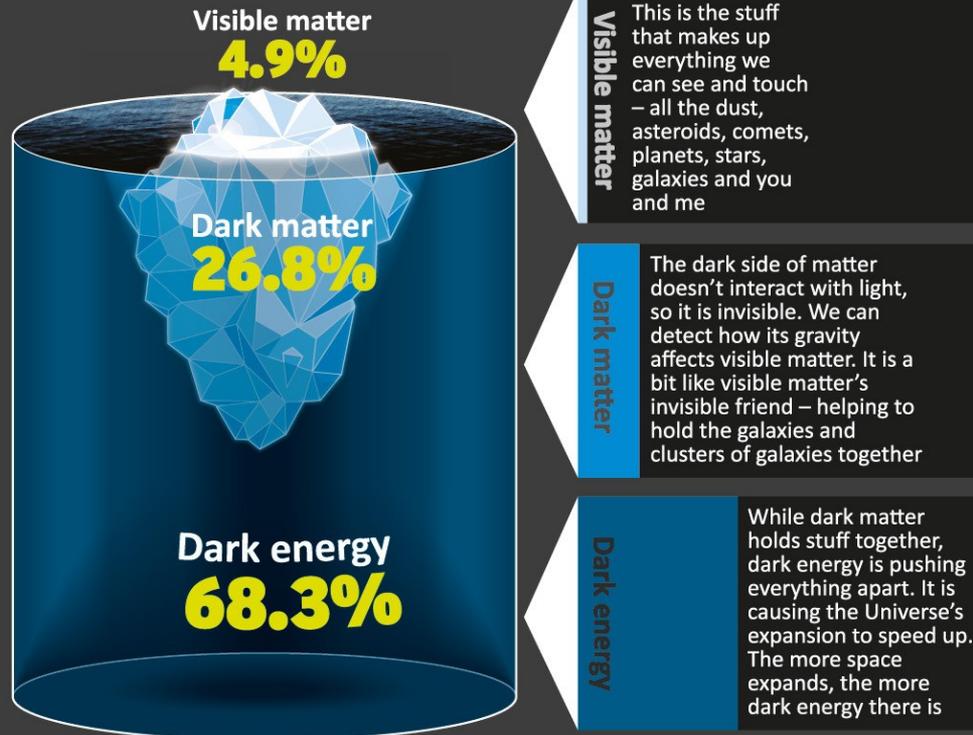


**Comment se forment les galaxies,
et comment l'Univers évolue-t-il ?**

Journée de lancement de l'axe Astrophysique de la Graduate School de Physique
16 novembre 2021

Le modèle Λ CDM de la cosmologie

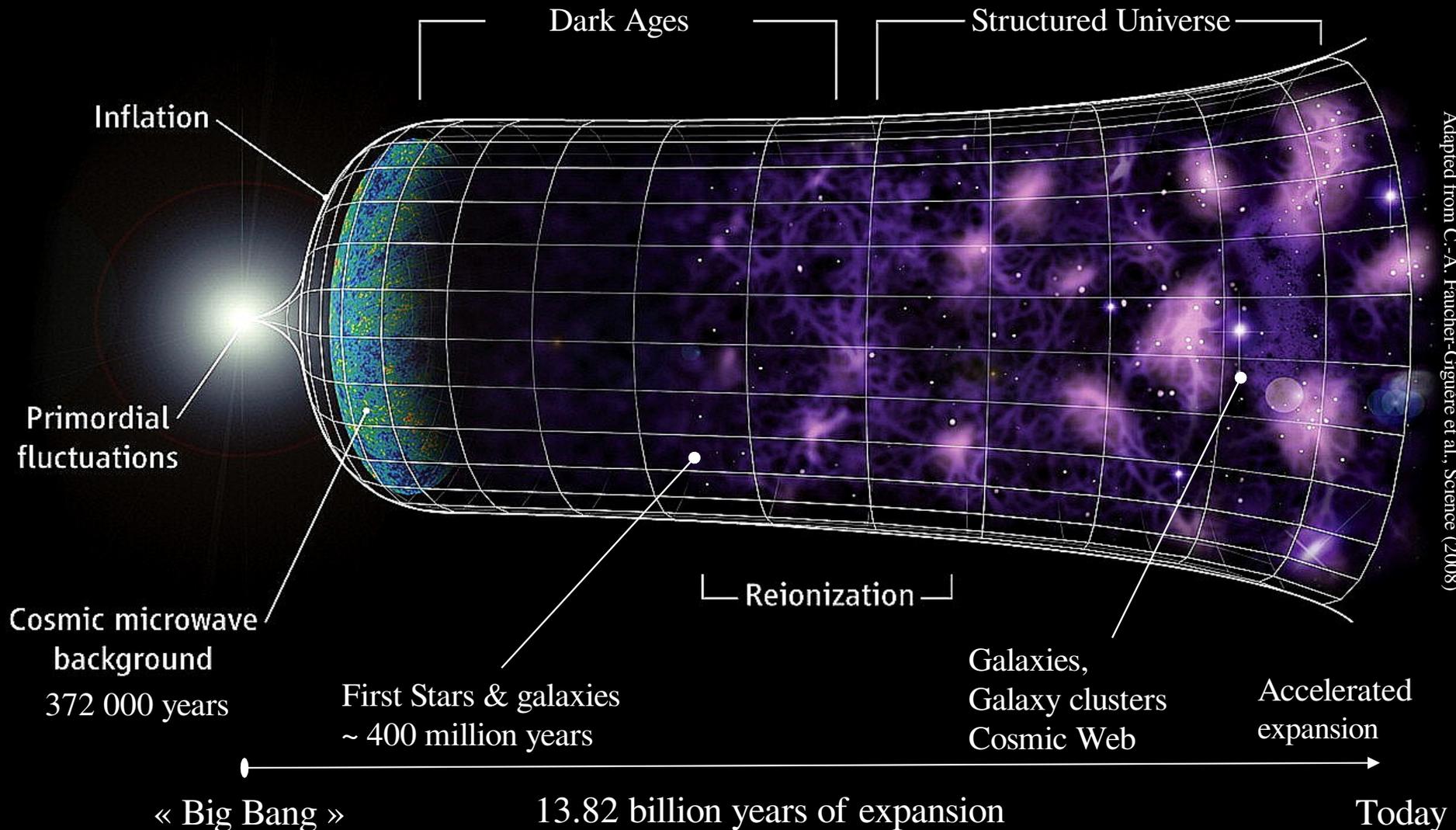


Copyright: STFC/Ben Gilliland

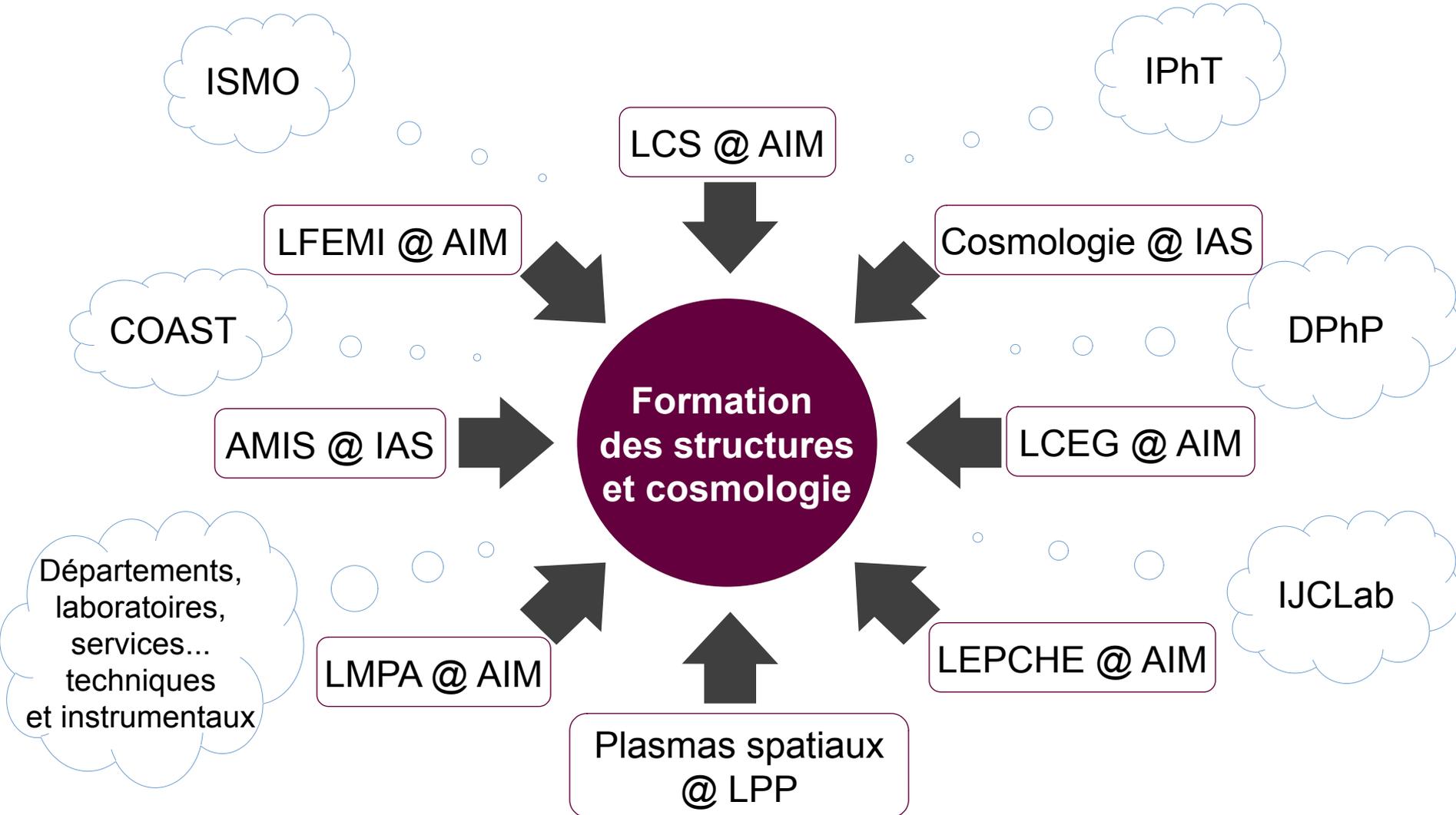
Un modèle « sombre » :

- Λ : constante cosmologique, responsable de l'accélération actuelle de l'expansion de l'Univers → énergie sombre
- Cold Dark Matter:
 - Particules massives
 - Déterminé le taux d'expansion pendant la majeure partie de l'histoire de l'Univers
 - Façonné le paysage dans lequel étoiles, galaxies et amas de galaxies se forment

L'Univers et son histoire



Les équipes



Approches et projets

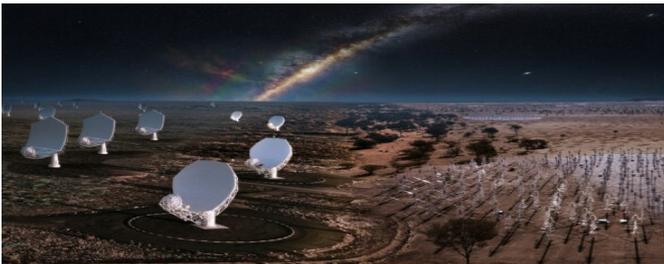
Approches

- développements instrumentaux
- observations et mesures
- simulations numériques
- traitement et analyse des données
- modélisation
- phénoménologie
- théorie
- open science :
 - diffusion des données
 - diffusion des outils

Projets spatiaux (depuis 1999)

- XMM-Newton
- INTEGRAL
- Planck
- Herschel
- JWST
- Euclid
- SVOM
- Athena
- LiteBIRD
- PIXIE
- LISA

Quelques projets sol



- ELT
- LOFAR, SKA
- NIKA2
- Vera Rubin Obs. / LSST
- BISO (ballon)

Cosmologie

- modèle cosmologique ?
- univers primordial, inflation ?
- conditions initiales ?
- paramètres cosmologiques ?
- géométrie et topologie de l'Univers ?
- nature des constituants sombres ?
- écarts au modèle Λ CDM et tensions ?
- modèles alternatifs ?
- origine et rôle de \vec{B} ?
- où sont les baryons ?
- impact de la physique baryonique ?
- combinaison des sondes cosmologiques ?
- non-linéarités et information ?

Grandes questions

Cosmologie

- modèle cosmologique ?
- univers primordial, inflation ?
- conditions initiales ?
- paramètres cosmologiques ?
- géométrie et topologie de l'Univers ?
- nature des constituants sombres ?
- écarts au modèle Λ CDM et tensions ?
- modèles alternatifs ?
- origine et rôle de \vec{B} ?
- où sont les baryons ?
- impact de la physique baryonique ?
- combinaison des sondes cosmologiques ?
- non-linéarités et information ?

Formation des structures

- galaxies :
 - époque et processus de formation et d'évolution ?
 - histoire cosmique de formation stellaire ?
 - formation des trous noirs supermassifs ?
- amas de galaxies :
 - époque et processus de formation ?
 - état dynamique ?
 - sonde cosmologique ?
- toile cosmique :
 - mise en place ?
 - « cachette » baryons manquants ?
- processus physiques internes (poussière, rétro-action, turbulence, \vec{B} , instabilités...) ?

Grandes questions

Cosmologie

- modèle cosmologique ?
- univers primordial, inflation ?
- conditions initiales ?
- paramètres cosmologiques ?
- géométrie et topologie de l'Univers ?
- nature des constituants sombres ?
- écarts au modèle Λ CDM et tensions ?
- modèles alternatifs ?
- origine et rôle de \vec{B} ?
- où sont les baryons ?
- impact de la physique baryonique ?
- combinaison des sondes cosmologiques ?
- non-linéarités et information ?

Formation des structures

- galaxies :
 - époque et processus de formation et d'évolution ?
 - histoire cosmique de formation stellaire ?
 - formation des trous noirs supermassifs ?
- amas de galaxies :
 - époque et processus de formation ?
 - état dynamique ?
 - sonde cosmologique ?
- toile cosmique :
 - mise en place ?
 - « cachette » baryons manquants ?
- processus physiques internes (poussière, rétro-action, turbulence, \vec{B} , instabilités...) ?
- réionisation cosmique :
 - sources ?
 - fin & durée ?

Grands défis

Visible \approx

étoiles (0.4%)

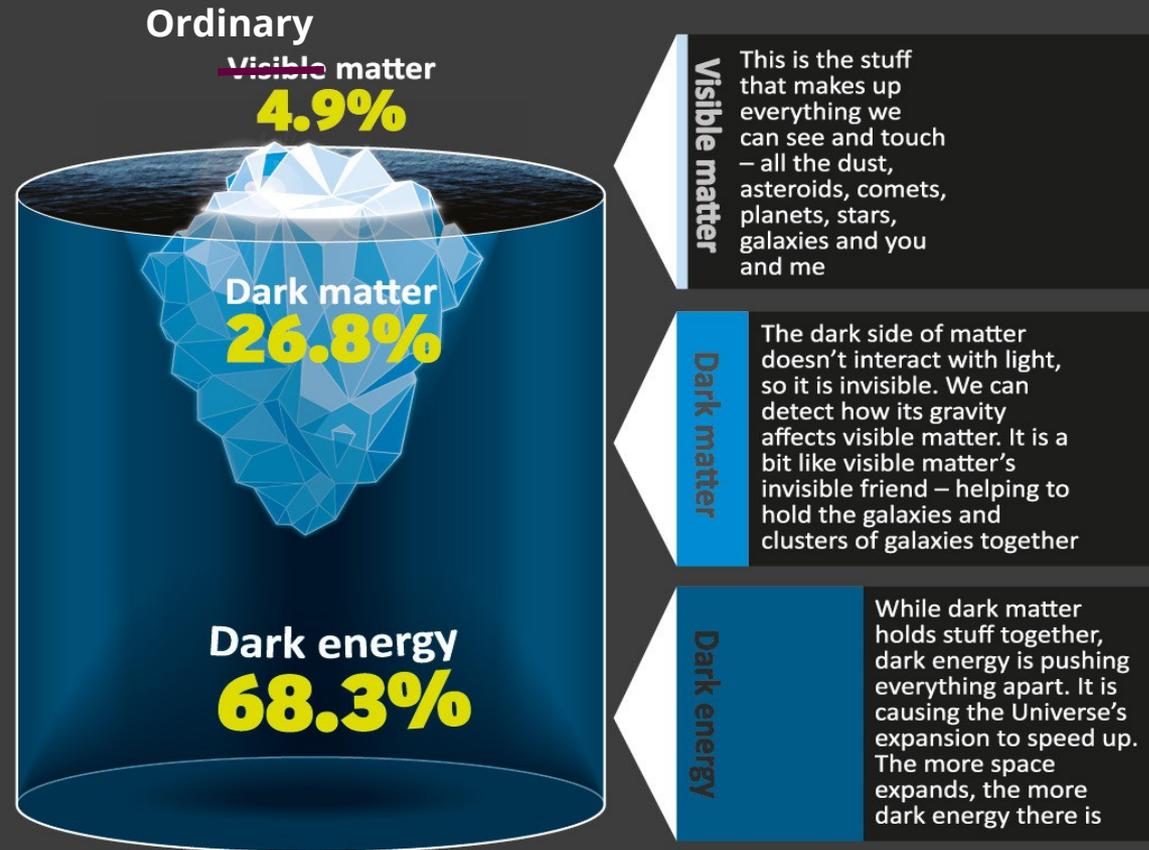
+

gaz diffus (2.25%)

Signal =

somme sur

la ligne de visée



Données :

intriquées, bruitées, cachées, parcellaires, complexes & massives

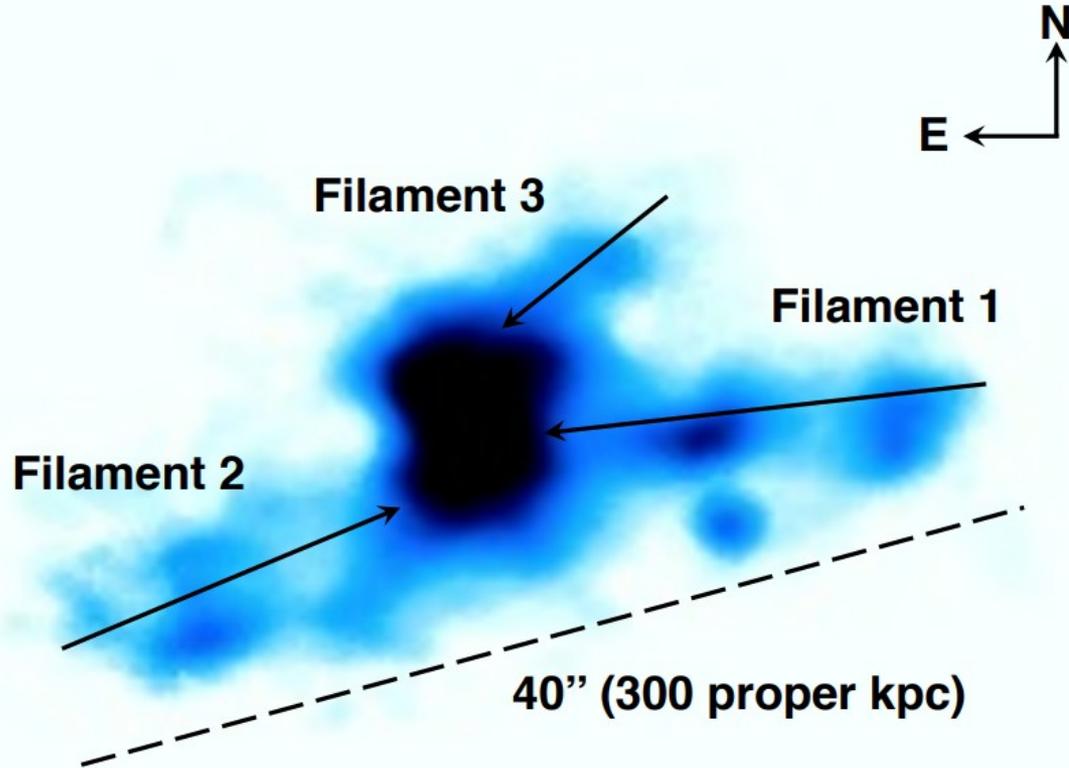
→ développement d'algorithmes, de techniques, de méthodes :

- compression optimale
- séparation de composantes
- méthodes de détection
- corrélations & covariances
- reconstruction de l'information
- statistiques d'ordre supérieur
- modélisation numérique
- méthodes d'apprentissage (machine learning, deep learning, ...)
- théorie de l'information & méthodes de reconstruction

Instruments :

- haute sensibilité
- très basses températures
- forte stabilité

Quelques points marquants

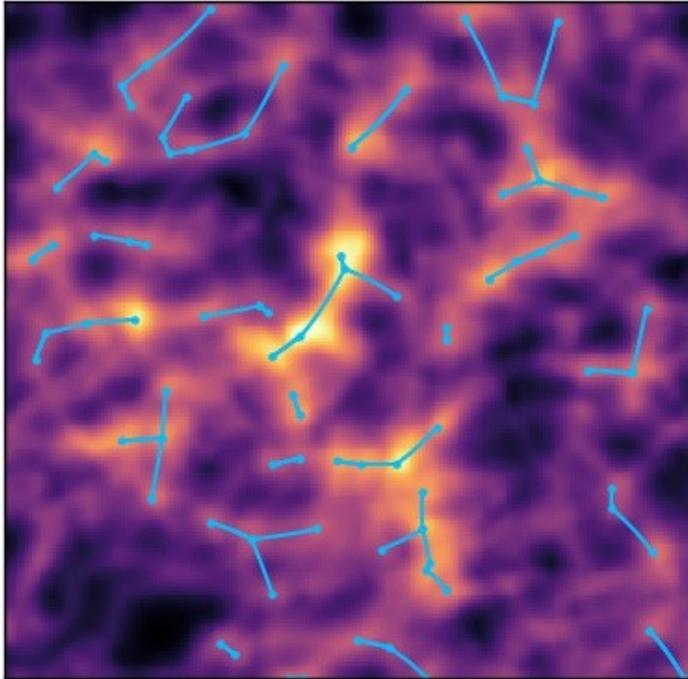


Intense activité de formation stellaire dans ce groupe de galaxies à $z = 2.91$, dans un halo de $4 \cdot 10^{14} M_{\odot}$, alimentée par accréation froide le long de 3 filaments cosmiques

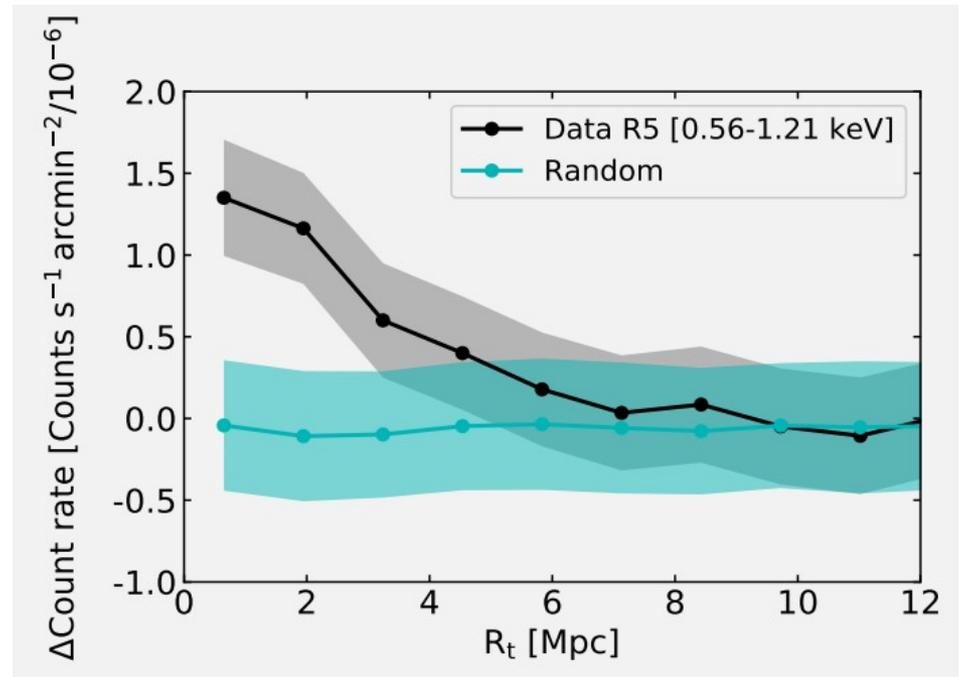
Keck Cosmic Web Imager, VLA, ALMA, NOEMA, Chandra, XMM-Newton

Daddi et al. 2021

Quelques points marquants



Credits: Tanimura, Aghanim (CNRS/Univ. Paris-Saclay)



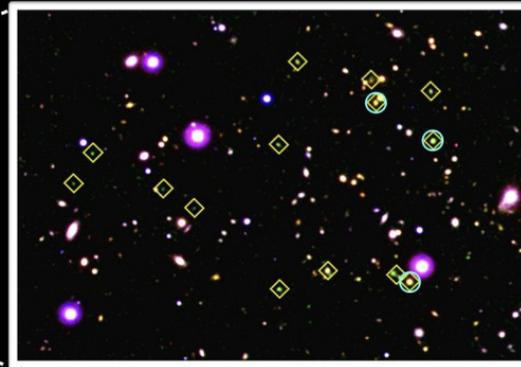
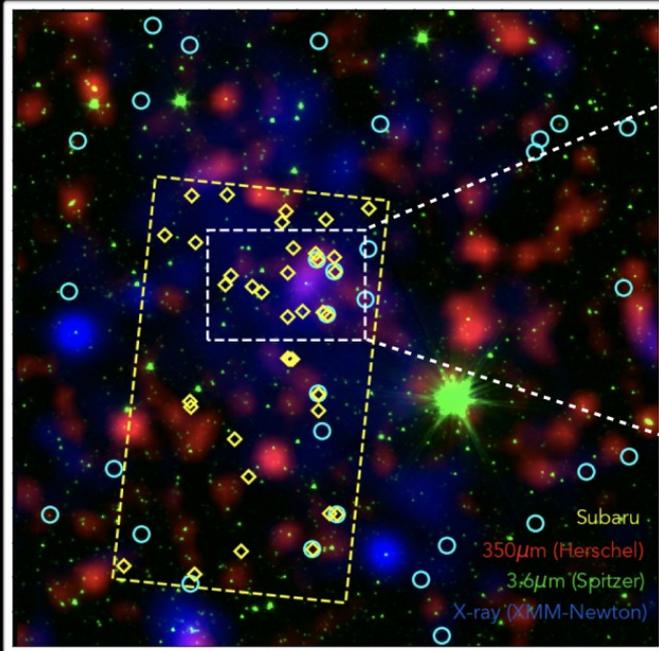
Détection du gaz tiède intergalactique dans les données X d'archive par empilement statistique de 15 000+ filaments intergalactiques

→ Vers un recensement complet des baryons cachés ?

ROSAT, SDSS, Chandra, XMM-Newton

Tanimura et al., 2020

Quelques points marquants



PHz G237:
une nouvelle superstructure de
galaxies en formation

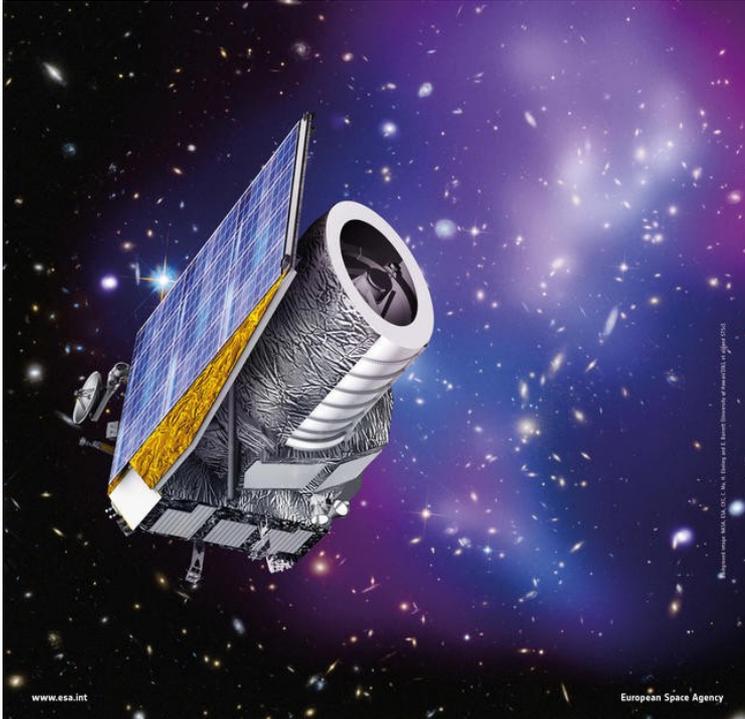
Proto-amas de galaxies G237 lorsque l'univers était âgé
d'environ 3 milliards d'années ($z=2.16$)

À gauche : champ de vue de 11×11 arcminutes. A droite : zoom de 2.7×1.9
arcminutes. © ESA/Herschel and XMM-Newton; NASA/Spitzer; NAOJ/Subaru;
Large Binocular Telescope; ESO/VISTA;

Polletta et al. 2021 ; Koyama et al. 2021.



Quelques points marquants



Importance cruciale de la combinaison et des corrélations croisées des sondes cosmologiques (structures & CMB) pour les contraintes cosmologiques

