

# Projet Horizon - Horizon Project

-- Projet Horizon (site interne) - Science - Simulations à grandes échelles --

Simulations à  
grandes échelles

**Simulations à grandes  
échelles**

Legrand François  
Thursday 8 September 2005

<TOC>

<PDF\_LINK>

# Projet Horizon - Horizon Project

-- Projet Horizon (site interne) - Science - Simulations à grandes échelles --

Simulations à  
grandes échelles

## I. Quintessence et formation des structures

Comment discriminer les  
modèles de quintessence par  
la formation des structures...

Füzfa André

Monday 17 July 2006

### **Résumé :**

Cet article expose brièvement la démarche suivie pour tenir compte de la quintessence dans des codes de formation des structures, ainsi que la sélection des modèles de quintessence par une analyse du CMB et des diagrammes de Hubble des SNe Ia. On présente également quelques simulations grandes échelles avec  $10^{24}$  particules (matière noire, code PM) sur ces modèles cosmologiques .

## Note

Cet article résume des résultats obtenus par le noeud du LUTh au sein du projet HORIZON (J.-M. Alimi, A. Füzfa, F. Roy - LUTh, Observatoire de Paris-Meudon ; V. Boucher (CP3, Université Catholique de Louvain, Belgique). Les simulations PM matière noire avec  $1024^3$  particules ont été générées à l'IDRIS sur le serveur Zahir (IBM eServer p690, p690+ et p655 ; Regatta Power4) dans le cadre du projet 1034 (un merci tout spécial à J. Devriendt pour ses heures de calcul et ses encouragements).

## Les modèles de quintessence

Pour rappel, la quintessence est un avatar dynamique de l'énergie noire contrairement à l'habituelle constante cosmologique dont la densité d'énergie demeure constante au cours du temps. La quintessence, cette constante cosmologique variable, est non seulement motivée par de nombreux modèles de physique des hautes énergies mais permet également de palier aux problèmes épineux de la constante cosmologique que sont ceux de l'ajustement fin et de la coïncidence cosmique.

La quintessence est le plus souvent modélisée par un champ scalaire de masse très faible qui n'est ressenti par la matière ordinaire uniquement par l'intermédiaire indirect de la gravitation (on parle de *couplage minimal*) principalement par la modification de l'expansion cosmique qu'elle induit. A la différence de la constante cosmologique, la quintessence est non seulement variable *dans le temps* mais également *dans l'espace* (inhomogénéité) ce qui implique de fortes contraintes sur son couplage direct à la matière (qui entraînerait alors une violation du principe d'équivalence). Cette propriété d'inhomogénéité constitue une des empreintes essentielles de la quintessence par rapport à la constante cosmologique.

Dans ce travail, nous avons considéré deux modèles de quintessence sous la forme de champs scalaires dont les potentiels d'auto-interaction sont ceux de Ratra-Peebles (puissance inverse du champ, P.J.E. Peebles, B. Ratra, ApJ 325 (1988)) et ce même potentiel affublé d'une correction supergravifique (P. Brax, J. Martin, Phys. Rev. D 61 103502 (2000)). Ces modèles sont bien connus pour exhiber des propriétés de *tracking*, c'est-à-dire un mécanisme expliquant naturellement la coïncidence cosmique indépendamment des conditions initiales. La figure 1 donne une idée de la variation de l'équation d'état de la quintessence (rapport  $p/\rho$ ) pour les modèles de Ratra-Peebles (RPCDM) et SUGRA (SUCDM) durant l'ère dominée par la matière.

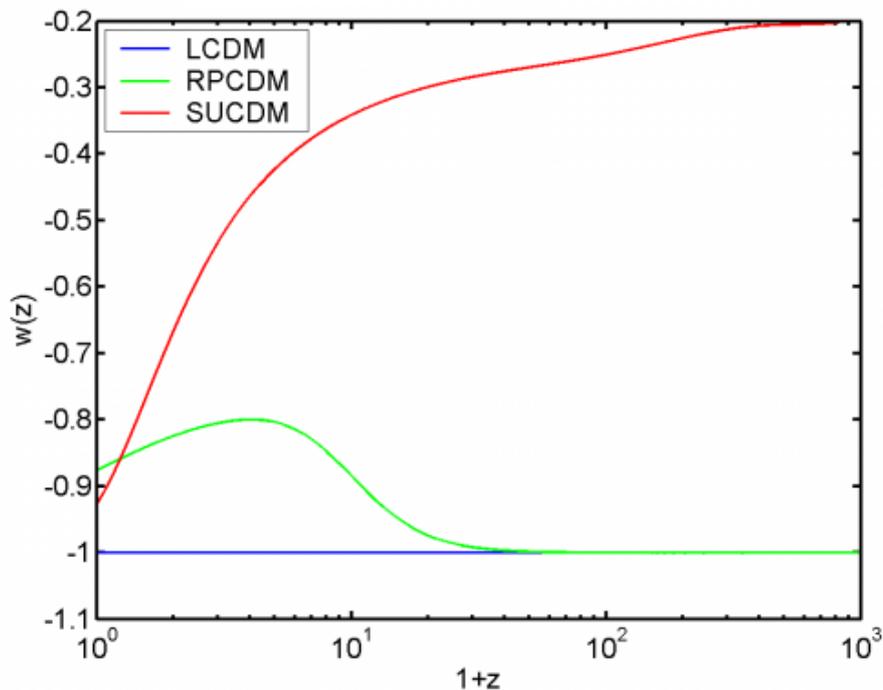


Fig 1) Evolution de l'équation d'état de la quintessence Variation temporelle de l'équation d'état de la quintessence dans les modèles RPCDM et SUCDM

## Sélection des modèles de quintessence

Il est essentiel de déterminer avant tout les paramètres cosmologiques qui permettent au sein de chaque modèle de reproduire au mieux les observations cosmologiques. Nous avons procédé tout d'abord à une présélection des modèles cosmologiques vis-à-vis de leur adéquation aux diagrammes de Hubble des supernovae de type Ia (SNLS 1st year data set; P. Astier et al., A&A 447, 31-48 (2006)). Ceci est illustré à la figure 2.

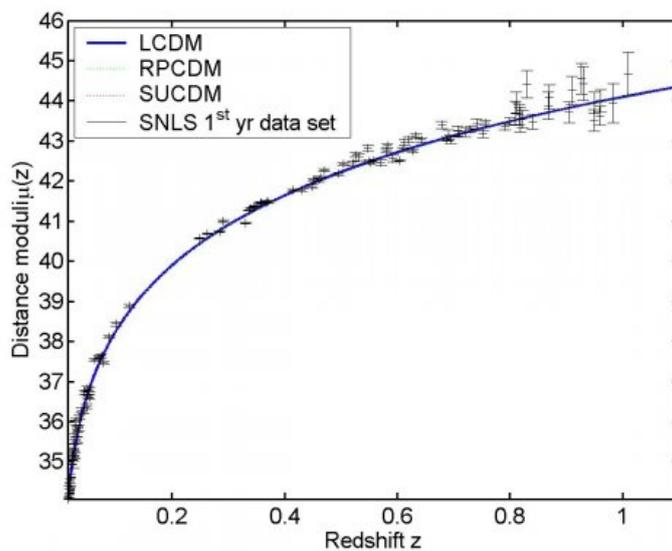


Fig. 2) Diagramme de Hubble des données SNLS Module de distance en fonction du redshift pour les modèles à constante cosmologique (WMAP3) et les modèles de quintessence RPCDM et SUCDM

Ensuite, nous avons modifié (en collaboration avec V. Boucher) un code CMB (CAMB) pour tenir compte de la quintessence (cf. aussi P. Brax, J. Martin et A. Riazuelo, Phys. Rev. D 62 103505). Cette étape est essentielle à la fois pour contraindre  $\Omega_b$  et le  $s_8$  dans les modèles de quintessence (voir Fig. 3) mais également pour obtenir le bon spectre de puissance pour les conditions initiales.

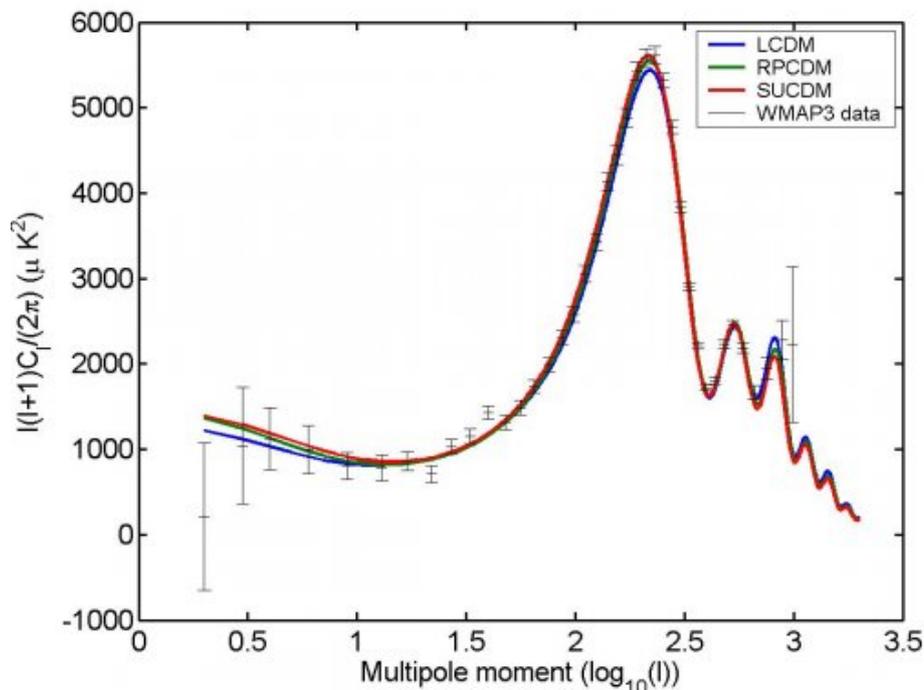


Fig. 3) Fluctuations angulaires du rayonnement fossile et quintessence Le spectre est représenté pour le best fit LCDM WMAP3 et les modèles de quintessence RPCDM et SUCDM retenus. L'adéquation des modèles de quintessence est meilleure que pour le modèle de concordance. En effet, à des échelles supérieures à  $100h^{-1}$  Mpc, l'inhomogénéité du champ de quintessence modifie sensiblement la pente à grande échelle du spectre. De même, par les différences entre les paramètres cosmologiques considérés, les oscillations baryoniques dans le spectre sont différentes entre les modèles (voir Fig. 4).

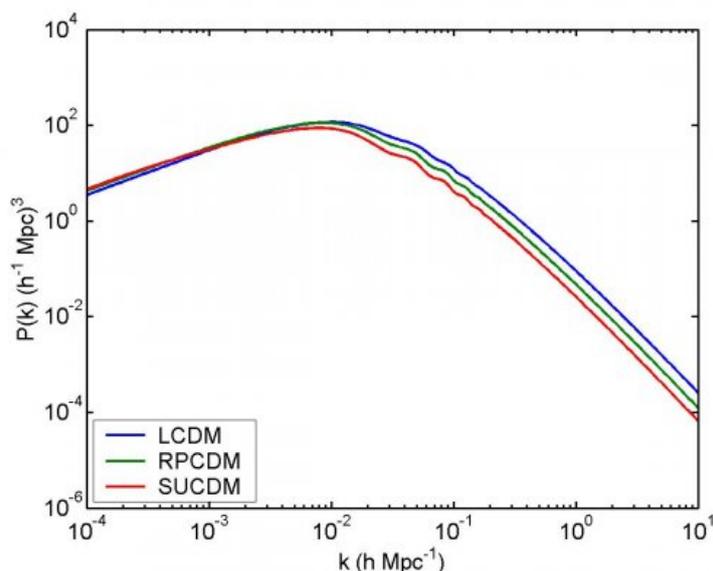


Fig. 4) Spectre de puissance linéaire utilisés pour les conditions initiales pour les différents modèles cosmologiques considérés. Les trois différences essentielles sont (i) le changement de pente à grande échelle ( $> 100h^{-1}$  Mpc) dû à l'inhomogénéité de la quintessence à ces échelles (ii) les oscillations baryoniques ( $100h^{-1}$  Mpc) dues aux différents paramètres cosmologiques et (iii) normalisation  $s_8$  différentes

L'évolution cosmologique du facteur d'échelle est représenté à la Figure 5. Enfin, du point de vue de la normalisation, le  $s_8$  est différent pour chaque modèle (cf. Fig. 3) et le mode linéaire de croissance des structures est différents. Tout ceci conduit à un  $a$  initial différent.

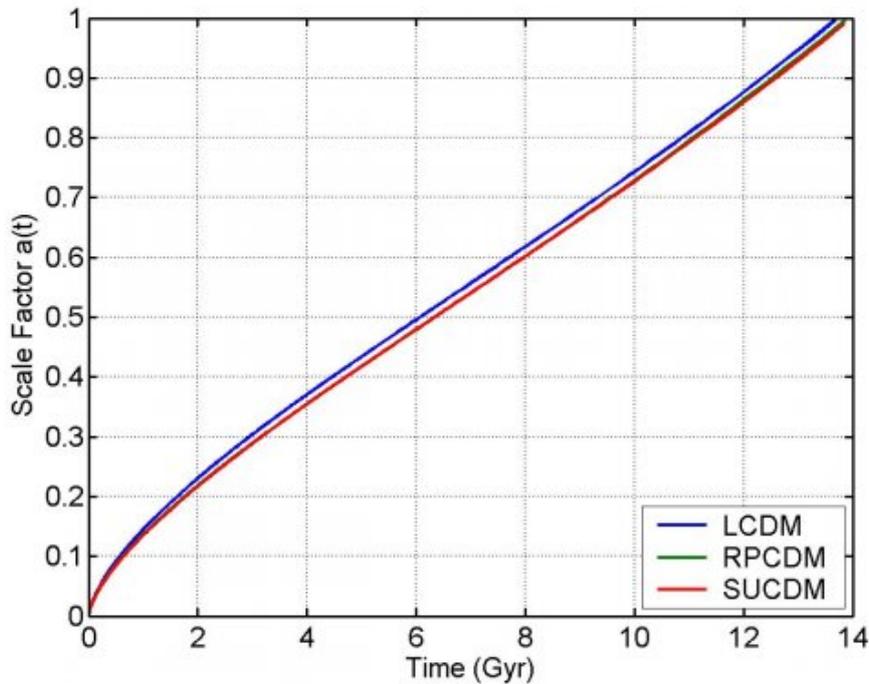


Fig. 5) Evolution cosmologique du facteur d'échelle L'âge de l'Univers dans les modèles en accord avec les observations (supernovae et CMB) est compris entre 13 et 14 milliards d'années

## Résumé des modifications apportées par la quintessence

► Paramètres cosmologiques différents

Modèles	SUCDM	RPCDM	LCDM
h	0.73	0.73	0.73
Omega_m	0.18	0.2	0.24
Omega_b	0.042	0.041	0.042
Omega_v	0.82	0.8	0.76
n	0.951	0.951	0.951
s8	0.45	0.58	0.74

► Spectre de puissance initial différent (grandes échelles - inhomogénéité ; B.A.O. paramètres cosmologiques ; normalisation  $s_8$ )

► Mode linéaire de croissance des fluctuations (et vitesses)

► expansion cosmique différente durant l'ère de matière

Note : jusqu'à présent, l'inhomogénéité du champ de quintessence dans le code de formation des

structures n a pas encore été implémenté. Son effet devrait surtout se marquer aux grandes échelles dans le cas des modèles de quintessence tracking.

## Simulations numériques

Forts de tous ces éléments, nous avons réalisé des simulations N-corps (Particle-Mesh) avec de la matière noire uniquement mais avec  $1024^3$  particules et cellules de grille. Les modèles considérés sont un LCDM de référence (paramètres cosmologiques WMAP3) et les deux modèles cosmologiques introduits ci-dessus. Pour chaque simulation, 65 snapshots ont été sauvegardés entre  $z(\text{initial})$  et  $z=0$ . Au total, ce sont donc 1.6 To (!) de données générées pour chaque simulation. Ces données sont actuellement stockées à l'IDRIS et seront ramenées sur la méso-grille et la méso-machine d'ici peu. Deux snapshots sont illustrés à la Figure 6 et 7. Une analyse statistique de la boîte devrait déjà donner un premier critère de discrimination sur le s8 et le B.A.O. (voir analyse CMB)

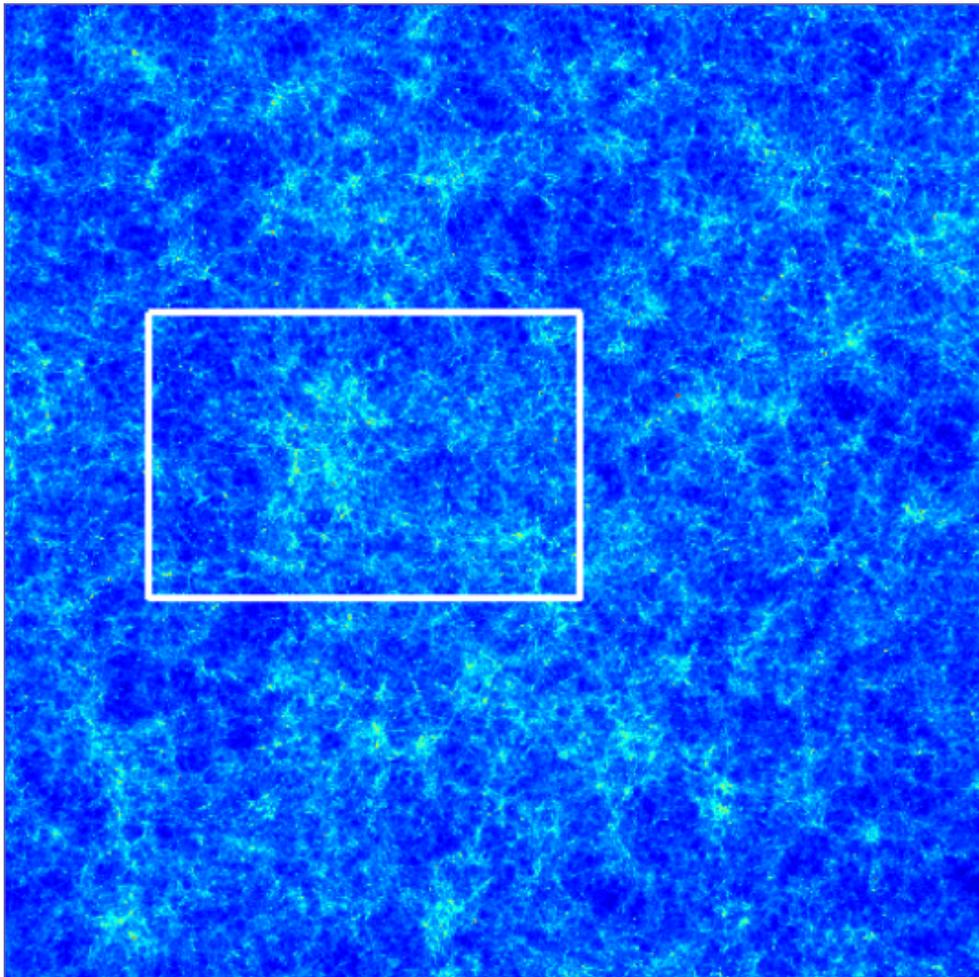


Fig. 6) Champ de densité de matière noire à  $z=0$  pour le modèle LCDM Projection des champs de densité de matière noire à  $z=0$  pour la simulation LCDM (PM  $1024^3$  particules et  $L=500 h^{-1}$  Mpc).

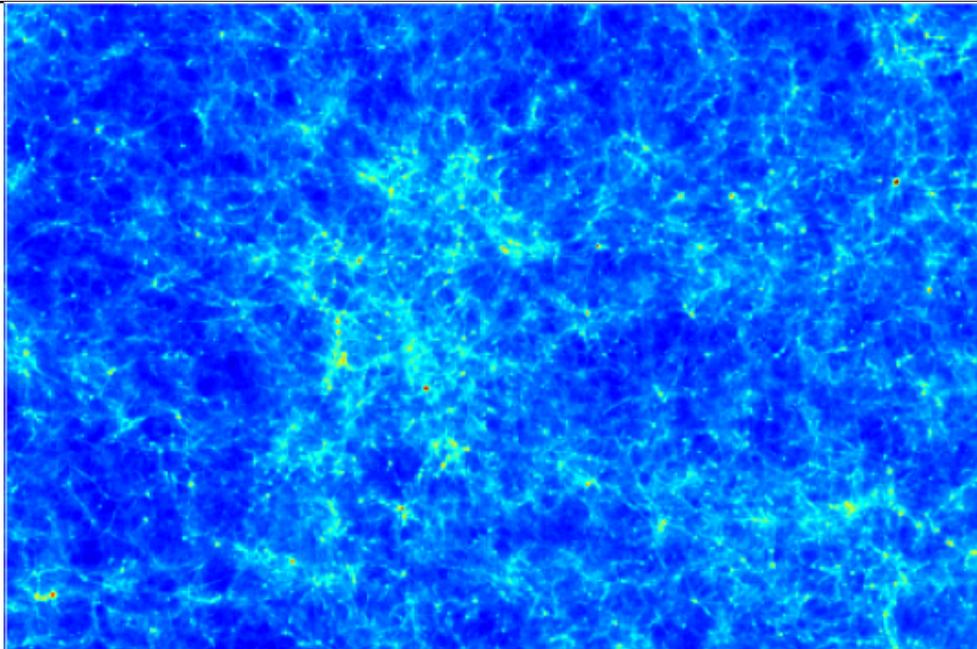


Fig. 7) Zoom sur le champ de matière noire dans le modèle LCDM La région zoomée correspond au carré de la Figure 6.

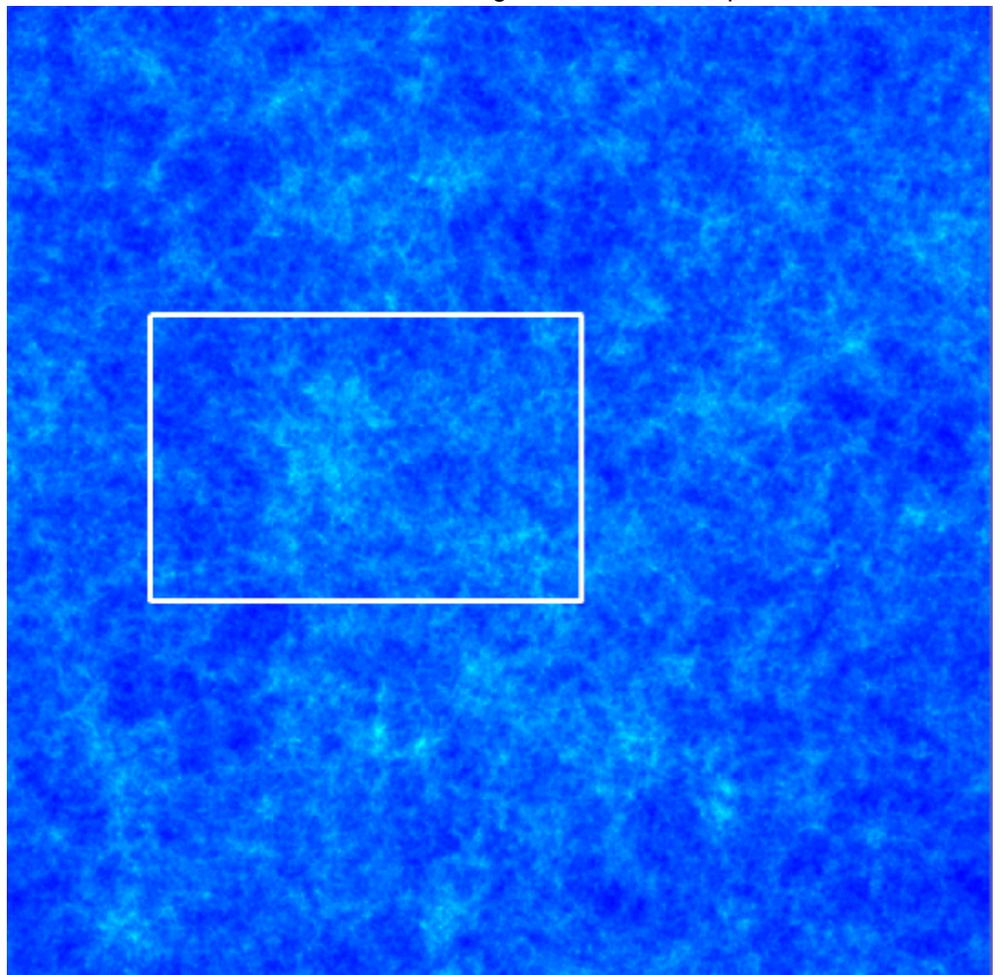


Fig. 8) Champ de densité de matière noire à  $z=0$  pour le modèle SUCDM Projection du champ de densité de matière noire à  $z=0$  pour la simulation SUCDM (PM  $1024^3$  particules et  $L=500 h^{-1}$  Mpc).

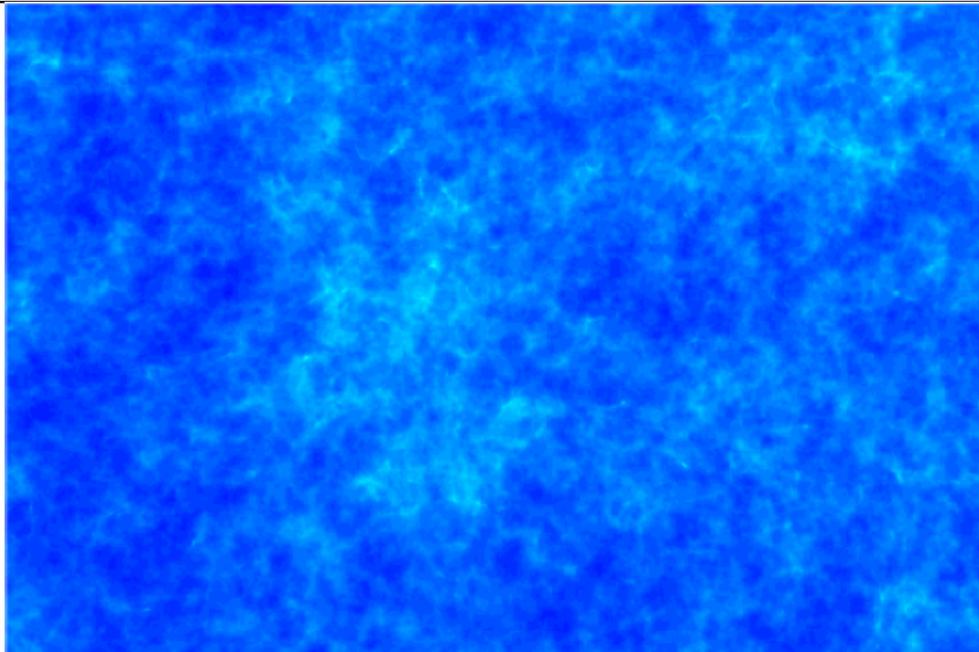


Fig. 9) Zoom sur le champ de matière noire dans le modèle SUCDM La région zoomée correspond au carré de la Figure 8.

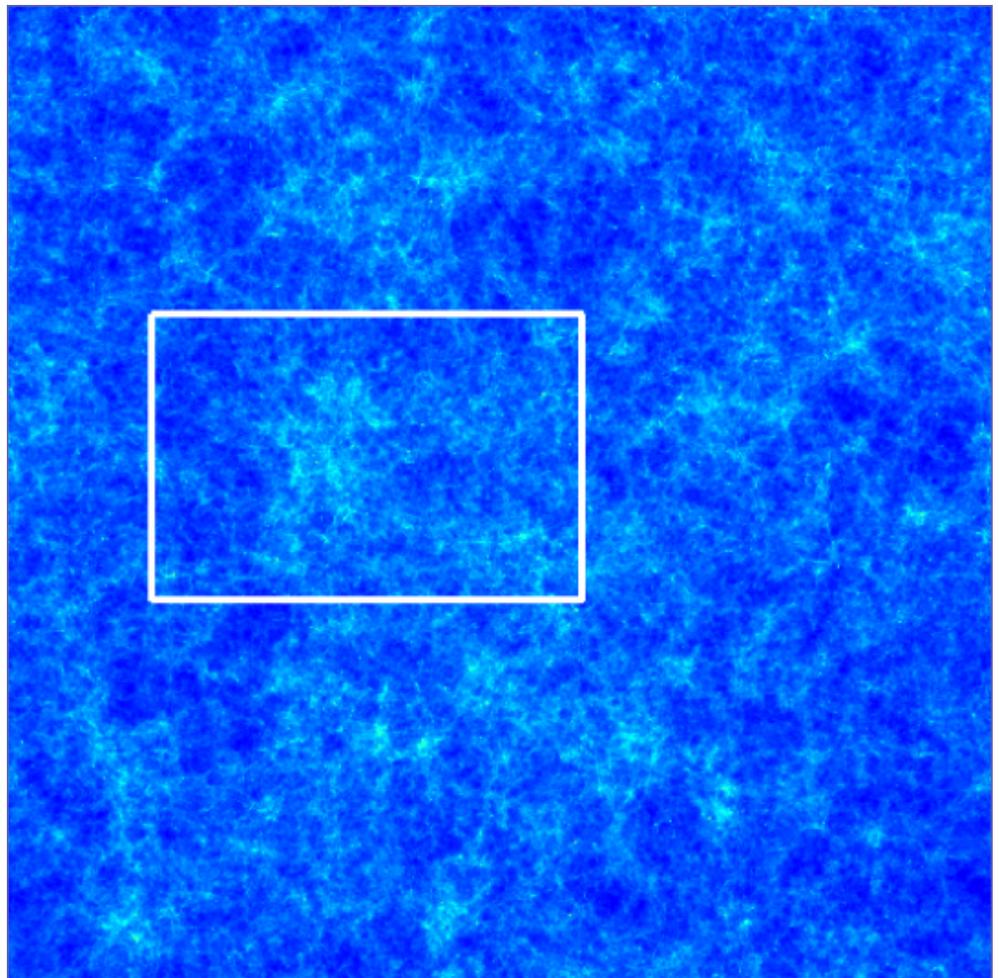


Fig. 10) Champ de densité de matière noire à  $z=0$  pour le modèle RPCDM Projection du champ de densité de matière noire à  $z=0$  pour la simulation RPCDM (PM  $1024^3$  particules et  $L=500 h^{-1}$  Mpc).

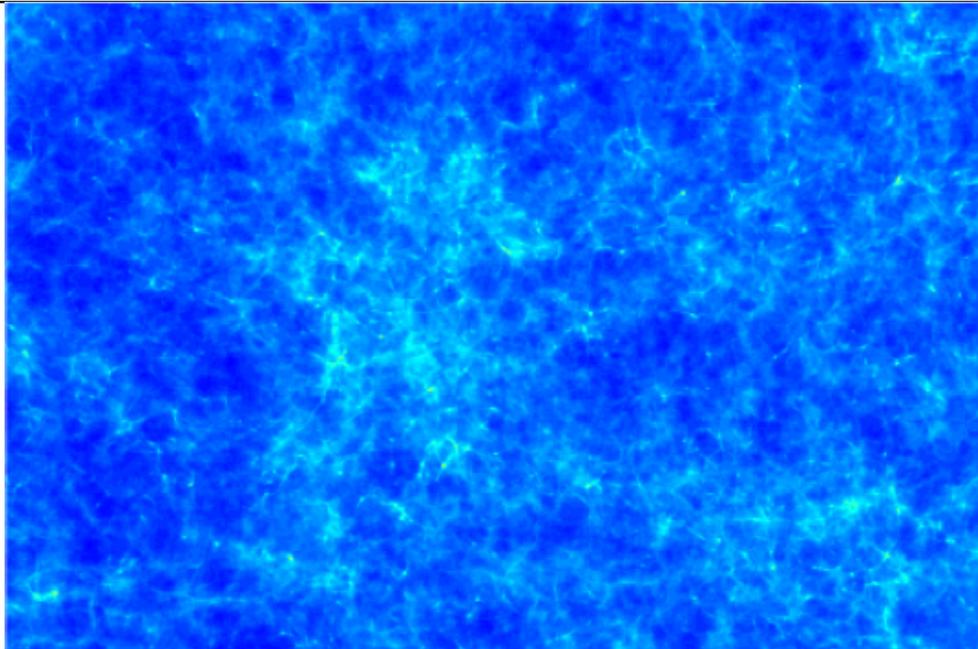


Fig. 11) Zoom sur le champ de matière noire dans le modèle RPCDM La région zoomée correspond au rectangle de la Figure 10.



Horizon Quintessential Simulations Le fichier du talk sur ces simus au workshop Horizon 2006b.

---

# Table of Contents

**I. Quintessence et formation des structures** ..... 3