergie sombre simulés

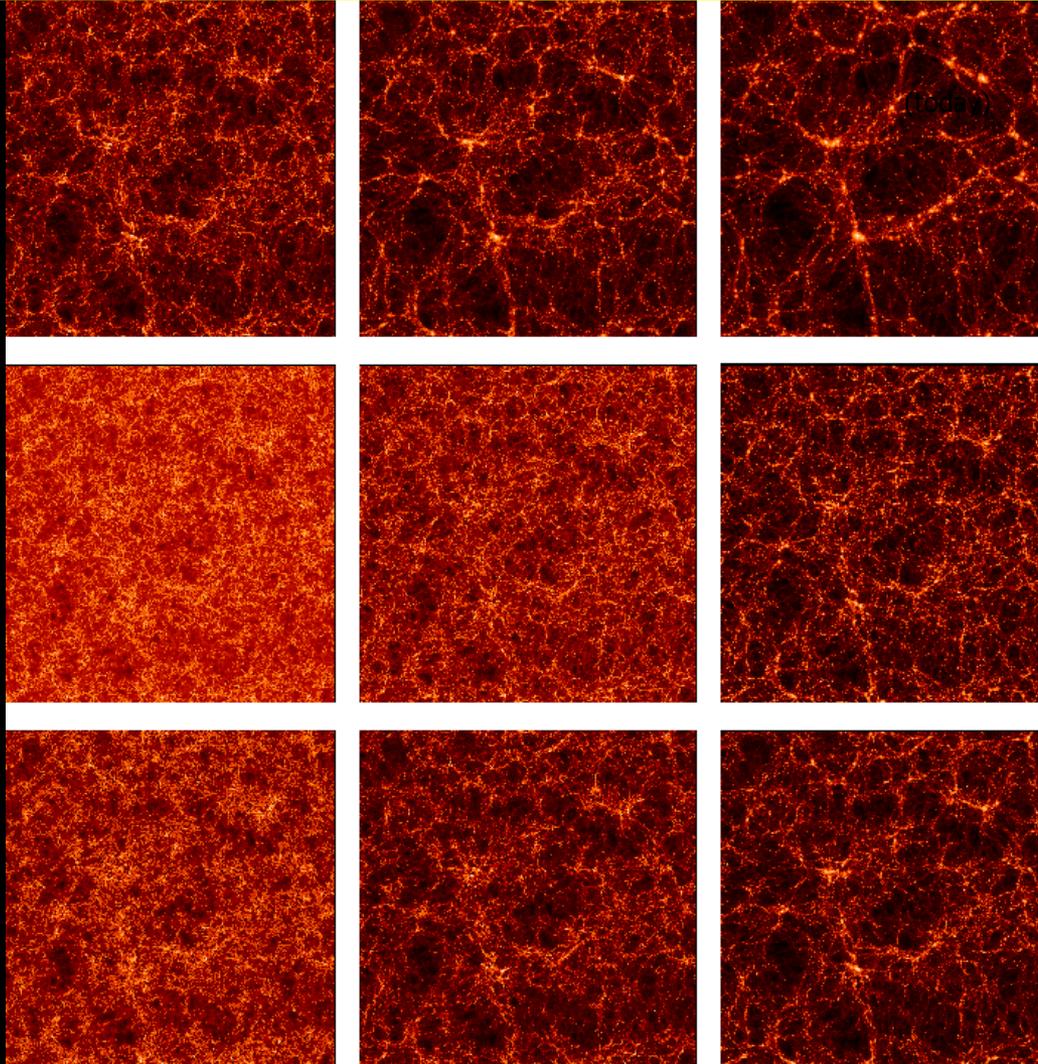
Il y a 10  
milliards  
d'années

Aujourd'hui

Univers 1

Univers 2

Univers 3



Univers avec  
énergie sombre

3 cosmologies  
différentes,

3 histoires  
cosmiques  
différentes

# Energie sombre ou gravitation, comment savoir quelle est la bonne hypothèse?

Les effets sur l'évolution de l'Univers de l'énergie sombre et de la gravitation peuvent être séparés en mesurant:

- Leurs effets sur l'histoire de l'expansion de l'Univers;
- Leurs effets sur l'histoire de la formation des structures de matière (noire) dans l'Univers;
- On peut prédire ces effets, on sait comment les observer et comment mesurer les différences...
- Mais les effets sont infimes... expériences complexes, ultra-précises, qui observent tout le ciel

# La mission spatiale Euclid



# La mission spatiale Euclid

Objectifs: Mesurer les effets infimes pour différencier ceux de l'énergie sombre et ceux de la gravitation sur

- l'histoire de l'expansion,
- l'histoire de la formation des structures,

en observant l'évolution de la distribution et la structuration de

- la matière noire
- des galaxies

depuis aujourd'hui, jusqu'à la période de transition où la matière noire dominait l'énergie sombre

# La mission spatiale Euclid

Objectifs: Mesurer les effets infimes

... et construire une expérience qui permette d'apporter une réponse décisive

→ Il faut une expérience dédiée, conçue spécifiquement pour atteindre cet objectif.

# La mission spatiale Euclid

Objectifs: Mesurer les effets infimes de l'énergie sombre et de la gravitation sur

- l'histoire de l'expansion,
- l'histoire de la formation des structures,

en observant l'évolution de la distribution et la structuration de

- la matière noire
- des galaxies

depuis aujourd'hui, jusqu'à la période de transition où la matière noire dominait l'énergie sombre

Observer des centaines de millions de galaxies

# ion spatial

Construire des instruments de haute précision

Objectifs: Mesurer les effets infimes

de l'énergie sombre et de la gravitation sur

- l'histoire de l'expansion,
- l'histoire de la formation des structures,

en observant l'évolution de la distribution et la structuration tridimensionnelle à grande échelle de

- la matière noire
- des galaxies

depuis aujourd'hui, jusqu'à la période de transition où la matière noire dominait l'énergie sombre

Observer des centaines de millions de galaxies

# ion spatial

Construire des instruments de haute précision

Objectifs: Mesurer **les effets infimes**

de l'énergie sombre et de la gravitation sur

- l'histoire de l'expansion
- l'histoire de la formation des structures,

Couper l'Univers par tranche de temps (-> décalage spectral)

en observant **l'évolution** de la distribution et la structuration tridimensionnelle à grande échelle de

- la matière noire
- des galaxies

depuis aujourd'hui, jusqu'à la période de transition où la matière noire dominait l'énergie sombre

Observer des centaines de millions de galaxies

# ion spatial

Construire des instruments de haute précision

Objectifs: Mesurer **les effets infimes**

Observer l'Univers entre  $z=0$  et  $z=3$  ( $t=13.5$ =aujourd'hui et  $t=2$  milliards d'années)

et de la gravitation sur l'expansion

Couper l'Univers par tranche de temps (-> décalage spectral)

• l'histoire de la formation des structures, en observant **l'évolution de la** distribution et la structuration tridimensionnelle à grande échelle de

- la matière noire
- des galaxies

depuis aujourd'hui, jusqu'à la **période de transition** ou la matière noire dominait l'énergie sombre

Observer des centaines de millions de galaxies

# ion spatial

Construire des instruments de haute précision

Objectifs: Mesurer **les effets infimes**

Observer l'Univers entre  $z=0$  et  $z=3$  ( $t=13.5$ =aujourd'hui et  $t=2$  milliards d'années)

et de la gravitation sur l'expansion

Couper l'Univers par tranche de temps (-> décalage spectral)

• l'histoire de la formation des structures, en observant **l'évolution de la** distribution et la structuration tridimensionnelle **à grande échelle** de

- la matière noire
- des galaxies

Observer d'immenses parties du ciel

depuis aujourd'hui, jusqu'à la **période de transition** ou la matière noire dominait l'énergie sombre

Observer des centaines de millions de galaxies

# cosmologie spatiale

Construire des instruments de haute précision

Objectifs: Mesurer les effets infimes

Observer l'Univers entre  $z=0$  et  $z=3$  ( $t=13.5$ =aujourd'hui et  $t=2$  milliards d'années)

l'expansion et de la gravitation sur

Couper l'Univers par tranche de temps (-> décalage spectral)

• l'histoire de la formation des structures, en observant l'évolution de la distribution et la structuration tridimensionnelle à grande échelle de

• la matière noire

• des galaxies

Observer d'immenses parties du ciel

Voir la matière noire avec les effets de lentille gravitationnelle

d'aujourd'hui, jusqu'à la période de transition où la matière noire dominait l'énergie sombre

Observer des centaines de millions de galaxies

# ion spatial

Construire des instruments de haute précision

Objectifs: Mesurer les effets infimes

Observer l'Univers entre  $z=0$  et  $z=3$  ( $t=13.5$ =aujourd'hui et  $t=2$  milliards d'années)

Expansion et de la gravitation sur

Couper l'Univers par tranche de temps (-> décalage spectral)

• l'histoire de la formation des structures, en observant l'évolution de la distribution et la structuration tridimensionnelle à grande échelle de

• la matière noire

• des galaxies

Observer d'immenses parties du ciel

Voir la matière noire avec les effets de lentille gravitationnelle

d'hui, jusqu'à la période de transition où la matière noire dominait l'énergie sombre

Spectroscopie = distance des galaxies

# ion spatial

Observer des centaines de millions de galaxies

Construire des instruments de haute précision

Objectifs: Mesurer les effets infimes

Observer l'Univers entre  $z=0$  et  $z=3$  ( $t=13.5$ =aujourd'hui et  $t=2$  milliards d'années)

Expansion et de la gravitation sur

Couper l'Univers par tranche de temps (-> décalage spectral)

• l'histoire de la formation des structures, en observant l'évolution de la distribution et la structuration tridimensionnelle à grande échelle de

• la matière noire

• des galaxies

Observer d'immenses parties du ciel

Voir la matière noire avec les effets de lentille gravitationnelle

d'aujourd'hui, jusqu'à la période de transition où la matière noire dominait l'énergie sombre

Spectroscopie = distance des galaxies

# La mission spatiale Euclid

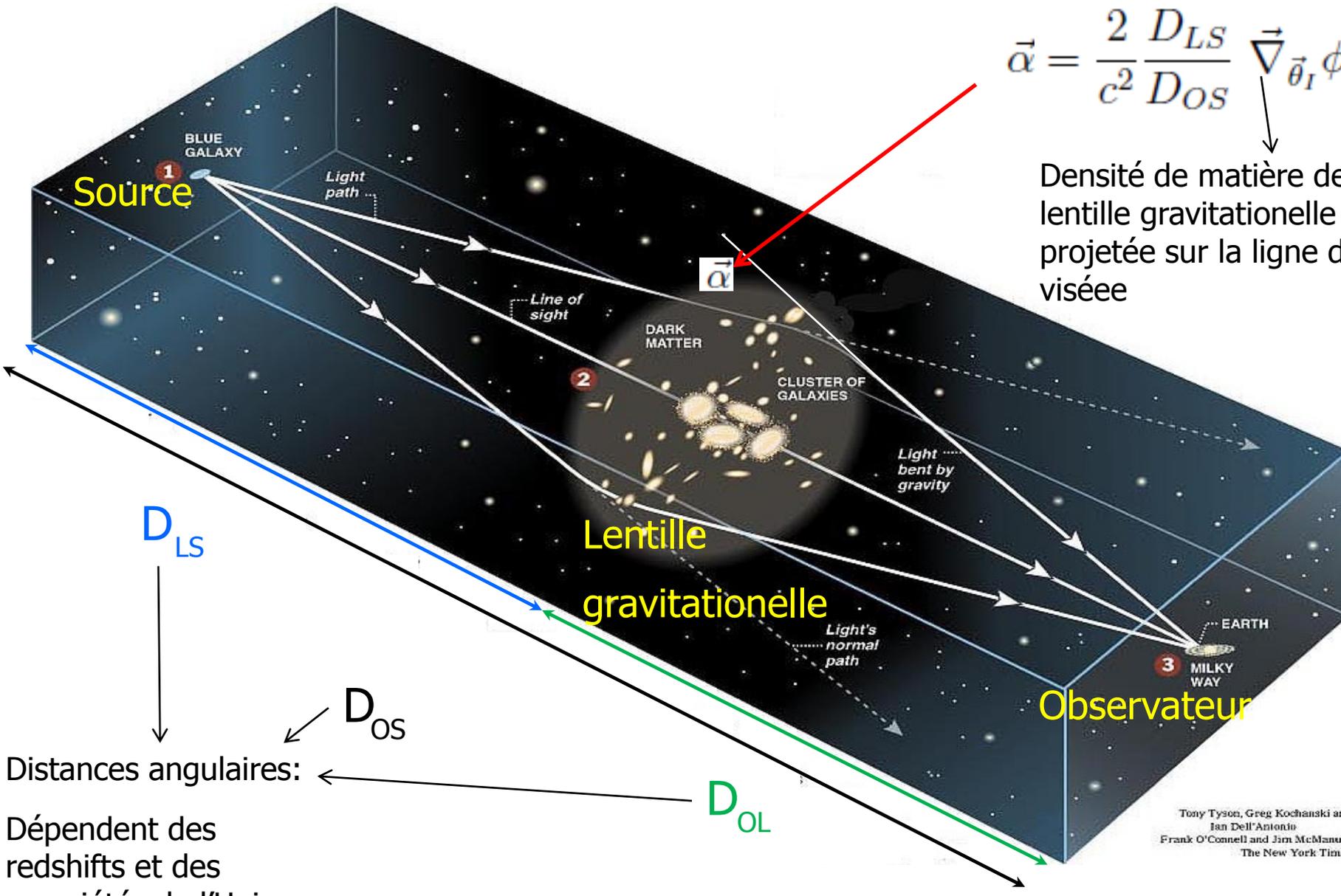
- Envoyer dans l'espace un télescope de 1.2m de diamètre,
- Faire de l'imagerie visible et infra-rouge et de la spectroscopie infrarouge,
- Observer 15000 deg<sup>2</sup> du ciel (1/3 du ciel total) hors du plan de la Galaxie et du plan du système solaire (l'écliptique),
- Mesurer les formes et les distances (redshifts photométriques) de 2 milliards de galaxies → voir la distribution de la matière noire *directement* par les effets de distorsion gravitationnelle des grandes structures de l'Univers, et ceci en fonction du temps (tomographie),
- Mesurer précisément la distribution tri-dimensionnelle des galaxies en fonction du temps grâce à la spectroscopie et la mesure de 50 millions de redshifts.

# Disgression sur les effets de lentille gravitationnelle

La courbure de  
l'espace-temps à  
proximité de la Terre



# La déflexion des rayons lumineux



Prédiction d'Einstein:

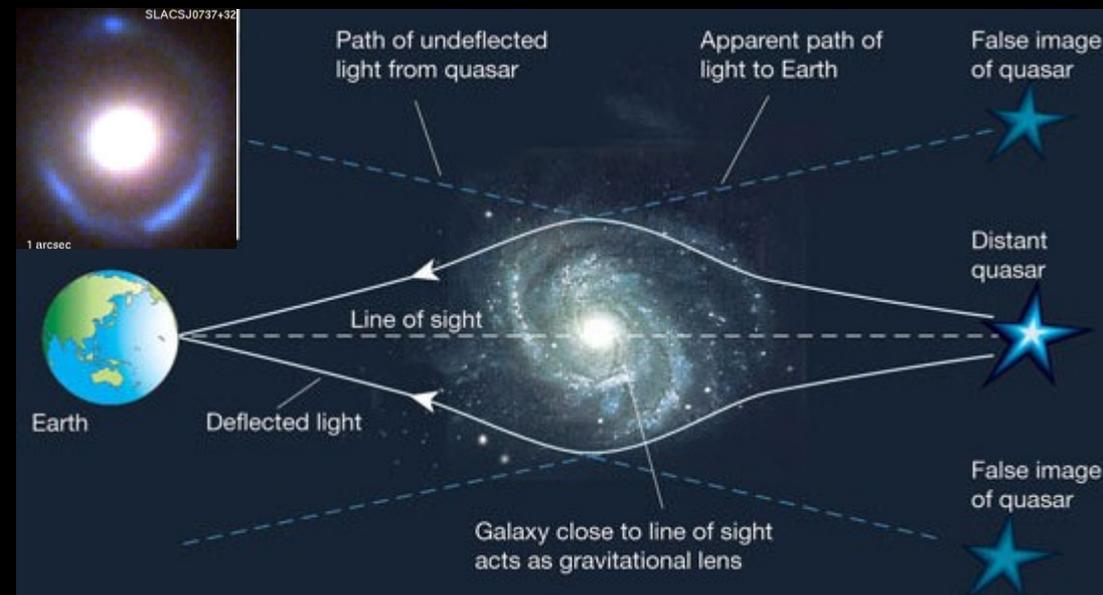
$$\vec{\alpha} = \frac{2}{c^2} \frac{D_{LS}}{D_{OS}} \vec{\nabla}_{\vec{\theta}_I} \phi_N^{2D}$$

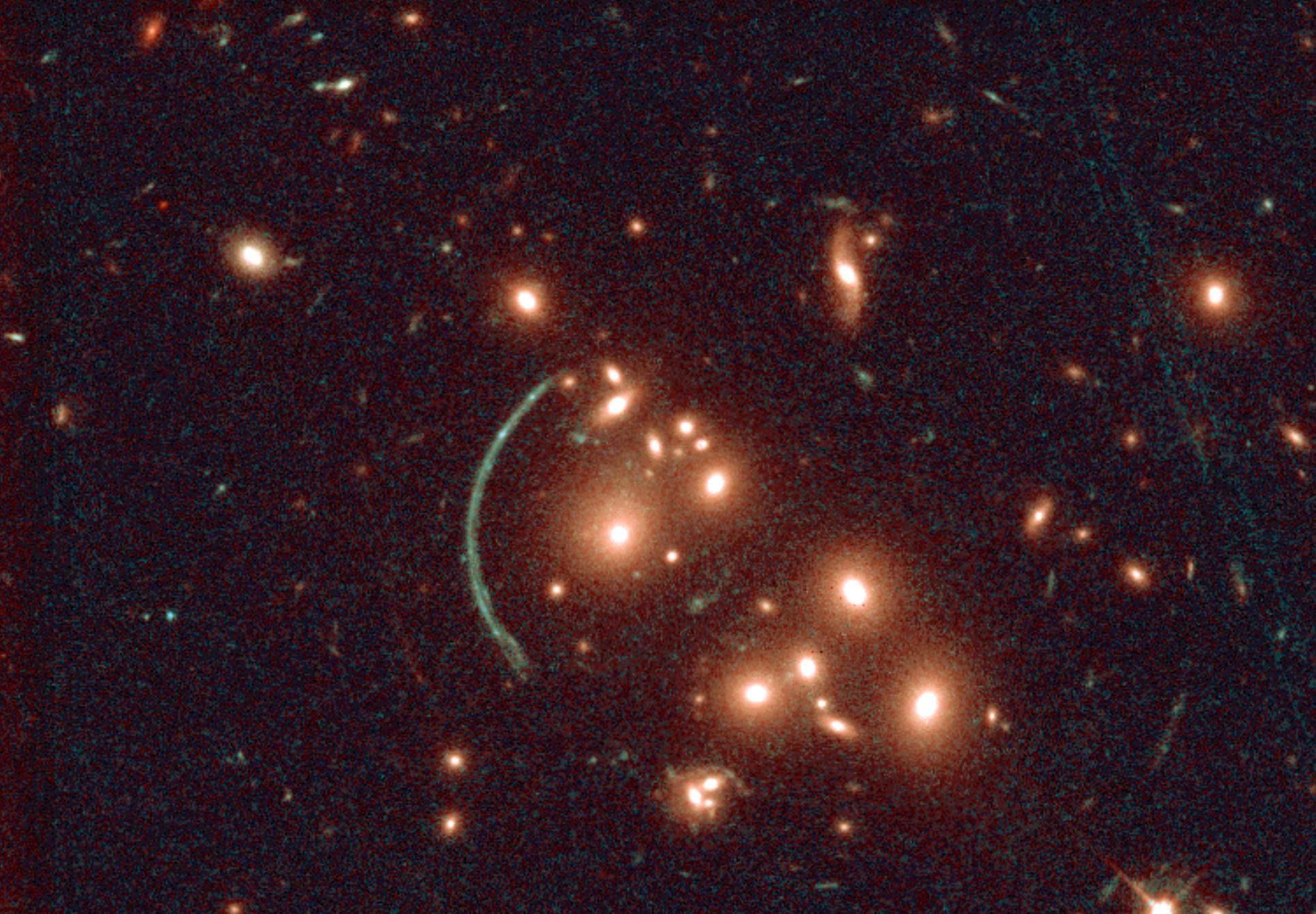
Densité de matière de la lentille gravitationnelle projetée sur la ligne de visée

Distances angulaires:  
 Dépendent des redshifts et des propriétés de l'Univers

Tony Tyson, Greg Kochanski and Jan Dell'Antonio/  
 Frank O'Connell and Jim McManus/  
 The New York Times

# Les anneaux ou arcs: un alignement quasi-parfait

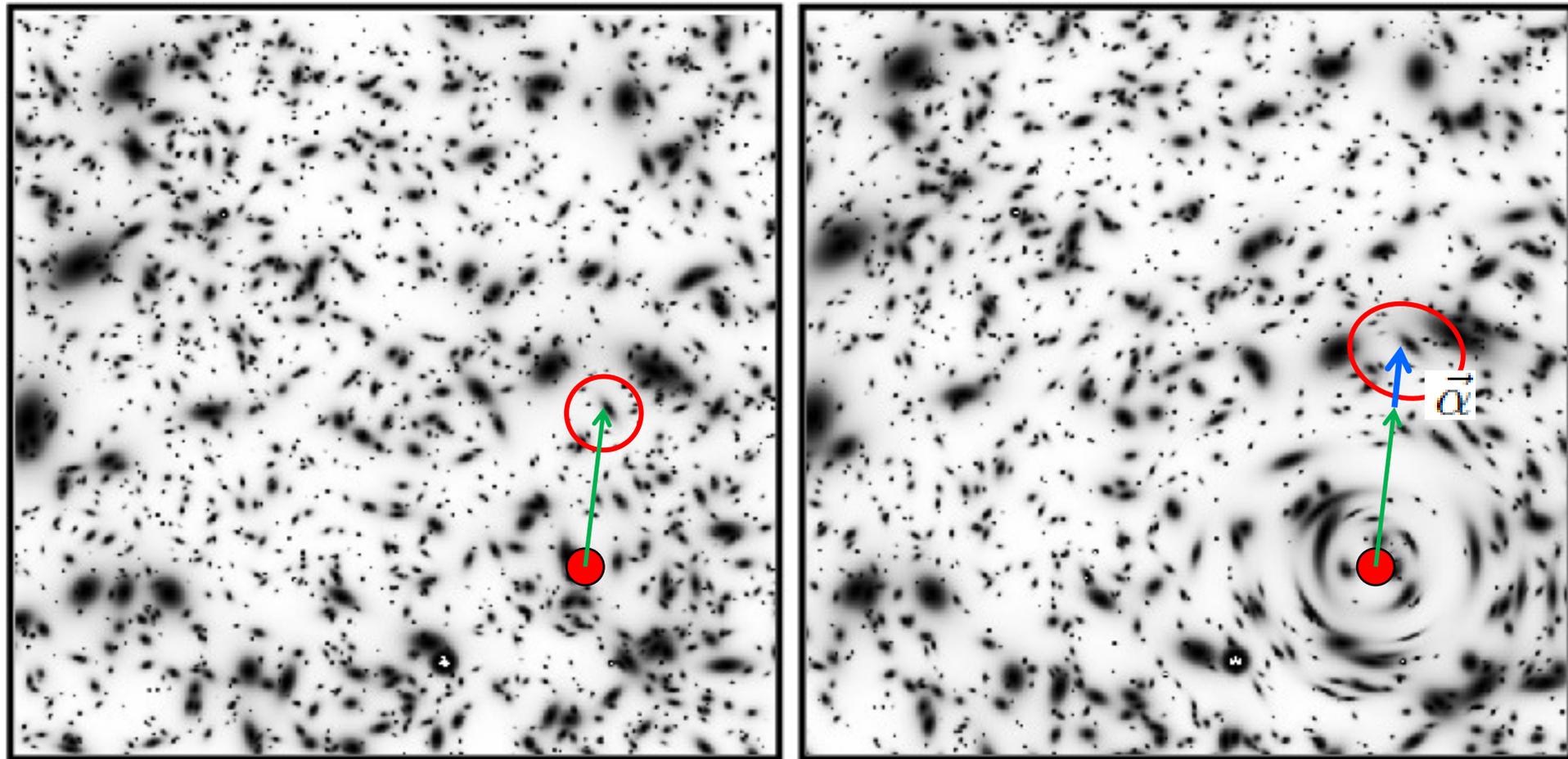




Effets de lentille gravitationnelle: télescope spatial Hubble

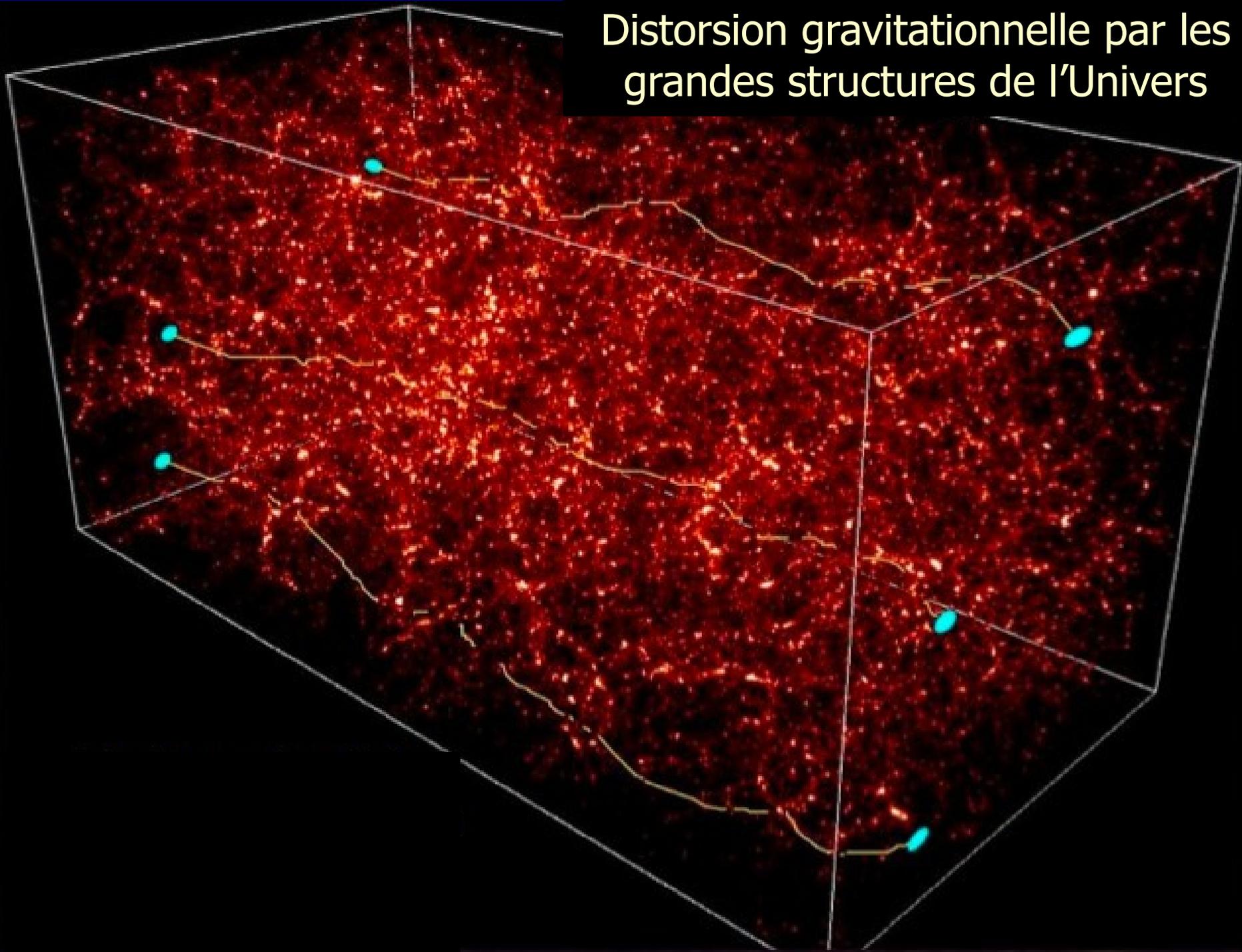
# Effets statistiques des lentilles gravitationnelles sur les galaxies:

La forme apparente des galaxies est « étirée » par la gravité



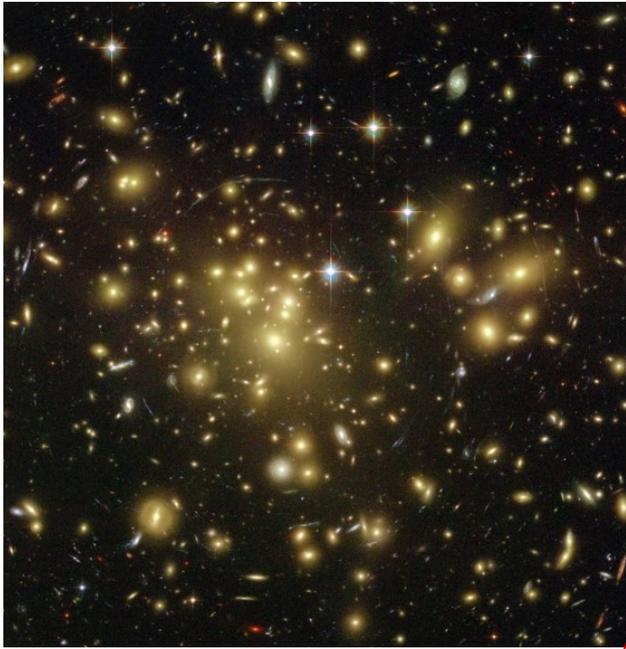


# Distorsion gravitationnelle par les grandes structures de l'Univers

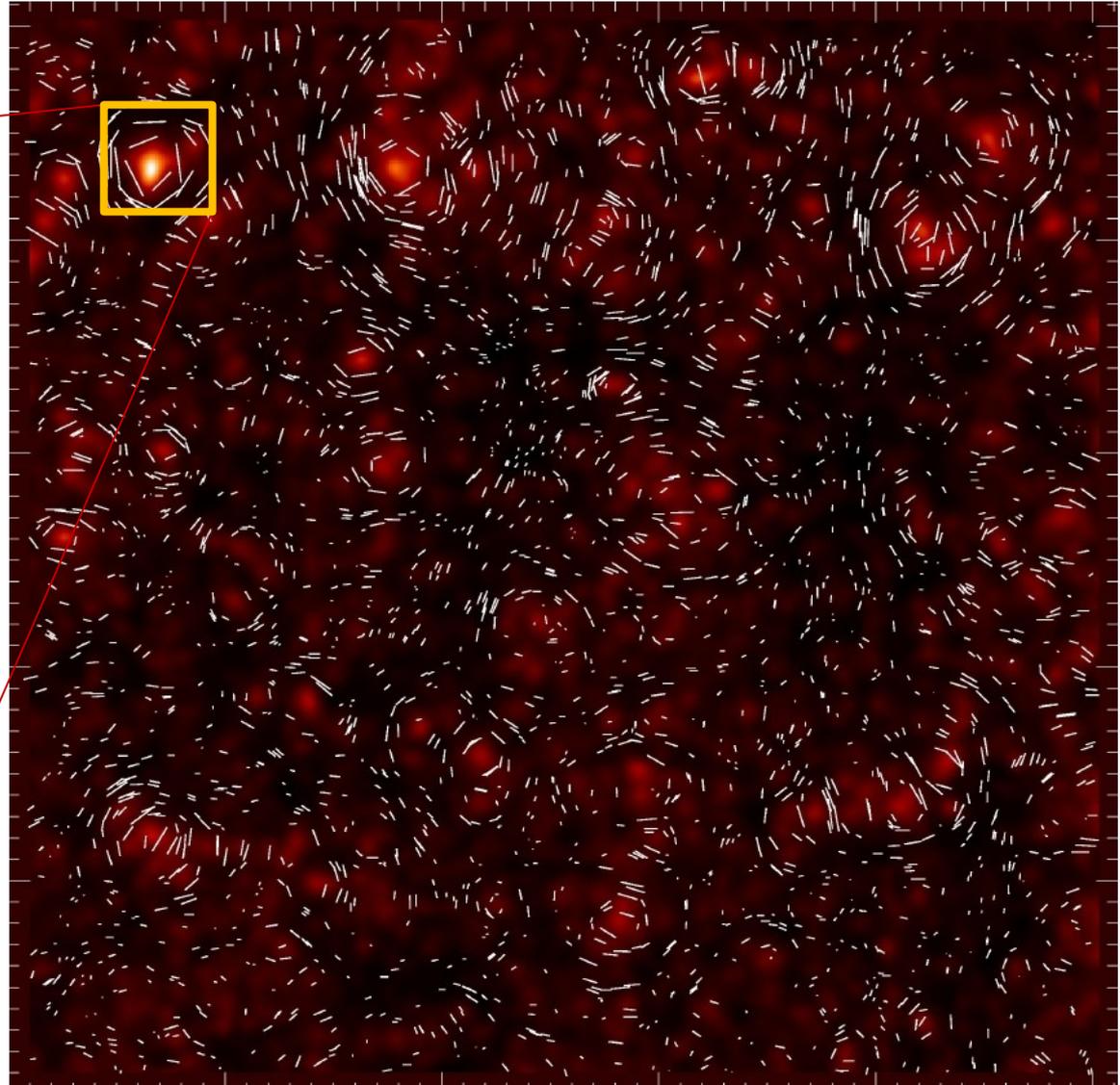


# Distorsion gravitationnelle par les grandes structures de l'Univers projetée sur le ciel:

→ Un champ galaxies orientées et allongées de façon cohérente

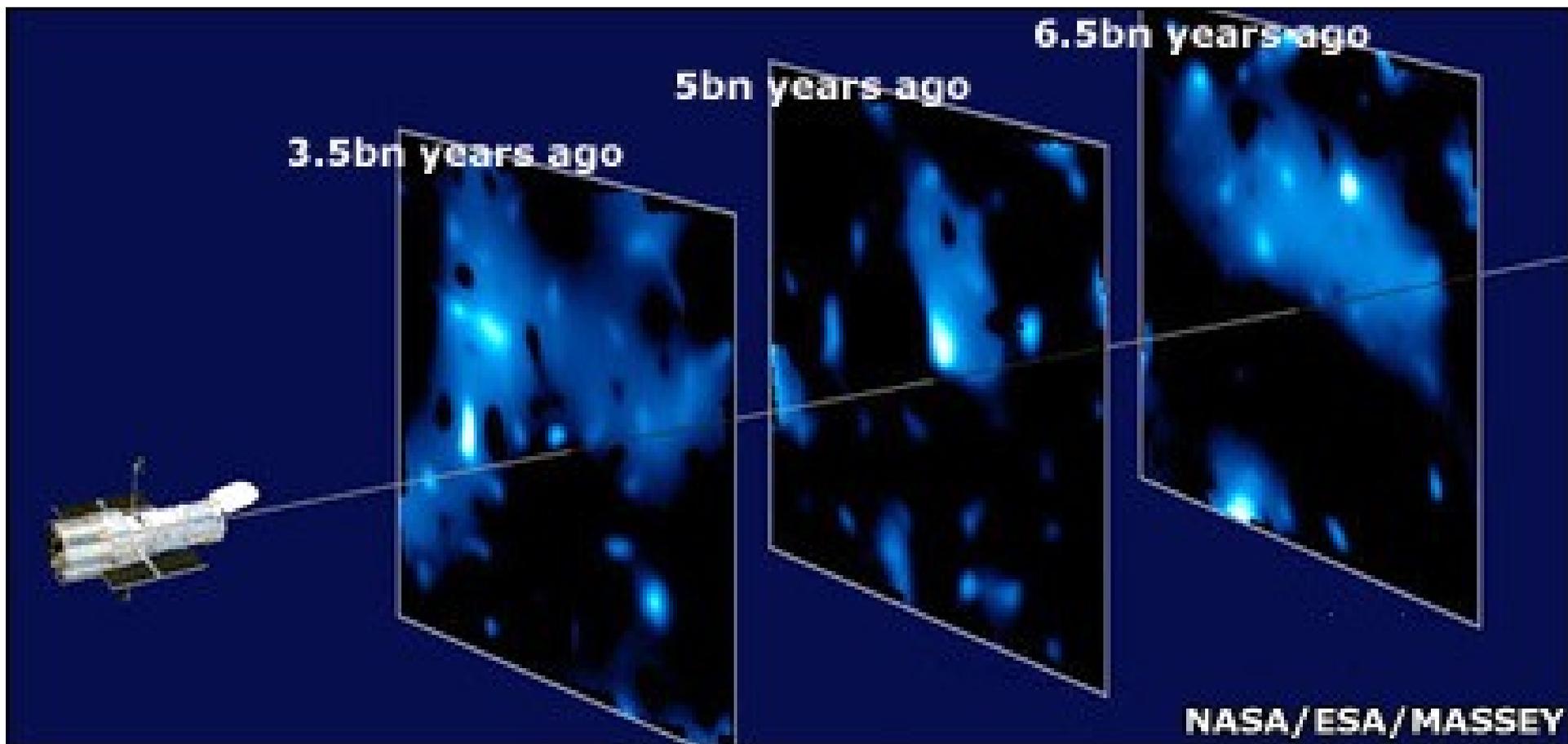


Les allongements des galaxies sont infimes, invisibles sur les galaxies individuelles

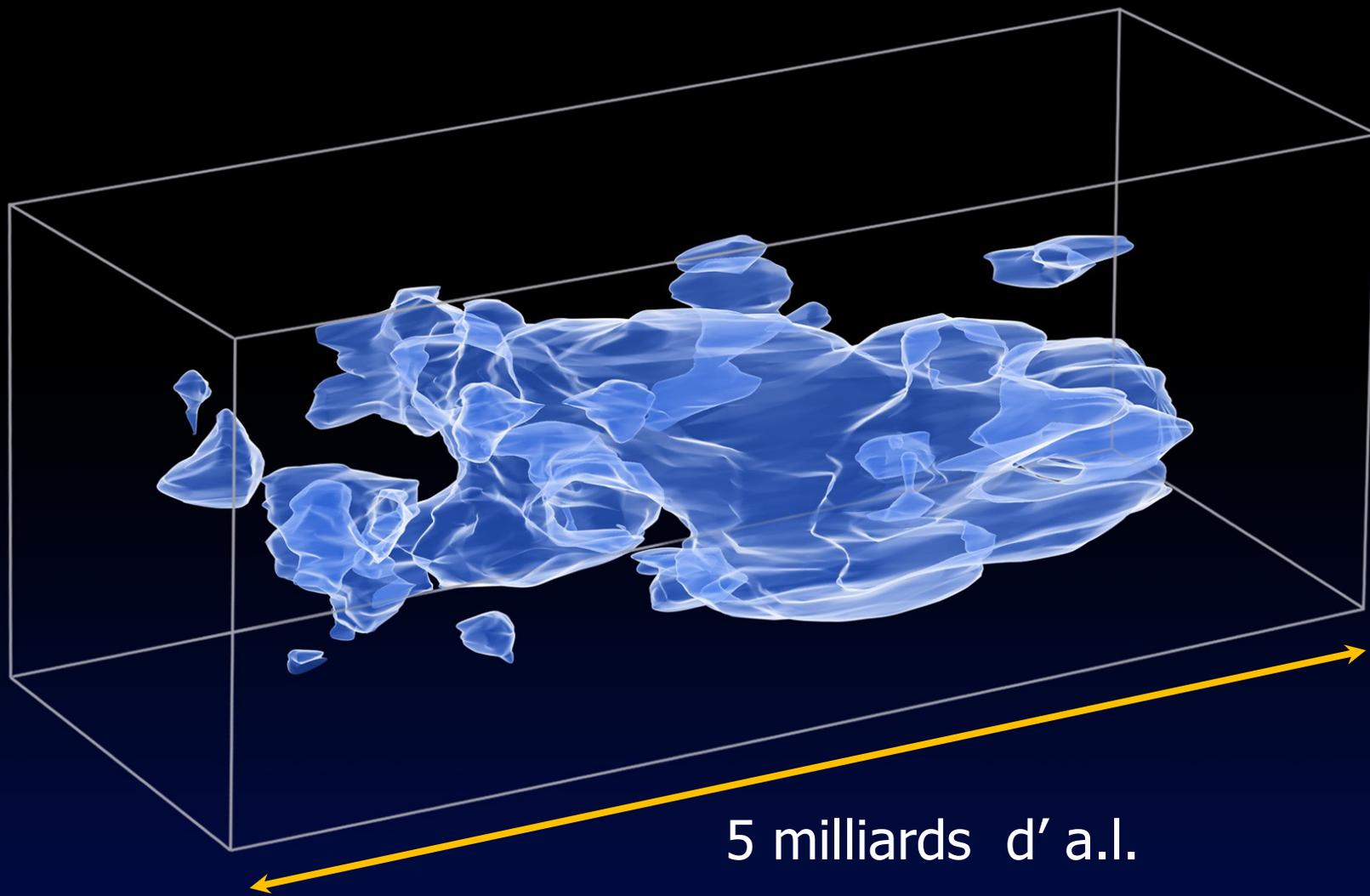


# Euclid va mesurer des effets de distorsion gravitationnelle projetés sur le ciel mais...

- à 10 époques différentes
- au cours des 10 derniers milliards d'années



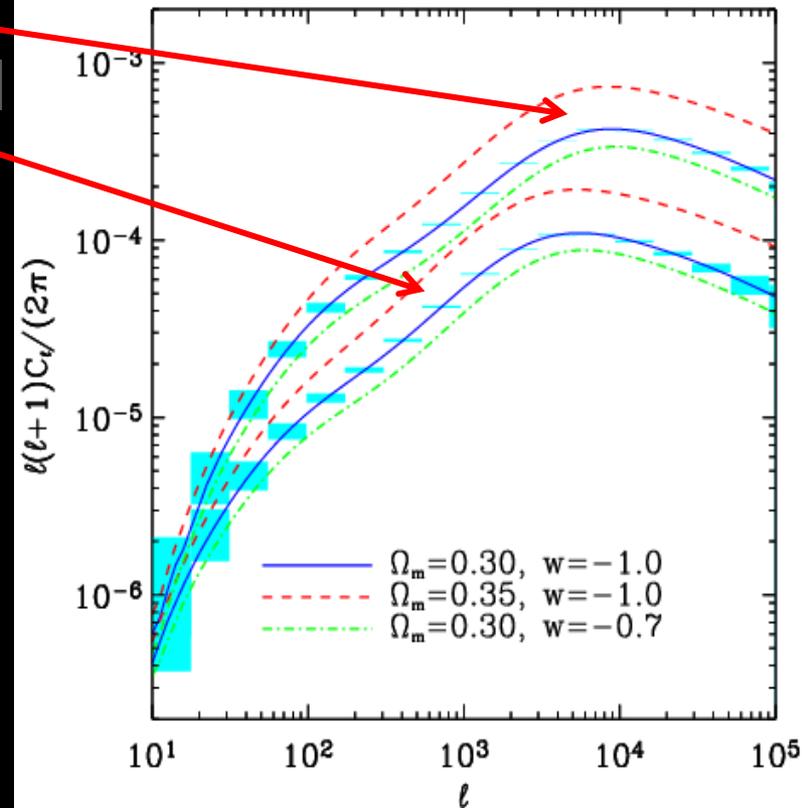
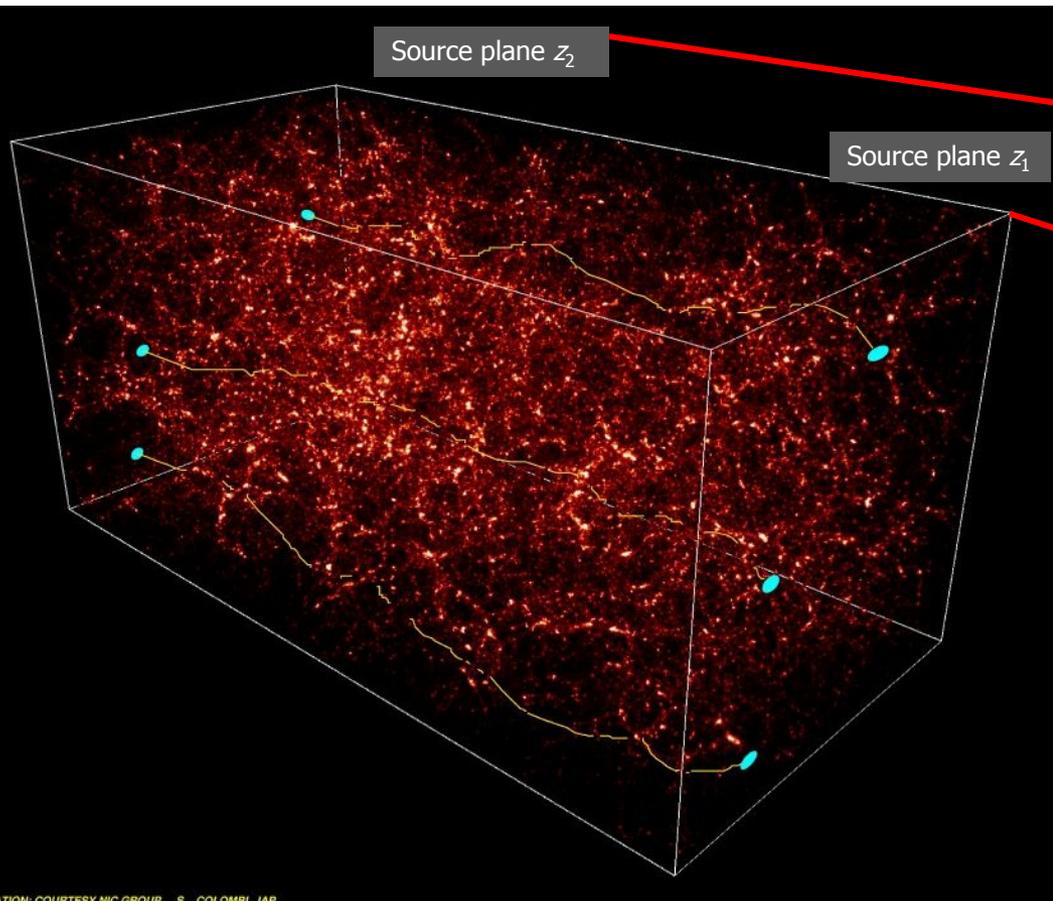
# L'Univers 3D peut être reconstruit par les effets de la gravitation



# Ce que va déterminer Euclid:

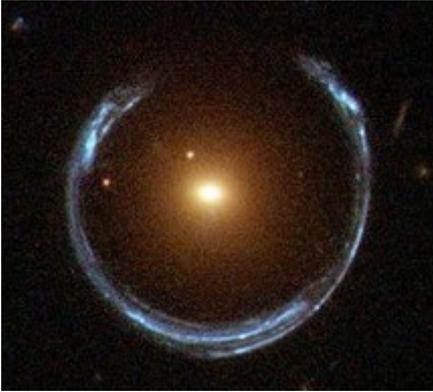
la distribution de la matière noire en fonction de l'échelle,  
à 10 époques de l'Univers au cours des 10 derniers milliards  
d'années...

puis comparer aux prédictions théoriques



# Importance des distances/redshifts pour analyser les effets de lentilles gravitationnelles

HST/ACS credit NASA/ESA



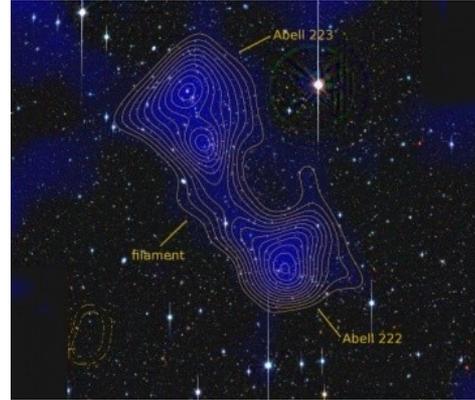
Halo galactique

HST/ACS; credit NASA/ESA



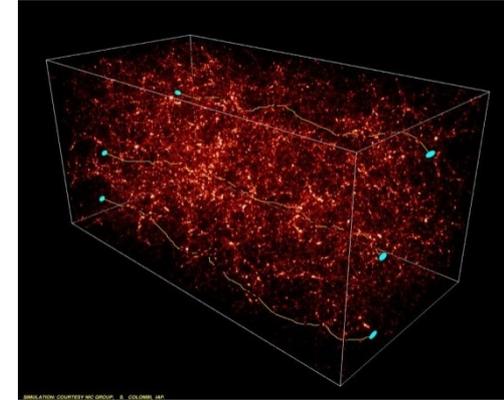
Amas de galaxies

Dietrich et al 2012



Filaments entre amas

Colombi/Mellier



Distorsion cosmologique

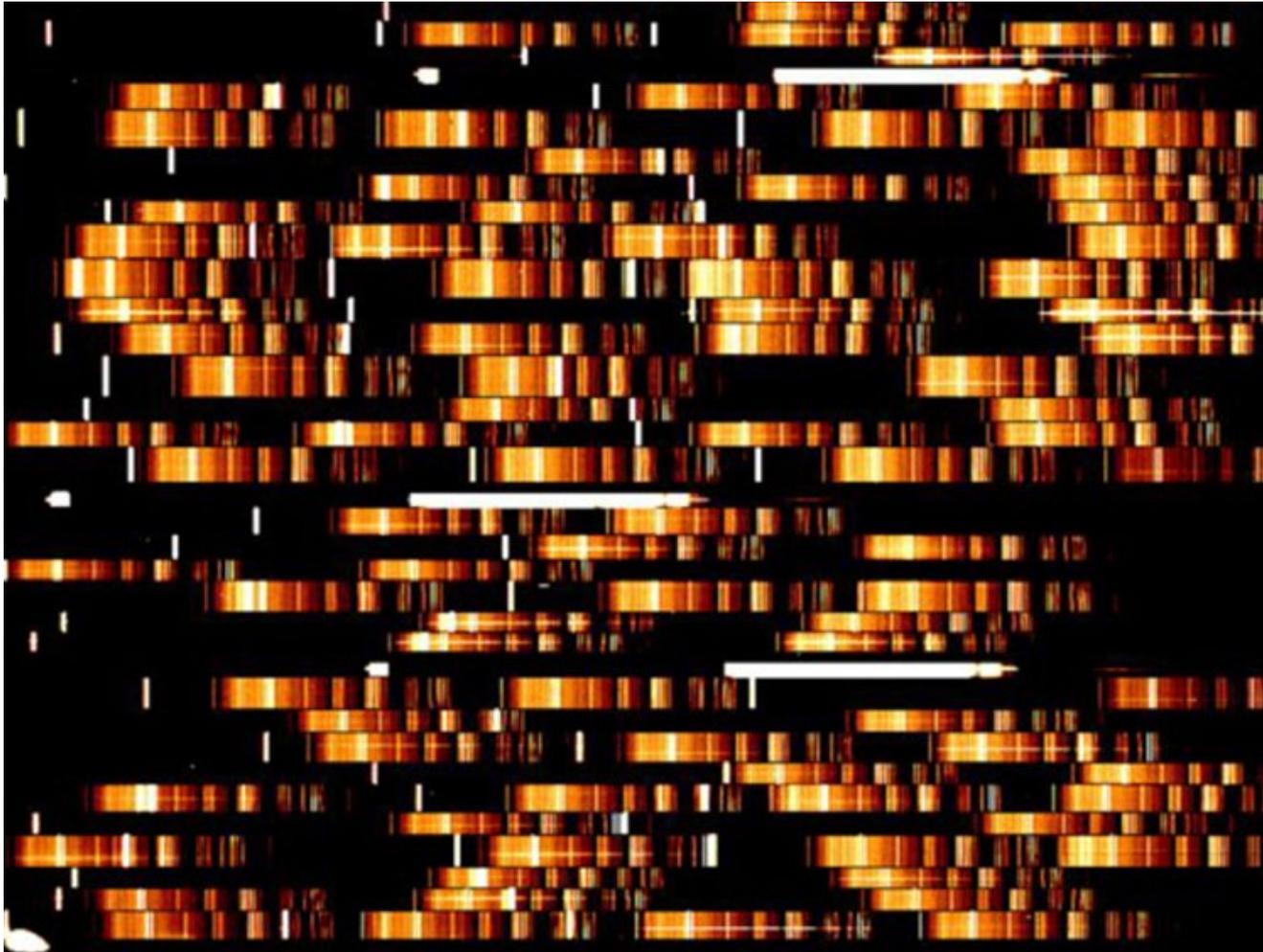
$$\vec{\alpha} = \frac{2}{c^2} \frac{D_{LS}}{D_{OS}} \vec{\nabla}_{\vec{\theta}_I} \phi_N^{2D}$$

Il faut mesurer des distances

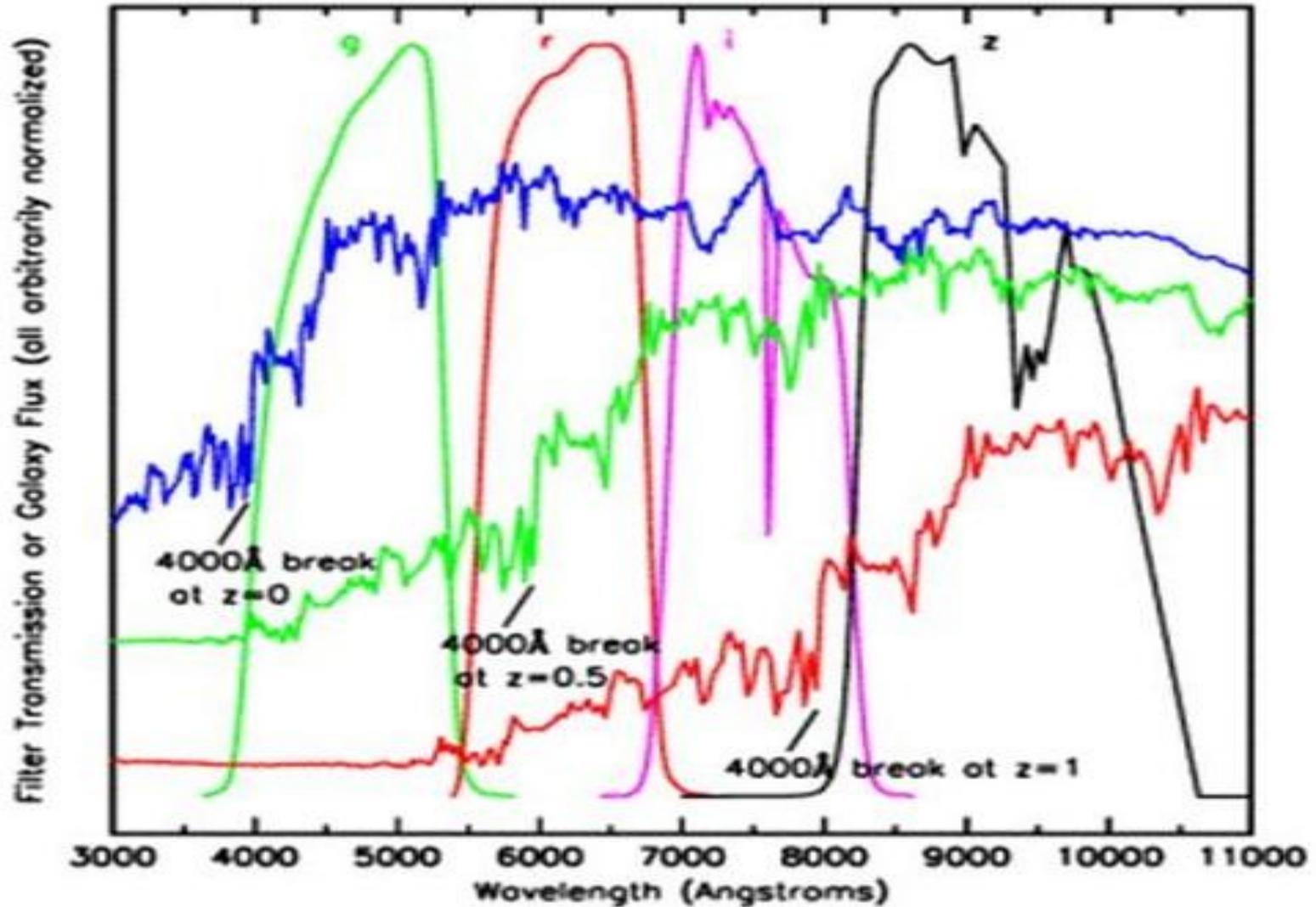
→ besoin de redshifts ... de **tous** les objets déformés

Les machines à redshifts par spectroscopie existent, mais d'ici 2020 aucune de pourra fournir les redshifts de 2 milliards de galaxies

(maximum  $\sim$  100 millions)



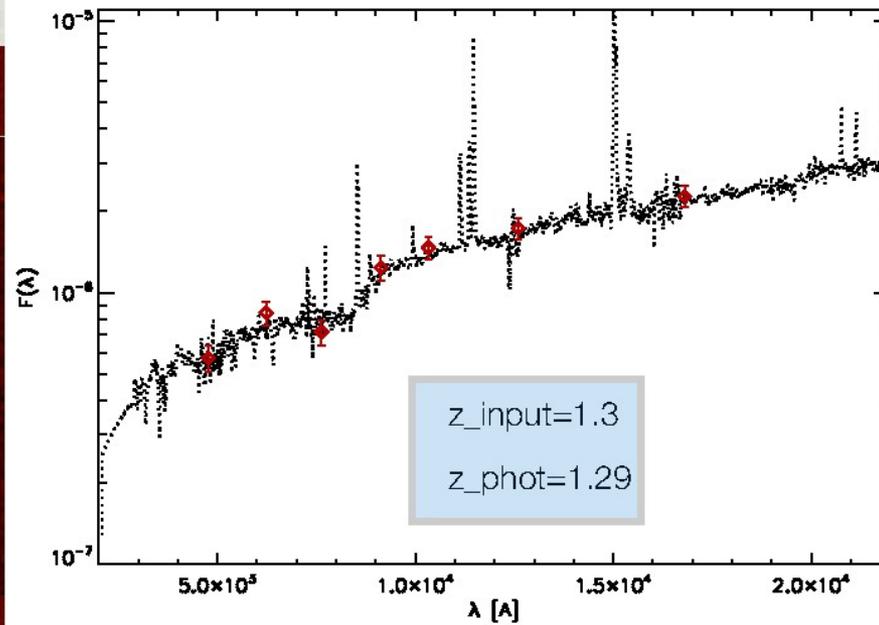
# Principe du redshift photométrique



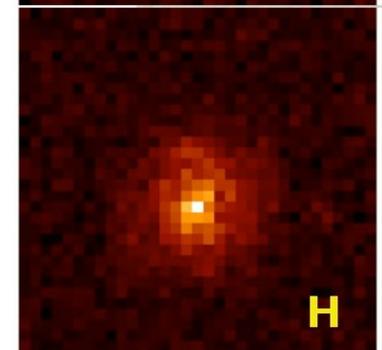
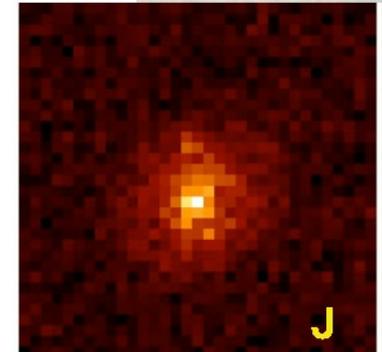
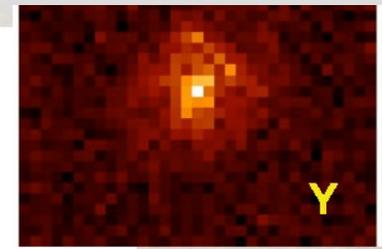
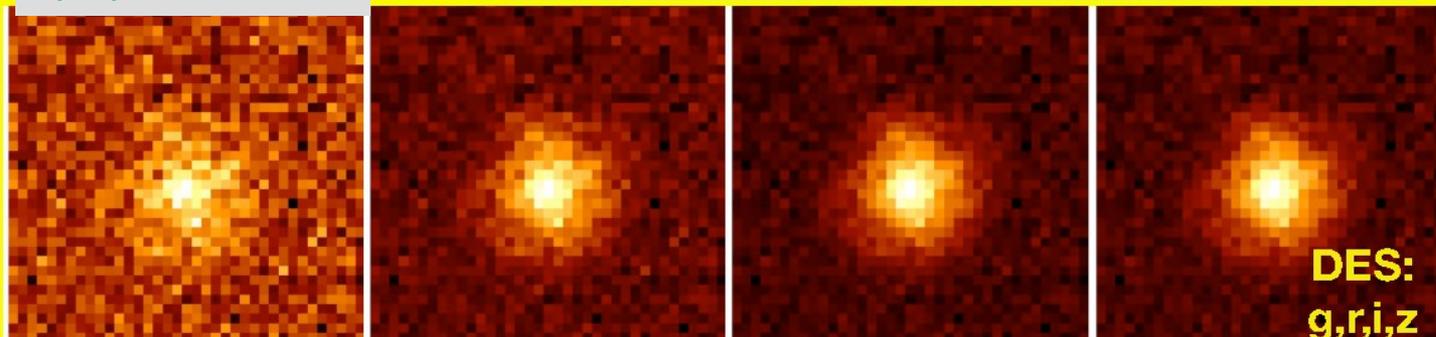
# S'affranchir des redshifts spectroscopiques: les « redshifts photométriques »

Mais ne sont efficaces qu'avec plusieurs filtres dans le domaine visibles et le domaine infra-rouge

Filtres infra-rouges  
provenant des  
l'imagerie infra-rouge  
d'Euclid



Filtres visibles  
provenant des  
téléscopes  
optiques au sol



# L'apport considérable de l'espace avec Euclid

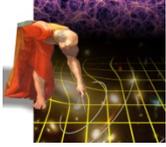
## Mesure des déformations des galaxies avec un télescope dans l'espace:

- Pas de dégradation des images par la turbulence atmosphérique
- Télescope ultra-stable pendant les 7 années dans l'espace

## Mesure des redshifts photométriques:

- Emission thermique du ciel ou du télescope 1000 fois plus faible qu'au sol:
- Si on voulait couvrir les 15000 deg<sup>2</sup> à la profondeur nécessaire, avec le télescope de l'ESO VISTA (4 mètres de diamètre, une caméra couvrant un champ 2 fois plus grand qu'Euclid).... **Il faudrait 640 ans!**

# Toute la mission Euclid en une image

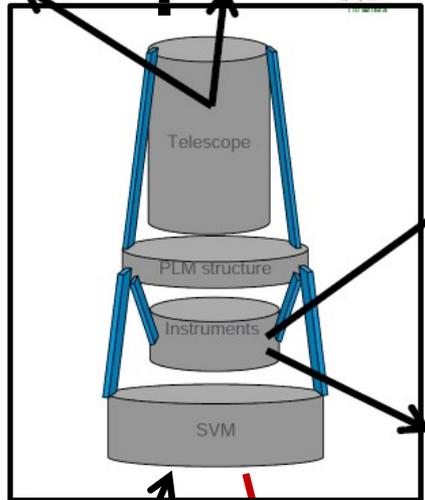
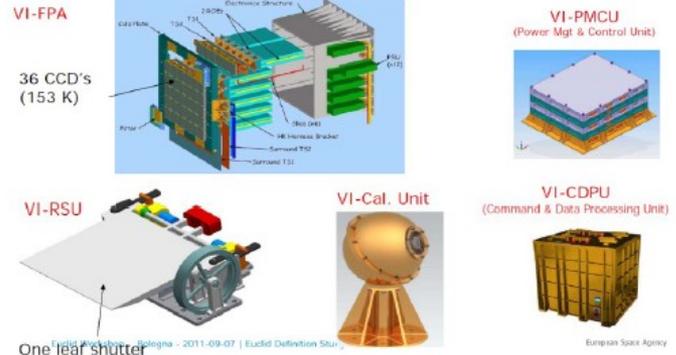
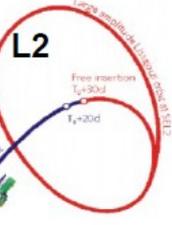


Soyuz@Kourou

Q2 2020



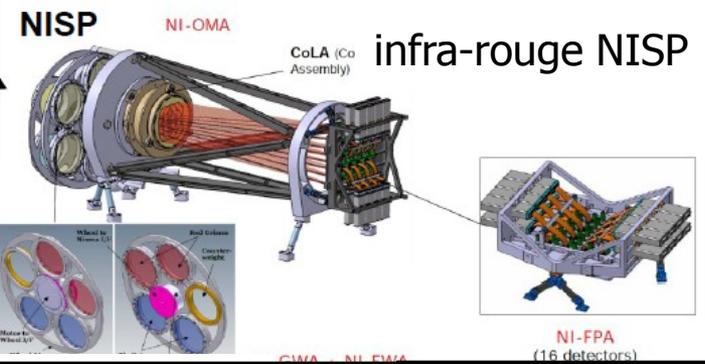
ears



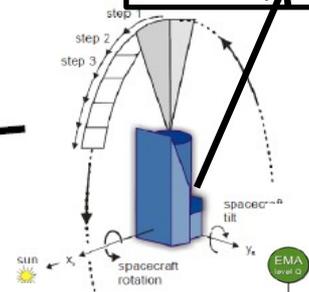
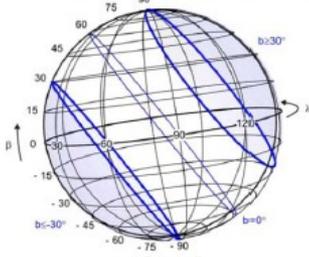
Imageur visible: VIS

Imageur/spectrographe

infra-rouge NISP

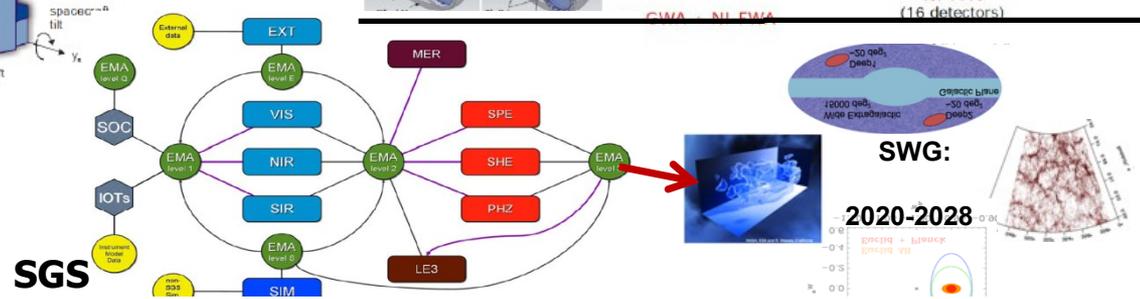


Avoid Galaxy+Ecliptic

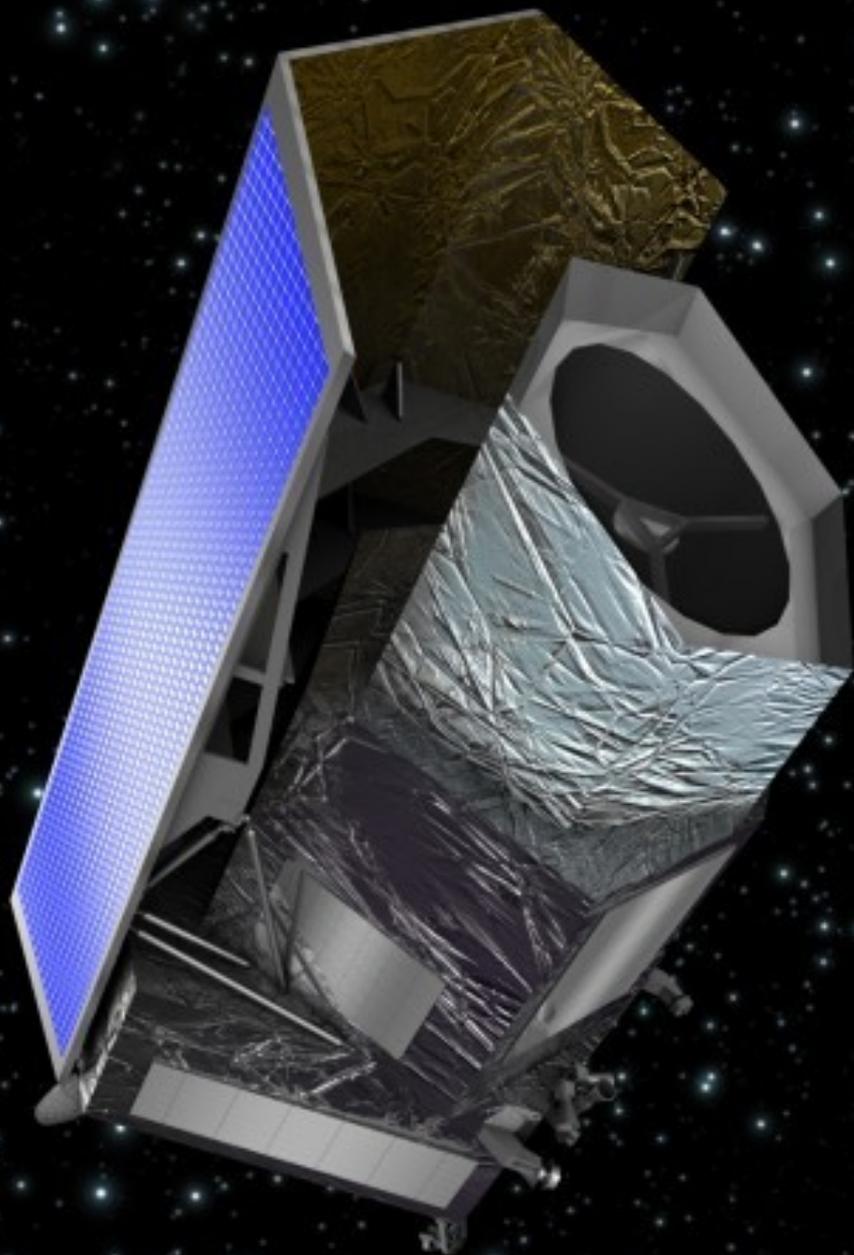


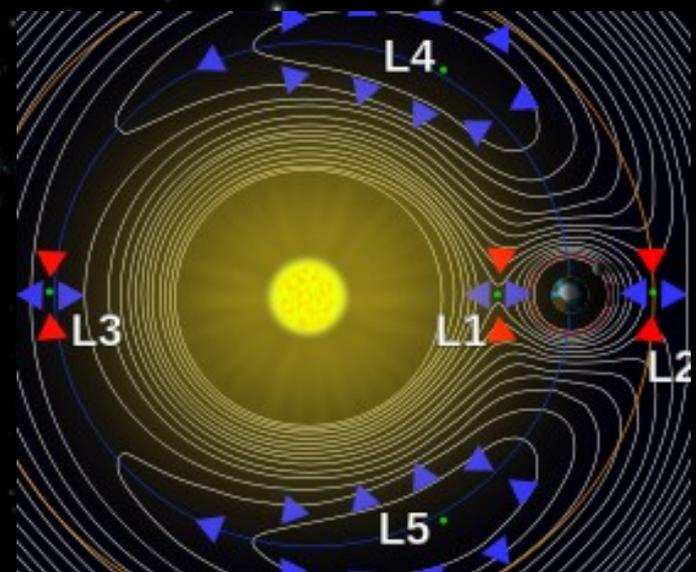
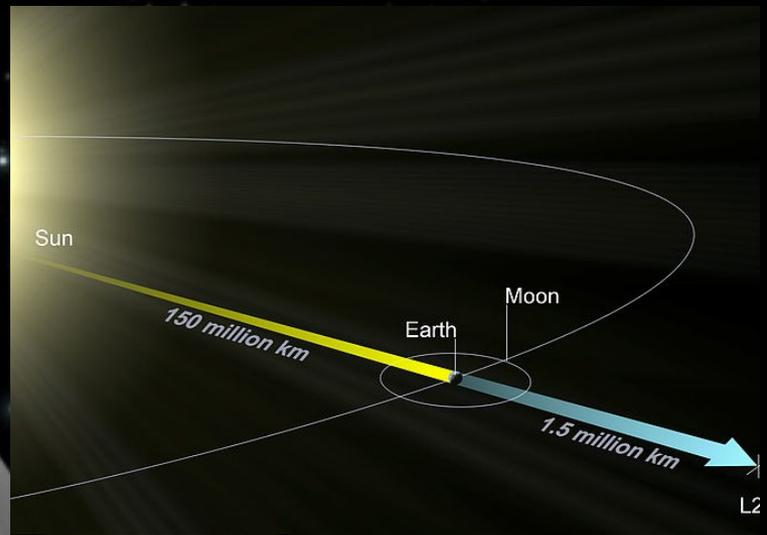
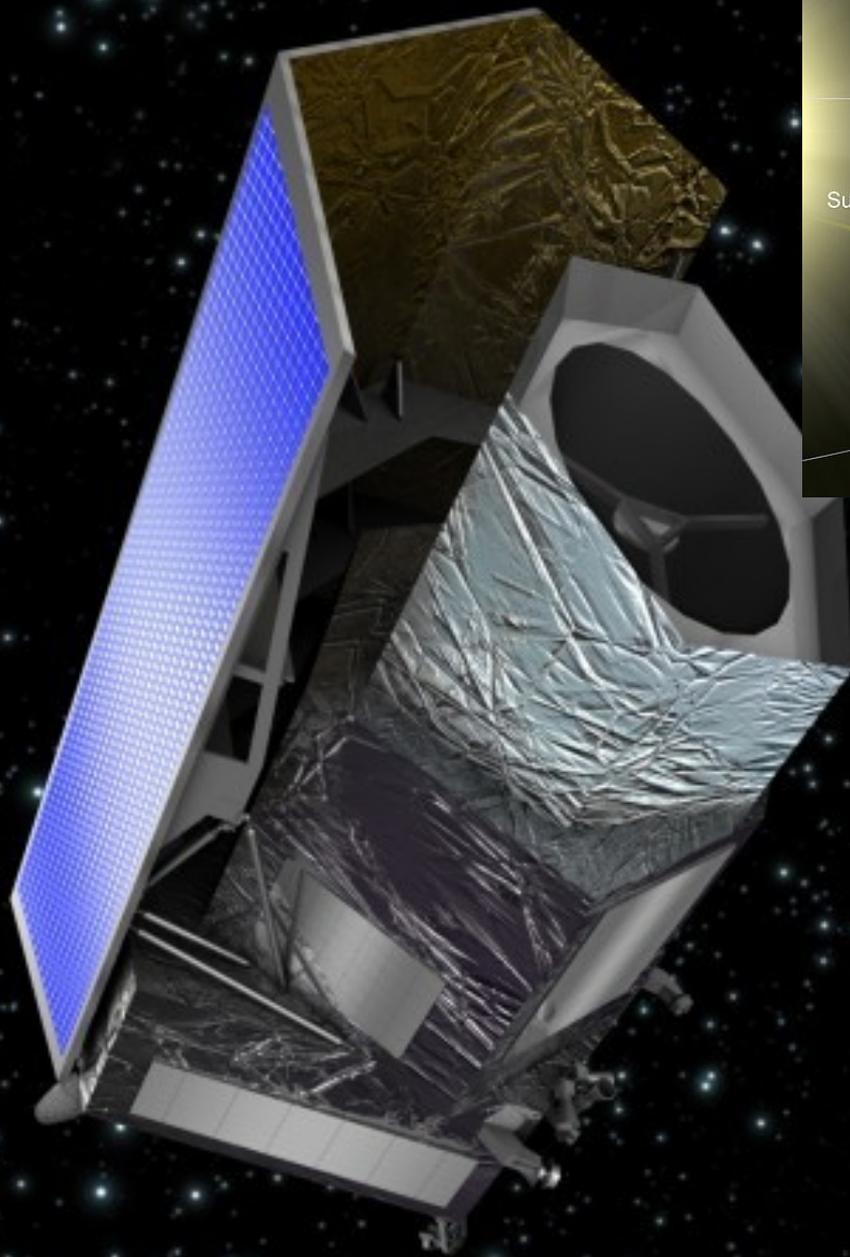
Euclid en opération:

6 années d'observation et de cartographie photométrique et spectroscopique du ciel



Traitement et analyses des données: 10PB, 1 million d'images

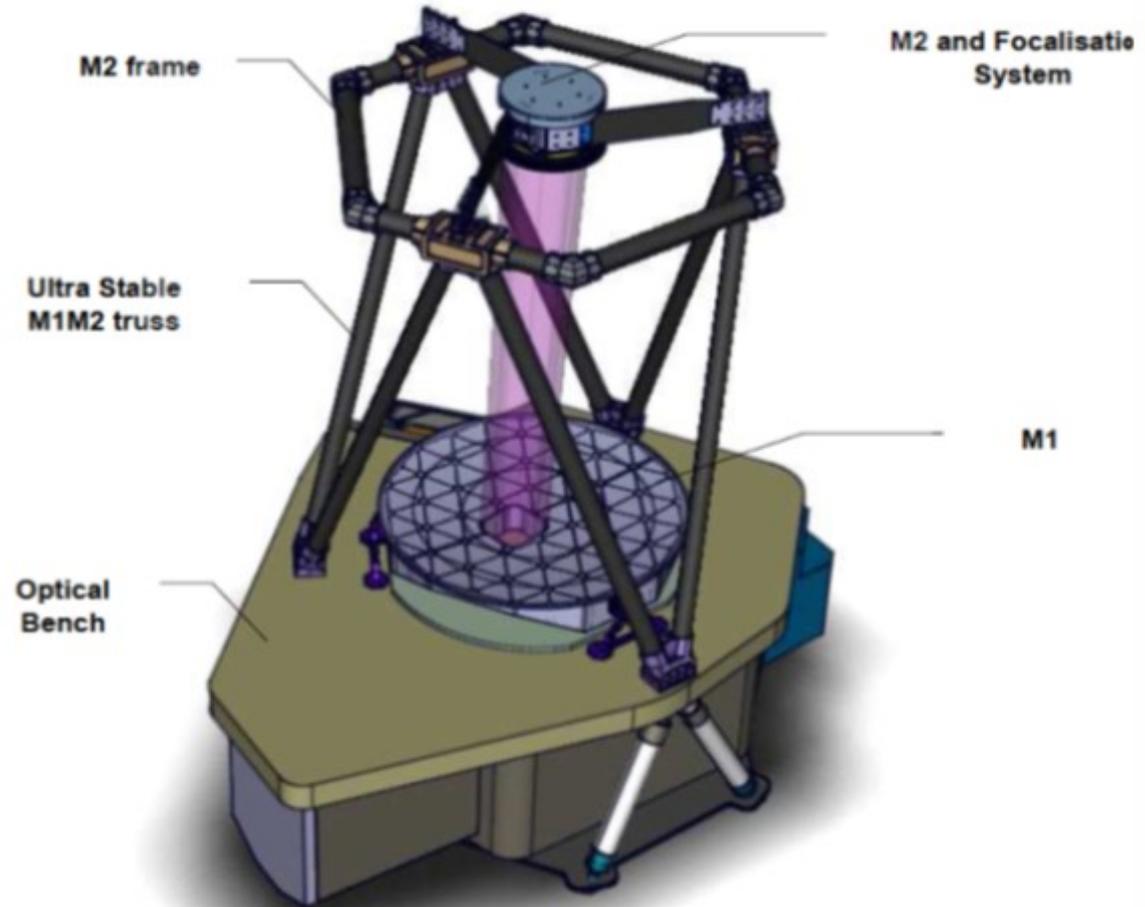




# Le télescope

- Stabilisation: erreur de pointé selon les axes  $x,y = 25\text{mas}$  sur une durée de 600 s.

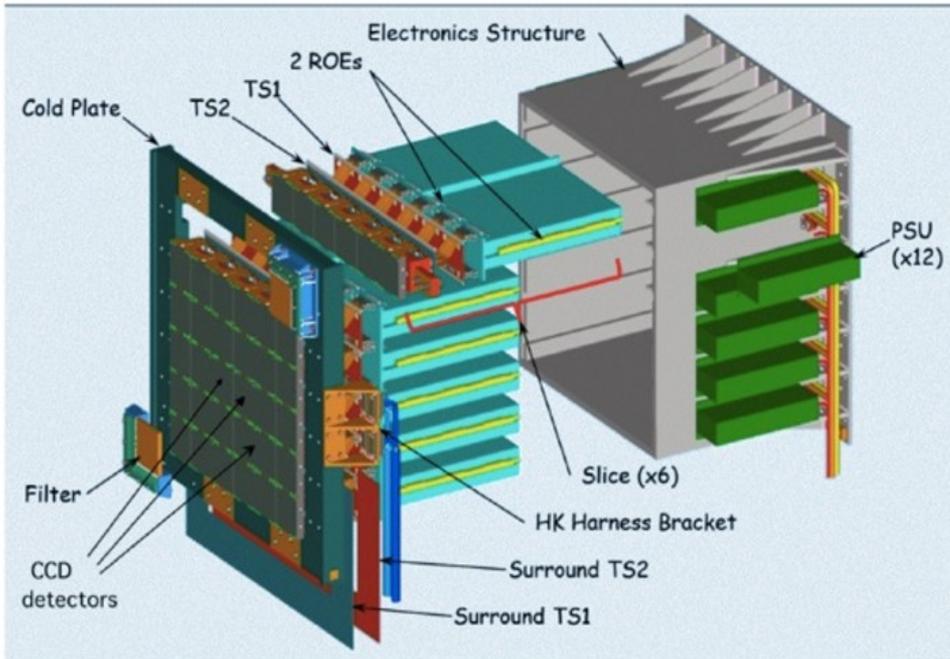
- Champ d'observation des instrument visible et infra-rouge commun =  $0.54\text{ deg}^2$



# L'instrument VIS

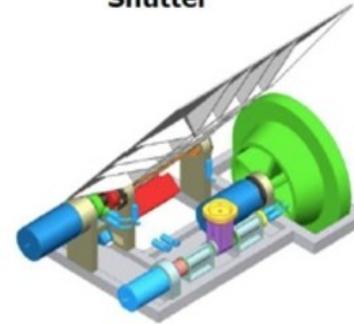
- large area imager - a 'shape measurement machine'
- 36 4kx4k CCDs with 12 micron pixels
- 0.1 arcsec pixels on sky
- bandpass 550-900 nm -
- limiting magnitude for wide survey of magAB = 24.5 for  $10\sigma$  (extended)
- data volume - 520Gbit/day

**COLD**

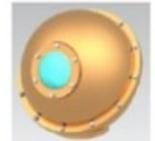


**Focal Plane Assembly**

**Shutter**

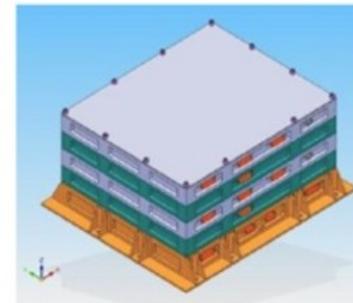


**Cal Unit**



**WARM**

**Power and  
Mechanisms  
Control Unit**



**Command and  
Data  
Processing  
Unit**



# Simulation de M51 avec VIS



SDSS @  $z=0.1$

Euclid @  $z=0.1$

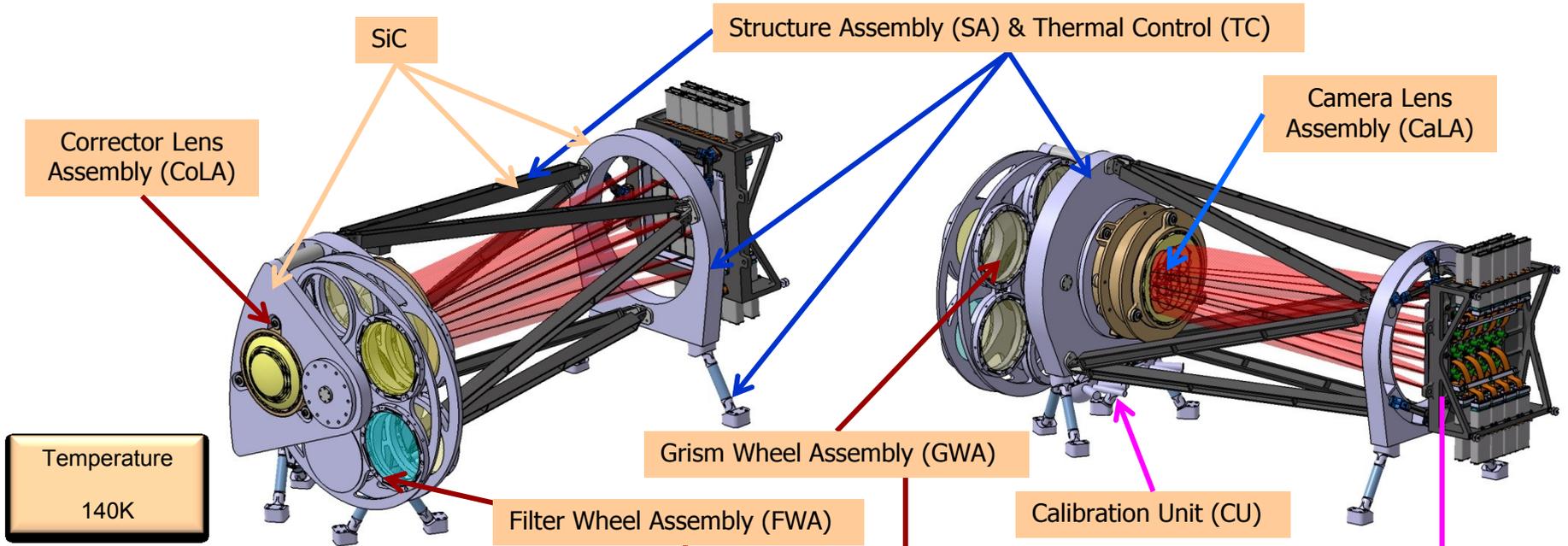
Euclid @  $z=0.7$

images simulées d'Euclid de la galaxies M51 à  $z\sim 0.1, 0.71$ :

Euclid aura la même résolution à  $z\sim 1$  que le grand relevé Sloan SDSS à  $z\sim 0.05$ , mais sera 3 magnitudes plus profond.

Euclid est un super-Sloan Survey

# L'instrument NISP



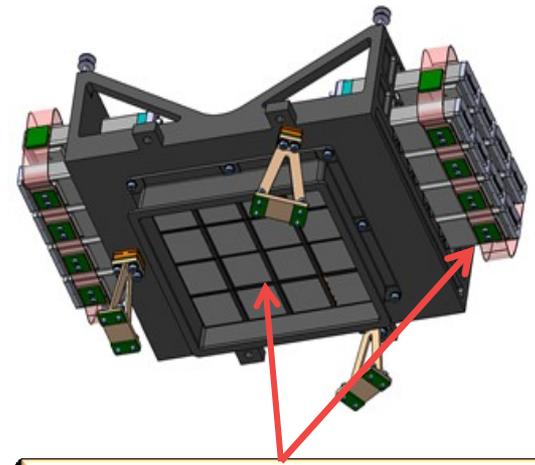
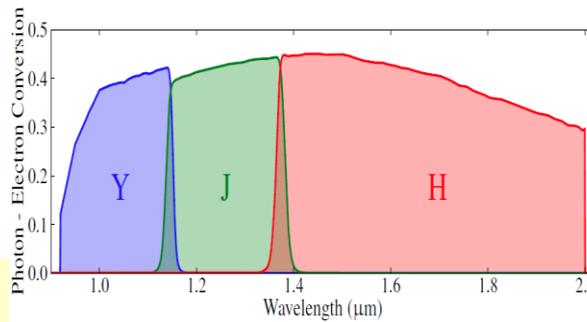
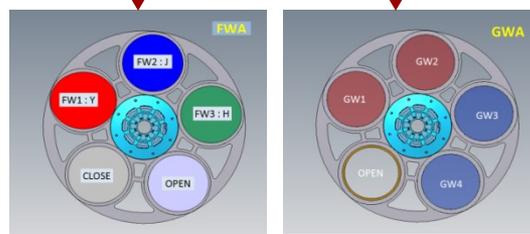
16 NIR 2kx2k H2RG detectors

0.3 arc/pixel

4 Grisms (2 blue, 2 red, rotated by 90 deg.) ;

3 NIR filters: Y, J H

Telemetrie= 180 Gbit/j

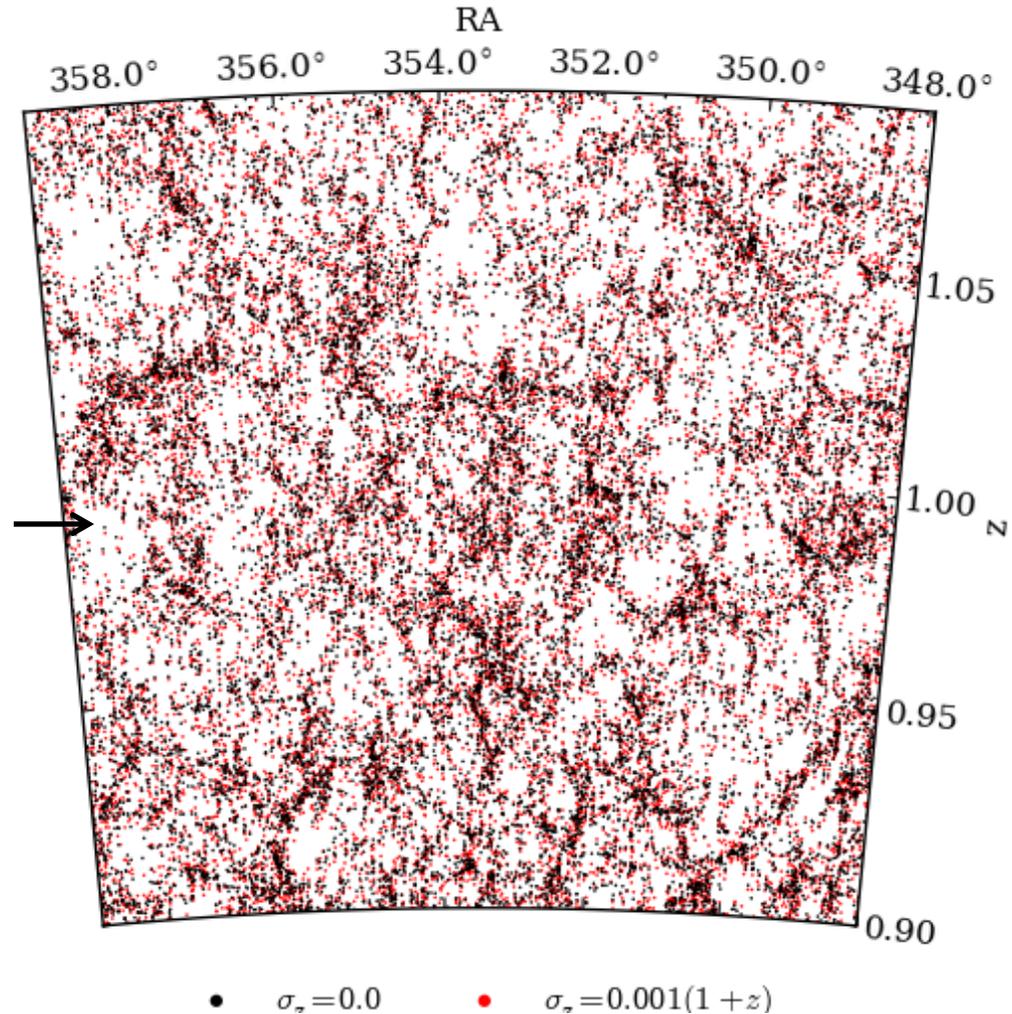
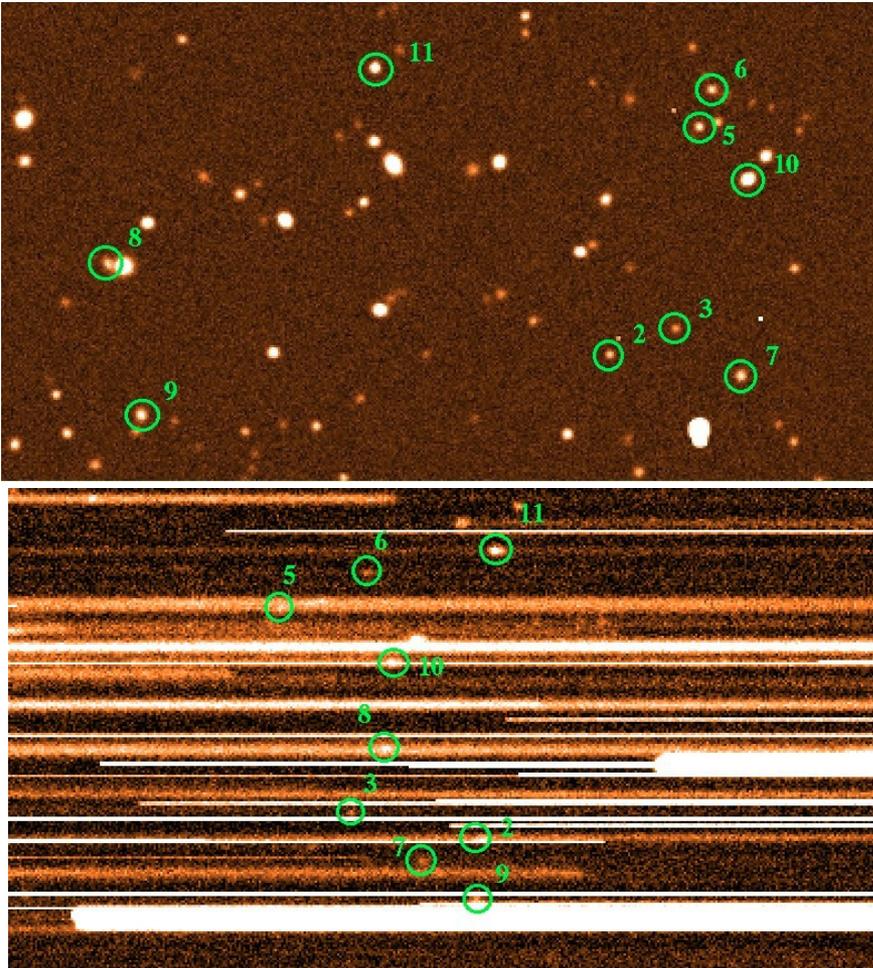


16 H2RG DETECTORS @ <100K+ ASIC Sidecar@140K (provided by ESA/NASA)

Simulation d'une  
image combinée  
Euclid visible+  
infrarouge Y+J+H  
d'un amas de  
galaxie-lentille



# Simulation des spectres obtenus avec NISP

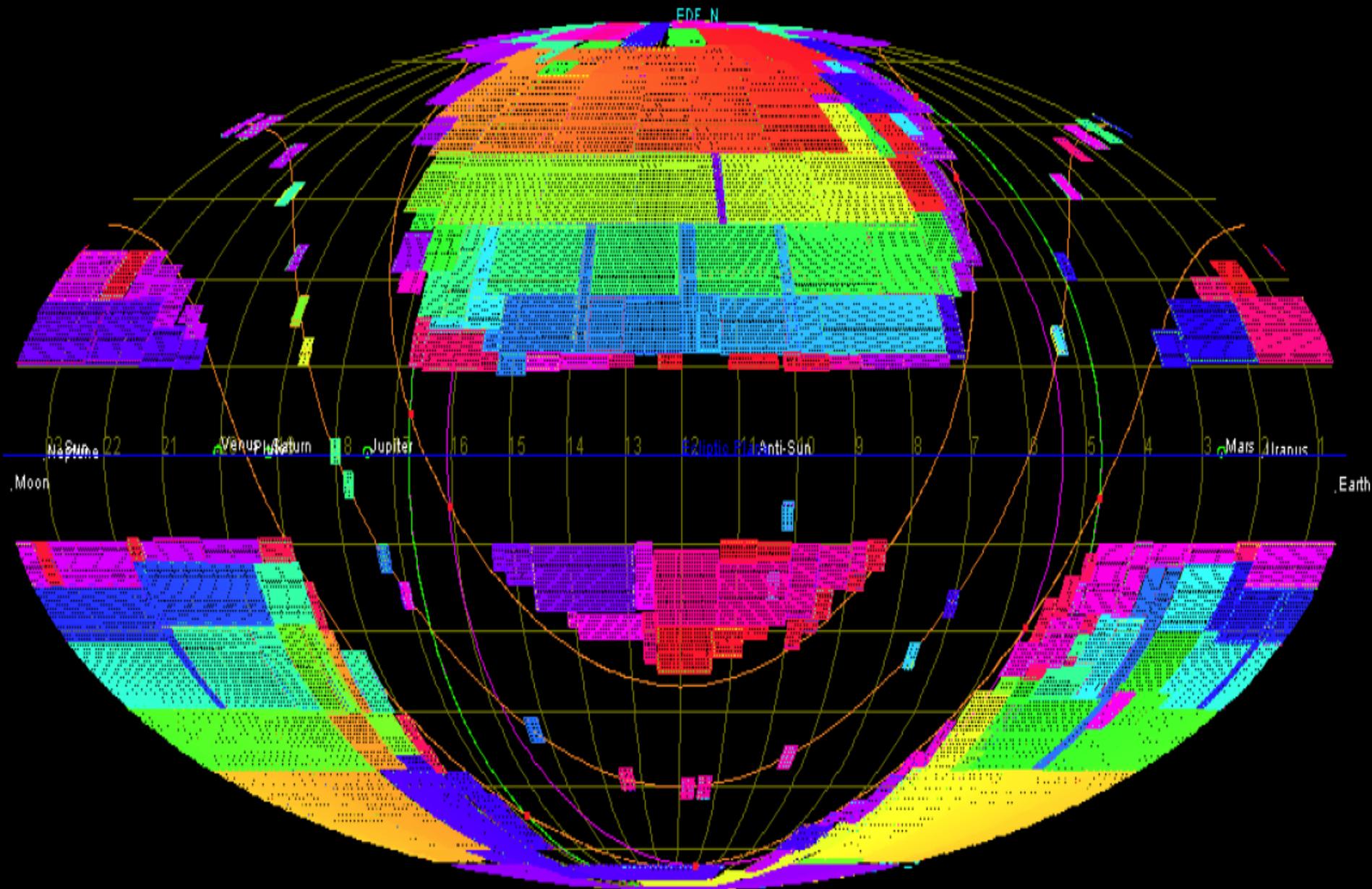


Redshift vrai versus  
redshift mesuré

# Les données d'Euclid: une mine pour toute l'astronomie

Objets	Euclid	Avant Euclid
Galaxies à $1 < z < 3$ avec une masse précise	$\sim 2 \times 10^8$	$\sim 5 \times 10^6$
Galaxies massives ( $1 < z < 3$ )	Quelques centaines	Quelques dizaines
Emetteurs H $\alpha$ avec abondance en métaux $z \sim 2-3$	$\sim 4 \times 10^7 / 10^4$	$\sim 10^4 / \sim 10^2?$
Galaxies dans les amas de galaxies à $z > 1$	$\sim 2 \times 10^4$	$\sim 10^3?$
Galaxies à noyaux actifs ( $0.7 < z < 2$ )	$\sim 10^4$	$< 10^3$
Galaxies naines	$\sim 10^5$	
T <sub>eff</sub> $\sim 400\text{K}$ Y dwarfs	$\sim \text{few } 10^2$	$< 10$
Galaxies-lentilles	$\sim 300,000$	$\sim 10-100$
Quasars à $z > 8$	$\sim 30$	aucun

# La couverture du ciel par Euclid



# Comment caractériser les propriétés de l'énergie sombre et interpréter les données d'Euclid?

- On suppose que l'énergie sombre se comporte comme les autres composantes de l'Univers (matière, photons, neutrinos)

→ elle est caractérisée par une relation entre sa pression,  $P$ , et sa densité,  $\rho$ , l'« équation d'état » d'un fluide parfait:

relation entre sa pression et sa densité:  $w = P/\rho$  exemple:

- pour les photons:  $w=1/3$
- Pour la matière noire ou ordinaire:  $w=0$
- pour une constante cosmologique  $w=-1$

→ A chaque modèle théorique avec  $w < -1/3$  correspond une énergie sombre différente capable d'accélérer l'expansion de l'Univers.

→ Mais  $w$  peut dépendre du temps:  $w = w_p + w_a(t)$

# Que savons nous aujourd'hui, en 2012?

Si  $w_X = P/\rho = \text{cte}$

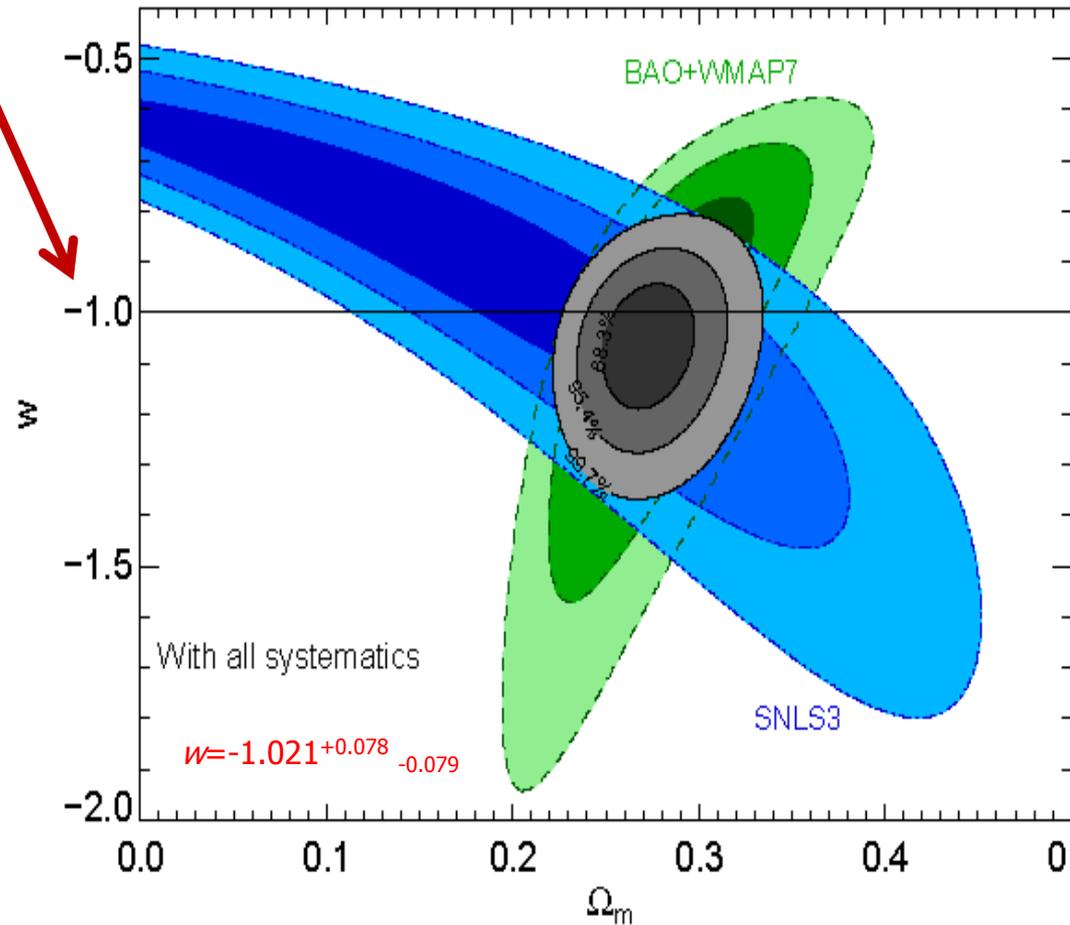
→  $w_X$  compatible avec -1

- **ou bien**  $w$  est constant et très très proche de -1

→ la source de l'accélération de l'Univers est la Constante Cosmologique qui fut initialement introduite par Einstein. Mais qu'elle est son origine?

- **ou alors**  $w$  dépend du temps?...

→ seule une expérience ultra-précise comme Euclid pourra le voir... et son origine est tout aussi énigmatique pour les physiciens.



# Comment caractériser les propriétés de l'énergie sombre et interpréter les données d'Euclid?

• On suppose que l'énergie sombre se comporte comme les autres composantes de l'Univers (matière, photons, neutrinos) → elle est caractérisée par une « équation d'état » d'un fluide parfait:

relation entre sa pression et sa densité:  $w = P/\rho$  exemple:

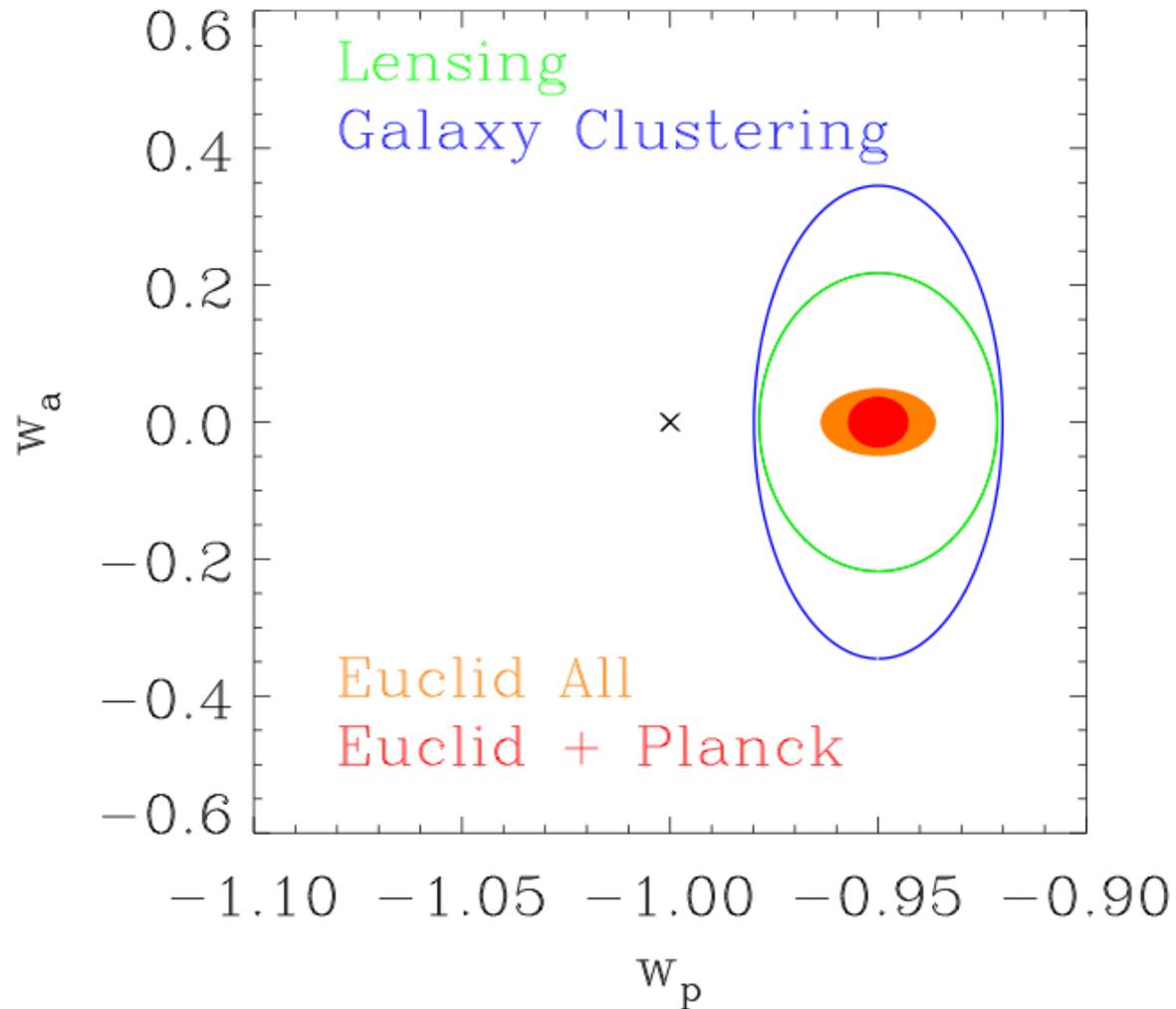
- pour les photons:  $w=1/3$
- Pour la matière noire ou ordinaire:  $w=0$
- pour une constante cosmologique  $w=-1$

→ A chaque modèle théorique avec  $w < -1/3$  correspond une énergie sombre différente capable d'accélérer l'expansion de l'Univers.

→ Mais  $w$  peut dépendre du temps:  $w = w_p + w_a(t)$

**→ Le but d'Euclid est de mesurer  $w_p$  et  $w_a$ , avec une précision sur  $w_p$  ~10 fois meilleure (atteindre 1%) qu'aujourd'hui, et sur  $w_a$  ~50 fois meilleure qu'aujourd'hui (atteindre 10%)**

# Les données combinées d'Euclid des effets de distorsion gravitationnelles et du relevé de redshifts spectroscopiques de galaxies



# Le « Facteur de Mérite » d'Euclid (FoM)

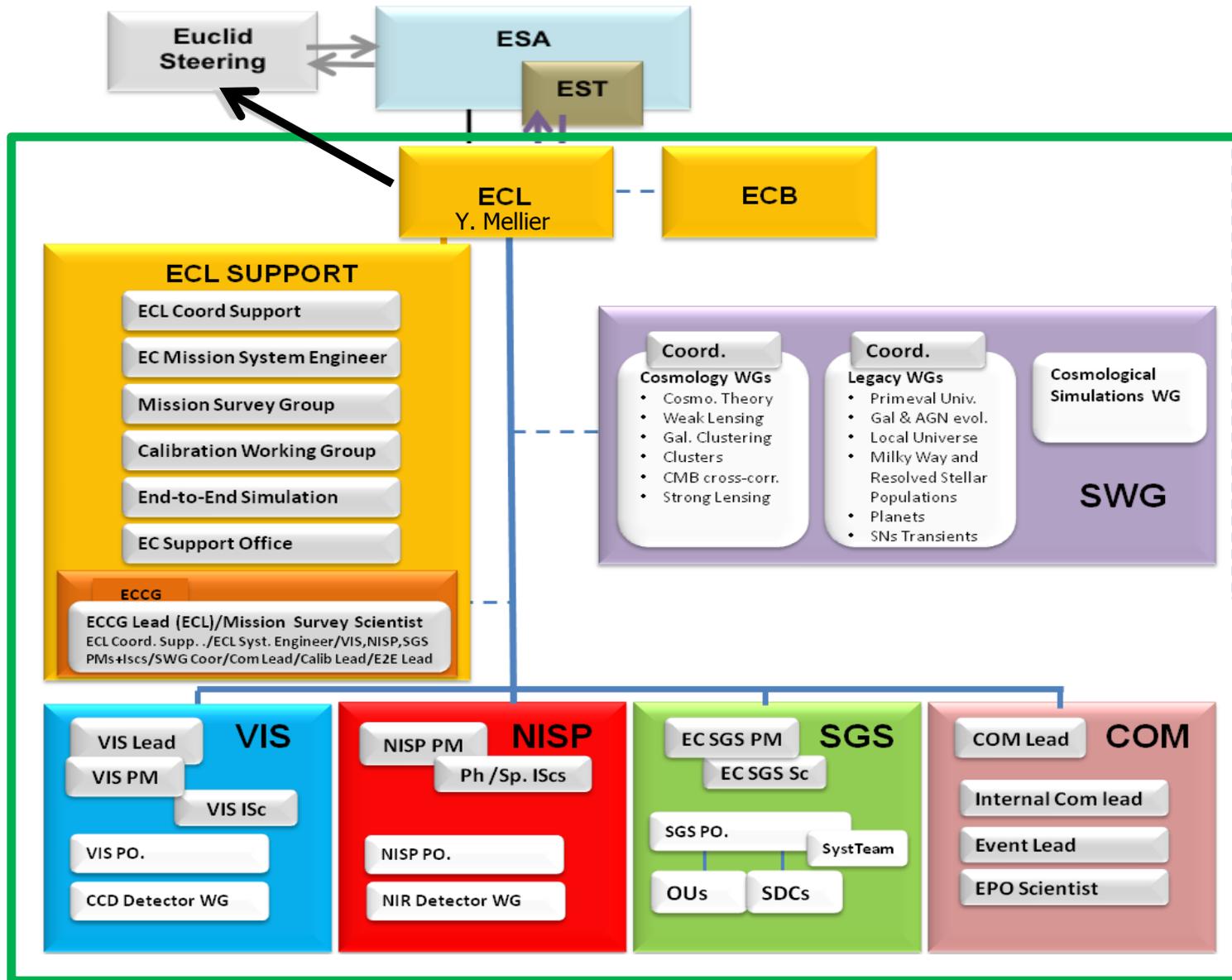
	Masse des neutrinos	Energie sombre		
Parameter	$m_\nu / eV$	$w_p$	$w_a$	<i>FoM</i>
Euclid primary (WL+GC)	0.027	0.015	0.150	430
Euclid All	0.020	0.013	0.048	1540
Euclid+Planck	0.019	0.007	0.035	4020
Aujourd'hui (2009)	0.580	0.100	1.500	~10
<b>Gain</b>	<b>30</b>	<b>&gt;10</b>	<b>&gt;40</b>	<b>&gt;400</b>

# Organisation

# Le Consortium Européen Euclid <http://www.euclid-ec.org>

- EC: ~ 1000 membres (12/Oct/12):
  - ~ 650 chercheurs
  - ~ 110 laboratoires
  - En France: CNES, CNRS (INSU et IN2P3), CEA, 11 Observatoires et Universités de Paris, Marseille, Nice, Toulouse
- 13 pays européens contributeurs (en plus de la contribution ESA):
  - Allemagne, Autriche, Danemark, Espagne, Finlande, France, Italie, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Roumanie, Suisse, Royaume-Uni
  - Participation des Etats-Unis/NASA en cours
- Contribution du consortium: ~1/3 du coût total (~800 M€)

# L'organisation du Consortium Euclid



# En résumé

- L'ESA a sélectionné l'unique mission spatiale au monde conçue pour comprendre l'origine de l'accélération de l'expansion de l'Univers;
- Elle place l'Europe à la pointe d'une des énigmes les plus fascinantes de la physique et de la cosmologie moderne;
- Les données d'Euclid (12 milliards de sources, 50 millions de redshifts);
  - une mine d'or, d'images et de spectres pour l'ensemble de la communauté scientifique pendant plusieurs décennies;
  - un réservoir de cibles uniques pour les autres grands observatoires, JWST, GAIA, E-ELT, TMT, ALMA, le VLT et SKA...
- Une formidable chance pour les jeunes physiciens et astrophysiciens des décennies 2020-2040

**Restez à l'écoute... lancement en 2020!**