

# Formation hiérarchique des galaxies

## Concepts clés II

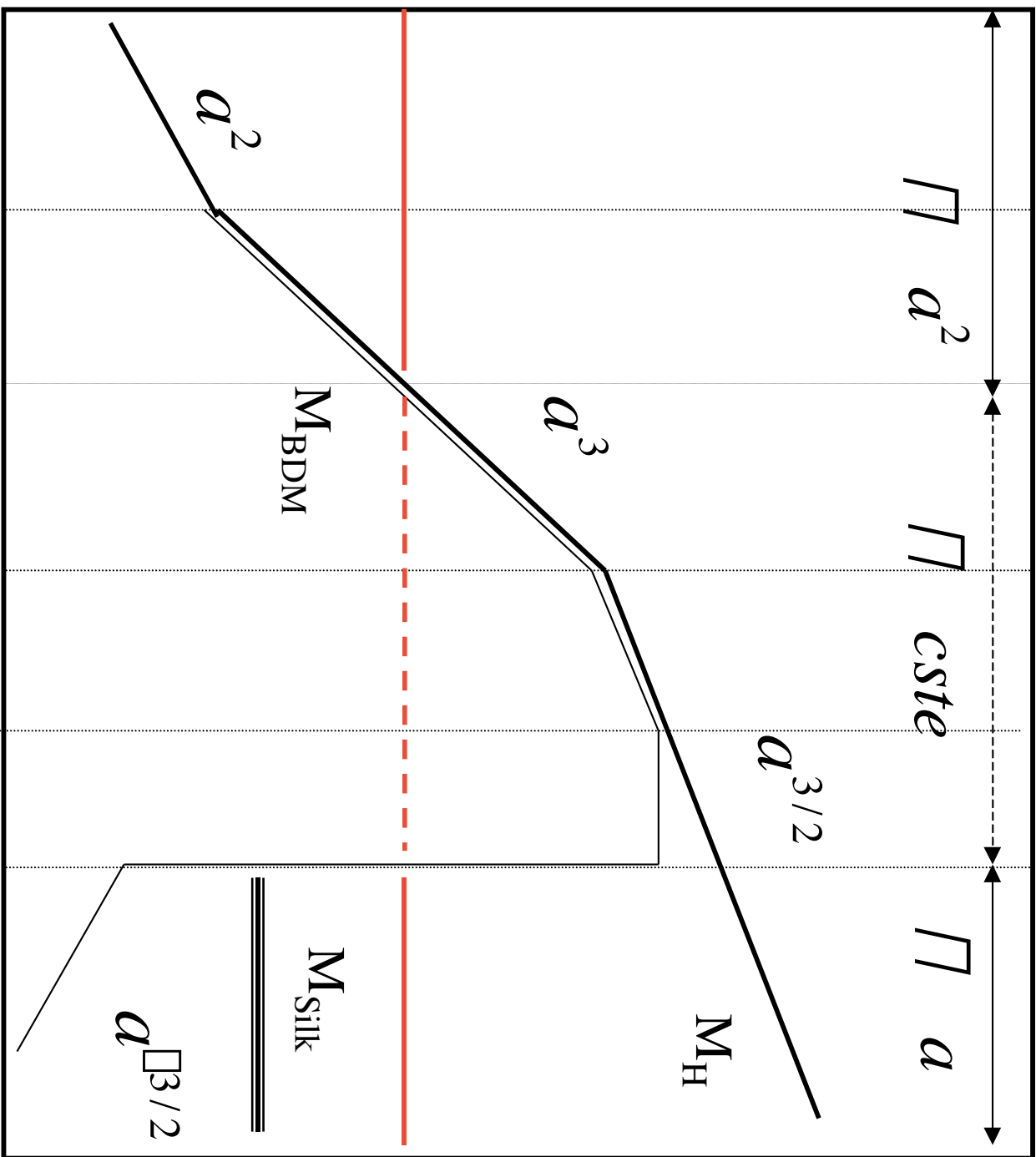
Bruno Guiderdoni

Institut d'Astrophysique de Paris, CNRS

# Formation hiérarchique des galaxies II

- Génération et croissance linéaire des perturbations dans la composante baryonique.
- Quelques processus physique affectant les baryons: refroidissement, collapse dissipatif, fusion, etc.
- Différentes approches de la FHG...
- Modèles hybrides de FHG.
- Génération de champs fictifs et de catalogues synthétiques.

Log Mass



Croissance  
des  
perturbations  
de baryons  
(B)

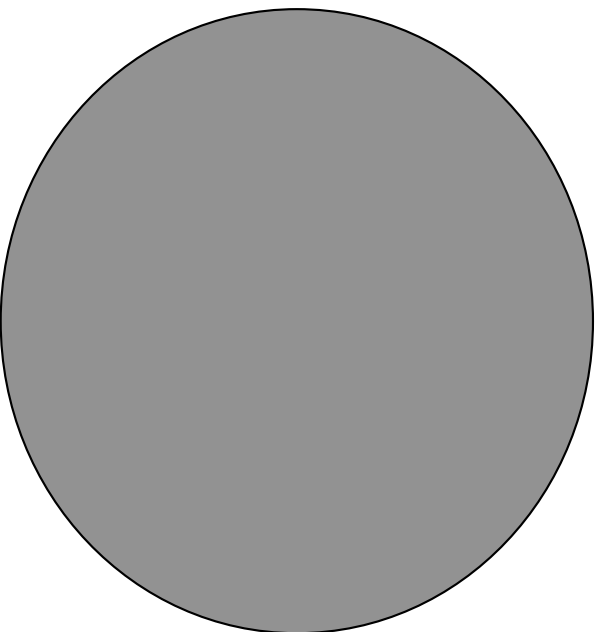
# Refroidissement

Que deviennent les baryons à l'intérieur d'un halo de masse  $M$  ?

$$M_{hot} = M \frac{\rho_{bar}}{\rho_0}$$

Lors du collapse : chauffage à la température du viriel et équilibre hydrostatique  $T_V = \frac{\rho_p m_p}{2k} V_c^2$

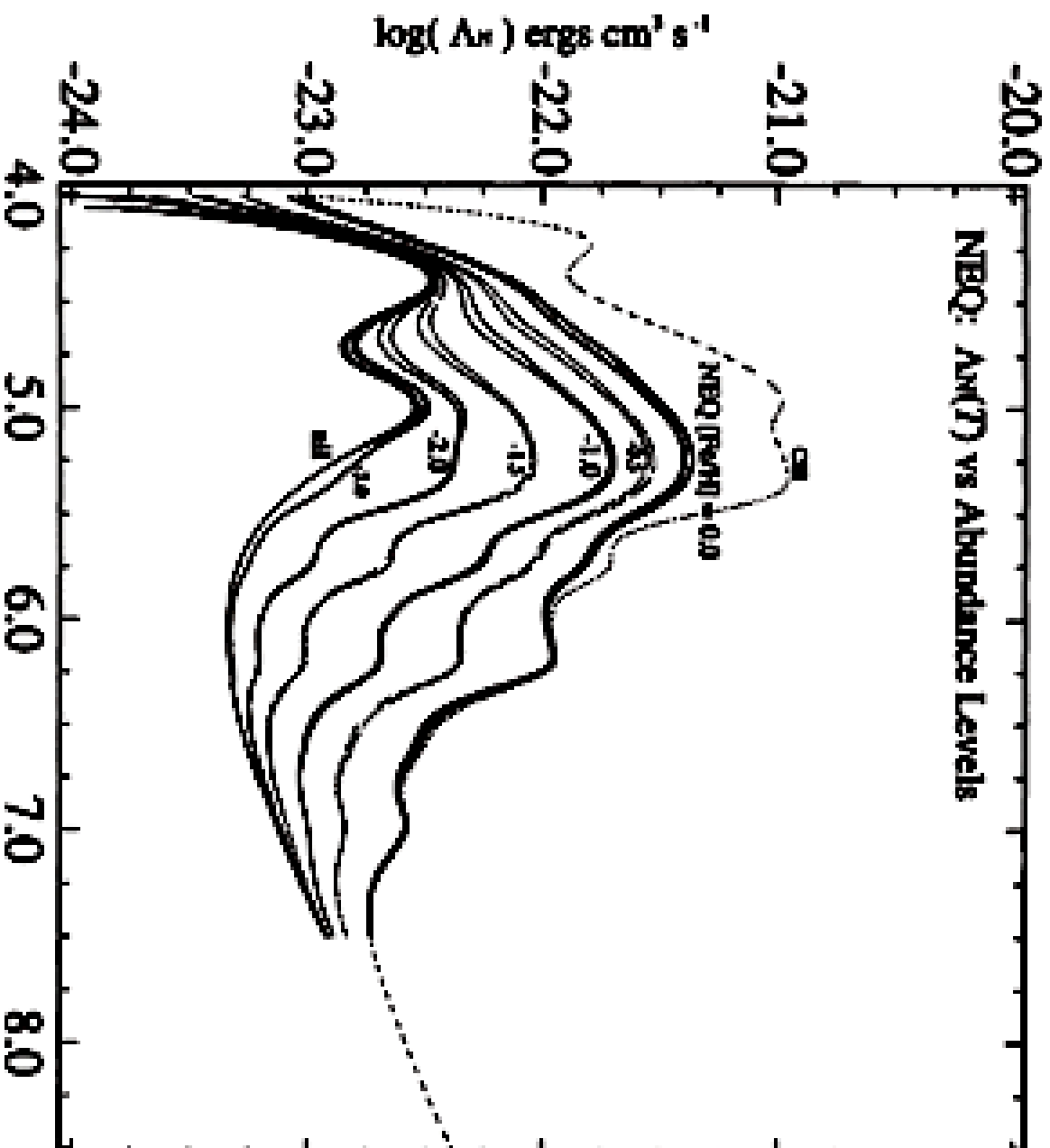
$$\rho_{hot} = \rho_{0hot} \left[ \frac{r^2}{r_c^2} \right]^{3/2} + \frac{r^2}{r_c^2} \quad \rho = \frac{2}{3}$$



Puis refroidissement radiatif  $\dot{E}_{th} = n_e^2 \rho(T)$

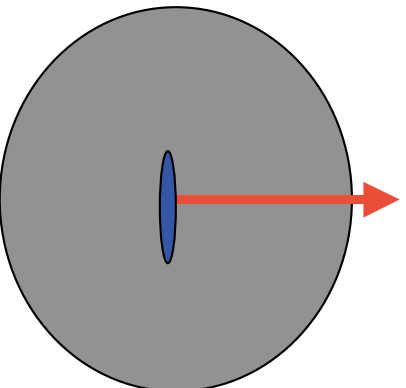
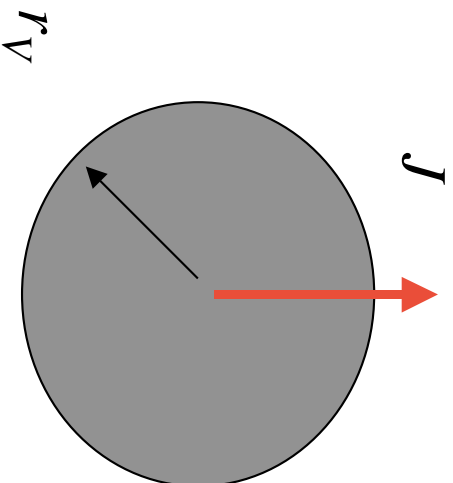
$$t_{cool}(r) \equiv \frac{E_{th}}{\dot{E}_{th}} = \frac{3 \rho_p m_p k T_V}{2 \rho_{hot}(r) \rho(T_V)}$$

Influence de la métallicité sur la courbe de refroidissement



# Collapse dissipatif

La rotation du halo, acquise par effet de marée, est caractérisée par le paramètre de spin sans dimension  $\beta$ . Simulations et calculs analytiques montrent que  $\beta \approx 0.05$



Si le moment angulaire spécifique  $j=J/M$  se conserve durant le collapse, le rayon caractéristique du disque exponentiel de gaz froid est

$$r_d = r_0 \exp\left[-\frac{r}{r_d}\right]$$
$$r_d = \beta r_V$$

# Formation d'étoiles et rétroaction

Le taux de formation d'étoiles est régi par l'échelle de temps dynamique du disque, avec une efficacité  $1/\eta$ .

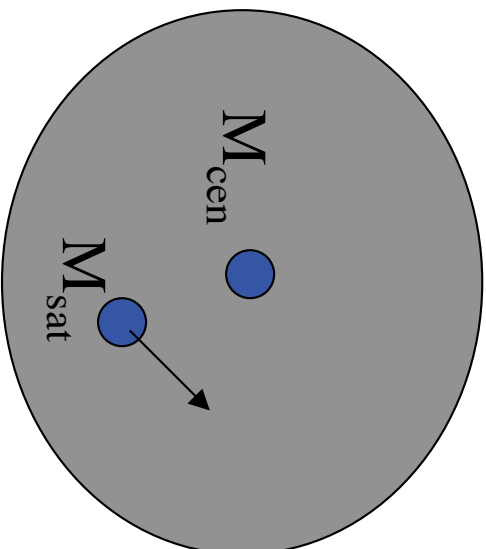
$$SFR = \frac{M_{cold}}{\eta t_{dyn}}$$
$$t_{dyn} = \frac{r_d}{V_c}$$

L'énergie injectée par les supernovae, avec une efficacité  $\eta$ , retourne au MIG

$$\dot{M}_{ej} = 2 SFR \frac{\eta E_{SN}}{V_{esc}^2}$$

# Fusions

Les galaxies spirales dans le halo par effet de friction dynamique



$$r \frac{dr}{dt} = \alpha 0.428 \frac{GM_{sat}}{V_c} \ln \alpha$$
$$\alpha \equiv 1 + \frac{M}{M_{sat}}$$

Logarithme de Coulomb

Lorsque le rapport des masses dépasse  $\alpha=1/3$ , la fusion produit un starburst avec l'efficacité  $1/\alpha$ , puis un bulbe dont la taille est calculée par les lois de conservation.



# Décrire la formation hiérarchique des galaxies dans un cadre cosmologique explicite (variante du CDM)

- Modèles semi-analytiques (théorie des pics, formalisme «Press-Schechter étendu»)
- Approches hybrides (simulations N-corps pour la matière noire et description semi-analytique des baryons)
- Simulations numériques matière noire + gaz
  - TreeSPH
  - Codes à raffinement adaptatif (AMR) + hydrodynamique

## Le projet GALICS

«*Galaxies In Cosmological Simulations*»

Un modèle hybride N-corps/semi-analytique pour  
décrire la formation hiérarchique des galaxies

Institut d'Astrophysique de Paris, CNRS

J. Blaizot (IAP), F.R. Bouchet (IAP), J. Devriendt  
(Oxford), B. Guiderdoni (IAP), S. Hatton (IAP),  
+

S. Ninin (IAP), F. Stöhr (MPA) et D. Vibert (IAP)  
pour les simulations

<http://brunello.iap.fr/galics>

# L'approche hybride

- Constitue une plate-forme cosmologique pour tester la physique «[Sala](#)» de la formation des galaxies
- Défriche le terrain pour les simulations numériques DM+hydrodynamique: quelles recettes pour la formation d'étoiles, le feedback, etc ? Résolution
- Est susceptible de fournir des prédictions détaillées pour contraindre le scénario de formation hiérarchique: % d'Es, densité d'EROs et d'ULIRGs, formation de la séquence de Hubble



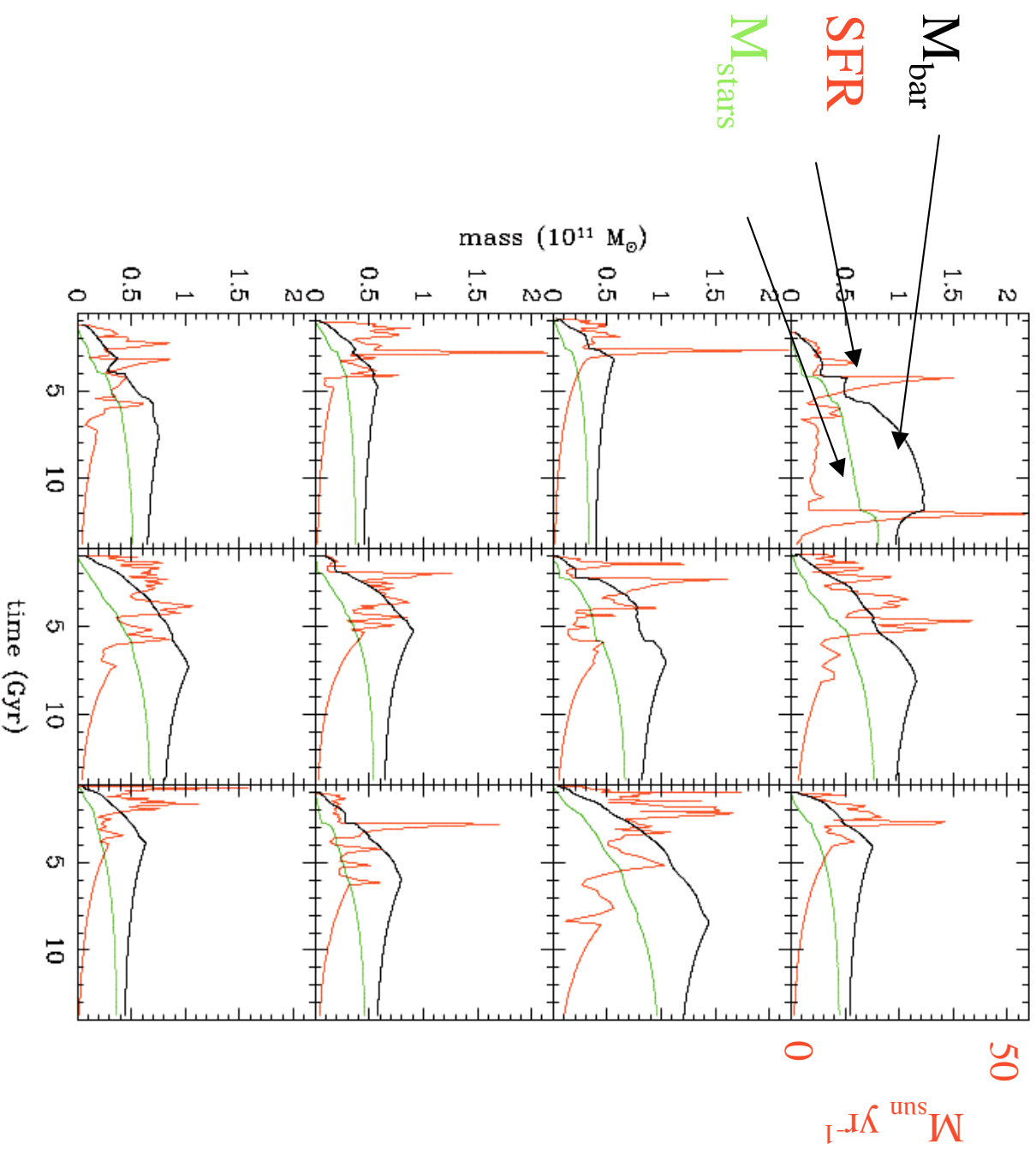
# La modélisation de la formation **hiérarchique** des galaxies

- **Identification des halos de matière sombre.** Résolution (20 particules)  $M_{\text{HMR}} = 1.7 \times 10^{11} M_{\text{sun}}$
- **Construction de l'arbre de fusion des halos.**
- **Utilisation de méthodes semi-analytiques pour décrire les baryons:** chauffage/refroidissement du gaz, la conservation du moment angulaire spécifique, la formation d'étoiles, la rétroaction des étoiles sur le milieu interstellaire, l'enrichissement en éléments lourds, l'extinction, la chute par friction dynamique des satellites au centre des halos, et la rencontre entre satellites .
- **Fusions:** Les fusions majeures produisent des flambées de formation d'étoiles. Le produit final est une elliptique ou un bulbe (si le refroidissement du gaz du halo continue).

# Combien de paramètres libres ?

- Paramètres cosmologiques:  $H_0$ ,  $\Omega_0$ ,  $\Omega_b$ , le spectre de puissance  $P(k)$  et sa normalisation  $\Omega_{8h-1}$ , enfin  $\Omega_{bar}$
- Efficacité de la formation d'étoiles  $\eta$  ( $\sim 60$ , Kennicutt 1998) et du feedback  $\alpha$  ( $\sim 0.1$ , simulations de Thronton et al. 1998).
- Influence des fusions (rapport des masses  $M_1/M_2$  transformant 50% des disques en bulbe)  $\beta$  ( $\sim 3$ ), taille relative  $\gamma$  du starburst par rapport au bulbe ( $\sim 0.1$ ), efficacité des rencontres entre satellites  $\delta$  (Makino & Hut 1997).
- Pourcentage  $\epsilon$  du gaz processé qui est renvoyé dans le MIG ( $\sim 30\%$ ).

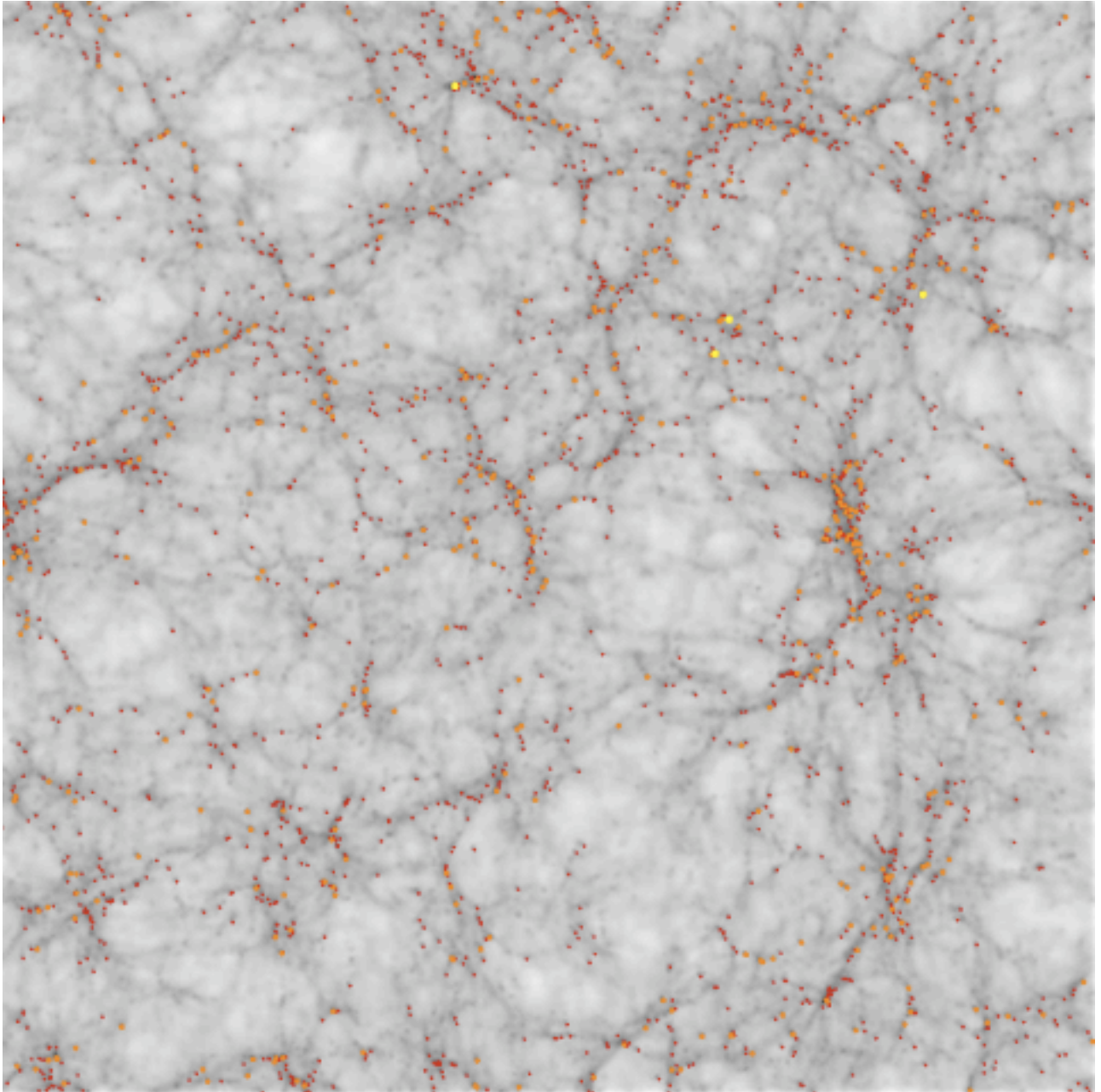
# L'histoire du taux de formation d'étoiles dans 12 spirales typiques



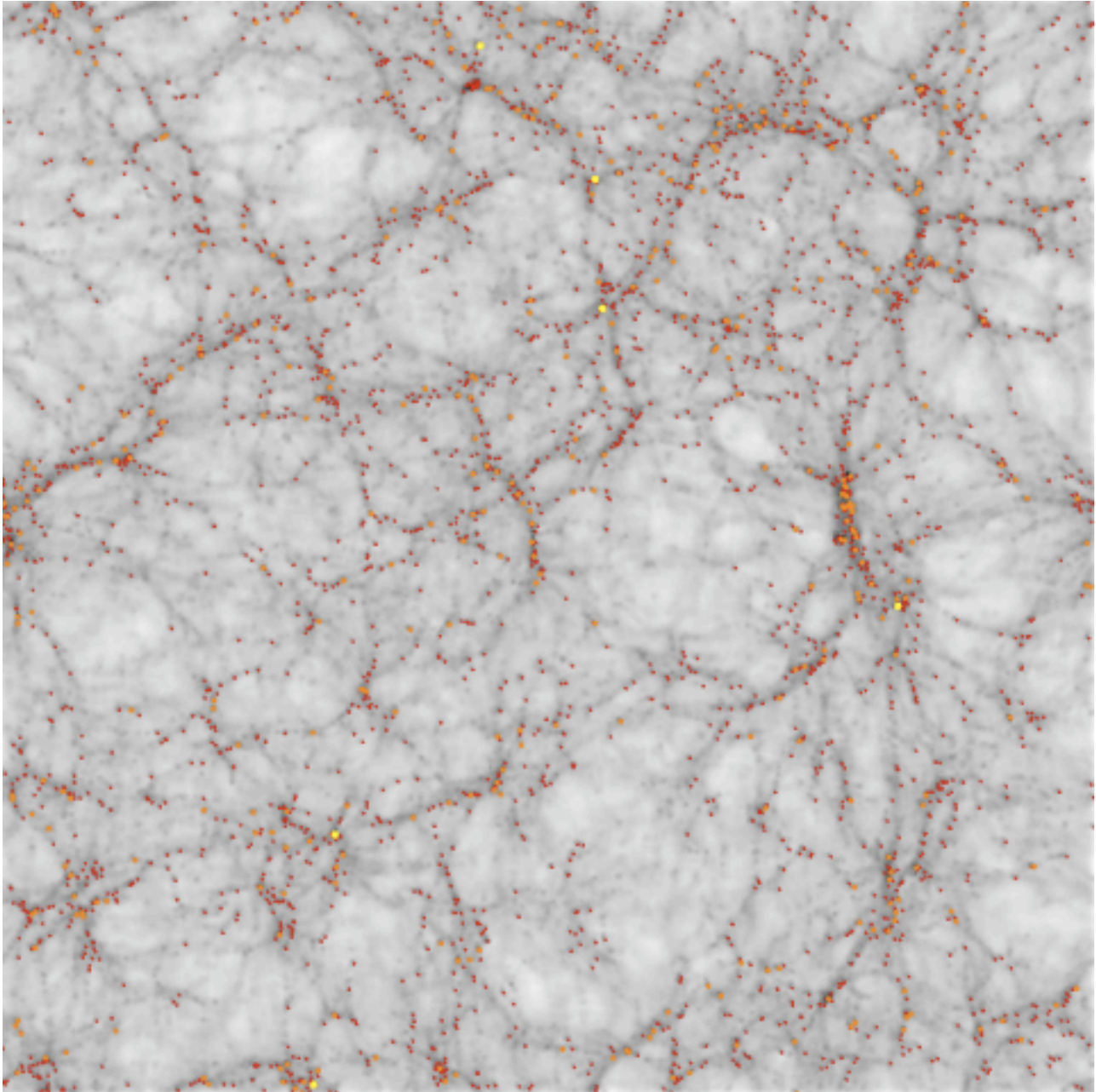
# ULIRGs et LIRGs dans les grandes structures

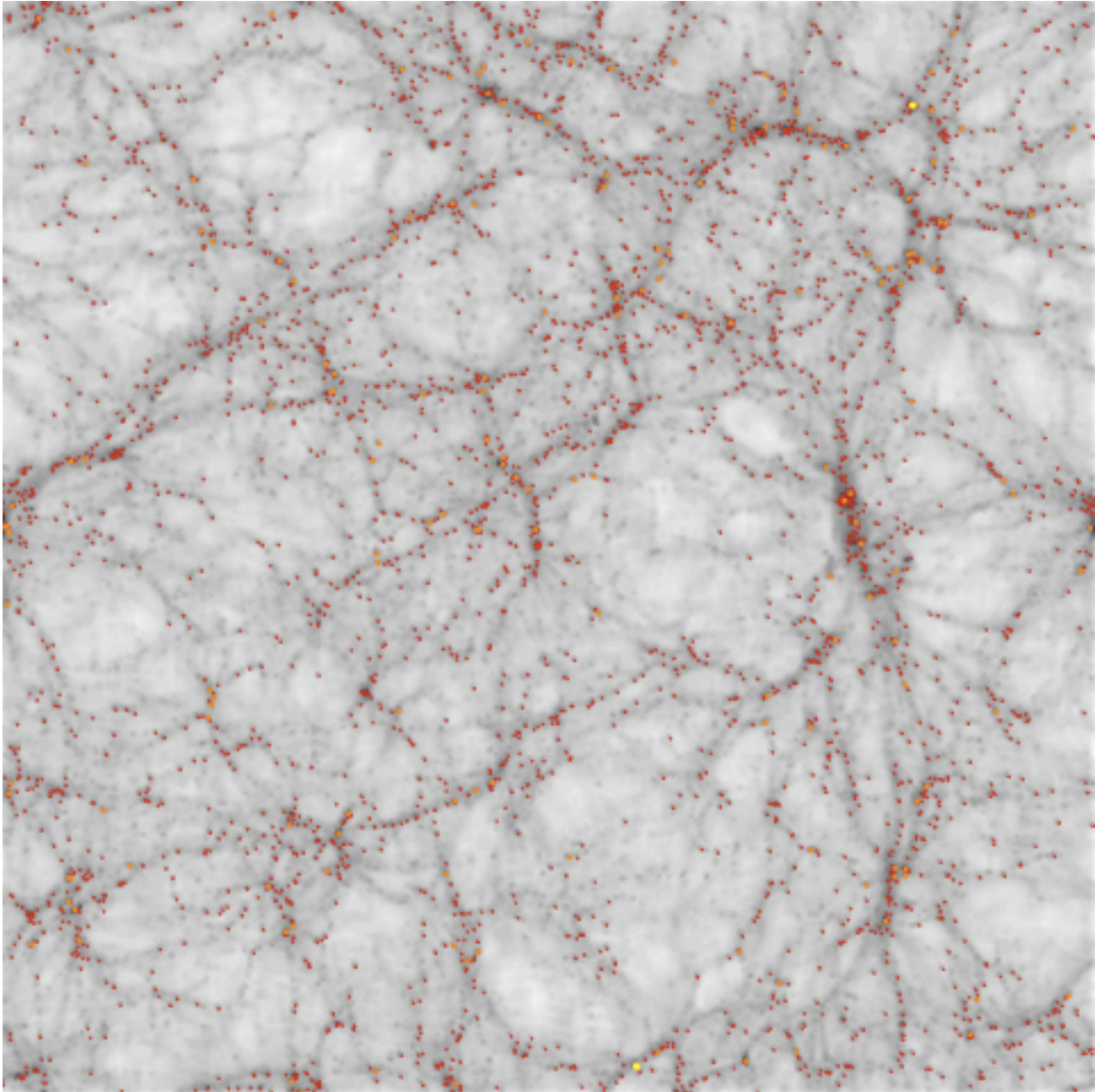
- Quatre images à  $z=3$ , 2, 1 et 0 pour 1/10 de la boîte cubique de 150 Mpc de côté.
- **Points jaunes** : ULIRGs ( $L_{\text{IR}} > 10^{12} L_{\text{sol}}$ )
- **Points orange** : LIRGs ( $10^{11} L_{\text{sol}} < L_{\text{IR}} < 10^{12} L_{\text{sol}}$ )
- **Points rouges** : «Flambées moyennes» et spirales actives ( $L_{\text{IR}} < 10^{11} L_{\text{sol}}$ )

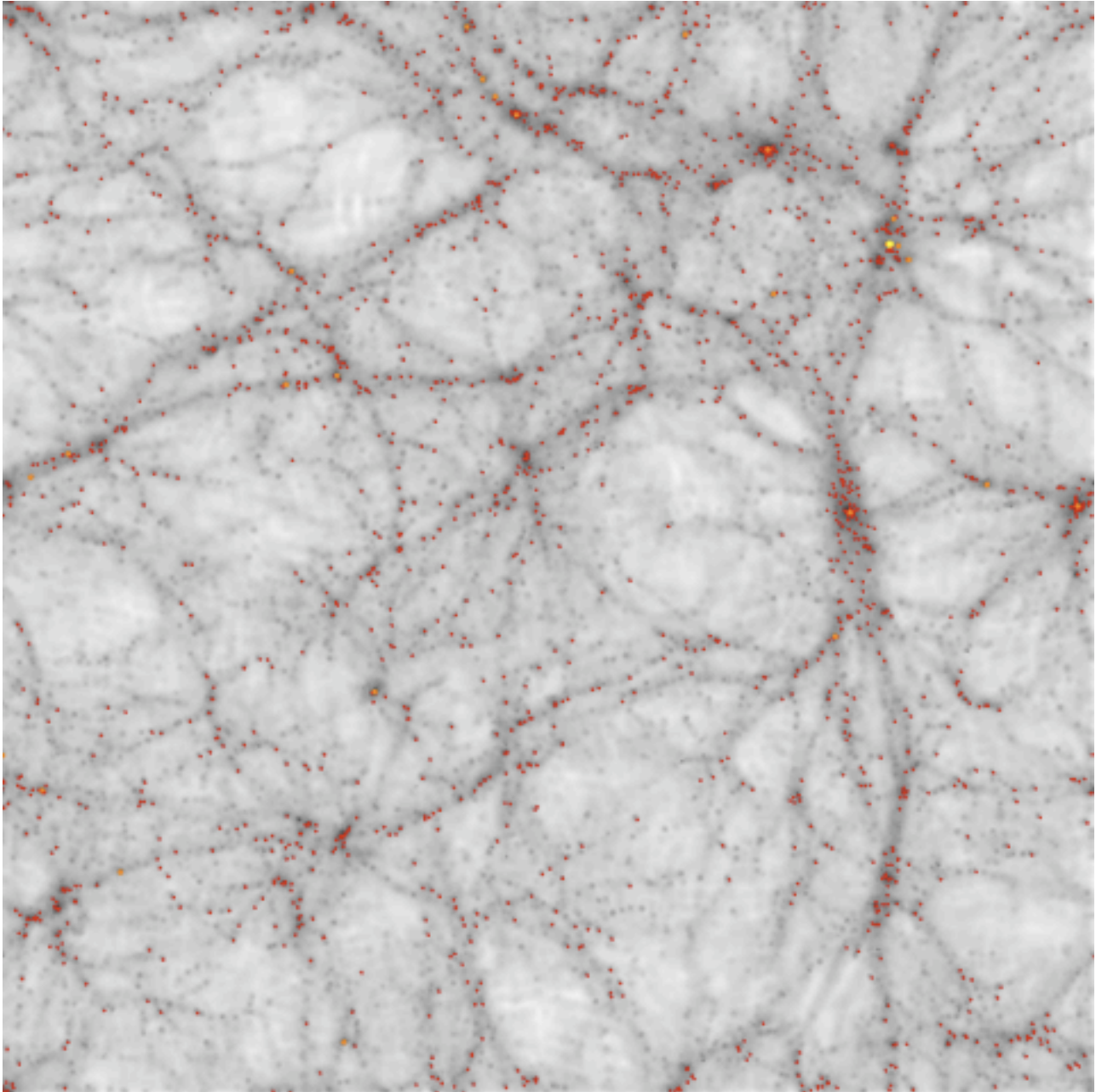








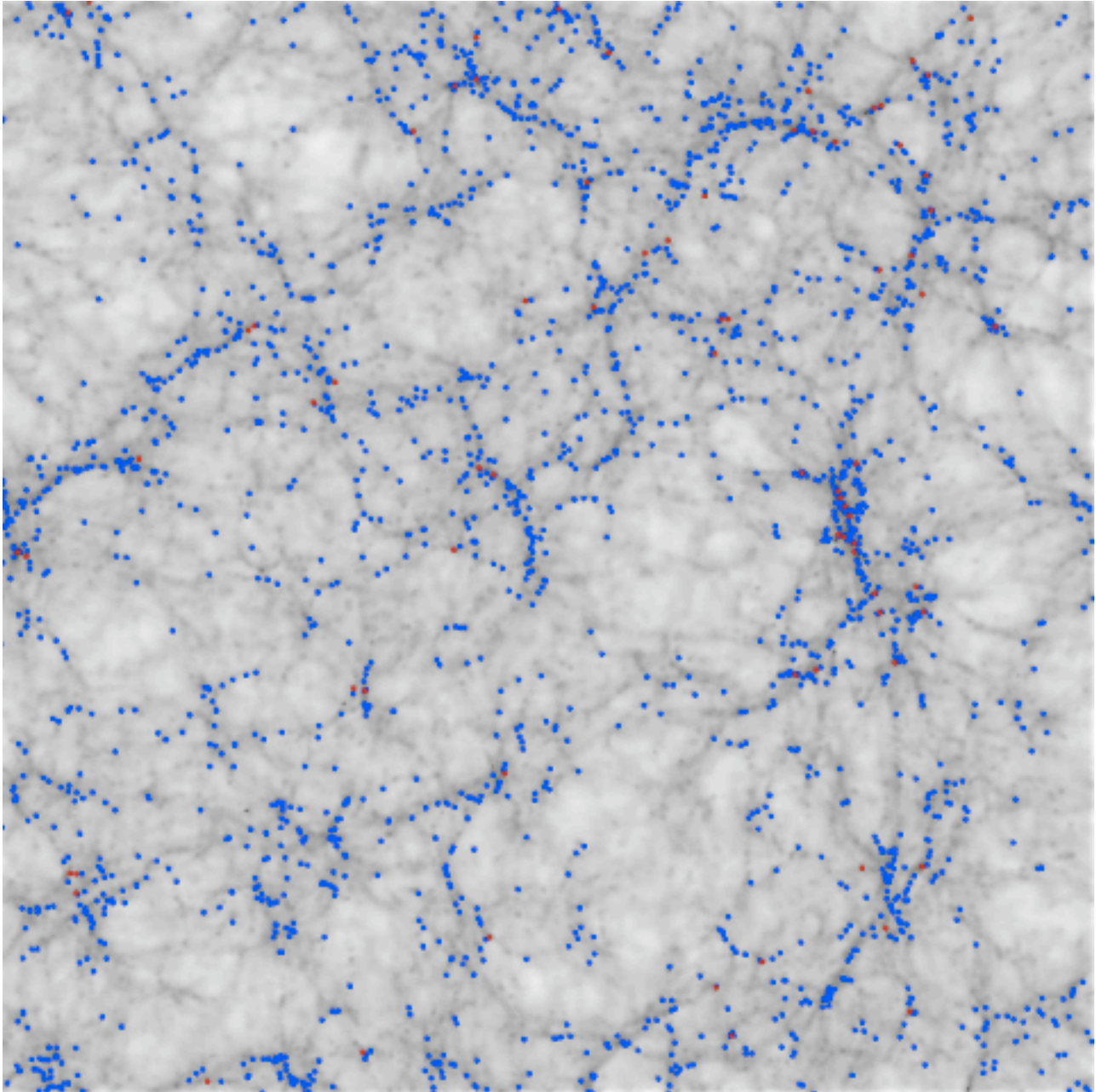


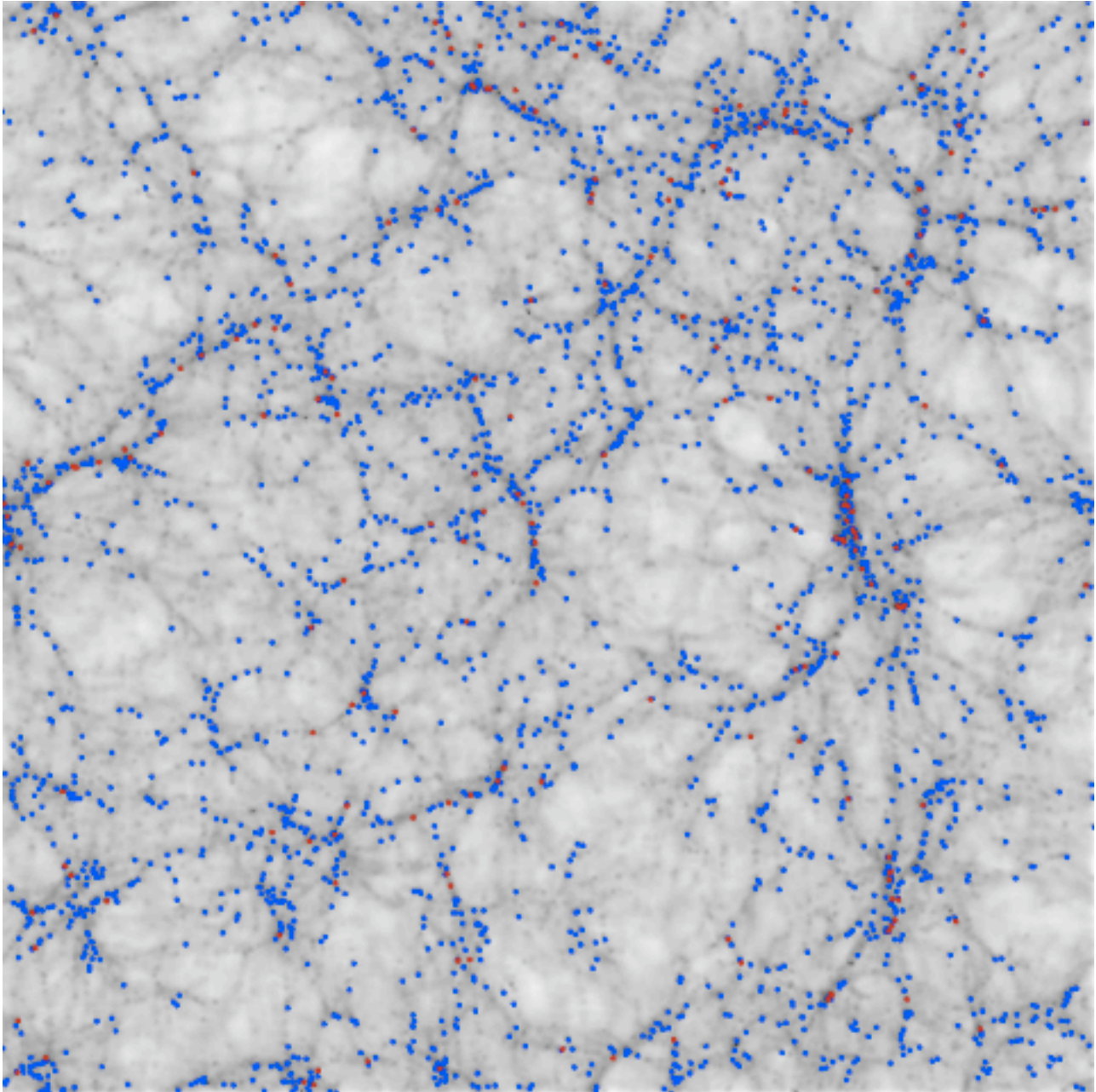




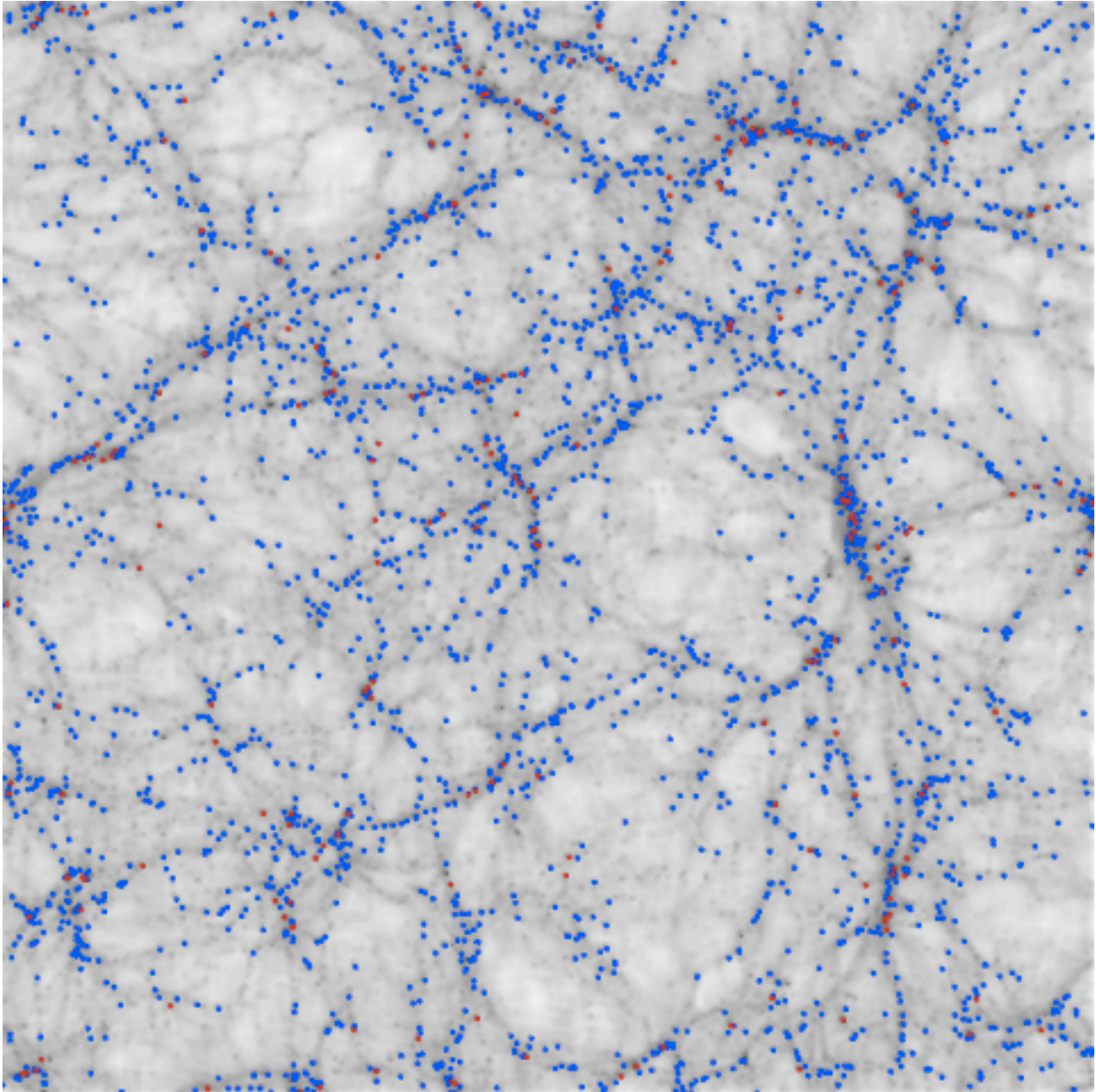
# Elliptiques et spirales dans les grandes structures

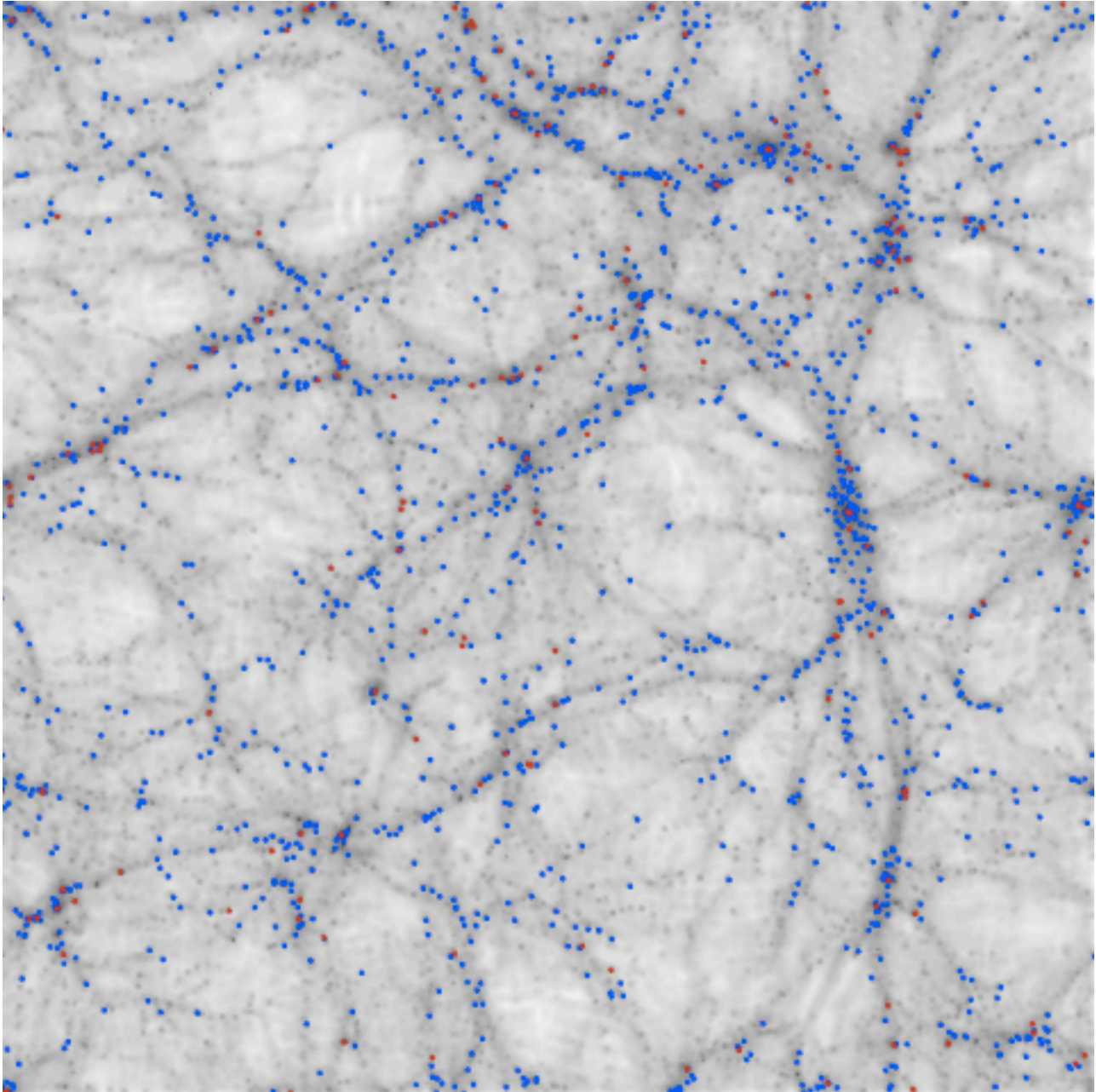
- Quatre images à  $z=3$ , 2, 1 et 0 pour 1/10 de la boîte cubique de 150 Mpc de côté.
- **Points bleus** : spirales ( $L_{\text{Bulbe}}/L_{\text{Disque}} < 0.68$ )
- **Points rouges** : elliptiques ( $L_{\text{Bulbe}}/L_{\text{Disque}} > 1.52$ )
- A  $z=0$ , GaLICS prédit E:SO:Sp = 15:11:74 % pour  $M_B < -19.75$ , alors que les données du relevé Stromlo-APM (Loveday et al. 1996) donnent 14:13:73%.



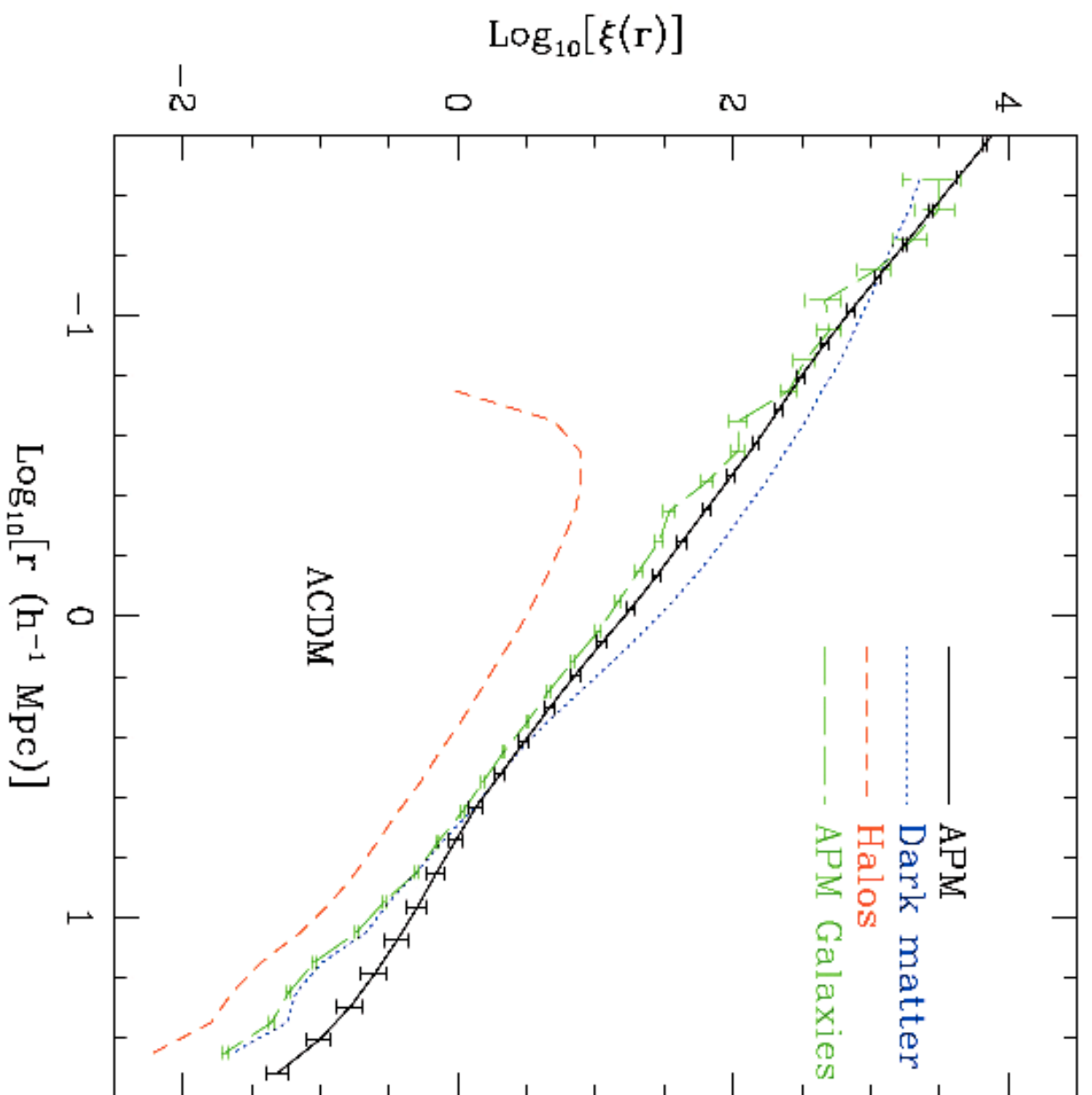




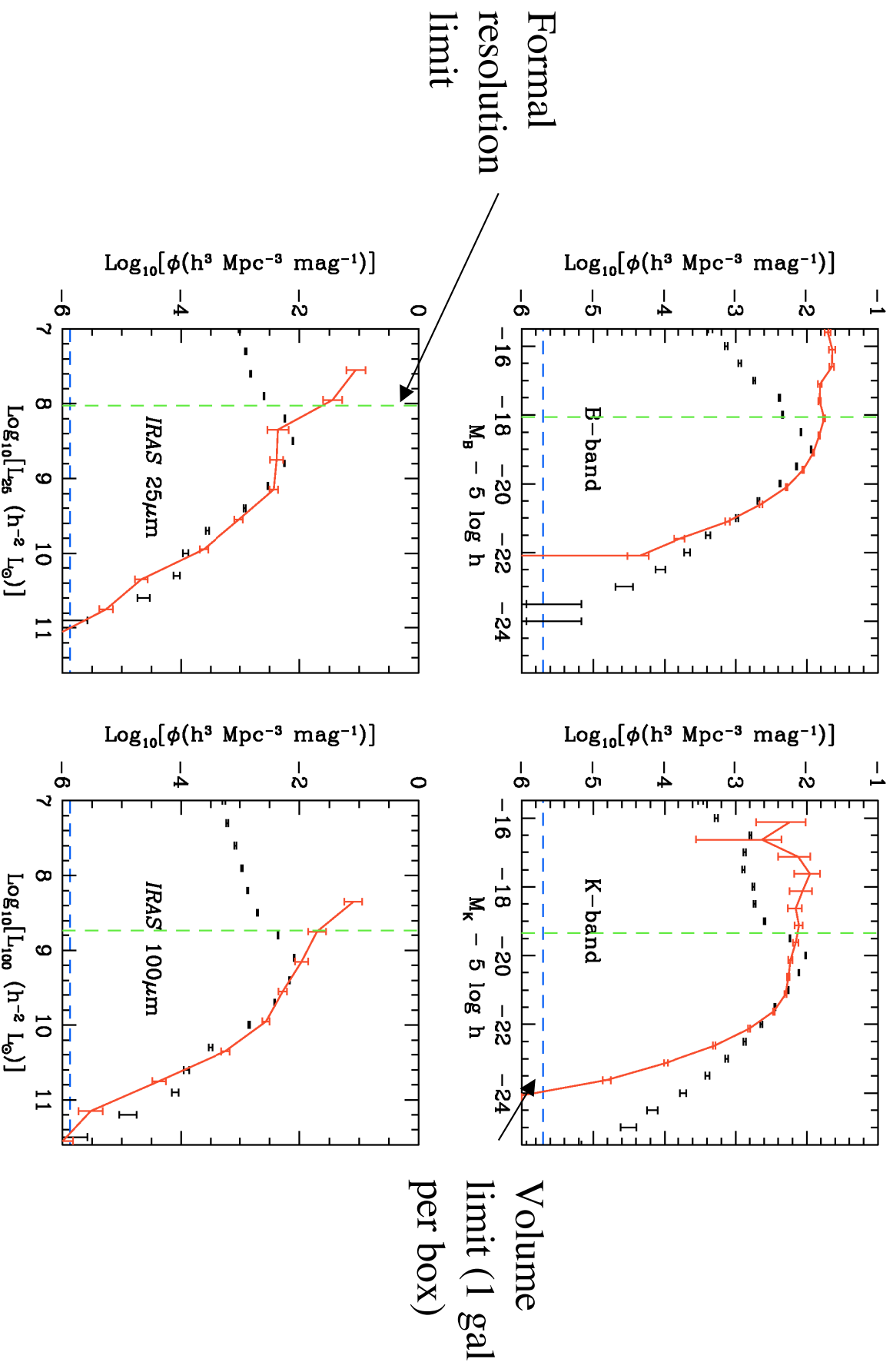








# Predicted $z=0$ luminosity functions

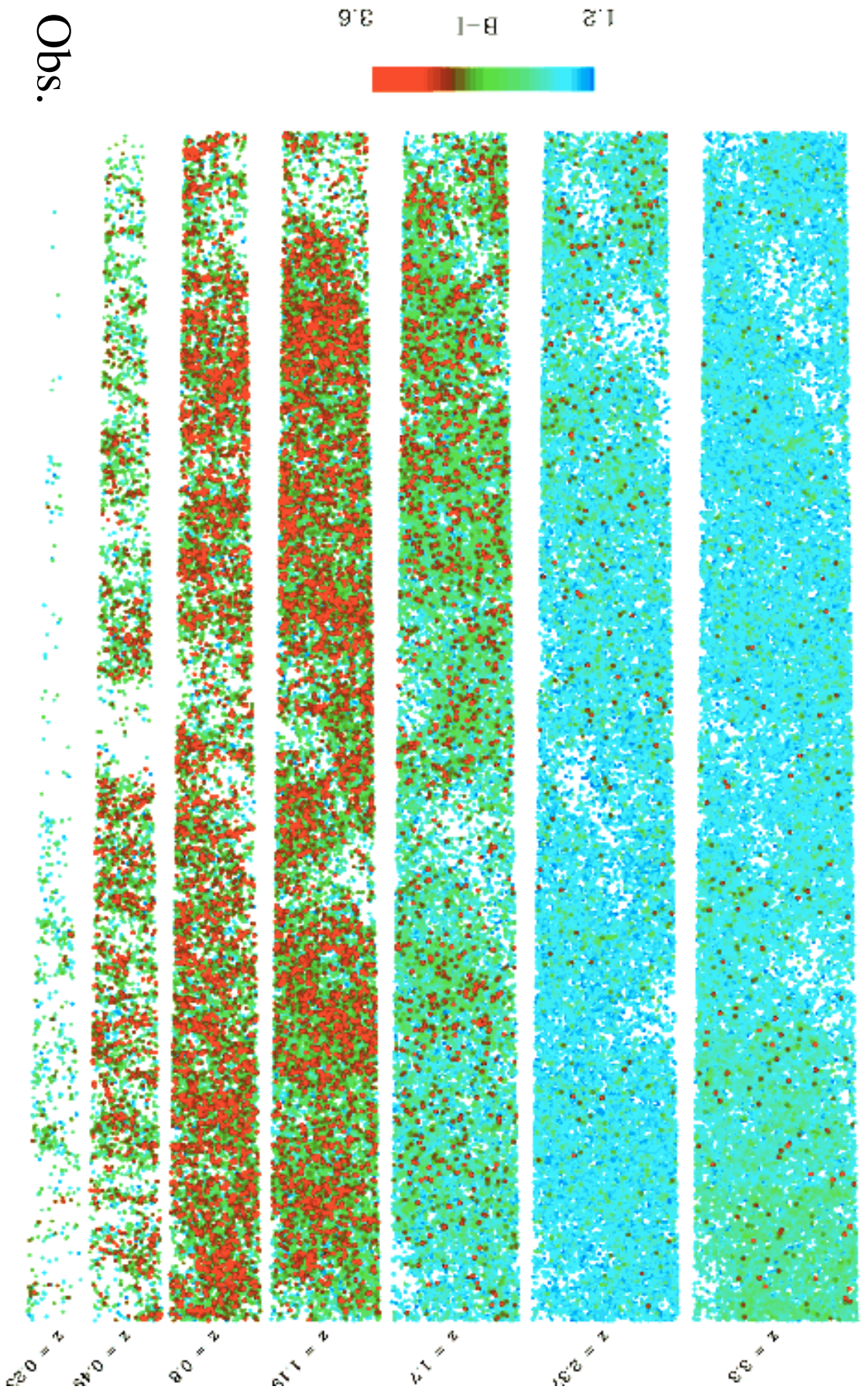


# MOMAF

Synthèse d'images et catalogues  
fictifs à partir des simulations

*Mock Map Facility* : Une nouvelle méthode  
pour créer des prédictions réalistes incluant  
les biais observationnels, et préparer les  
futurs observations

# A 1 deg<sup>2</sup> cone from MoMaF



# Propriétés des LBGs à $z=3$ dans un champ synthétique de galaxies obtenu avec GALICS



$A_{R_{AB}} < 25.5$

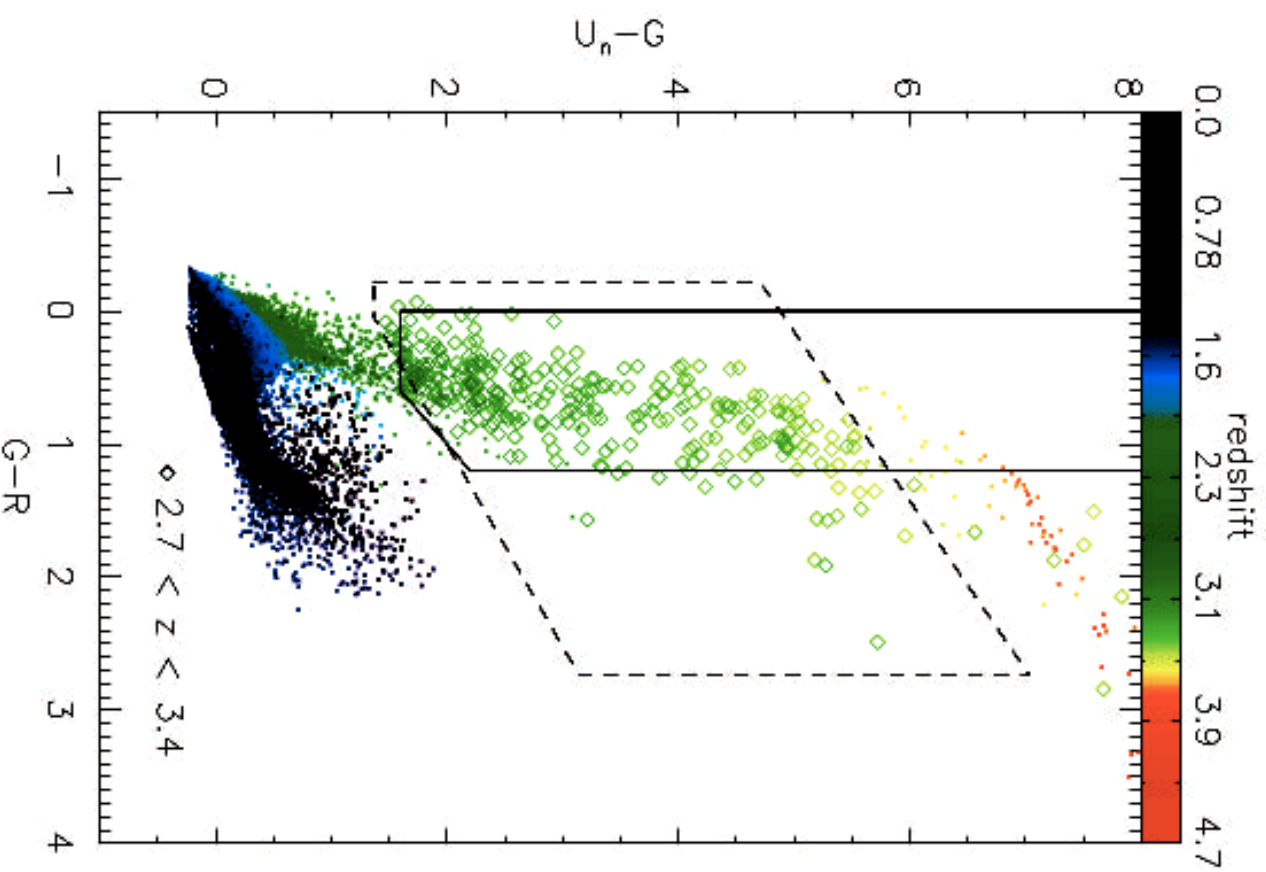
Observé; 1.3  
 $\text{arcmin}^{-2}$

20 %  
pollution

Prédit; 1.0  
 $\text{arcmin}^{-2}$

20 %  
pollution

Blaizot et al.  
2002

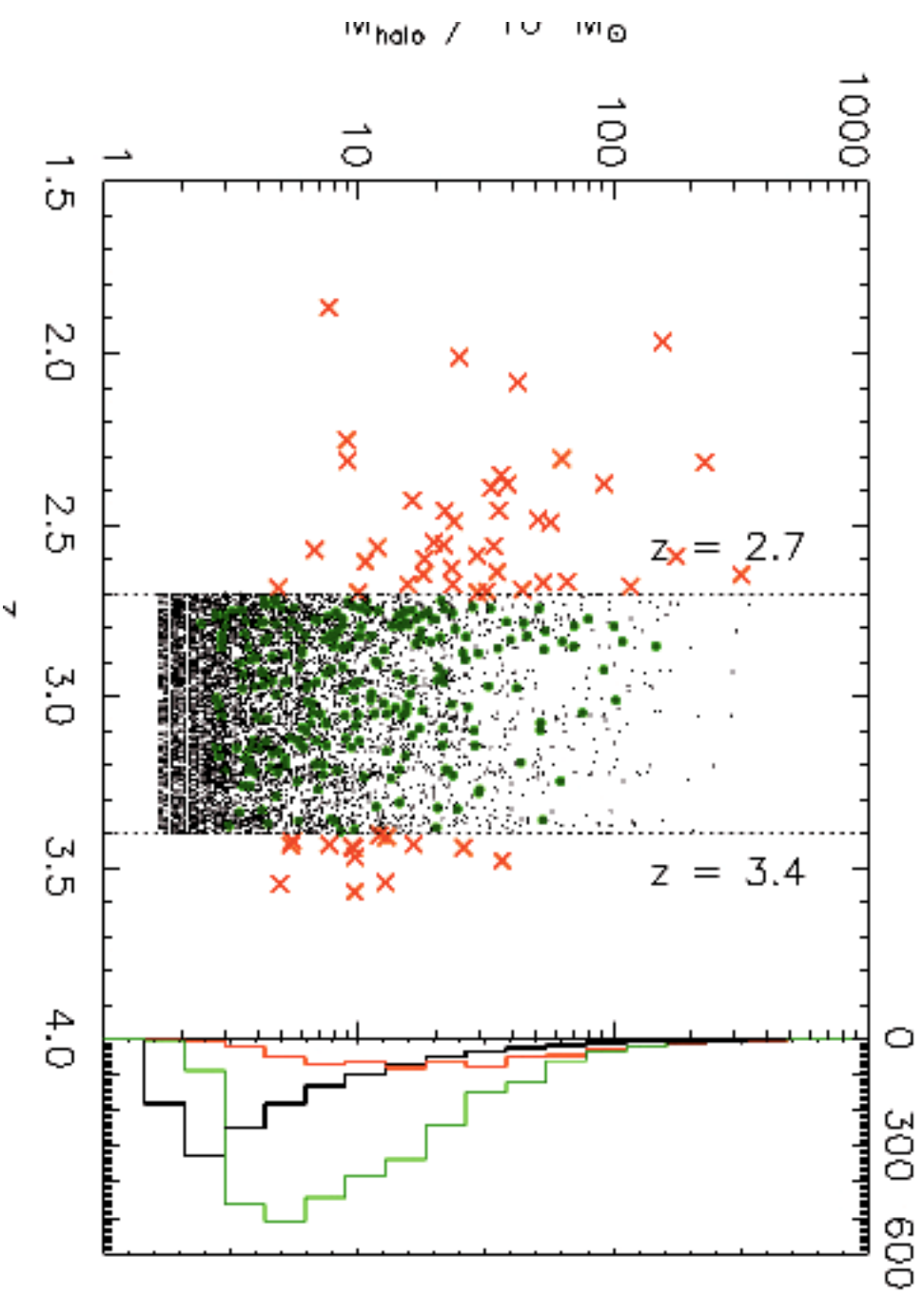


Sélection des  
 “galaxies à  
 discontinuité  
 de Lyman”  
 (LBGs)  
 situées autour  
 de  $z=3$ , sur la  
 base de leurs  
 couleurs  
 apparentes



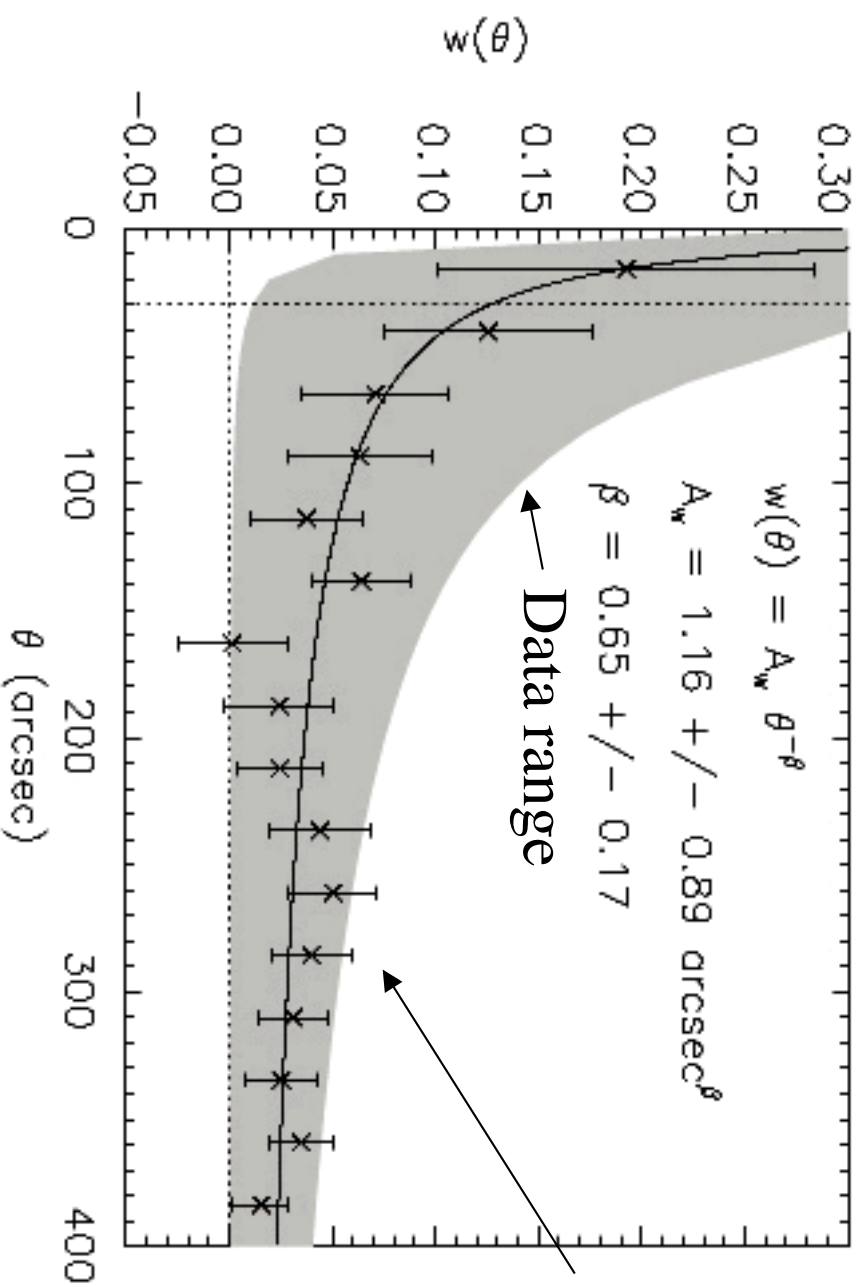
green dots : true LBGs,

red crosses : interlopers



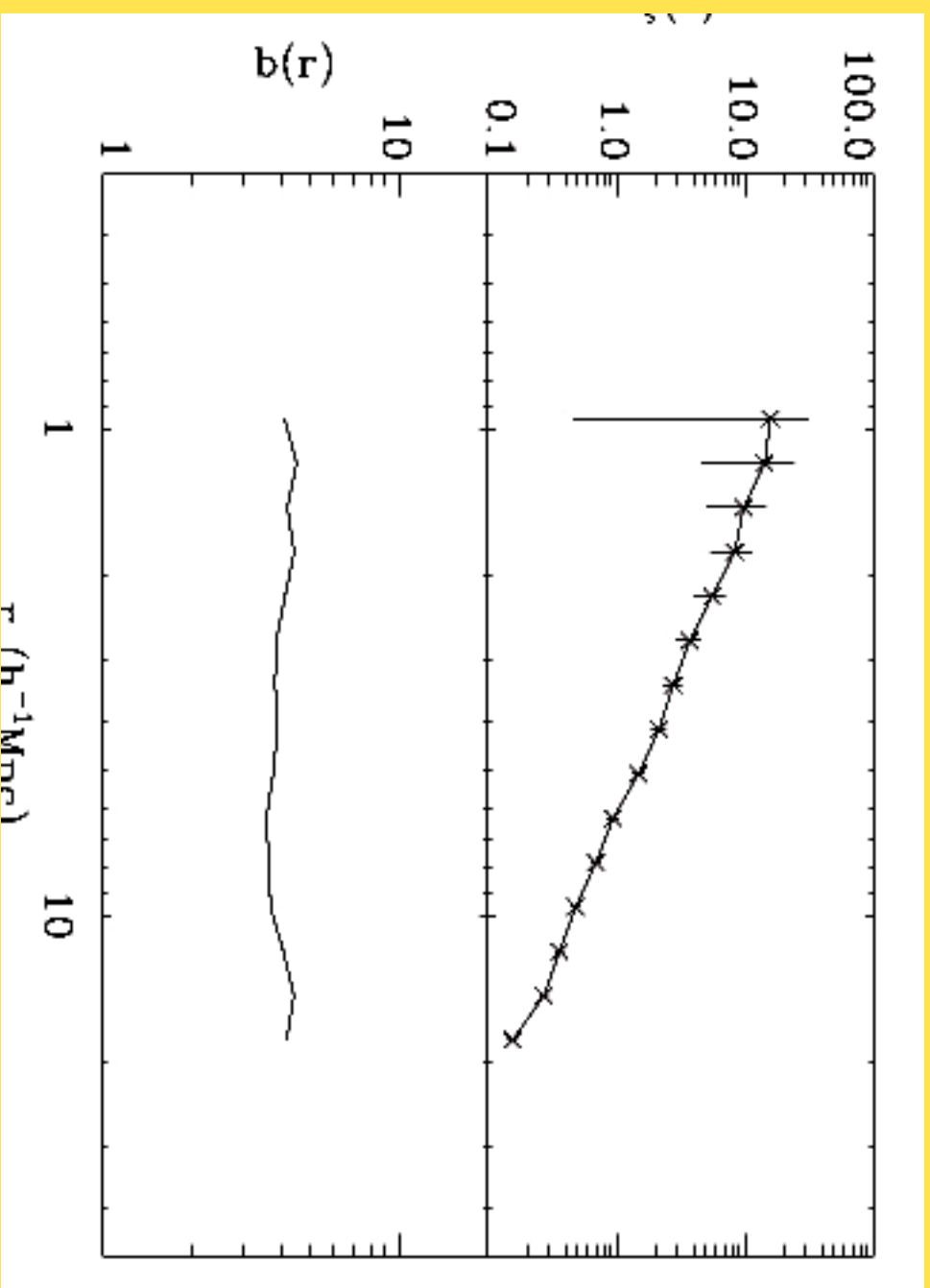
Halo masses of LBGs

GalICS



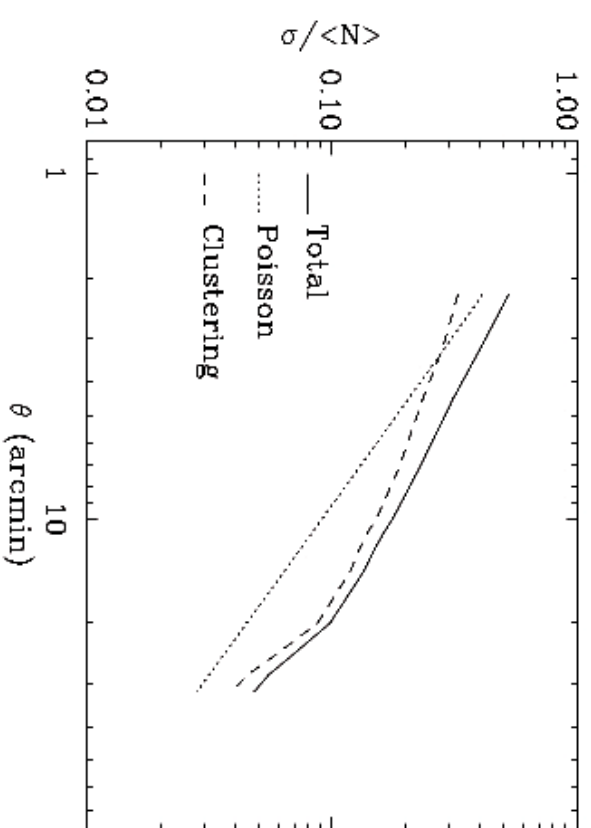
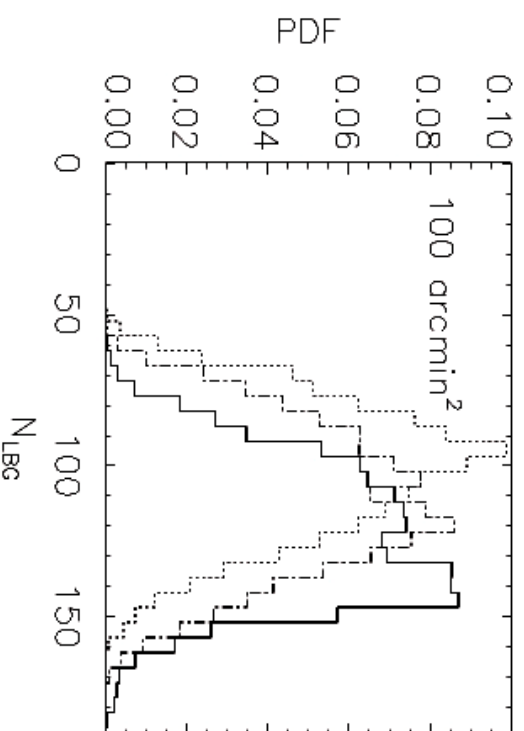
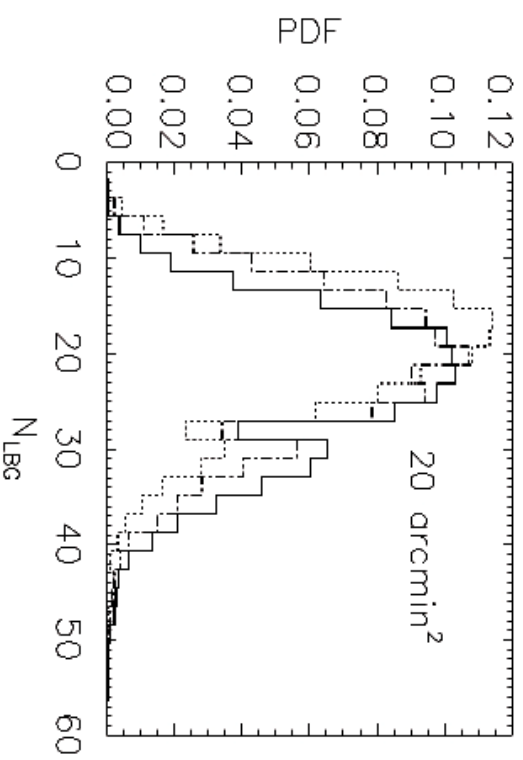
Predicted 2D 2-point correlation function of LBGs





Predicted 3D 2 point-correlation function for LBG and linear bias

# Contribution du clustering à la variance cosmique des relevés de LBGs

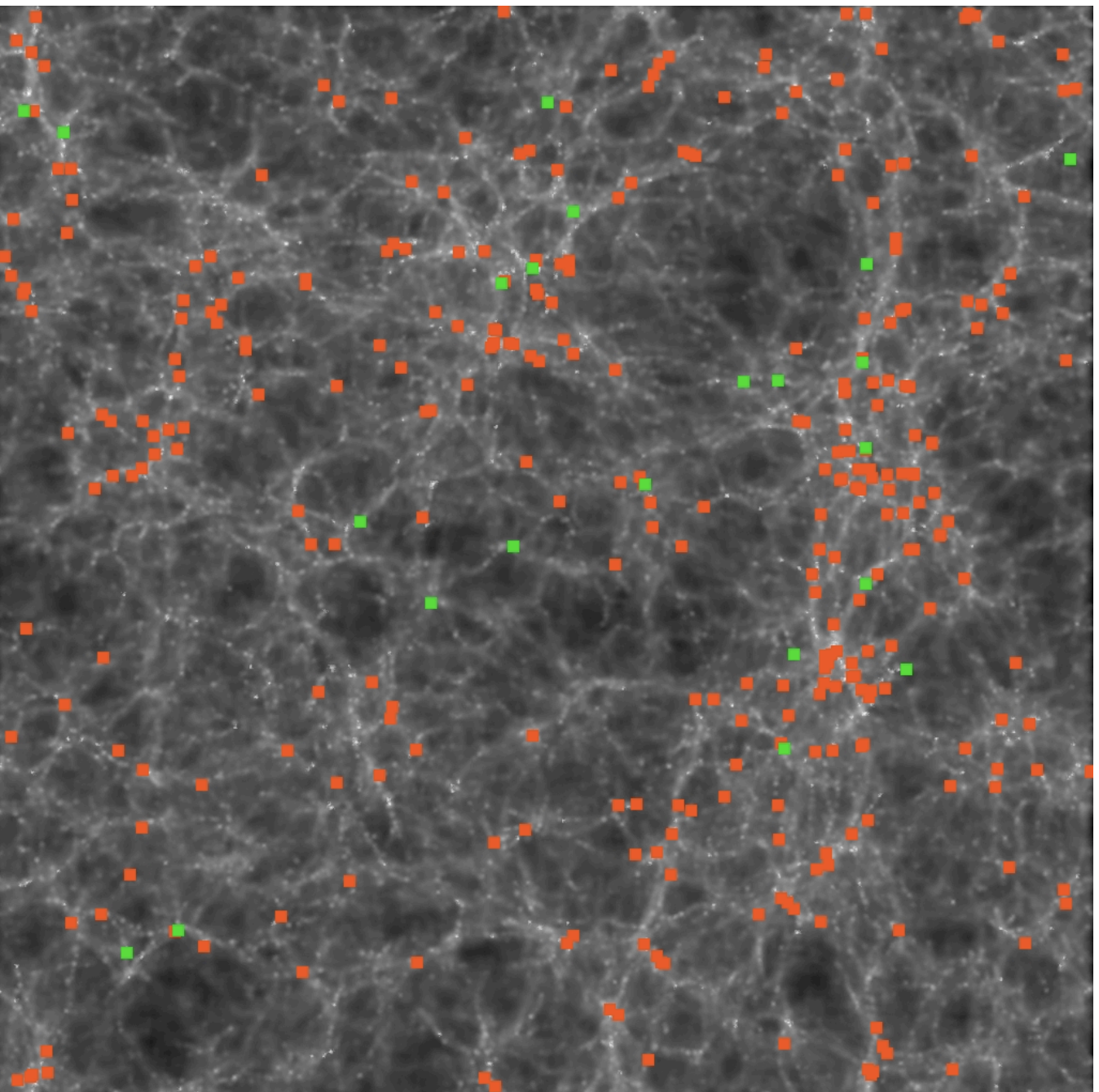


LBGs at  
 $z=3$ .

Green:  
strong

starbursts.

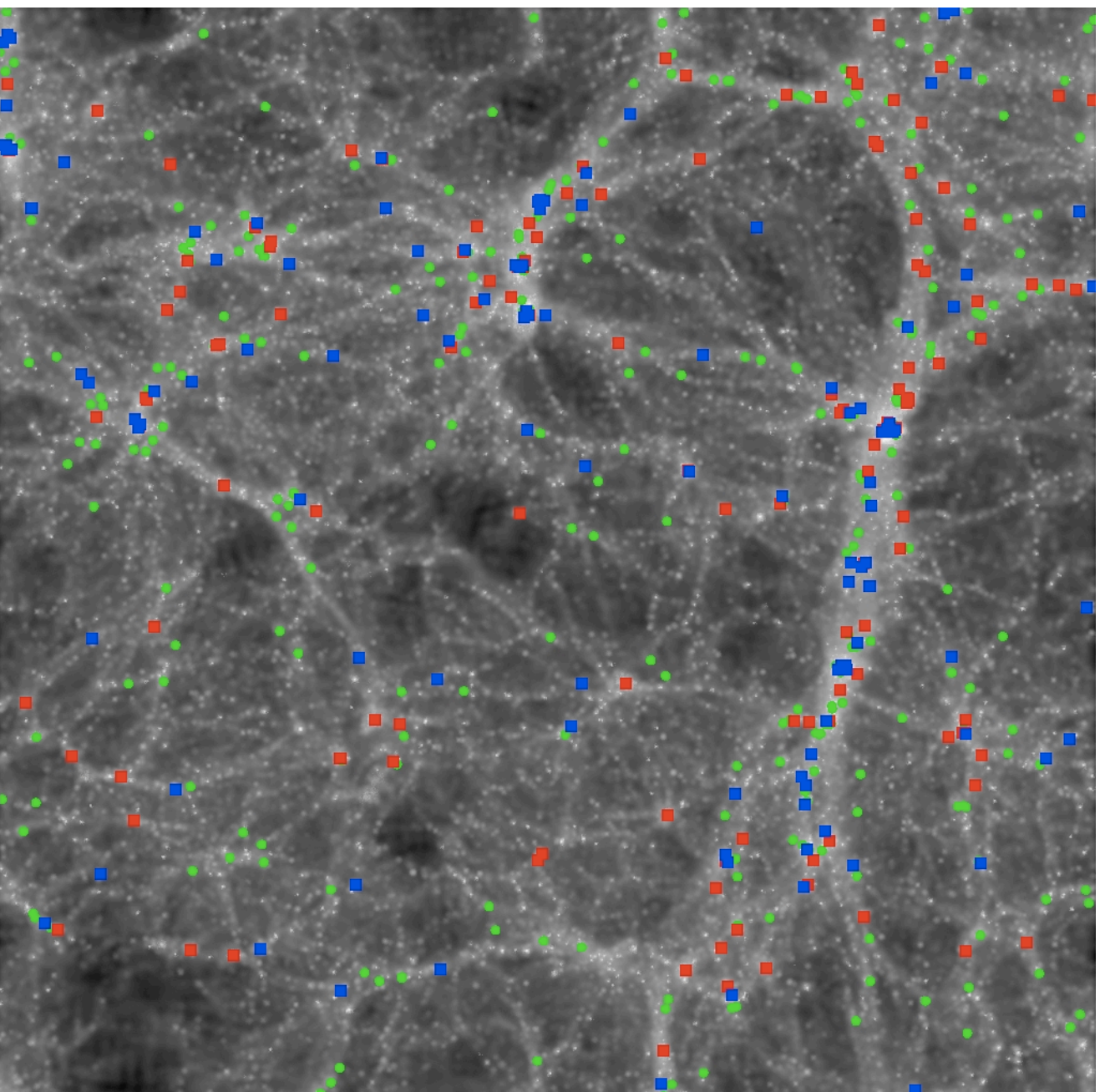
Red :  
quiescent



Red:  $z=0$  E  
that are  
descendants  
of  $z=3$  LBGs  
Blue:  $z=0$  S  
that are  
descendants  
of  $z=3$  LBGs  
Green: other  
E

75 % of the  
descendants  
of  $z=3$   
LBGs are E

Mag < -18.8



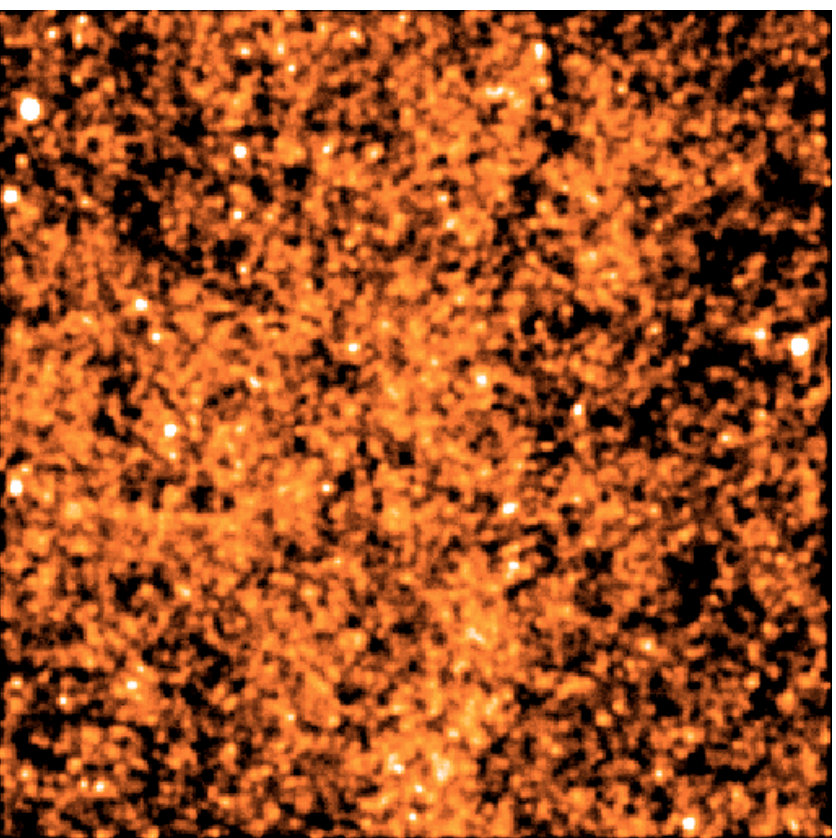


# HERSCHEL/SPIRE Pre- and Post-observations images

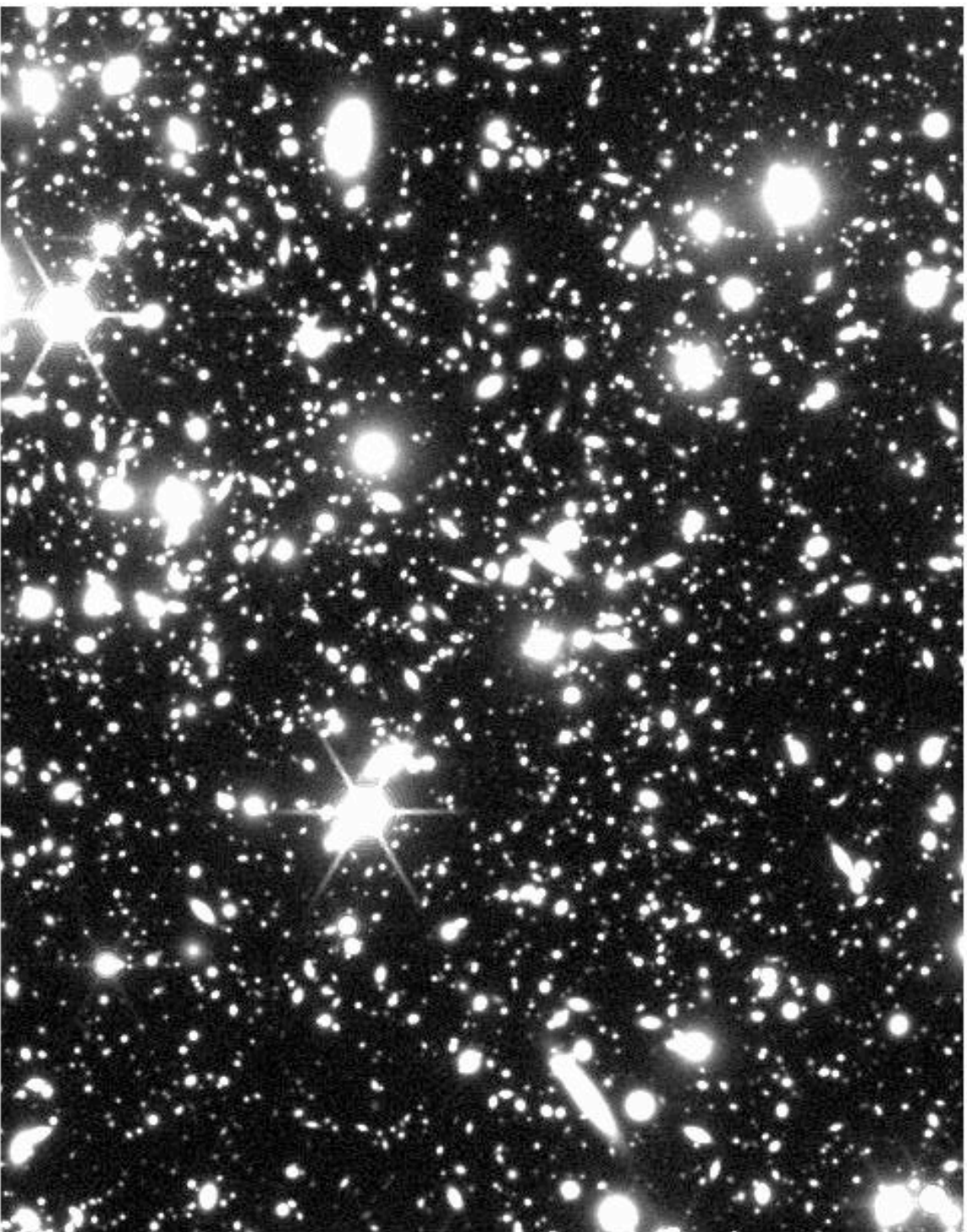
500  $\mu\text{m}$ , 1  $\text{deg}^2$



PSF, pixelization,  
noise for  $t_{\text{exp}}=1$  h



MoMaF : PRIME Deep survey  $K_{AB}=27$  galaxies + stars



7.5 arcmin