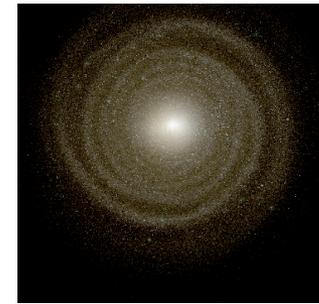
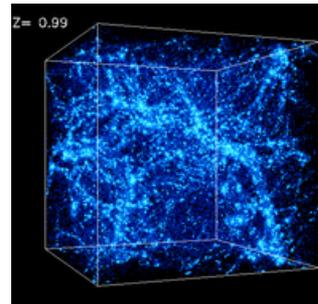
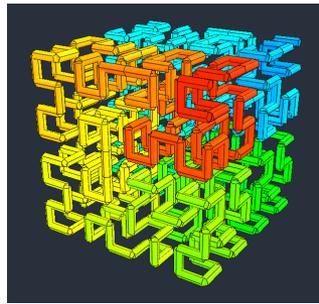
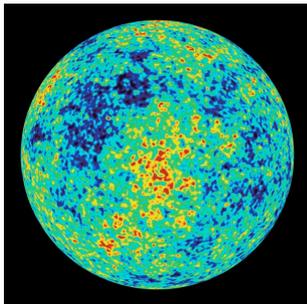


Comprendre la formation des grandes structures dans l'univers

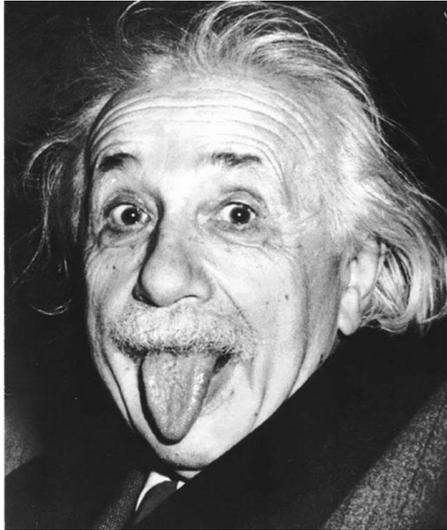
L'apport de la simulation numérique



University of
Zurich^{UZH}



Les grandes étapes de la cosmologie moderne



1915: Albert Einstein finit l'élaboration de sa théorie de la Relativité Générale. Cette théorie prédit naturellement la possibilité d'un univers homogène, isotrope et en expansion décélérée.

1929: Edwin Hubble publie sa loi qui montre que les galaxies distantes s'éloignent de la nôtre à une vitesse proportionnelle à leur distance, prouvant l'existence de l'expansion de l'univers prédite par Einstein.



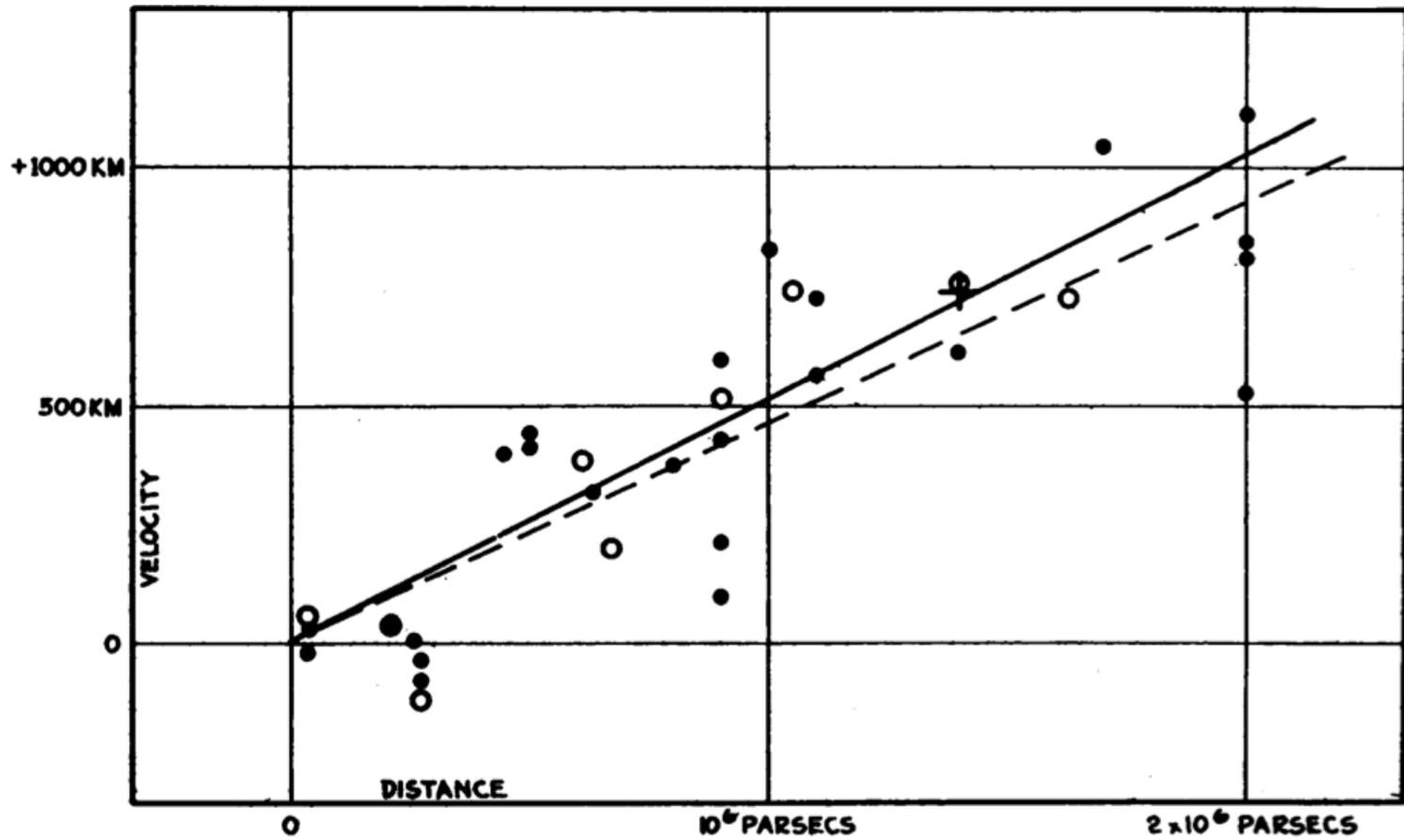


FIGURE 1

Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

Les grandes étapes de la cosmologie moderne

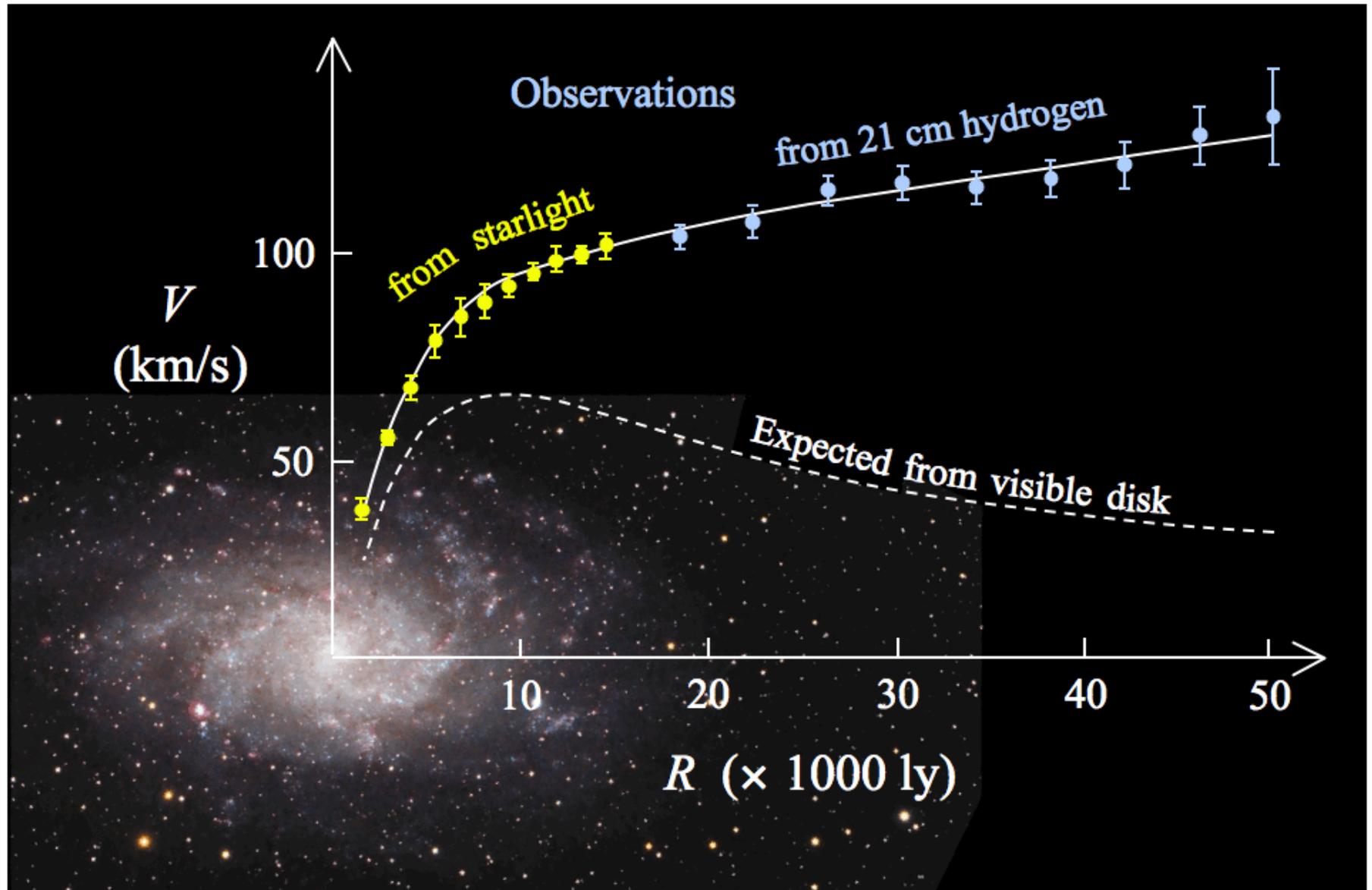


1933: Fritz Zwicky spéculait sur l'existence de la matière noire dans les amas de galaxies. Une petite partie de cette masse manquante sera découverte plus tard par le rayonnement X du gaz chaud.

1970: Vera Rubin mesure la vitesse de rotation des galaxies et confirme l'hypothèse de la masse cachée. L'idée de matière noire s'impose à la communauté. L'hypothèse admise est celle d'un nouveau type de particule élémentaire (WIMP) qui n'a toujours pas été détecté à ce jour.



Les grandes étapes de la cosmologie moderne



Les grandes étapes de la cosmologie moderne



1992: George Smoot et toute l'équipe du satellite COBE découvrent les fluctuations du rayonnement fossile, reliques de l'univers primordiales. Cette découverte lui apportera le prix Nobel de physique en 2006.

1998: Saul Perlmutter découvre que l'expansion de l'univers est en fait accélérée, provoquant la stupeur de la communauté et validant le concept d'énergie noire, un des mystères les plus obscurs de la physique moderne. Cette découverte lui vaudra le prix Nobel de physique en 2011.



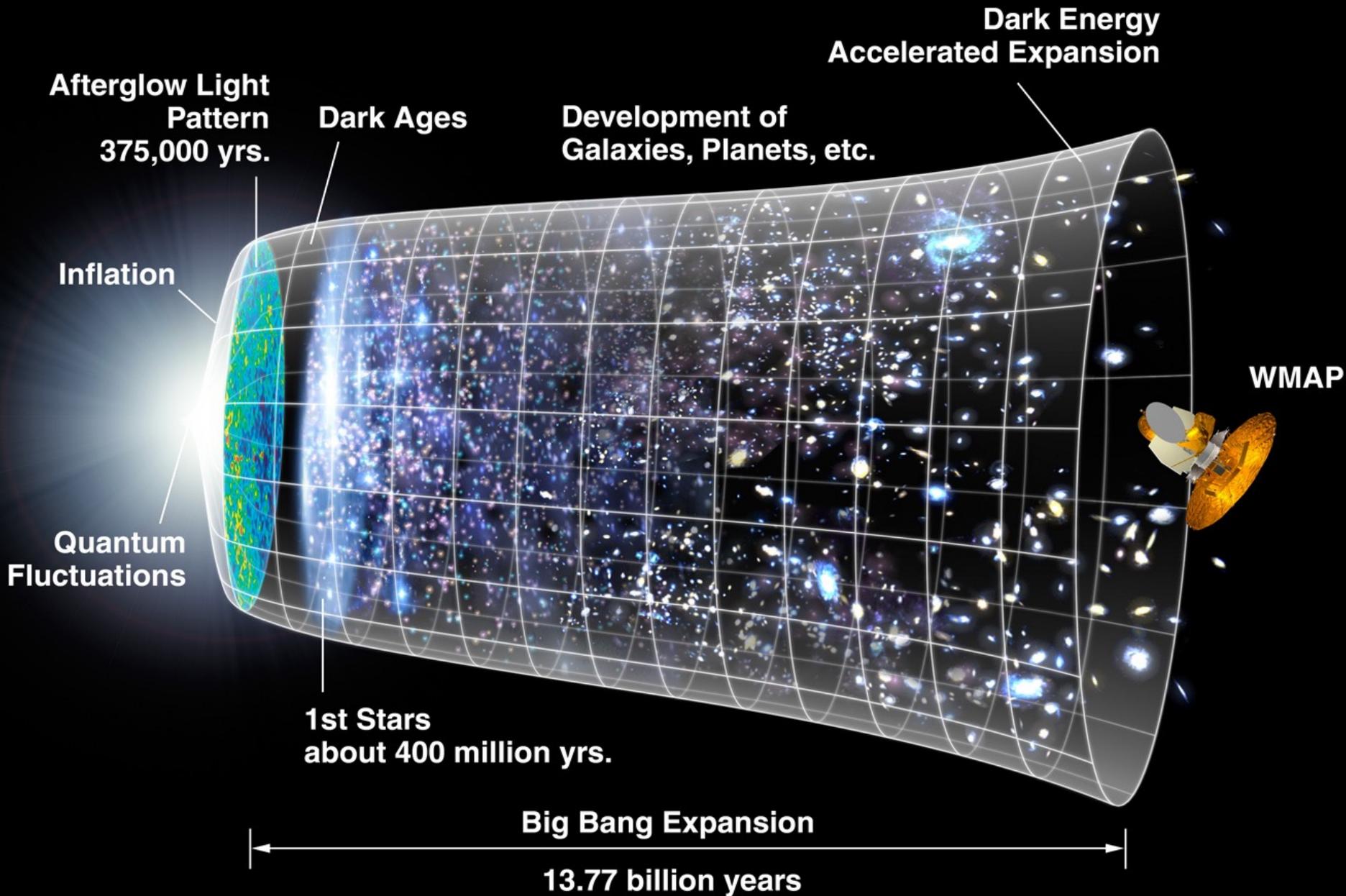
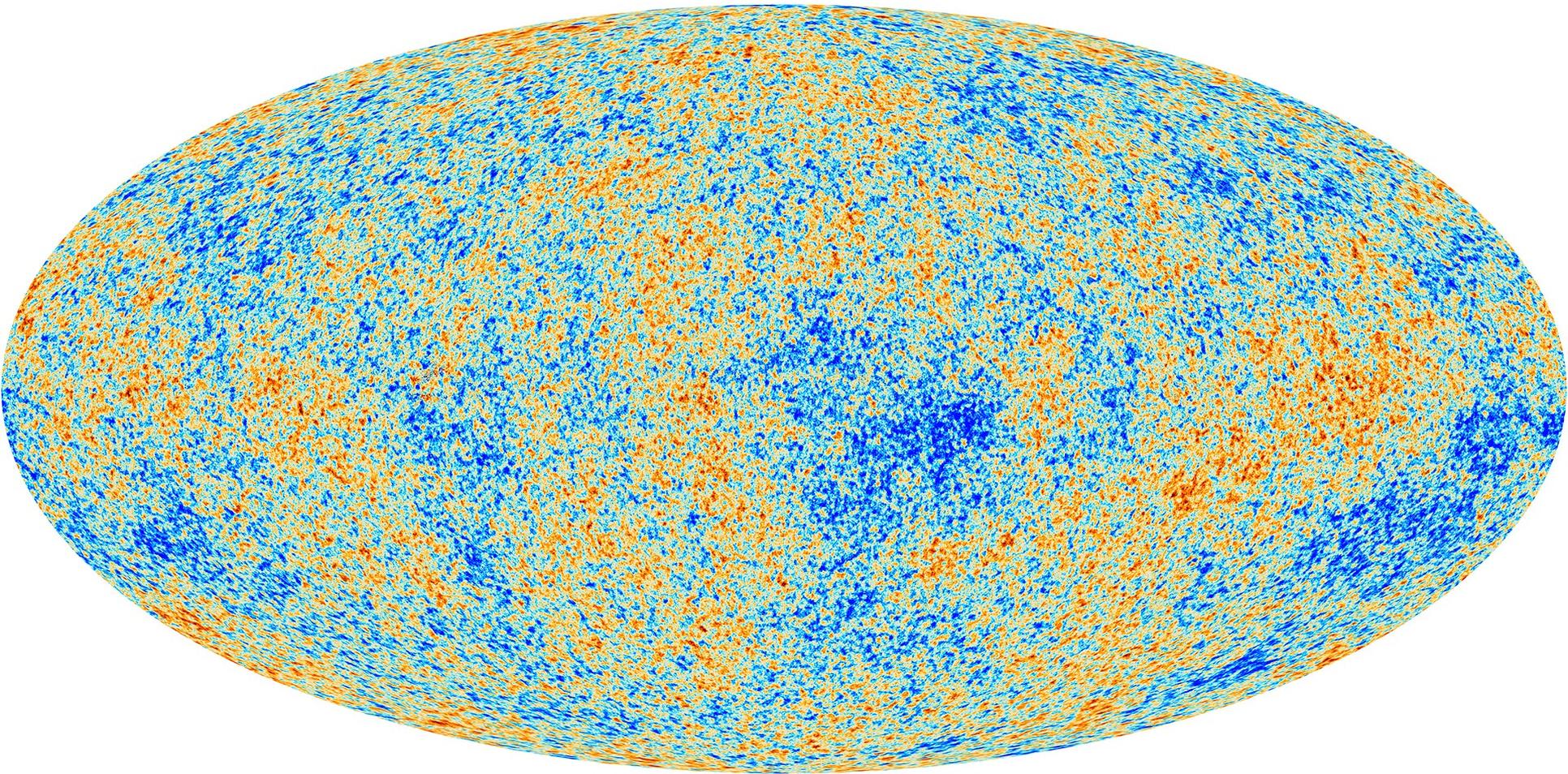
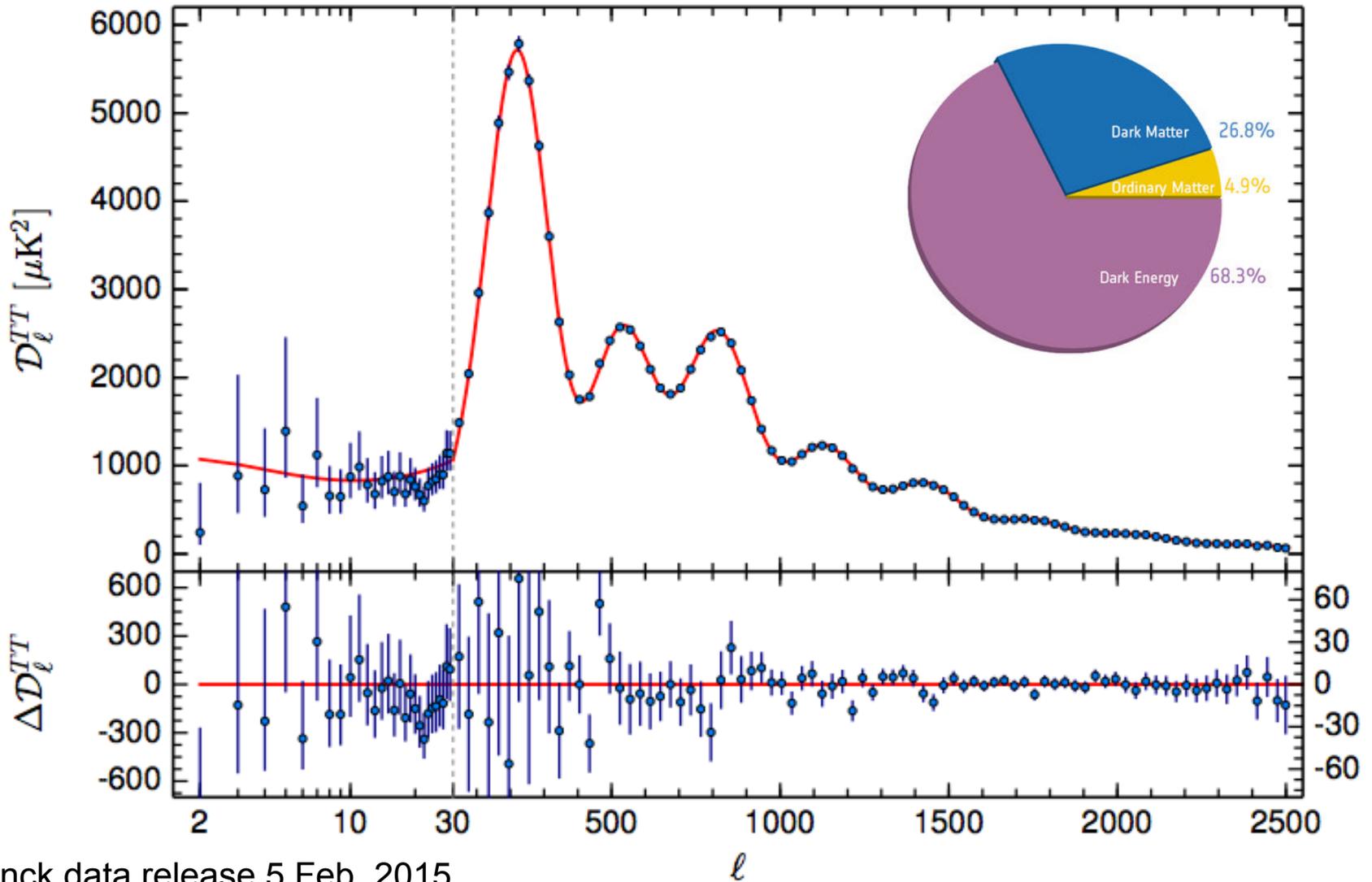


Photo de l'univers jeune prise par le satellite Planck



400'000 ans après le Big Bang

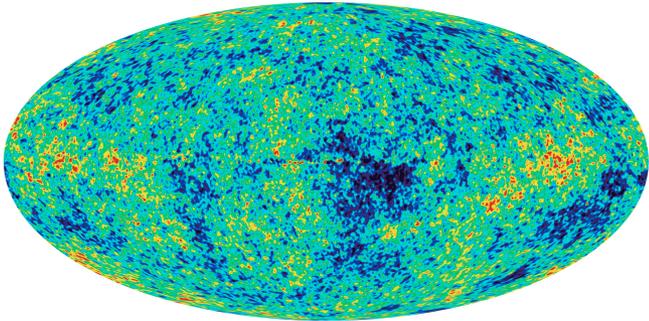
Une mesure précise de nos conditions initiales



Planck data release 5 Feb. 2015

Simuler la dynamique de la matière noire

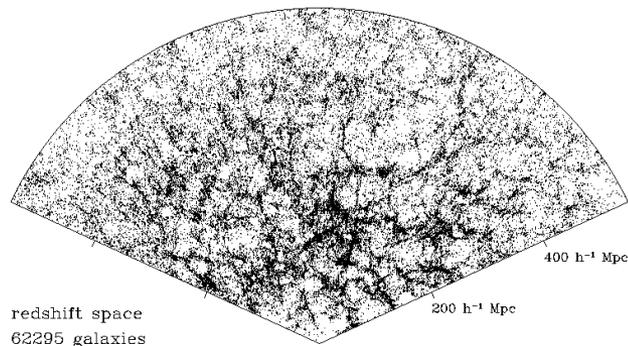
Fluctuations du ciel en microondes



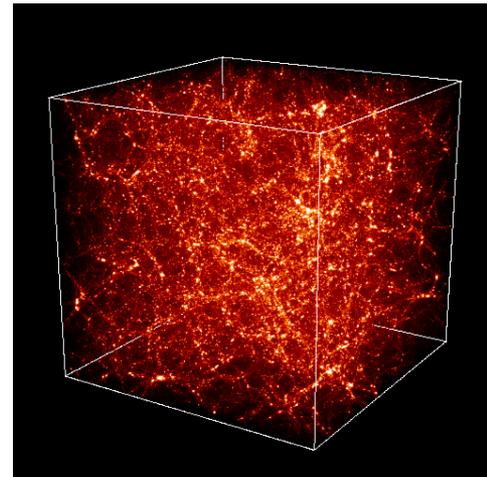
Données introduites dans le supercalculateur



- Conditions initiales: champ gaussien dans l'univers jeune (400'000 ans)
- Discretisation des équations de la dynamique dans un univers en expansion
- Intégration des milliards de milliards de trajectoires couplées par la gravité
- Apparition de la structure à grande échelle de l'univers aujourd'hui



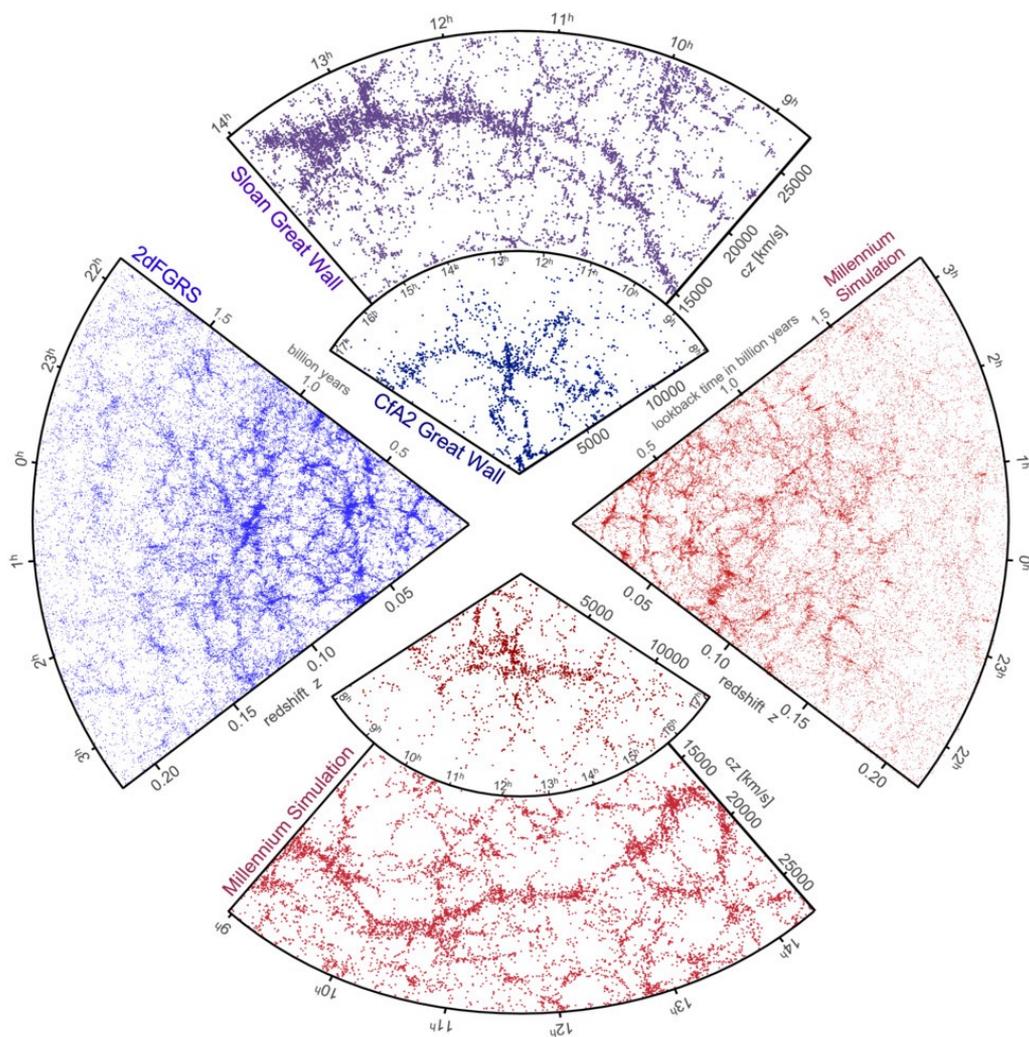
Distribution des galaxies locales



Système à N corps



Un modèle physique pour notre univers ?



La matière dans l'univers est principalement composée d'un fluide non-collisionnel: la matière noire

La formation des structures dans l'univers est due à la gravité.

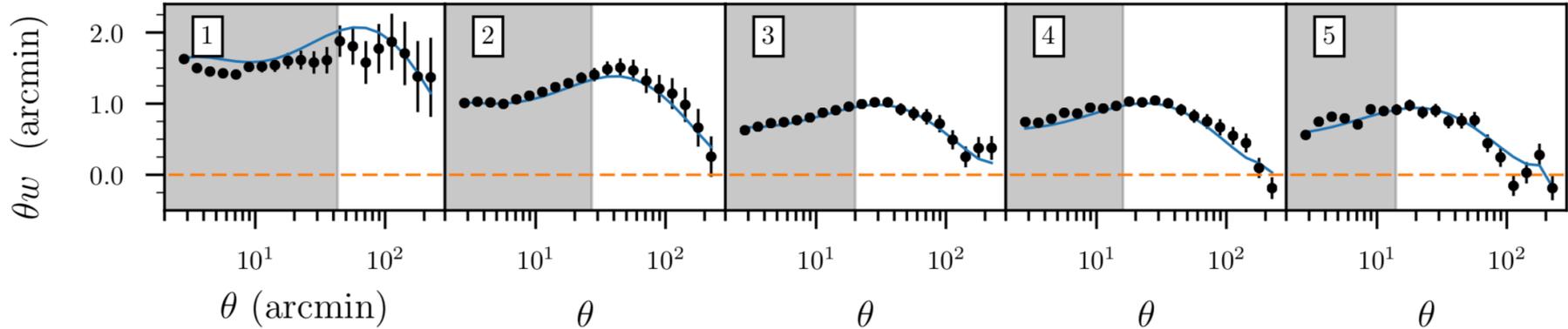
Les conditions initiales sont des fluctuations Gaussiennes.

Les simulations révèlent des filaments et des halos, au sein desquels se forment les galaxies.

Les simulations reproduisent l'univers local.

Jusqu'à maintenant, le modèle LCDM permet d'expliquer les propriétés de notre univers.

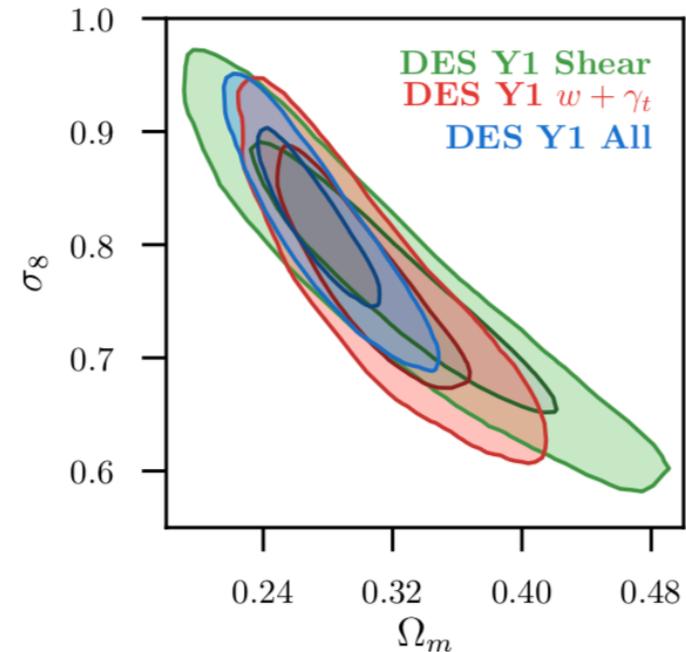
Utiliser la distribution des galaxies pour peser l'univers



L'expérience Dark Energy Survey a mesuré les propriétés statistiques de la distribution spatiales des galaxies.

Le modèle théorique (matière noire et énergie noire) reproduit parfaitement les observations.

En réalisant un problème inverse, l'expérience DES a déterminé le contenu en matière noire dans l'univers avec une précision inégalée (Aout 2017).



ON THE CLUSTERING TENDENCIES AMONG THE NEBULAE

II. A STUDY OF ENCOUNTERS BETWEEN LABORATORY MODELS OF STELLAR SYSTEMS BY A NEW INTEGRATION PROCEDURE

ERIK HOLMBERG

ABSTRACT

In a previous paper¹ the writer discussed the possibility of explaining the observed clustering effects among extragalactic nebulae as a result of captures. The present investigation deals with the important problem of whether the loss of energy resulting from the tidal disturbances at a close encounter between two nebulae is large enough to effect a capture. The tidal deformations of two models of stellar systems, passing each other at a small distance, are studied by reconstructing, piece by piece, the orbits described by the individual mass elements. The difficulty of integrating the total gravitational force acting upon a certain element at a certain point of time is solved by replacing gravitation by light. The mass elements are represented by light-bulbs, the candle power being proportional to mass, and the total light is measured by a photocell (Fig. 1). The nebulae are assumed to have a flattened shape, and each is represented by 37 light-bulbs. It is found that the tidal deformations cause an increase in the attraction between the two objects, the increase reaching its maximum value when the nebulae are separating, i.e., after the passage. The resulting loss of energy (Fig. 6) is comparatively large and may, in favorable cases, effect a capture. The spiral arms developing during the encounter (Figs. 4) represent an interesting by-product of the investigation. The direction of the arms depends on the direction of rotation of the nebulae with respect to the direction of their space motions.

La première simulation à N-corps

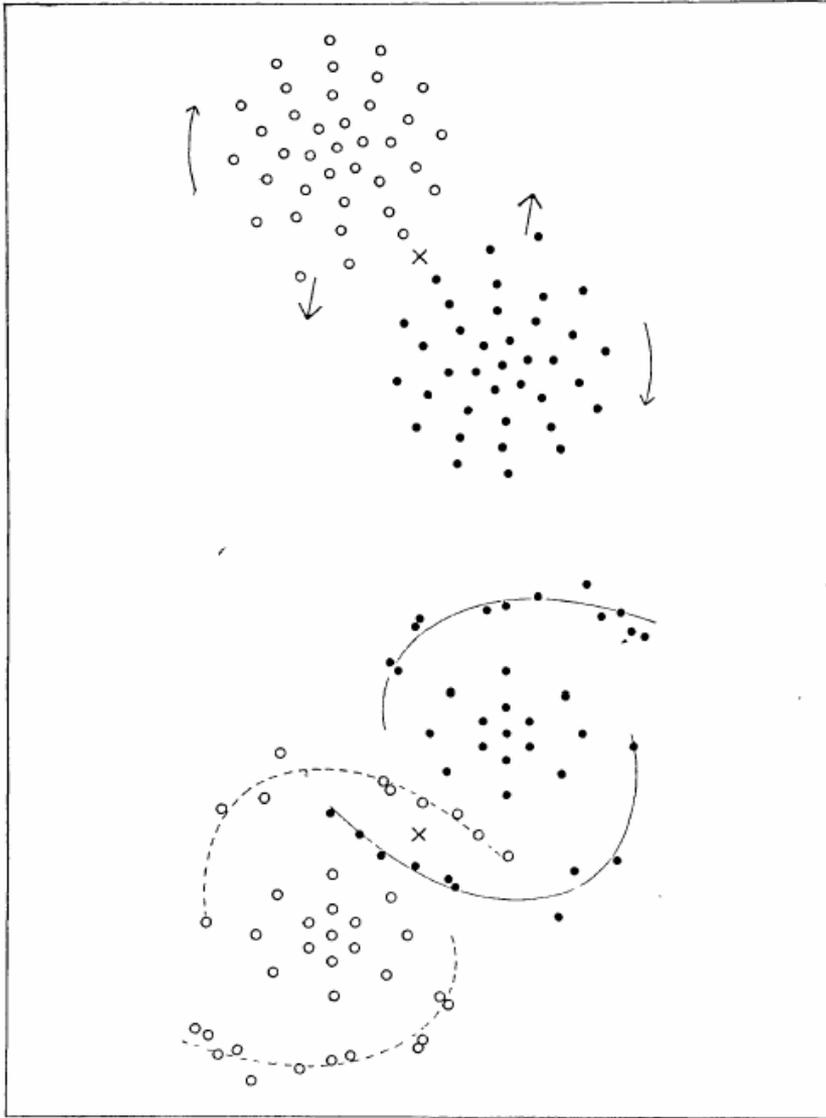


FIG. 4a

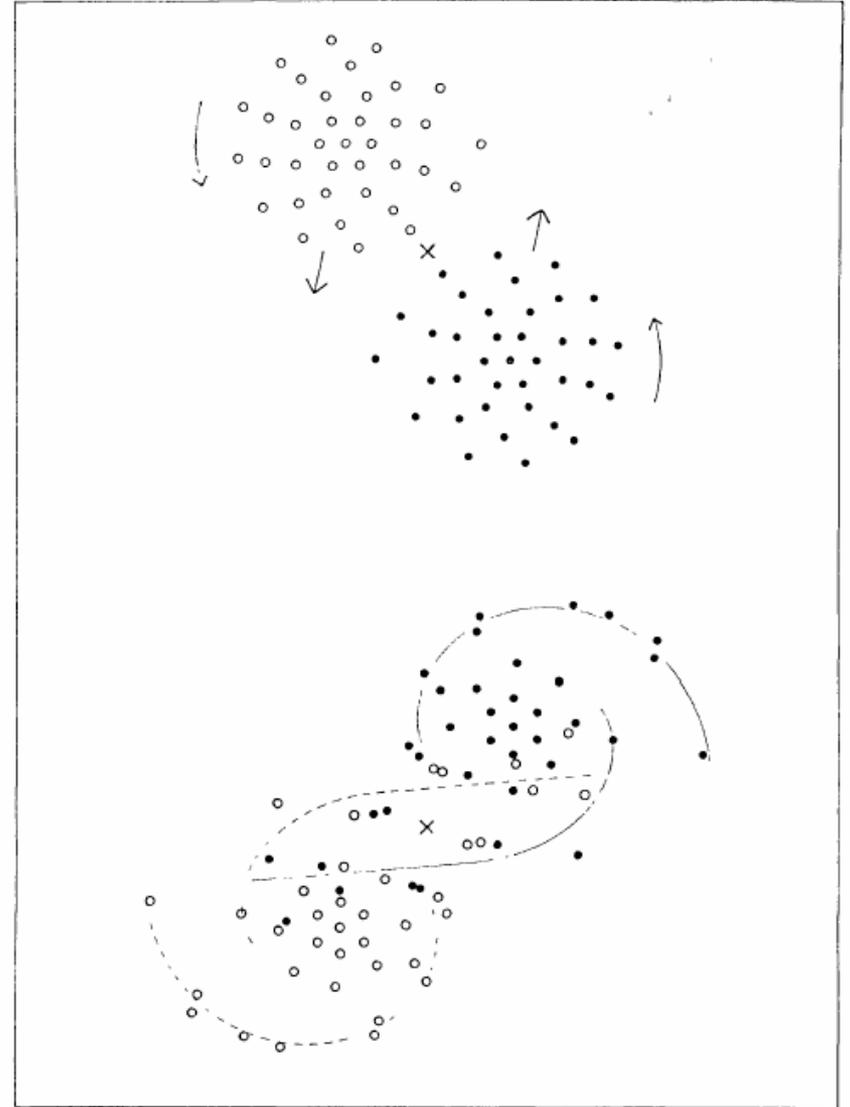
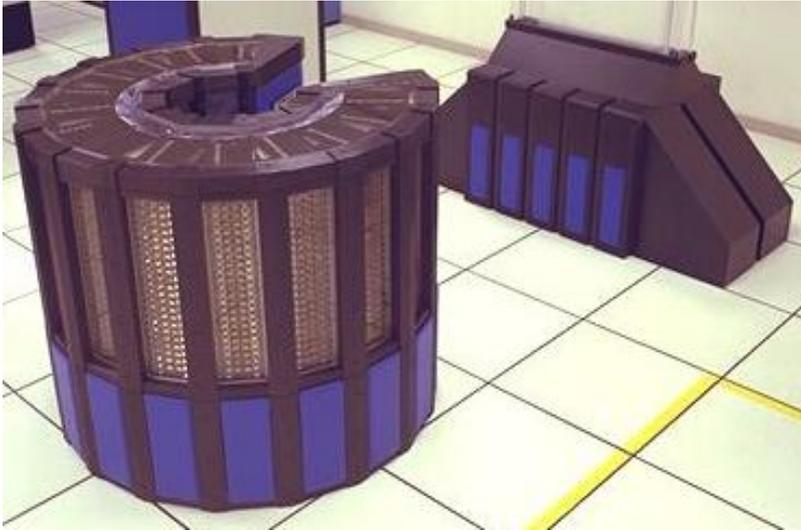


FIG. 4b

Les super ordinateurs aujourd'hui

CRAY: 1985

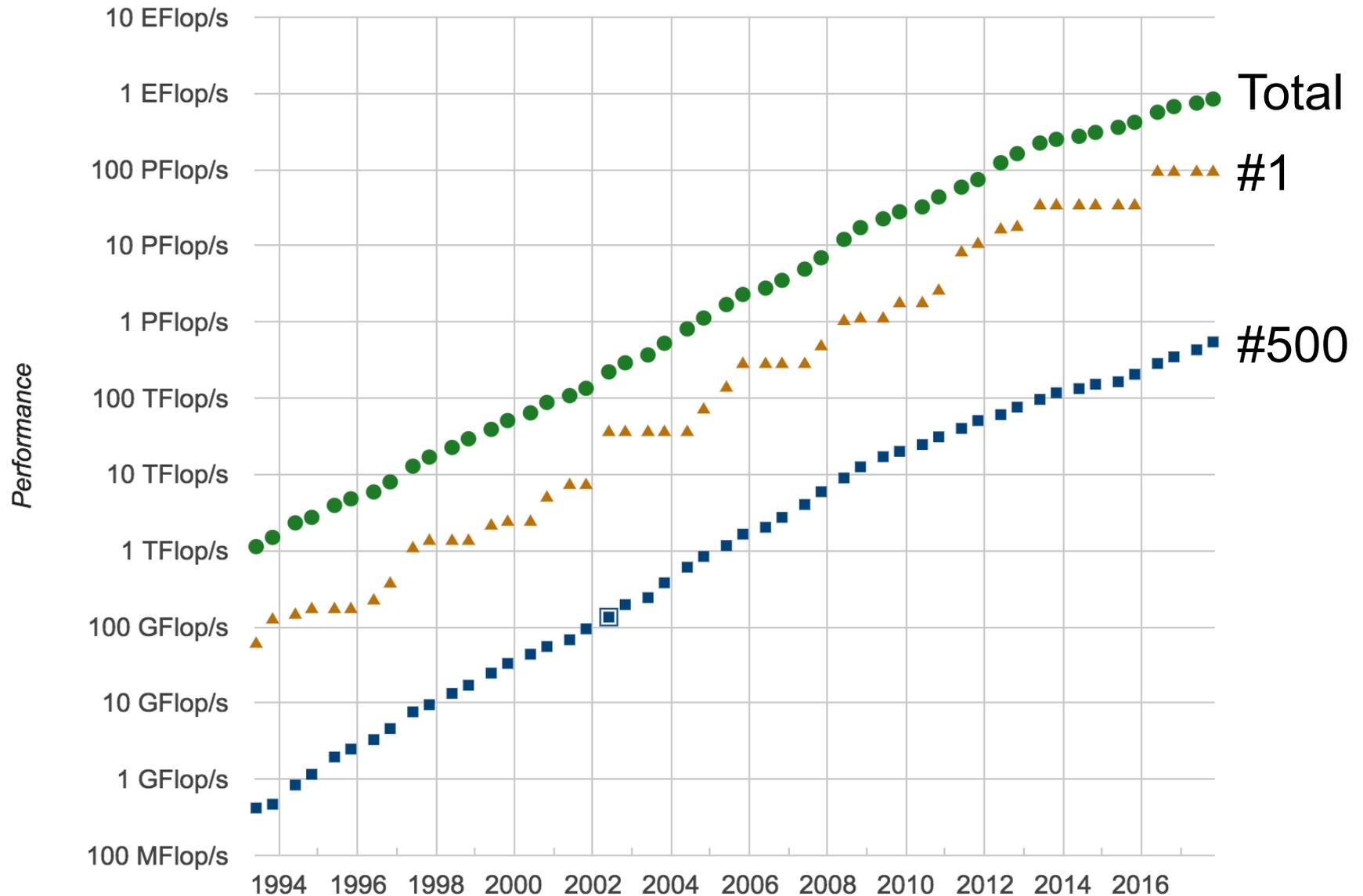


Mare Nostrum: 2002

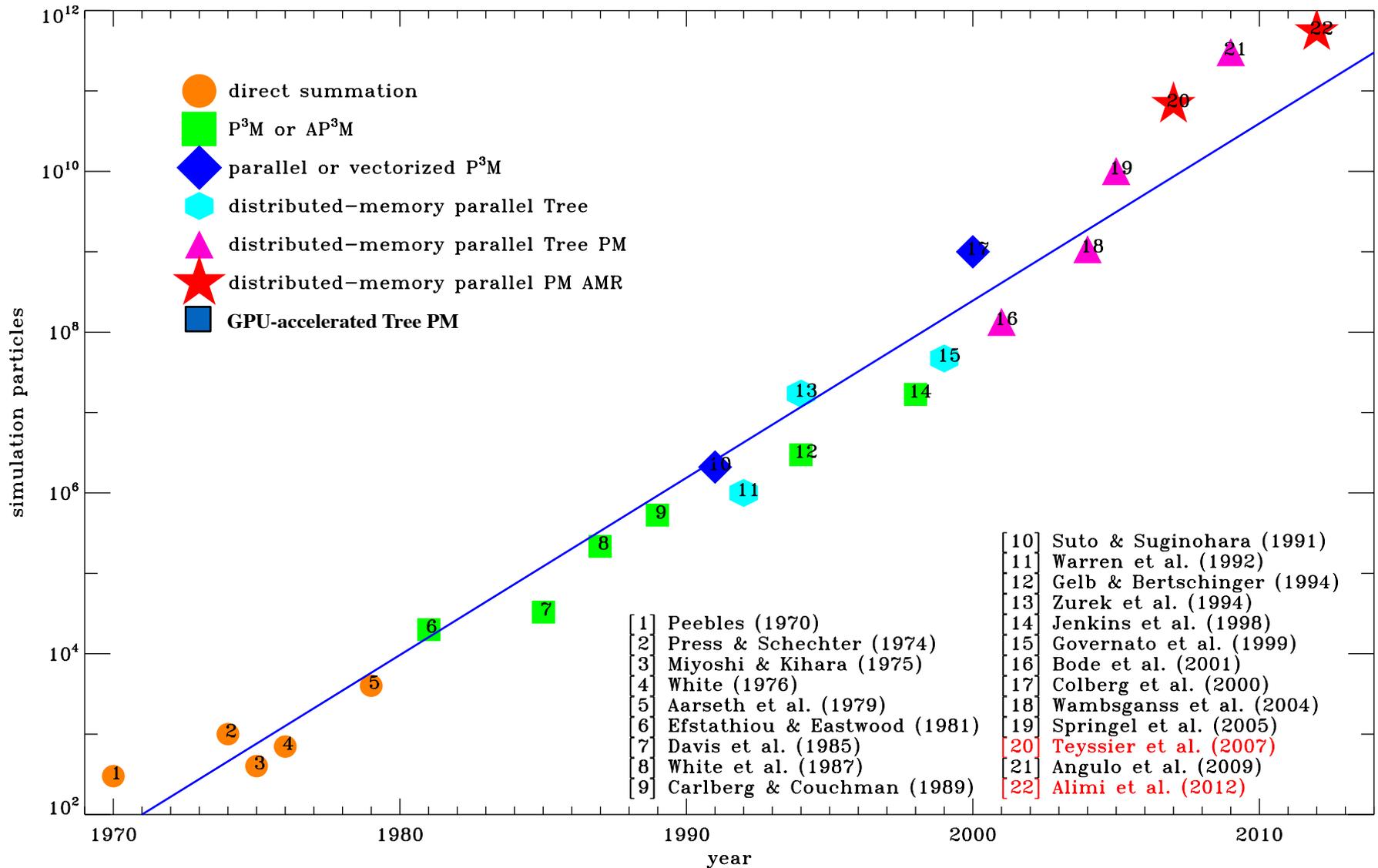


Piz Daint: 2017

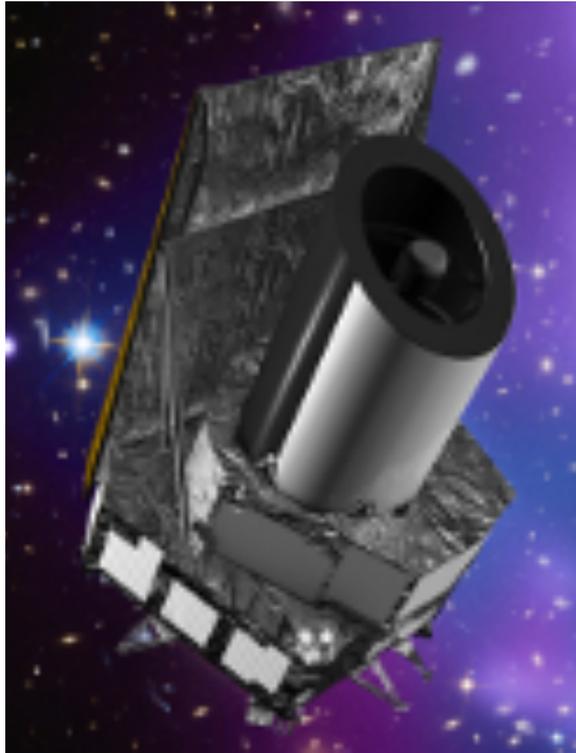
Performance des ordinateurs sur la liste Top 500



Performance des simulations à N-corps



Euclid: une mission spatiale pour révéler l'univers sombre



Euclid est un télescope spatial de la taille de Hubble qui va photographier la moitié de la sphère céleste et cartographier plus de 10 milliards de sources.

Le lancement sera effectué par une fusée Soyouz, probablement en 2021.

Le Consortium Euclid, dirigé par Yannick Mellier (IAP-CNRS) regroupe plus de 300 scientifiques provenant de plus de 15 pays.

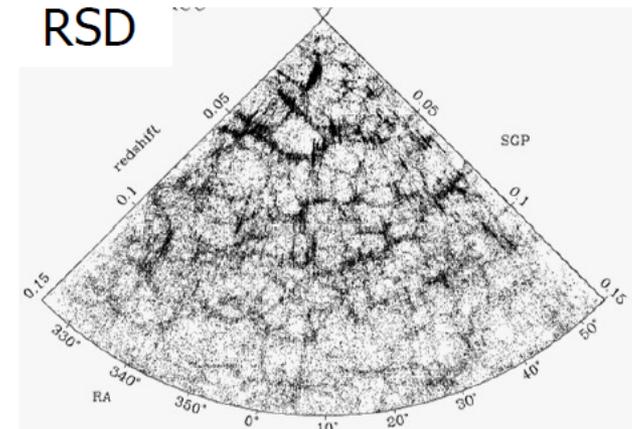
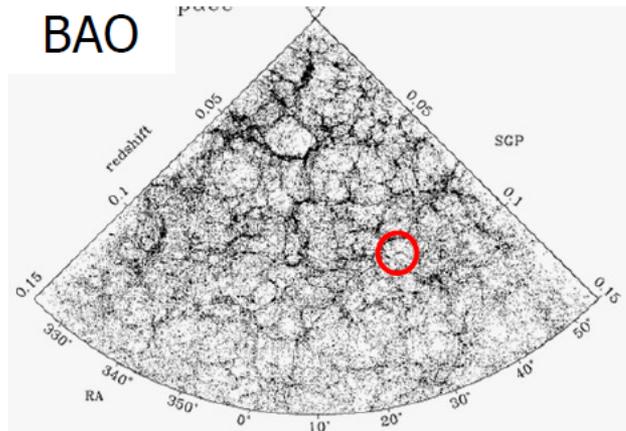
euclid



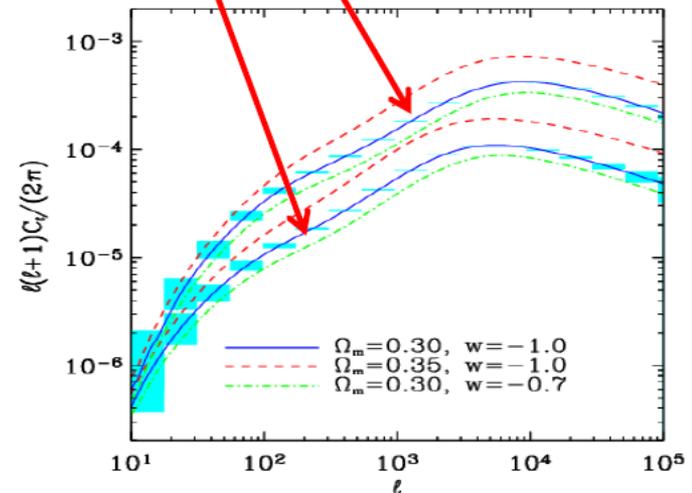
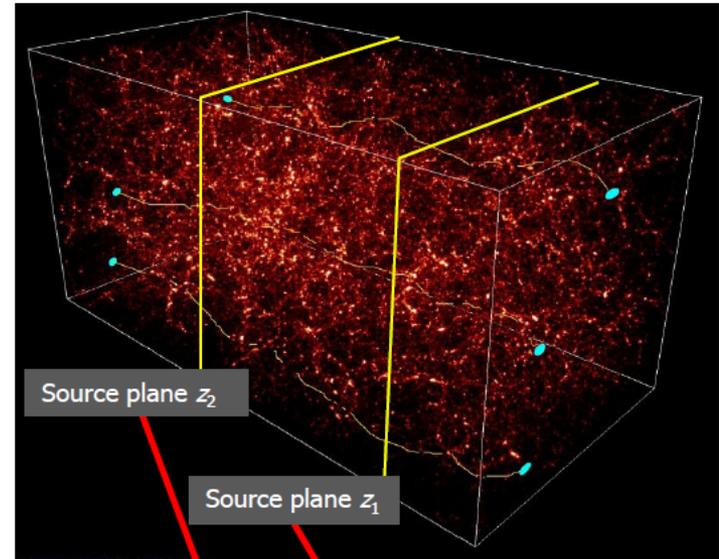
Euclid: une mission spatiale pour révéler l'univers sombre

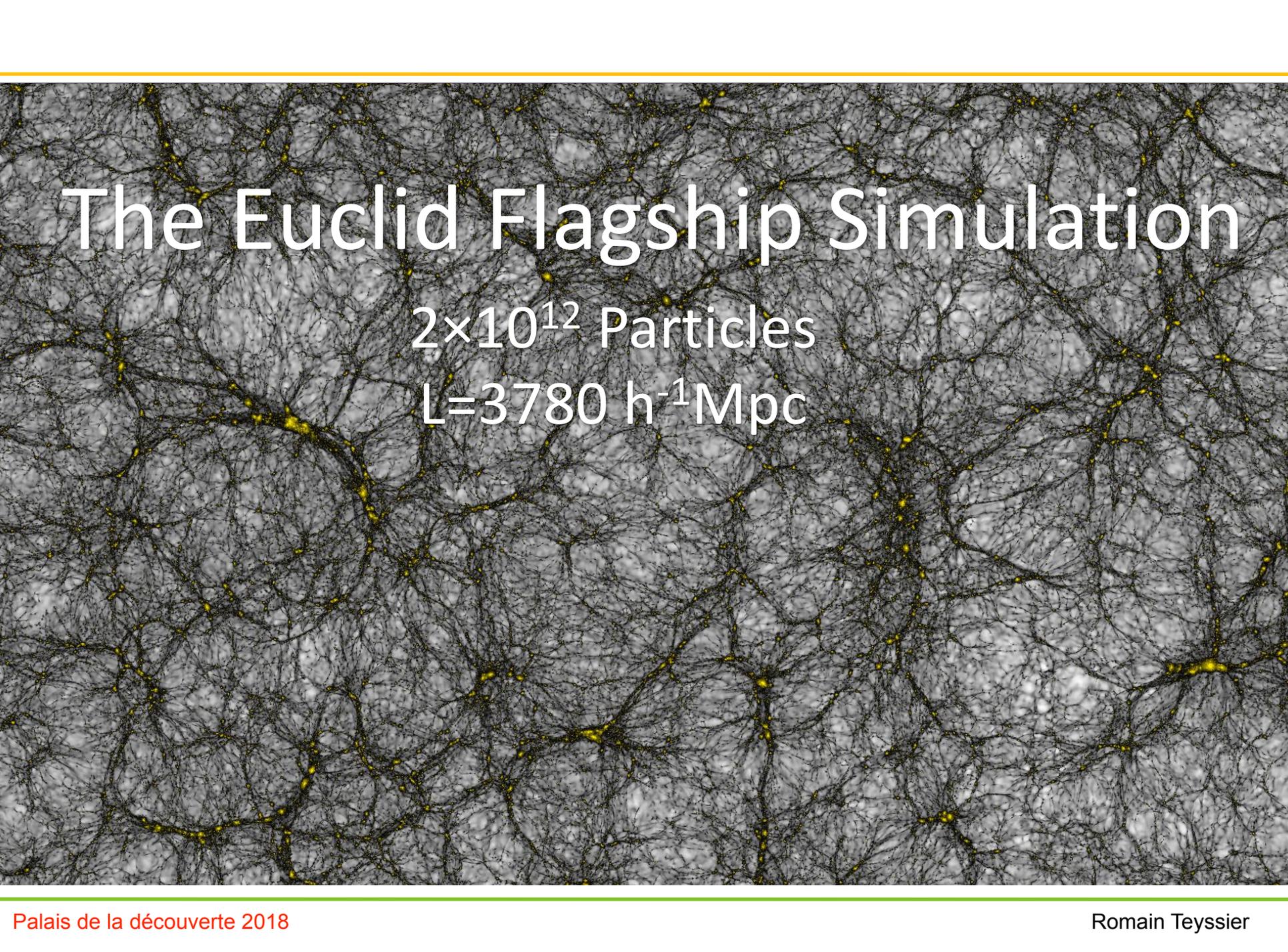
BAO, RSD and WL over 15,000 deg²

50 million galaxies with redshifts



1.5 billion sources with shapes, 10 slices

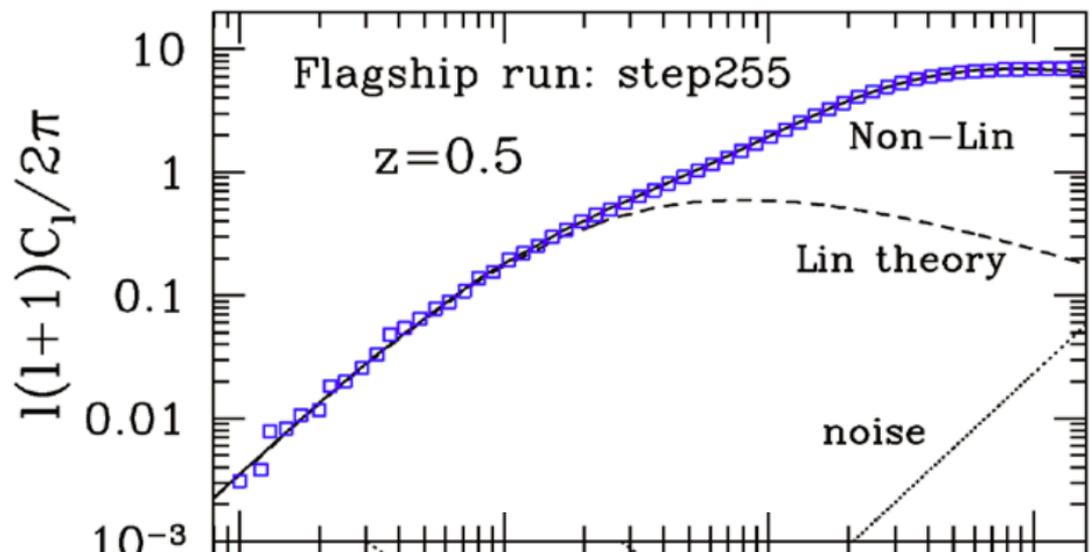
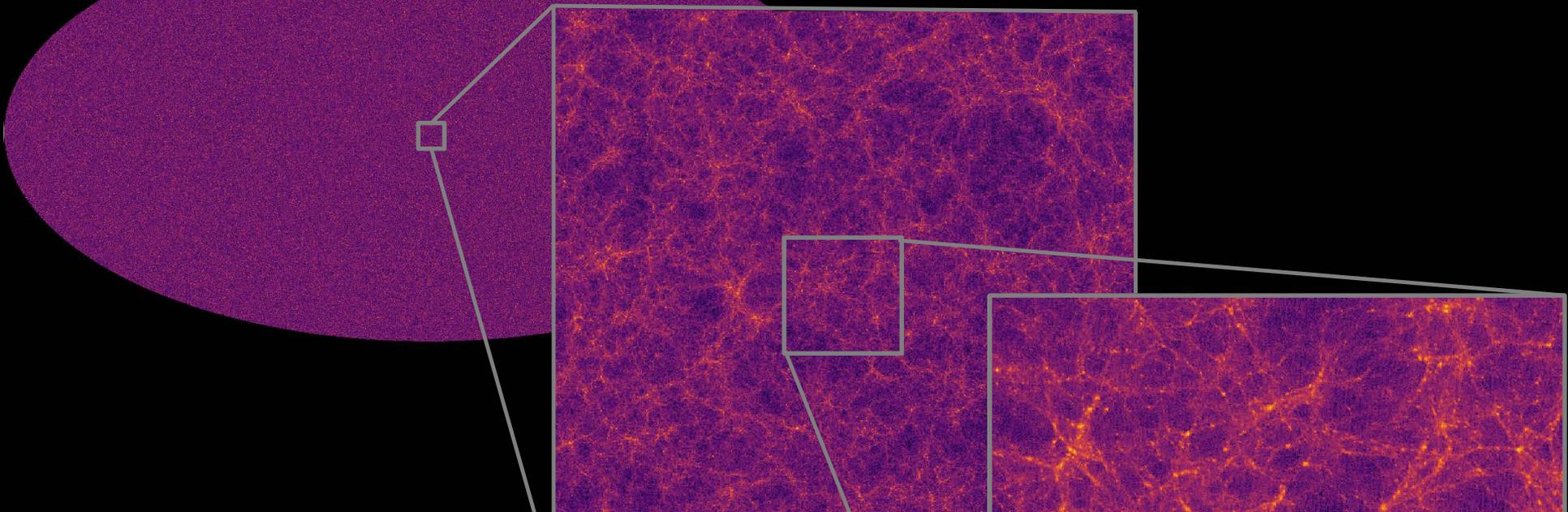


A visualization of a cosmic web simulation, showing a complex network of dark grey filaments and nodes against a light grey background. The nodes are highlighted with bright yellow and orange colors, representing regions of high density and gravitational potential. The filaments are interconnected, forming a web-like structure that spans the entire field of view.

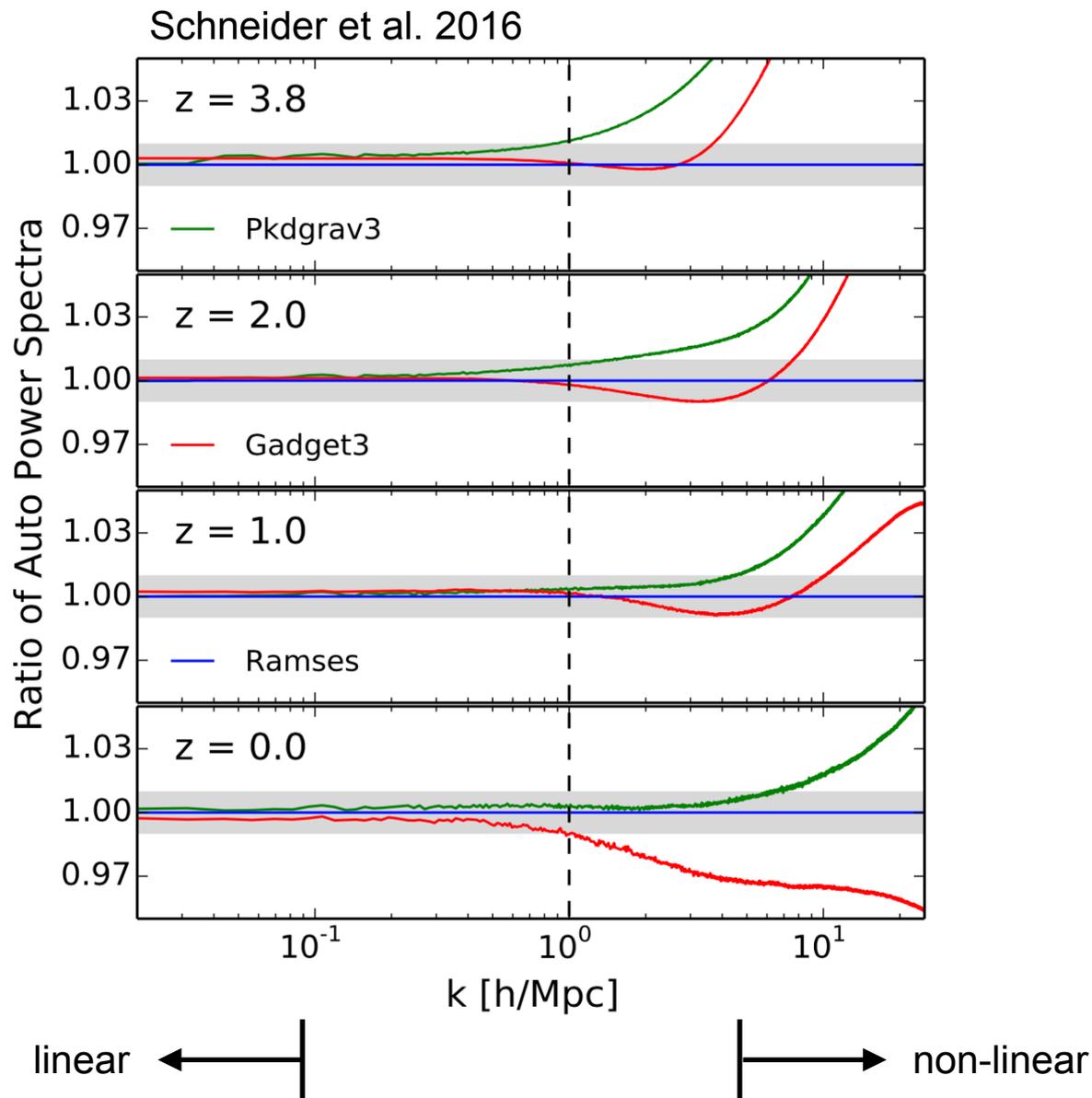
The Euclid Flagship Simulation

2×10^{12} Particles
 $L = 3780 h^{-1} \text{Mpc}$

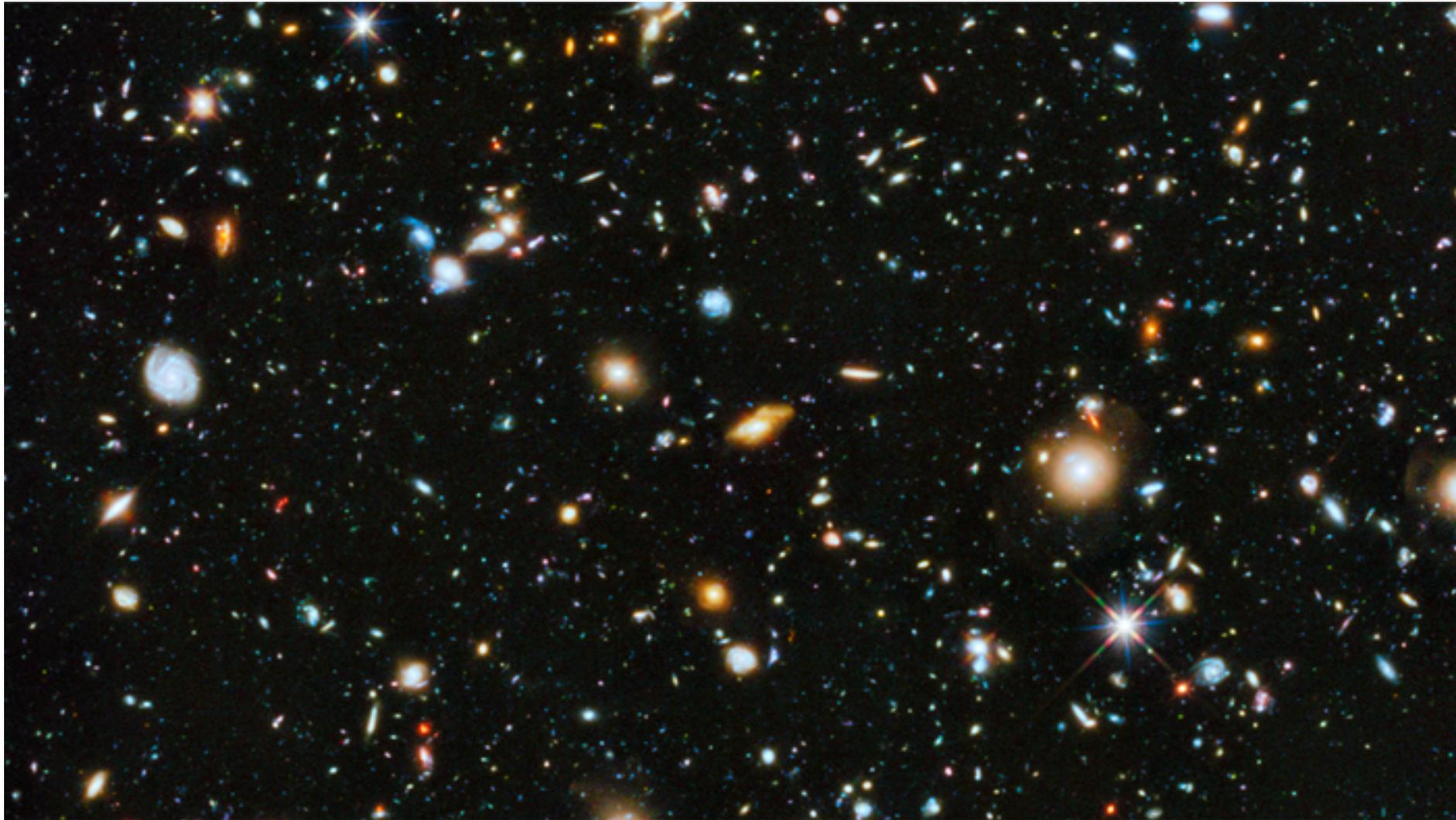
The Euclid Flagship Simulation



Simuler l'univers à haute précision ?



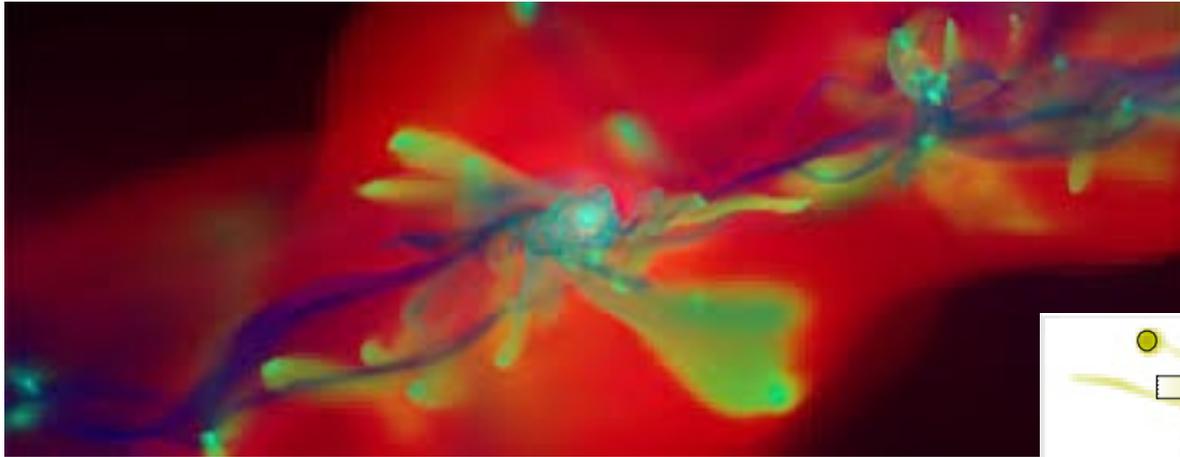
Le champ lointain du télescope Hubble





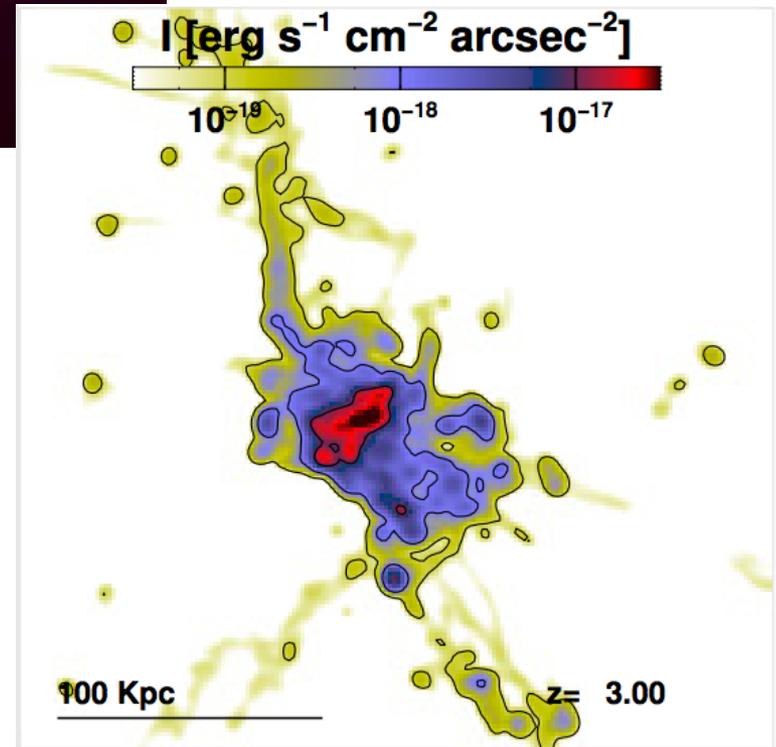
Andromeda Galaxy — NASA, Hubble Telescope

Des filaments froids à l'origine des galaxies ?



Des filaments froids nourrissent directement les disques de gaz en matière primordiale. [Ocvirk et al. \(2009\)](#), [Dekel et al. \(2009\)](#), [Agertz et al. \(2009\)](#)

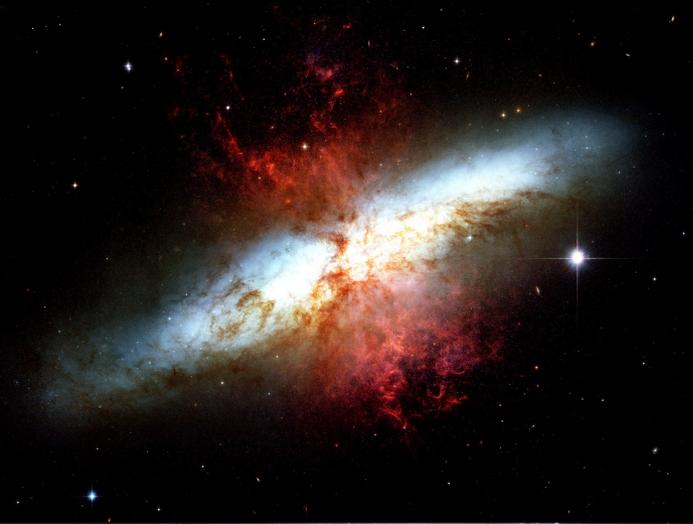
Ces filaments froids ont peut-être déjà été détectés autour des galaxies: les “blobs Lyman alpha”. [Rosdahl et al. \(2012\)](#)





Hubble
Heritage

Hubble Space Telescope ACS • STScI-PRC03-28



Simuler la formation des galaxies

