

## Projet ANR-11-BS56-015

# MULTIVERSE

Programme Blanc SIMI5-6 2011

### A. IDENTIFICATION

Acronyme du projet	MULTIVERSE
Titre du projet	Etude multi-échelle de l'évolution des structures de l'Univers
Coordinateur du projet (société/organisme)	Etienne Pointecouteau
Date de début du projet	01/01/2012
Date de fin du projet	30/09/2016
Labels et correspondants des pôles de compétitivité (pôle, nom et courriel du corresp.)	
Site web du projet, le cas échéant	<a href="http://multiverse.irap.omp.eu/">http://multiverse.irap.omp.eu/</a>

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	Mr Etienne Pointecouteau
Téléphone	05 61 55 81 89
Adresse électronique	<a href="mailto:etienne.pointecouteau@irap.omp.eu">etienne.pointecouteau@irap.omp.eu</a>
Date de rédaction	30/11/2016

Liste des partenaires présents à la fin du projet (société/organisme et responsable scientifique)	IRAP (Etienne Pointecouteau), CEA/Irfu (Monique Arnaud), IAS (Nabila Aghanim)
---	---

## B. RESUME CONSOLIDE PUBLIC

### B.1. RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN FRANÇAIS

#### MULTIVERSE

##### *L'Univers baryonique aux différentes échelles*

L'Univers visible est fortement structuré. La plupart des étoiles s'organisent en galaxies, qui à leur tour se regroupent à grande échelle le long de filaments de matière séparés par de grands vides, définissant une structure complexe 3-D appelée la "Toile Cosmique". Au croisement de ces filaments, les noeuds de la toile cosmique, se trouvent les amas de galaxies. La formation et l'évolution de ces grandes structures sont des questions centrales de la cosmologie moderne. Nous comprenons toujours très mal l'évolution de la composante de matière ordinaire (baryonique) de l'Univers qui est affectée par les nombreux processus physiques complexes (ex: le refroidissement du gaz, l'impact de la rétro-action de la formation des galaxies sur le milieu intergalactique, via l'injection d'énergie liée aux explosions stellaires ou l'accrétion sur les trous noirs aux centres des galaxies). Par ailleurs, plus de la moitié des baryons échappe à toute détection dans l'Univers local et est soupçonnée se trouver dans les structures filamentaires de la toile cosmique. Les observations et les modèles actuels indiquent que la formation des structures baryoniques à différentes échelles est fondamentalement connectée.

##### *Une approche multi-échelle observationnelle et théorique.*

Avec ce projet, nous avons contribué à apporter une vision nouvelle de la physique de formation des structures via l'étude la distribution de la matière à grande échelle, des premiers assemblages de galaxies, de la population des amas de galaxies et des filaments qui les lient.

A partir d'observations multi-longueurs d'onde, de simulations numériques et en développant des outils statistiques originaux, nous nous sommes focalisés sur les objectifs suivants :

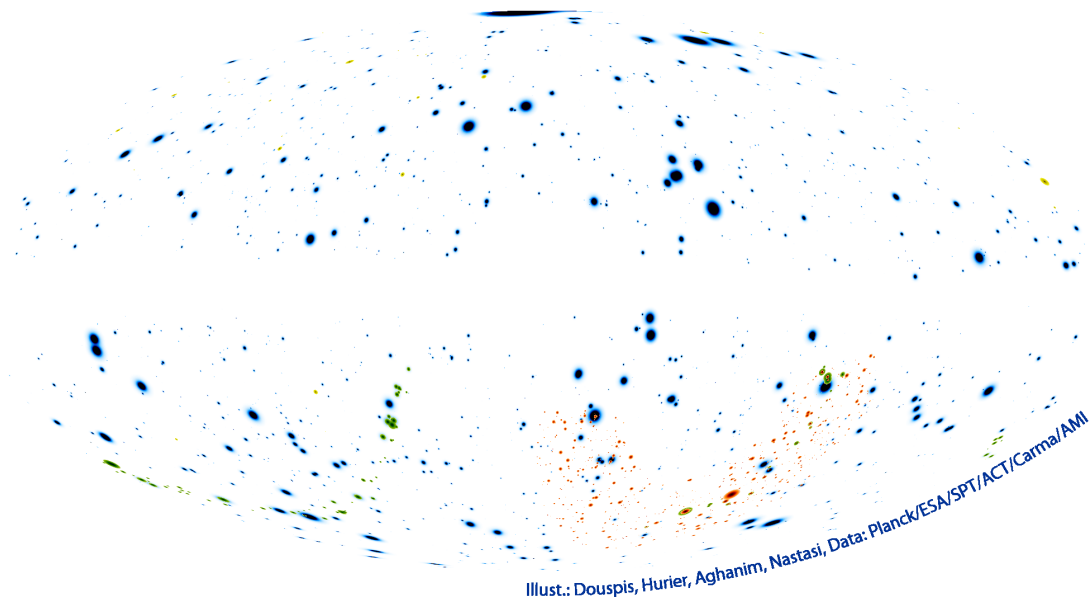
- Tester notre compréhension de l'effondrement de la matière noire à l'échelle des amas de galaxies.
- Séparer et comprendre le rôle des processus physiques (refroidissement du gaz et la rétroaction de la formation des galaxies) sur les propriétés du gaz intra-amas.
- Caractériser la distribution des baryons diffus à grande échelle et fournir de nouvelles contraintes observationnelles sur la formation et de l'évolution des grandes structures.
- Rechercher et caractériser des pro-géniteurs des amas de galaxies dans le relevé Planck via l'émission IR/sub-mm de leurs galaxies à flambée d'étoiles.

Les résultats et produits de notre projet sont hautement pertinents pour des études cosmologiques dans les cadres standard ou alternatifs.

Notre travail au sein de MULTIVERSE et au sein de la collaboration Planck, nous a permis d'obtenir de nombreux résultats illustrés au travers de nos publications. Par exemple, nous avons pu construire le premier catalogue d'amas de galaxies détectés via l'effet Sunyaev-Zeldovich (SZ) et la première liste de sources à grand redshift à partir du relevé de tout le ciel de la mission Planck. Nous avons effectué la première mesure de la distribution du gaz chaud dans les amas jusque dans leurs régions les plus externes là où ils se connectent aux filaments de la toile cosmique.

Le projet MULTIVERSE (ANR-2011-BS56-015) est un projet de recherche fondamental en astrophysique qui a bénéficié d'un financement de 430 k€ de l'ANR. Les trois partenaires sont l'Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP, Toulouse), l'Institut d'Astrophysique Spatiale (IAS, Orsay) et le

Service d'astrophysique du Commissariat à l'Energie Atomique (SAP/CEA). Le projet est coordonné par Etienne Pointecouteau (IRAP), Nabila Aghanim (IAS) et Monique Arnaud (SAP/CEA). Le projet a débuté le 1er janvier 2012 et s'est conclu le 30 septembre 2016, pour une durée totale de 45 mois.



*Distribution des amas détectés via l'effet SZ sur tout le ciel (projection Mollweide en coordonnées galactiques). Les amas Planck sont en bleu, ceux de SPT en rouge, ceux de ACT en vert, ceux de CARMA et AMI en violet (cf. <http://szcluster-db.ias.u-psud.fr/>).*

## B.2. RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN ANGLAIS

### MULTIVERSE

#### *The baryonic universe at various scales*

The visible Universe is highly structured. Most of the stars are found in galaxies, which in turn are distributed within large scale filaments of matter separated by large voids, defining a complex 3-D structure called the Cosmic web. Clusters of galaxies are the node of the Cosmic web and are found at the intersection of these filaments. The formation and the evolution of these large scale structures are central issues of modern cosmology. We still need to understand how the ordinary (baryonic) matter evolves across cosmic time. This component is indeed subject to many complex physical processes (e.g., the cooling of the gas, the feedback of galaxy formation on the intergalactic medium, through the injection of energy by stellar explosions and black holes activities at the centres of the galaxies). Moreover, more than half of the baryons still escape detection in the local Universe and is believed to lie within the filamentary structures of the cosmic web. Current observations and models indicate that the formation of baryonic structures at different scales is fundamentally connected.

#### *A multi-scale observational and theoretical approach.*

With this project we have contributed to bring a new vision of the physics of formation of structures through the study of the distribution of matter at large-scales, the assembly of the first massive halos, the population of galaxy clusters and the filaments that link them.

Our work is based on multi-wavelength observations, numerical simulations and the development of original statistical tools. We have focused on the following objectives:

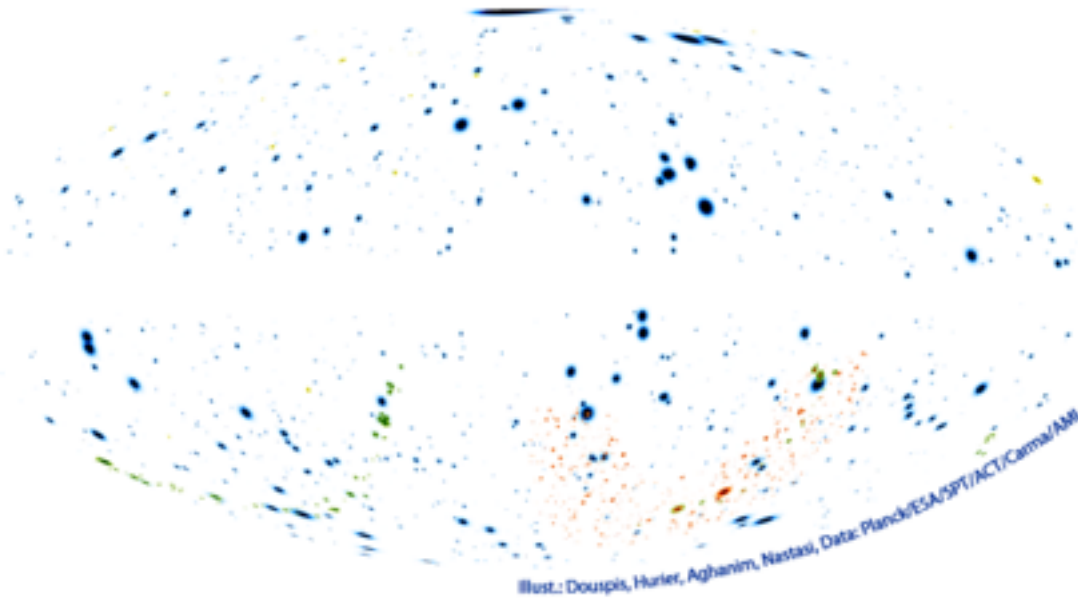
- Test our understanding of the dark matter collapse at the scale of clusters of galaxies.
- Separate and understand the role of the various physical processes (gas cooling and feedback of galaxy formation) on the intra-cluster gas properties.
- Characterise the distribution of the diffuse baryons on large scales and provide new observational constraints on the formation and the evolution of large scale structures.
- Research and characterise the progenitors of galaxy clusters in the Planck survey via the IR / sub-mm emission of their star forming galaxies.

The results and products of our project are also highly relevant for standard or alternative cosmological studies.

Our work within MULTIVERSE and within the Planck collaboration has enabled us to obtain many results as shown from our numerous publications. For example, we were able to construct the first catalogue of clusters of galaxies detected via the SZ effect and the first list of high redshift candidates sources from the Planck all sky survey. We have carried out the first measurement of the distribution of the hot gas in the clusters out to their outskirts regions where they do connect to the filaments of the cosmic web.

The MULTIVERSE project (ANR-2011-BS56-015) is a fundamental research project in astrophysics which received k€ 430 from the ANR. The three partners are the Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP, Toulouse), the Institut d'Astrophysique Spatiale (IAS, Orsay) and the Service d'astrophysique of the Commissariat à l'Energie Atomique (SAP/CEA). The project is coordinated by

Etienne Pointecouteau (IRAP), Nabila Aghanim (IAS) and Monique Arnaud (SAP / CEA). The project began on 1 January 2012 and ended on 30 September 2016 for a total duration of 45 months.



*Distribution of the SZ detected clusters on the sky in Galactic Mollweide projection. Planck clusters are in blue, SPT's in red, ACT's in green and CARMA's and AMI's in purple (see <http://szcluster-db.ias.u-psud.fr/>).*

## C. MEMOIRE SCIENTIFIQUE

**Mémoire scientifique confidentiel** : NON

### C.1. RESUME DU MEMOIRE

L'Univers visible est fortement structuré. La plupart des étoiles s'organisent en galaxies, qui à leur tour se regroupent à grande échelle le long de filaments de matière séparés par de grands vides, définissant une structure complexe 3-D appelée la "Toile Cosmique". Au croisement de ces filaments, les nœuds de la toile cosmique, se trouvent les amas de galaxies. La formation et l'évolution de ces grandes structures sont des questions centrales de la cosmologie moderne. Nous comprenons toujours très mal l'évolution de la composante de matière ordinaire (baryonique) de l'Univers qui est affectée par de nombreux processus physiques complexes (ex: le refroidissement du gaz, l'impact de la rétro-action de la formation des galaxies sur le milieu intergalactique, via l'injection d'énergie liée aux explosions stellaires ou l'accrétion sur les trous noirs aux centres des galaxies). Par ailleurs, plus de la moitié des baryons échappe à toute détection dans l'Univers local et est soupçonnée se trouver dans les structures filamentaires de la toile cosmique. Les observations et les modèles actuels indiquent que la formation des structures baryoniques à différentes échelles est fondamentalement connectée.

Avec notre projet MULTIVERSE, nous avons contribué à apporter une vision nouvelle de la physique de formation des structures via l'étude de la distribution de la matière à grande échelle, des premiers assemblages de galaxies, de la population des amas de galaxies et des filaments qui les lient. Notre travail au sein de MULTIVERSE et au sein de la collaboration Planck, nous a permis d'obtenir de nombreux résultats illustrés au travers de nos publications et communications dans des colloques internationaux.

Le projet MULTIVERSE (ANR-2011-BS56-015) est un projet de recherche fondamentale en astrophysique qui a bénéficié d'un financement de 430 k€ de l'ANR. Les trois partenaires sont l'Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP, Toulouse), l'Institut d'Astrophysique Spatiale (IAS, Orsay) et le Service d'astrophysique du Commissariat à l'Energie Atomique (SAP/CEA). Le projet est coordonné par Etienne Pointecouteau (IRAP), Nabila Aghanim (IAS) et Monique Arnaud (SAP/CEA). Le projet a débuté le 1er janvier 2012 et s'est conclu le 30 septembre 2016, pour une durée totale de 45 mois.

### C.2. ENJEUX ET PROBLEMATIQUE, ETAT DE L'ART

Avec le projet MULTIVERSE (MULTI-scale uniVERSE), nous avons contribué à la compréhension de la physique de formation des structures via une approche multi-échelle testant l'évolution de la matière à grande échelle, des premiers assemblages de galaxies autour des sur-densités du champ initial de distribution de la matière, à la population des amas de galaxies, et aux filaments qui les lient.

Nos objectifs affichés étaient:

- Tester notre compréhension de l'effondrement de la matière noire à l'échelle des amas à partir de l'évolution de leurs profils de matière noire obtenus grâce au suivi XMM d'amas massifs détectés dans le relevé Planck.
- Séparer et comprendre le rôle des processus gravitationnels et de chacun des processus non gravitationnels (refroidissement du gaz et la rétroaction de la formation des galaxies) sur les propriétés

du gaz intra-amas en quantifiant l'évolution de ses propriétés structurelles et d'échelle en SZ et en X, comparées aux prédictions des simulations numériques.

- Caractériser la distribution des baryons diffus à grande échelle et fournir de nouvelles contraintes observationnelles sur les champs de vitesses aux grandes échelles, signature de la formation et de l'évolution des grandes structures, à partir de corrélations croisées entre les cartes Planck du rayonnement fossile et les grands relevés de galaxies.
- Entreprendre la première recherche et l'étude systématique de la population des pro-géniteurs des amas de galaxies dans le relevé Planck via l'émission IR/sub-mm de leurs galaxies à flambée d'étoiles. Comparer leurs propriétés à celles des galaxies d'amas massifs. Cette population méconnue d'objets reste un chaînon manquant dans le contexte de la formation des halos massifs.

### **C.3. APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE**

Pour atteindre ces objectifs, nous avons fait usage (i) de nouveaux jeux de données multi-longueurs d'ondes (des rayons X au millimétrique, avec XMM-Newton, CFHT, ESO-VLT, Herschel, Planck, etc.), (ii) de l'état de l'art des simulations numériques de formation et d'évolution des structures, (iii) d'outils originaux d'analyse statistique.

En particulier:

- A partir du catalogue unique amas massifs attendus du relevé de tout le ciel Planck, via la mesure de l'effet SZ, nous avons pu définir des échantillons représentatifs sélectionnés en masse adéquats pour l'étude de l'évolution de la distribution de la matière noire des amas de galaxies et pour l'étalonnage d'estimateurs de leur masse (relation d'échelle) jusqu'à  $z \sim 1.0$ .
- Ainsi nous avons poursuivi notre exploitation intensive du satellite XMM-Newton, via l'acquisition de données dans le cadre de grands programmes d'étude de ces échantillons représentatifs.
- Pour continuer à mieux comprendre le rôle des processus non-gravitationnels sur l'évolution des baryons chauds diffus au sein des groupes et des amas de galaxies, nous avons mis en œuvre des simulations numériques de formation des structures afin de fournir des prédictions théoriques et de définir des diagnostics sur l'impact de chacun de ces différents processus (à savoir la rétroaction de l'évolution des galaxies via le chauffage par les AGN et les vents galactiques, le refroidissement radiatif, le préchauffage à haut redshift par rétroaction de la formation des galaxies, etc.) sur l'évolution des propriétés des groupes et des amas de galaxies.
- Nous avons pleinement tiré parti de la couverture FIR/sub-mm de tout le ciel de Planck, pour rechercher les concentrations de galaxies poussiéreuses formant des étoiles à grand redshifts, potentiellement les pro-géniteurs de halos massifs observés dans l'Univers local, c.à.d. les proto-amas. Nous avons développé des méthodes originales et des algorithmes optimisés dédiés à la détection de ces objets rares et mal connus via leur émission de poussière dans le FIR.
- A partir de ce catalogue unique de candidats proto-amas, nous avons défini soigneusement un échantillon pilote de candidats à grands  $z$  pour un suivi du FIR avec Herschel, au proche IR avec Spitzer, à l'optique avec par exemple le VLT et le CFHT. A partir de ces observations, nous nous sommes attelés à caractériser et comprendre la nature de ces sources.
- Nous avons développé des outils dédiés d'analyse statistique de corrélations croisées entre observables (ex: X, SZ, CMB, distribution des galaxies) sur des relevés de tout ou partie du ciel pour aller au delà de la caractérisation des baryons dans les halos les plus massifs et recenser des baryons présents sous la forme de groupes non détectés et/ou de gaz dans les filaments.

## C.4. RESULTATS OBTENUS

Nous présentons ici les faits/résultats les plus marquants parmi nos résultats. L'ensemble des résultats de notre projet est illustré au travers de notre liste de publications scientifiques.

### Catalogues d'amas de galaxies détectés dans le relevé Planck.

Notre travail collectif a permis la production et la validation des premiers catalogues tout le ciel d'amas de galaxies détectés via l'effet SZ, avec le relevé Planck. Au sein de la collaboration Planck, l'équipe MULTIVERSE a été l'instigatrice et le moteur de ces travaux. Elle a développé des outils originaux (Hurier et al. 2014, Aghanim et al. 2015) qui ont permis l'assemblage de produits de haut niveau et à haute valeur ajoutée :

- *ESZ* – Planck Early SZ catalogue (Planck Collaboration IX 2011) est composé de 189 sources SZ. 169 de ces sources sont des amas de galaxies précédemment connus (en X ou optique). Dans le contexte de MULTIVERSE et au sein la collaboration Planck, nous avons mis en place la stratégie de validation ce catalogue. Elle s'est fortement appuyée sur le suivi des candidats avec XMM-Newton (grâce à un programme de temps discrétionnaire de 500 ksec que nous avons coordonné). Ce catalogue fait notablement l'objet d'un suivi dans le cadre d'un très grand programme d'observation en X avec le satellite Chandra (XVP – PI: C. Jones) auquel nous participons.
- *PSZ1* – Planck SZ catalogue (Planck Collaboration XXIX 2013). Ce catalogue contient 1227 entrées, dont 861 amas identifiés. Nous avons livré en avril 2013, le PSZ ainsi que les données de validation à la communauté scientifique (incluant un ensemble de 813 redshifts, une estimation de la masse, une mesure de la pression thermique intégrée sur le volume de l'amas – via le paramètre de comptonisation,  $Y$ , un critère de qualité pour tous les candidats amas). Avec son incrément (*PSZ2* sur l'ensemble du relevé Planck (Data release de 2015), ce catalogue fait désormais référence et est très fortement utilisé au sein de la communauté scientifique.

### Suivi et confirmation des nouveaux amas SZ

Au delà de notre rôle central dans la production contractuelle du catalogue de sources SZ Planck, nous avons mis en place un ambitieux programme d'étude multi-longueurs d'onde (optique, SZ et X) pour l'identification et la caractérisation des sources SZ de Planck. Nous avons montré que ces nouveaux amas sont potentiellement sous-lumineux par rapport à ceux sélectionnés en X, et présentent des morphologies complexes de systèmes perturbés (Planck Collaboration IX, XI 2011; Planck Collaboration Int. I, IV). Nous avons aussi démontré (statistiquement) la capacité de Planck à détecter les halos de gaz chaud des objets les moins massifs (Planck Collaboration X 2011; Planck Collaboration Int. XI 2013) aux plus massifs et distants (Planck Collaboration XXVI 2011). Les programmes de suivi au delà des activités du consortium Planck, exploitant le catalogue, incluent un large programme ESO (PI: N. Aghanim – cf. ex: Dahle et al. 2016), des programmes de suivi MegaCAM/CFHT, deux larges programmes XMM-Newton (PI: M. Arnaud).

### Contraintes cosmologiques

Faisant usage des catalogues d'amas SZ mais aussi de la carte du signal SZ reconstruit sur l'ensemble du ciel, les membres de MULTIVERSE ont mené les travaux basés sur les comptages d'amas de galaxies comme sonde cosmologique, posant ainsi des contraintes sur l'amplitude,  $\sigma_8$ , du spectre de puissance des fluctuations de densité primordiales et le paramètre de densité de matière,  $\Omega_m$ , dans une cosmologie  $\Lambda$ CDM. Les membres de MULTIVERSE ont réalisé la première mesure sur tout le ciel du spectre de



puissance du signal SZ et en ont tiré des contraintes cosmologiques compatibles à celles obtenues avec les comptages d'amas (Planck Collaboration XX, XXI 2013).

Hors des activités du consortium Planck, nous avons conforté ces résultats par les études du spectre de puissance croisé SZ (Planck) et X (RASS) sur tout le ciel (Hurier et al. 2013, 2014).

### Physique des baryons dans les amas de galaxies

- *Propriétés d'échelle de la population des amas de galaxies* — A partir d'échantillons d'amas proches détectés dans le relevé Planck et observés par XMM-Newton, nous avons obtenu une constance remarquable entre la mesure des propriétés du gaz en X et en SZ. Cette adéquation est à la fois valable pour des populations d'amas déjà connus en X et pour les nouvelles sources détectées en SZ par Planck jusqu'à  $z \sim 1$  (cf. les publications de la collaboration Planck conduites par les membres de MULTIVERSE : Planck Collaboration IX, X, XI 2011; Planck Collaboration Int. I, III, IV 2013). Ce résultat montre notre bonne compréhension du contenu baryonique global des amas (dans  $R_{500}$ ), qui ne présente pas de déficit en baryons.
- *Structure thermodynamique du gaz chaud dans les amas de galaxies* — Toujours en optimisant la combinaison des observables X (XMM-Newton) et SZ (Planck), nous avons fourni une représentation cohérente statistique du support en pression thermique du gaz chaud du centre des amas de galaxies à leur grande périphérie ( $0.01 < r < 3R_{500}$ , c.à.d. jusqu'à un contraste de densité de  $\delta \sim 50-100$ ) sur la base d'un échantillon de 62 amas massif dans l'univers local. Ce travail a livré la première contrainte observationnelle dans les régions externes où le gaz, les galaxies et groupes de galaxies continuent d'être accrétés, et là où le processus de virialisation du halo est encore en cours (Planck Collaboration Int. V 2013). Cette contrainte fournit donc une référence unique pour les futures observations et travaux théoriques.
- *Simulation numérique de formation et d'évolution des amas*. Ces travaux observationnels sont complétés par des études théoriques s'appuyant sur des simulations numériques. Ainsi, A. Le Brun et al (2016) ont étudié la dispersion intrinsèque et l'évolution des propriétés statistiques des amas (fraction de gaz, lois d'échelles. état dynamique) à partir des simulations Cosmo-OWLS pour différents modèles de la physique affectant le gaz. Cela fournit un cadre de référence pour l'interprétation des observations des amas distants. De même la modélisation du signal SZ à partir de ces simulations a permis d'expliquer les résultats à priori étonnant sur le signal Planck observé autour des galaxies, dites LBG (Le Brun, Mc Carthy, Melin, 2015).

### Distribution des baryons à grandes échelles

- *Evolution de la température du CMB* (Hurier et al. 2014) — Ce travail à l'initiative des membres MULTIVERSE conduit hors cadre de la collaboration Planck, a montré sur la base des données publiques Planck que la température du CMB évolue de façon conforme aux attentes du modèle standard en utilisant dans une étude statistique la mesure du signal SZ en direction des amas de galaxies.
- *Etudes théoriques et observationnelle des corrélations X et SZ* — Nous avons étudié les corrélations sur l'ensemble du ciel entre les signaux SZ, le CIB et l'émission X des amas de galaxies via la modélisation détaillée du spectre de puissance angulaire de ces corrélations sur tout le ciel (Hurier et al. 2014). Ces prédictions obtenues au delà du cadre de la collaboration Planck ont été comparées à la mesure des corrélations croisées sur tout le ciel de entre le signal SZ dans le relevé Planck et l'émission X dans le relevé RASS (Hurier et al. 2015). Ce travail a permis de dériver des contraintes cosmologiques indépendantes de celles obtenues de l'étude des comptages d'amas de galaxies détectés dans le relevé Planck. La première mesure de la corrélation croisée que nous avons réalisée entre effet SZ et fond

infra-rouge (CIB) a aussi mis en évidence un accord avec les contraintes cosmologiques obtenues par notre équipe (Planck 2015 results. XXIII, 2016).

### **Recherche et caractérisation de la population des proto-amas**

- *Liste de candidats Planck à grand redshifts* — Nous avons mis au point un algorithme de détection basé sur une procédure de séparation de composante du signal utilisant la combinaison des fréquences Planck et IRAS. Cette méthode a permis de construire une liste de 2151 sources situées potentiellement à grand redshift, détectées dans le relevé Planck, c.à.d. que leur couleur suggère des redshifts  $z > 2$  (Planck Collaboration Int. XXXIX 2016).
- *Caractérisation multi-longueurs d'onde* — Nous avons mis en place au sein de la collaboration MULTIVERSE une stratégie de suivi pour caractériser la nature de ces sources. Plus de deux cent candidats ont été suivis avec SPIRE-Herschel (programmes GO et "Must Do" HPASSS), dont 80% ont révélé un excès de sources submillimétriques (Planck Collaboration XXVII 2015), là où une faible minorité est due à des sources lentillées (Canameras et al. 2015). Nous avons engagé un ambitieux programme de suivi multi-longueurs d'onde de ses candidats proto-amas allant du millimétrique (Gizmo/IRAM-30m, SCUBA, NIKA-2, et une proposition ALMA), à l'infrarouge proche (Spitzer) et à l'optique (CHFT, ESO-VLT). Notre objectif est de comprendre la nature des émissions détectées dans le relevé Planck et des sources dont elles émanent.
- *Cas d'étude d'un candidat proto-amas PLCKHZ G95.5–61.6* — Cette méthodologie est illustrée au travers le cas d'étude de PLCKHZ G95.5–61.6, qui correspond à l'émission cumulée de deux surdensités de galaxies à grand redshifts ( $z=1.7$  et  $2.0$ ) sur la ligne de visée. Nous avons caractérisé cette source à partir de la combinaison des données de son suivi avec Herschel, Spitzer, CFHT et VLT/X-Shooter. Nous avons établi spectroscopiquement la présence de ces deux structures à grands  $z$ . Cette étude démontre la capacité de Planck à détecter l'émission de regroupement de galaxies poussiéreuses formant des étoiles (Flores-Cacho et al. 2016).

## **C.5. EXPLOITATION DES RESULTATS**

Comme rendu compte dans les sections C.5 et E, les résultats de nos travaux ont été publiés et sont très fortement utilisés et cités par la communauté scientifique. Nous totalisons au cours du projet 79 publications et 66 interventions dans des colloques et ateliers de travail.

## **C.6. DISCUSSION**

Dans notre proposition écrite et présentée en 2011, nous avons proposé les trois axes de recherche suivants :

1. Les amas de galaxies sonde de l'évolution des structures.
2. Distribution et propriétés des baryons à grande échelle.
3. Recherche et caractérisation des pro-géniteurs des amas de galaxies.

Nous avons conduit nos travaux de recherche au sein du projet MULTIVERSE selon ces trois axes.

Le premier axe de MULTIVERSE s'est appuyé sur une importante expertise de l'équipe projet (en particulier en X et en SZ) et a tiré parti de notre investissement sur des projets connexes précédents. Il a pleinement fait usage des nouvelles opportunités apportées par les observations du relevé Planck, combinées en particulier avec les observations XMM-Newton (archives et nouvelles données). Notre travail a fortement bénéficié de cette expertise comme le soulignent nos nombreux résultats liés à cet axe.

Ce travail se poursuit concrètement désormais au travers des programmes et études engagés pour contraindre l'évolution des propriétés de la population des amas de galaxies jusqu'à leur époque de formation. Les cadres des projets ERC advanced grant M2C (PI: M. Arnaud, 2014-2018), large programme ESO (PI: N. Aghanim) et le programme de temps garanti d'observation d'amas en SZ NIKA-2 (2017-) sont désormais nos cadres fédérateurs de travail.

Le second axe de MULTIVERSE nous a permis d'explorer des idées nouvelles sur la distribution de la matière à grande échelle, étayées par le développement de plusieurs méthodes originales d'analyse statistique des propriétés des baryons et de leur distribution à grande échelle. Le programme ISSI-SZ (PI: N. Aghanim) poursuit ces études à court terme. Le projet ERC advanced grant ByoPiC (PI: N. Aghanim) est quant à lui la continuation logique d'étude en profondeur de cet axe de recherche pour notre équipe.

Le troisième axe de MULTIVERSE était prospectif et ambitieux. Il s'est révélé aussi ardu. Néanmoins nous avons réussi à produire un catalogue de candidats à grands  $z$  à partir des données Planck grâce au développement d'une méthode originale de détection de sources, de stratégie de suivi multi-longueurs d'onde et de caractérisation de ces sources. Nous avons aussi créé une dynamique nouvelle au sein de l'équipe MULTIVERSE autour de cette thématique, en développant de nouvelles compétences et de nouveaux savoir-faire. Nous poursuivons l'exploitation du vivier de sources Planck candidats grands  $z$  notamment dans le cadre projet Labex OCEVU "Unveiling the baryonic properties of the first massive halos in the Universe" (PI: E. Pointecouteau & G. Lagache) qui est une extension naturelle de notre axe de recherche MULTIVERSE.

Le soutien apporté par l'ANR via le financement de notre projet s'est principalement concrétisé sous forme de soutien en ressources humaines. Guillaume Hurier, Inés Flores-Cacho et Amandine Le Brun sont les trois collaborateurs membres de MULTIVERSE financés par le projet. Il ont tous les trois apportés leurs compétences complémentaires à celles des proposants. Le projet en a grandement bénéficié, ainsi que de leur investissement dans l'accomplissement de nos objectifs scientifiques. Ceci est illustré au travers de leurs productions et contributions scientifiques respectives.

## **C.7. CONCLUSIONS**

MULTIVERSE se voulait un projet extrêmement ambitieux en termes des objectifs et des activités scientifiques qu'il proposait, sans pour autant vouloir en couvrir l'ensemble des aspects.

Il a apporté pendant la période d'exploitation Planck un soutien inestimable à l'équipe projet fortement impliquée dans la production des résultats relatifs aux grandes structures, aux amas de galaxies et à leur utilisation en cosmologie. Plus particulièrement le projet a permis de pousser l'exploitation scientifique des données SZ bien au delà des livrables "nominales" du projet Planck (c.à.d., un catalogue de sources détectées via l'effet SZ). Les données de validation (fournies en sus) de ce catalogue et une grande partie des études dédiées sur les amas de galaxies (publiés sous forme de Planck Intermediate Papers) ont été stimulées au sein de MULTIVERSE par la dynamique de nos activités. Il a ainsi permis de maximiser la visibilité de l'équipe projet au sein de la collaboration Planck.

Au delà du consortium Planck, il a permis d'optimiser nos efforts et a conféré une importante valeur ajoutée à nos travaux, via notamment la mise en place des campagnes de suivi multi-longueurs d'ondes des sources SZ Planck (par exemple avec l'ESO, le CFHT, XMM, Herschel) et leur exploitation scientifique, ou encore la synergie avec l'équipe ACT au travers le projet ISSI-SZ. Il a stimulé nos partenariats qui perdurent aujourd'hui au travers les liens collaboratifs renforcés entre les membres de

MULTIVERSE et dans le cadre des projets au sein desquels nous évoluons ensemble (e.g., M2C, ByoPiC, NIKA-2, etc).

In fine, MULTIVERSE ne s'est donc jamais voulu être un projet fermé. Les axes de recherches dans lesquels nous nous sommes investis ainsi que les travaux engagés durant la période du projet continuent donc d'être exploités aujourd'hui et pour les années à venir, ce dans des cadres évolutifs et de nouveaux projets :

- Programme ISSI “Astrophysics and Cosmology with Galaxy Clusters: the X-ray and lensing view” (co-I: E Pointecouteau)
- ERC advanced grant M2C 2014-2019 (PI: M. Arnaud)
- LabEX OCEVU 2014-2017( PI: E. Pointecouteau & G. Lagache)
- Programme ISSI-SZ (PI: Aghanim, co-I: Douspis, Hurier, Pointecouteau).
- ERC advanced grant ByoPiC 2017-2022 (PI: N. Aghanim)
- Le grand programme de temps garanti SZ NIKA-2 (co-I: Aghanim, Arnaud, Douspis, Lagache, Macias-Perez, Pointecouteau, Pratt)
- Le large programme ESO pour le suivi des amas SZ de Planck (PI: Aghanim, co-I: Arnaud, Cacho, Douspis, Hurier, Pointecouteau, Pratt)
- SZcluster-db et MAGYC: Multi-wavelength Galaxy Clusters (PI: M. Douspis)

Aujourd'hui au terme de notre projet et au vu de nos nombreux résultats et de leur impact, mais surtout au vu des nouveaux projets qui ont émergé dans notre équipe, nous considérons que nous avons largement atteint voire dépassé notre ambition et nos objectifs initiaux.

## **C.8. REFERENCES**

Cf. liste de publications.

## **D. LISTE DES LIVRABLES**

Les livrables présentés dans le projet initial ont tous été fournis. Leur nature veut qu'ils aient été rendus public au travers des publications du projet. cf. Sec. E.2 pour le détails.

## E. IMPACT DU PROJET

### E.1. INDICATEURS D'IMPACT

#### *Nombre de publications et de communications (à détailler en E.2)*

Les nombres fournis dans la table ci-dessous correspondent aux publications du groupe A et entre parenthèses de la somme des groupes A et B, comme définis en section E.2.

		<b>Publications multipartenaires</b>	<b>Publications monopartentaires</b>
<b>International</b>	<b>Revue à comité de lecture</b>	52 (79)	
	<b>Ouvrages ou chapitres d'ouvrage</b>		
	<b>Communications (conférence)</b>	66	
<b>Actions de diffusion</b>	<b>Articles vulgarisation</b>	2	
	<b>Conférences vulgarisation</b>	3	
	<b>Autres</b>	2	

#### *Autres valorisations scientifiques (à détailler en E.3)*

	<b>Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)</b>
<b>Brevets internationaux obtenus</b>	N/A
<b>Brevet internationaux en cours d'obtention</b>	N/A
<b>Brevets nationaux obtenus</b>	N/A
<b>Brevet nationaux en cours d'obtention</b>	N/A
<b>Licences d'exploitation (obtention / cession)</b>	N/A
<b>Créations d'entreprises ou essaimage</b>	N/A
<b>Nouveaux projets collaboratifs</b>	ERC-M2C, OCEVU-41, ERC-ByopIC, LP-ESO, SZcluster-db, MAGYC
<b>Colloques scientifiques</b>	N/A
<b>Autres (préciser)</b>	

## E.2. LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

### PUBLICATIONS

Nos publications sont classées en deux catégories :

- A. Les publications au coeur de nos activités MULTIVERSE, produits des résultats de notre projet, signées par ses membres.
- B. Les publications connexes au projet et concernant sa thématique, signées par ses membres.

#### **A. Publications sur le coeur des objectifs du projet MULTIVERSE:**

2. Pointecouteau, E. 2016, Astron. Nachr.: "The Role of XMM for Present and Next Generation SZ Experiments".
3. Eckert, D., Ettori, S., Pointecouteau, E., Molendi, S., Paltani, S., & Tchernin, C. 2016, arXiv:1611.05051: "The XMM Cluster Outskirts Project (X-COP)".
4. Tchernin, C., Eckert, D., Ettori, S., Pointecouteau, E., Paltani, S., et al. 2016, A&A, 595, A42: "The XMM Cluster Outskirts Project (X-COP): Physical conditions of Abell 2142 up to the virial radius".
5. Planck Collaboration, Aghanim, N., Arnaud, M., Ashdown, M., Aumont, J., et al. 2016, A&A, 594, A22: "Planck 2015 results. XXII. A map of the thermal Sunyaev-Zeldovich effect".
6. Planck Collaboration, Ade, P. A. R., Aghanim, N., Arnaud, M., Ashdown, M., et al. 2016, A&A, 594, A27: "Planck 2015 results. XXVII. The second Planck catalogue of Sunyaev-Zeldovich sources".
7. Planck Collaboration, Ade, P. A. R., Aghanim, N., Arnaud, M., Aumont, J., et al. 2016, A&A, 594, A23: "Planck 2015 results. XXIII. The thermal Sunyaev-Zeldovich effect-cosmic infrared background correlation".
8. Ruppin, F., Adam, R., Comis, B., Ade, P., André, P., et al. 2016, arXiv:1607.07679: "Non-parametric deprojection of NIKA SZ observations: Pressure distribution in the Planck-discovered cluster PSZ1 G045.85+57.71".
9. Adam, R., Bartalucci, I., Pratt, G. W., Ade, P., André, P., et al. 2016, arXiv:1606.07721: "Mapping the kinetic Sunyaev-Zeldovich effect toward MACS J0717.5+3745 with NIKA".
10. McCarthy, I. G., Schaye, J., Bird, S., & Le Brun, A. M. C. 2016, arXiv:1603.02702: "The BAHAMAS project: Calibrated hydrodynamical simulations for large-scale structure cosmology".
11. Le Brun, A. M. C., McCarthy, I. G., Schaye, J., & Ponman, T. J. 2016, arXiv:1606.04545: "The scatter and evolution of the global hot gas properties of simulated galaxy cluster populations".
12. Dahle, H., Aghanim, N., Guennou, L., Hudelot, P., Kneissl, R., et al. 2016, A&A, 590, L4: "Discovery of an exceptionally bright giant arc at  $z = 2.369$ , gravitationally lensed by the Planck cluster PSZ1 G311.65-18.48".
13. Pratt, G. W., Pointecouteau, E., Arnaud, M., & van der Burg, R. F. J. 2016, A&A, 590, L1: "The hot gas content of fossil galaxy clusters".
14. van der Burg, R. F. J., Aussel, H., Pratt, G. W., Arnaud, M., Melin, J.-B., et al. 2016, A&A, 587, A23: "Prospects for high- $z$  cluster detections with Planck, based on a follow-up of 28 candidates using MegaCam at CFHT".
15. Adam, R., Comis, B., Bartalucci, I., Adane, A., Ade, P., et al. 2016, A&A, 586, A122: "High angular resolution Sunyaev-Zeldovich observations of MACS J1423.8+2404 with NIKA: Multiwavelength analysis".
16. Flores-Cacho, I., Pierini, D., Soucail, G., Montier, L., Dole, H., et al. 2016, A&A, 585, A54: "Multi-wavelength characterisation of  $z \sim 2$  clustered, dusty star-forming galaxies discovered by Planck".
17. Planck Collaboration, Aghanim, N., Altieri, B., Arnaud, M., Ashdown, M., et al. 2015, A&A, 582, A30: "Planck intermediate results. XXVII. High-redshift infrared galaxy overdensity candidates and lensed sources discovered by Planck and confirmed by Herschel-SPIRE".
18. Canameras, R., Nesvadba, N. P. H., Guery, D., McKenzie, T., & Mignig, S., et al. 2015, A&A, 581, A105: "Planck's dusty GEMS: The brightest gravitationally lensed galaxies discovered with the Planck all-sky survey".
19. Soucail, G., Fomax, G., Pointecouteau, E., Arnaud, M., & Limousin, M. 2015, A&A, 581, A31: "The matter distribution in  $z \sim 0.5$  redshift clusters of galaxies. II. The link between dark and visible matter".
20. Planck Collaboration, Ade, P. A. R., Aghanim, N., Armitage-Caplan, C., Arnaud, M., et al. 2015, A&A, 581, A14: "Planck 2013 results. XXXII. The updated Planck catalogue of Sunyaev-Zeldovich sources".

21. Planck Collaboration, Ade, P. A. R., Aghanim, N., Arnaud, M., Aumont, J., et al. 2015, arXiv:1508.04171: "Planck intermediate results. XXXIX. The Planck list of high-redshift source candidates".
22. Aghanim, N., Hurier, G., Diego, J.-M., Douspis, M., Macias-Perez, J., et al. 2015, A&A, 580, A138: "The Good, the Bad, and the Ugly: Statistical quality assessment of SZ detections".
23. Hojjati, A., McCarthy, I. G., Harnois-Deraps, J., Ma, Y.-Z., Van Waerbeke, L., Hinshaw, G., & Le Brun, A. M. C. 2015, JCAP, 10, 047: "Dissecting the thermal Sunyaev-Zeldovich-gravitational lensing cross-correlation with hydrodynamical simulations".
24. Radovich, M., Formicola, I., Meneghetti, M., Bartalucci, I., Bourdin, H., et al. 2015, A&A, 579, A7: "A weak lensing analysis of the PLCK G100.2-30.4 cluster".
25. Hurier, G., Douspis, M., Aghanim, N., Pointecouteau, E., Diego, J. M., & Macias-Perez, J. F. 2015, A&A, 576, A90: "Cosmological constraints from the observed angular cross-power spectrum between Sunyaev-Zel'dovich and X-ray surveys".
26. Hurier, G. 2015, A&A, 575, L11: "Predicting the CIB- $\phi$ ; contamination in the cross-correlation of the tSZ effect and  $\phi$ ".
27. Adam, R., Comis, B., Macías-Pérez, J.-F., Adane, A., Ade, P., et al. 2015, A&A, 576, A12: "Pressure distribution of the high-redshift cluster of galaxies CL J1226.9+3332 with NIKA".
28. Burigana, C., Davies, R. D., de Bernardis, P., Delabrouille, J., de Paolis, F., et al. 2015, Thirteenth Marcel Grossmann Meeting: On Recent Developments in Theoretical and Experimental General Relativity, Astrophysics and Relativistic Field Theories, 610: "Recent Developments in Astrophysical and Cosmological Exploitation of Microwave Surveys".
29. Perrott, Y. C., Olamaie, M., Rumsey, C., Brown, M. L., Feroz, F., et al. 2015, A&A, 580, 95: "Comparison of Sunyaev-Zel'dovich measurements from Planck and from the Arcminute Microkelvin Imager for 99 galaxy clusters".
30. Planck Collaboration, Ade, P. A. R., Aghanim, N., Arnaud, M., Ashdown, M., et al. 2015, A&A, 582, A29: "Planck intermediate results. XXVI. Optical identification and redshifts of Planck clusters with the RTT150 telescope".
31. Hurier, G., Aghanim, N., & Douspis, M. 2014, A&A, 568, A57: "Modeling the cross power spectrum of the Sunyaev-Zel'dovich and X-ray surveys".
32. Planck Collaboration, 2014, A&A 561, A97: "Planck intermediate results. XIII. Constraints on peculiar velocities".
33. Planck Collaboration, 2014, A&A 571, A29: "Planck 2013 results. XXIX. Planck catalogue of Sunyaev-Zeldovich sources".
34. Planck Collaboration, 2014, A&A 536, A21: "Planck 2013 results. XXI. Cosmology with the all-sky Planck Compton parameter  $y$ -map".
35. Planck Collaboration, 2014, A&A 536, A20: "Planck 2013 results. XX. Cosmology from Sunyaev-Zeldovich cluster counts".
36. Hurier, G., Aghanim, N., Douspis, M., & Pointecouteau, E. 2014, A&A, 561, A143: "Measurement of the  $T_{\text{CMB}}$  evolution from the Sunyaev-Zel'dovich effect".
37. Adam, R., Comis, B., Macías-Pérez, J. F., Adane, A., Ade, P., et al., 2014, A&A, 569, 66: "First observation of the thermal Sunyaev-Zel'dovich effect with Kinetic Inductance Detectors".
38. Macario, G., Intema, H. T., Ferrari, C., Bourdin, H., Giacintucci, S., et al. 2014, A&A, 565, A13: "Discovery of large-scale diffuse radio emission and of a new galaxy cluster in the surroundings of MACS J0520.7-1328".
39. Ota, N., Nagayoshi, K., G.W. Pratt, et al.: "Investigating the hard X-ray emission from the hottest Abell cluster A2163 with Suzaku", 2013, A&A in press
40. Nastasi, A., Böhringer, H., Fassbender, R., de Hoon, A., Lamer, G., Mohr, J.J., Padilla, N., Pratt, et al.: "Kinematic analysis of a sample of X-ray luminous distant galaxy clusters : The  $L_x$ - $\sigma_v$  relation in the  $z > 0.6$  Universe", 2013, A&A in press.
41. Giodini, S., Lovisari, L., Pointecouteau, E., Ettori, S., Reiprich, T. H., and Hoekstra, H.: "Scaling Relations for Galaxy Clusters: Properties and Evolution", 2013, Space Science Reviews , 65.
42. Reiprich, T. H., Basu, K., Ettori, S., Israel, H., Lovisari, L., Molendi, S., Pointecouteau, E., and Roncarelli, M.: "Outskirts of Galaxy Clusters", 2013, Space Science Reviews , 56.

43. Ettori, S., Donnarumma, A., Pointecouteau, E., Reiprich, T. H., Giodini, S., Lovisari, L., and Schmidt, R. W.: "Mass Profiles of Galaxy Clusters from X-ray Analysis", 2013, *Space Science Reviews*, 51.
44. Pointecouteau, E.: "Clusters of galaxies in the Planck survey", 2013, *Astronomische Nachrichten*, 334, 430.
45. Remazeilles, M.; Aghanim, N.; Douspis, M.. 2013, *MNRAS*, 430, 370: "Reconstruction of high-resolution Sunyaev-Zeldovich maps from heterogeneous data sets using needles".
46. Burigana, C.; Davies, R. D.; de Bernardis, P.; Delabrouille, J.; de Paolis, F.; Douspis, M.; Khatri, R.; Liu, G. C.; Maris, M.; Masi, S.; Mennella, A.; Natoli, P.; Norgaard-Nielsen, H. U.; Pointecouteau, E.; Rephaeli, Y.; Toffolatti, L.: "Recent Developments in Astrophysical and Cosmological Exploitation of Microwave Surveys". 2013, *International Journal of Modern Physics D*, Volume 22, Issue 6.
47. Foex, G.; Soucail, G.; Pointecouteau, E.; Arnaud, M.; Limousin, M.; Pratt, G. W., 2012, *A&A* 546, 106: "The dark matter distribution in  $z \sim 0.5$  clusters of galaxies. I. Determining scaling relations with weak lensing masses".
48. Soucail, G., 2012, *Astronomy and Astrophysics*, 540, A61: "Dark matter distribution in the merging cluster Abell 2163".
49. Planck Collaboration, 2013, *A&A* 550, A134, : "Planck intermediate results. VIII. Filaments between interacting clusters".
50. Planck Collaboration, 2013, *A&A* 550, 132: "Planck intermediate results. VI: The dynamical structure of PLCKG214.6+37.0, a Planck discovered triple system of galaxy clusters".
51. Planck Collaboration, 2013, *A&A* 550, A131: "Planck Intermediate Results. V. Pressure profiles of galaxy clusters from the Sunyaev-Zeldovich effect".
52. Planck Collaboration, 2013, *A&A* 550, A129: "Planck intermediate results. III. The relation between galaxy cluster mass and Sunyaev-Zeldovich signal".

## 1. B. Related Publications

1. Tozzi, P., et al., 2015, *ApJ* 799, 93: "Chandra deep observation of XDCP J0044.0-2033, a massive galaxy cluster at  $z > 1.5$ "
2. Planck Collaboration, 2014, *A&A* 571, A19: "Planck 2013 results. XIX. The integrated Sachs-Wolfe effect"
3. Cassano, R., Ettori, S., Brunetti, G., Giacintucci, S., Pratt, G. W., et al. 2013, *ApJ*, 777, 141: "Revisiting Scaling Relations for Giant Radio Halos in Galaxy Clusters".
4. Hurier, G., Macias-Perez, J.-F., Hildebrandt, S., 2013, *A&A* 558, A118: "MILCA, a modified internal linear combination algorithm to extract astrophysical emissions from multifrequency sky maps".
5. Kaastra, J., et al.: "The Hot and Energetic Universe: The missing baryons and the warm-hot intergalactic medium", 2013, *ArXiv e-prints*, arXiv:1306.2324.
6. Croston, J. H., et al.: "The Hot and Energetic Universe: AGN feedback in galaxy clusters and groups", 2013, *ArXiv e-prints*, arXiv:1306.2323.
7. Ettori, S., et al.: "The Hot and Energetic Universe: The astrophysics of galaxy groups and clusters", 2013, *ArXiv e-prints*, arXiv:1306.2322.
8. Pointecouteau, E., et al.: "The evolution of galaxy groups and clusters", 2013, *ArXiv e-prints*, arXiv:1306.2319.
9. Nandra, K., et al.: "The Hot and Energetic Universe: A White Paper presenting the science theme motivating the Athena+ mission", 2013, *ArXiv e-prints*, arXiv:1306.2307.
10. Cassano, R., Ettori, S., Brunetti, G., Giacintucci, S., Pratt, G. W., Venturi, T., Kale, R., Dolag, K., and Markevitch, M., 2013, *ApJ*, 777, 141: "Revisiting scaling relations for giant radio halos in galaxy clusters".
11. Planck Collaboration, 2014, *A&A*, 571, 28: "Planck 2013 results. XXVIII. The Planck Catalogue of Compact Sources".
12. Planck Collaboration, 2014, *A&A*, 571, 19: "Planck 2013 results. XIX. The integrated Sachs-Wolfe effect".
13. Planck Collaboration, 2014, *A&A*, 571, 18: "Planck 2013 results. XVIII. Gravitational lensing-infrared background correlation".
14. Planck Collaboration, 2014, *A&A*, 571, 16: "Planck 2013 results. XVI. Cosmological parameters".
15. Planck Collaboration, 2014, *A&A*, 571, 13: "Planck 2013 results. XIII. Galactic CO emission".
16. Planck Collaboration, 2014, *A&A*, 571, 12: "Planck 2013 results. XII. Component separation".



17. Planck Collaboration, 2013, A&A, 557, 52 : "Planck Intermediate Results. XI: The gas content of dark matter halos: the Sunyaev-Zeldovich-stellar mass relation for locally brightest galaxies".
18. Planck Collaboration, 2013, A&A 554A, 140: "Planck Intermediate Results. X. Physics of the hot gas in the Coma cluster".
19. Maurin, D.; Combet, C.; Nezri, E.; Pointecouteau, E., 2012, A&A, 547, 16: "Disentangling cosmic-ray and dark-matter induced  $\gamma$ -rays in galaxy clusters".
20. Nezri, E.; White, R.; Combet, C.; Hinton, J. A.; Maurin, D.; Pointecouteau, E.. 2012, MNRAS 425, 477: "gamma-rays from annihilating dark matter in galaxy clusters: stacking versus single source analysis".
21. Combet, C.; Maurin, D.; Nezri, E.; Pointecouteau, E.; Hinton, J. A.; White, R. 2012, PhRvD 85, 063517: "Decaying dark matter: Stacking analysis of galaxy clusters to improve on current limits".
22. Suhada, R., Song, J., Boehringer, H., Mohr, J. J., Chon, G., Finoguenov, A., Fassbender, R., Desai, S., Armstrong, R., Zenteno, A., Barkhouse, W. A., Bertin, E., Buckley-Geer, E. J., Hansen, S. M., High, F. W., Lin, H., Muhlegger, M., Ngeow, C. C., Pierini, D., Pratt, G. W., Verdugo, M., and Tucker, D. L., 2012, Astronomy and Astrophysics , 537, A39: "The XMM-BCS galaxy cluster survey. I. The X-ray selected cluster catalog from the initial 6 deg<sup>2</sup>".
23. Lacasa, F. and Aghanim, N., 2014, A&A 569, 51: "Optimal estimator for the amplitude of the bispectrum from IR sources".
24. Lacasa, F., Aghanim, N., Kunz, M., and Frommert, M., 2012, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society , 421, 1982: "Characterization of the non-Gaussianity of radio and IR point sources at CMB frequencies".
25. Planck Collaboration, 2013, A&A, 554, 140 : "Planck Intermediate Results. X. Physics of the hot gas in the Coma cluster".
26. Planck Collaboration, 2013, A&A, 550, 134 : "Planck intermediate results. VIII. Filaments between interacting clusters".
27. Planck Collaboration, 2013, A&A 550, 130: "Planck Intermediate Results. IV. The XMM-Newton validation programme for new Planck clusters".

## CONFERENCES

Presentations orales (invitées et contribuées) dans des conférences par les membres du projet MULTIVERSE.

1. Arnaud, M.: "Evolution and scatter of the cluster population and cosmology with X-ray and SZ samples". Galaxy clusters: physics laboratories and cosmological probes, Cambridge, décembre 2016. [Invited]
2. Lebrun, A.: "Scatter and evolution of the hot gas properties of a realistic population of simulated groups and clusters". The Physics of Groups and Galaxy Properties therein, December 2016, IAP, Paris, France [Contributed].
3. Lebrun, A.: "Evolution of groups and clusters since  $z=1.5$  in cosmological simulations, High-redshift (proto)clusters: Anecdotal or important phases?". October 2016, Observatoire de Paris-Meudon, Paris, France [Invited].
4. Montier, L.: "The Planck List of High- $z$  source candidates: A laboratory for high- $z$  star-forming galaxies", IAU General Assembly, Meeting #29, August 2016, Hawaii [invited]
5. Arnaud, M.: "Cluster Physics and evolution from new X-ray/SZ cluster samples", IAU General Assembly, Meeting #29, August 2016, Hawaii [invited]
6. Hurier, G.: "Cosmological constraints from the cross-power spectrum between Sunyaev-Zel'dovich and X-ray surveys", IAU General Assembly, Meeting #29, August 2016, Hawaii [contributed]
7. Melin, J.-B.: "SZ cosmology, Status & future directions". Hot spots in the XMM Sky, Mykonos, juin 2016. [Invited]
8. Pointecouteau, E.: "The Role of XMM for Present and Next Generation SZ Experiments ", XMM Next Decade, May 2016, Madrid [invited]
9. Arnaud, M.: "Evolution of clusters and cosmology". XMM Next Decade, May 2016, Madrid. [invited]

10. Pratt, G.W.: "Galaxy clusters". Cours à l'école "Physique de l'univers en rayons X", OHP, mai 2016. [Invited]
11. Arnaud, M.: "Cluster cosmology: an observational view". RAS cluster Cosmology 2015 (London, décembre 2015). [Invited]
12. Douspis, M.: "SZMC : a SZ meta-catalogue". ARCHES workshop, Paris, Décembre 2015 [Invited].
13. Pratt, G.W.: "Observing the hot intra-cluster medium". Workshop CNRS-CSIC "New frontiers in astrophysics: from the laboratory to space", Madrid, Espagne, sept 2015. [Invited]
14. Douspis, M.: "Cosmology from SZ signal in Planck". Finland-Estonian Cosmology and LSS Annual meeting, septembre 2015, Voru (Estonie) [Invited].
15. Aghanim, N.: "Clusters in Planck era". Finland-Estonian Cosmology and LSS Annual meeting, septembre 2015, Voru (Estonie) [Invited].
16. Melin, J.-B.: "SZ counts, a review". Rencontres du Vietnam 2015, Quy Nhon, août 2015. [Invited]
17. Lebrun, A. : "Scatter and evolution of the hot gas properties and of the dark matter profiles of massive galaxy clusters". PNCG days, December 2015, Nice, France [contributed].
18. Arnaud, M.: "Clusters Physics and evolution from new X-ray/SZ samples". Focus Meeting-06 IAU XXIV, aout 2015, Etat-Unis. [Invited]
19. Lebrun, A.: "Scatter and evolution of the hot gas properties of a realistic population of simulated groups and clusters". Let's group: The life cycle of galaxies in their favourite environment, June 2015, Garching, Germany [Contributed].
20. Lebrun, A.: "Scatter and evolution of the hot gas properties of a realistic population of simulated groups and clusters". SnowCluster: The Physics of Galaxy Clusters, March 2015, Snowbird, United States. [Contributed]
21. Pratt, G.W.: "Multi-wavelength scaling relations". Snow Cluster 2015, Utah, Etats Unis, mars 2015. [Invited]
22. Melin, J.-B.: "Cosmology from SZ cluster counts". Astroparticle View of Galaxy Clusters, Hiroshima, mars 2015. [Invited]
23. Douspis, M.: "Cosmology with Planck clusters". SZ science with IRAM facilities, Grenoble, Janvier 2015 [Invited]
24. Melin, J.-B.: "The Planck SZ catalogue 2015". SZ science with IRAM facilities, Grenoble, Janvier 2015 [Invited].
25. Arnaud, M.: "XMM-Chandra Clusters". SZ science with IRAM facilities, Grenoble, Janvier 2015 [Invited].
26. Hurier, G. 2015, IAU General Assembly, 22, 2243869: "Cosmological constraints from the cross-power spectrum between Sunyaev-Zeldovich and X-ray surveys". [contributed]
27. Arnaud, M.: "The Planck view of galaxy clusters". Zeldovich-100, June 2014, Moscou, Russie. [Invited]
28. Pointecouteau, E.: "Sunyaev-Zel'dovich effect Recent results: Recent results", X-ray Universe 2014, June 2014, Dublin, Ireland. [Invited]
29. Pratt, G. W.: "Athena: the advanced telescope for high energy astrophysics". Future directions in galaxies clusters surveys. Juin 2014, Paris. [Invited]
30. Arnaud, M.: "Gas observation: scaling relations". Future directions in galaxies clusters surveys. Juin 2014, Paris. [Invited]
31. Pratt, G. W.: "Les amas de galaxies en rayons gamma". SF2A, juin 2014. Paris. [Invited]
32. Hurier, G.: "Measurement and modelling of the tSZ-CIB cross-correlation". Planck Joint Core Team meeting, May 2014, Trieste (Italy). [contributed]
33. Pratt, G. W.: "SKA and Athena". Journée SKA-LOFAR, février 2014, Paris. [Invited]
34. Pratt, G. W.: "Astrophysics of groups and clusters with Athena". Journée Athena France, février 2014, Paris. [Invited]
35. Pointecouteau, E.: "Evolution of groups and clusters of galaxies! and the WHIM". Journée Athena France, février 2014, Paris. [Invited]
36. Aghanim N.: "Planck's results". P2IO council meeting, Orsay, September 2013. [Invited]
37. Aghanim N.: "Galaxy clusters in the light of Planck". SKA-Euclid synergy, Oxford (UK), September 2013. [Invited]
38. Langer, M.: "Detecting the Integrated Sachs-Wolfe effect by cross-correlating the CIB and the CMB". Cross-correlating cosmic fields. October 2013, Shanghai, China. [contributed]
39. Aghanim, N.: "Cross-correlating SZ maps with LSS". Cross-correlating cosmic fields. October 2013, Shanghai, China. [Invited]

40. Hurier, G.: "Cross-correlating tSZ and X-ray surveys". Cross-correlating cosmic fields. October 2013, Shanghai, China. [contributed]
41. Arnaud, M.: "The SZE view of galaxy clusters and cosmology". Ripples in the cosmos. Durham, 22-26 July 2013. [invited]
42. Pratt, G.W.: "Rétroaction dans les groupes et amas de galaxies (observations)". Journée de la SF2A 2013. Montpellier, France. Juillet 2013. [invited]
43. Comis, B., et al.: "Detection of the tSZ effect with the NIKA camera". Journée de la SF2A Montpellier, France. Juillet 2013. [contributed]
44. Melin, J.-B.: "SZ observations of gas in galaxy halos". The Physical Link between galaxies and their Halos, Garching, July 2013. [invited]
45. Pratt, G.W.: "The X-ray/SZ view of galaxy clusters". Sesto 2013 - Tracing Cosmic Evolution with Clusters of Galaxies, July 2013. Sexten (Italy). [invited]
46. Aghanim, N.: "Cluster cosmology with Planck". Cosmoprobe 2013, Lausanne, Juin 2013 [Invited].
47. Douspis, M.: "Cosmology from the SZ angular power spectrum from Planck". Cosmoprobe 2013, Lausanne, Juin 2013 [Invited].
48. Melin, J.-B.: "Cosmological constraints from Planck SZ cluster counts". Tracing Cosmic Evolution with Clusters of Galaxies, Sesto (Italy). July 2013. [invited]
49. Pointecouteau, E.: "Clusters of Galaxies and beyond: from Planck and Herschel to SPICA". SPICA's New Window on the Cool Universe, June 2013, Tokyo (Japan). [contributed]
50. Arnaud, M.: "The X-ray view of Planck SZ clusters". The universe as seen by Planck, ESLAB symposium, Noordwijk, April 2013. [invited]
51. Douspis, M.: "Cosmology from SZ cluster counts". 47th ESLAB Symposium, The Universe as seen by Planck, April 2013, Noordwijk (The Netherlands). [invited]
52. Macias-Perez, J.F.: "Planck all-sky Compton parameter map: power spectrum and higher order statistics". 47th ESLAB Symposium, The Universe as seen by Planck, April 2013, Noordwijk (The Netherlands). [invited]
53. Pointecouteau, E.: "Planck results on cluster pressure profiles". Snow Clusters 2013: Physics of Galaxy Clusters. March 2013, Snowbird, Utah (USA). [invited]
54. Pointecouteau, E.: "Planck pressure profiles of galaxy clusters from the SZ effect". The mass profiles of galaxy clusters from the core to the outskirts: the need for a multi-wavelength approach. March 2013, Trento, Italy. [invited]
55. Pointecouteau E.: "The Sunyaev-Zeldovich effect". X-ray astronomy: towards the next 50 years!, Milan (Italy), 1-5 October 2012. [invited]
56. Montier L., on behalf of the Planck Collaboration: "First characterisation of the Planck all-sky catalogue of high-z cluster candidates". Growing-up at high redshift: from proto-clusters to galaxy clusters, Madrid (Spain), 10-13 September 2012. [contributed]
57. Pratt G. W., on behalf of the Planck Collaboration: "Galaxy Clusters: What We Are Learning From Planck". Growing-up at high redshift: from proto-clusters to galaxy clusters, Madrid (Spain), 10-13 September 2012. [invited]
58. Aghanim, N.: "Recent results from Planck". TR33 Summer Institute: Particles and the Universe, Corfu, Septembre 2012 (Greece) [Invited].
59. Pointecouteau, E., on behalf of the Planck Collaboration: "Structures from the SZ signal in the Planck survey", From stars and black holes to cosmology, Kazan (Russia), 3-7 September 2012. [invited]
60. Flores-Cacho I., on behalf of the Planck Collaboration: "Pressure profiles of clusters with Planck". 39th COSPAR Scientific Assembly, Mysore (India), 14-22 July 2012. [Invited]
61. Douspis M., on behalf of the Planck Collaboration: "Planck SZ clusters". 13th Marcel Grossmann meeting, Stockholm (Sweden), 1-7 July 2012. [Invited]
62. Pointecouteau E., on behalf of the Planck Collaboration: "Baryons in clusters as seen in the Planck survey". 13th Marcel Grossmann meeting, Stockholm (Sweden), 1-7 July 2012. [Invited]
63. Pointecouteau E., on behalf of the Planck Collaboration: "Galaxy cluster detections in the PLANCK Survey". Proceedings of the ESA XMM-Newton SOC workshop "Galaxy Clusters as Giant Cosmic Laboratories", 21-23 May 2012 in Madrid (Spain), p.45, [Invited]

64. Flores-Cacho I., on behalf of the Planck Collaboration: "Detection and characterisation of the first Planck high-z candidates". Proceedings of the ESA XMM-Newton SOC workshop "Galaxy Clusters as Giant Cosmic Laboratories", 21-23 May 2012 in Madrid (Spain)., p.12, [Contributed]
65. Pratt G.W.: "Galaxy cluster mass profiles". Proceedings of the ESA XMM-Newton SOC workshop "Galaxy Clusters as Giant Cosmic Laboratories", 21-23 May 2012 in Madrid (Spain)., [Contributed]
66. Pointecouteau E., on behalf of the Planck Collaboration: "SZ Clusters in the Planck survey". Proceedings of the 47th Moriond's meeting Cosmology, La Thuile (Italy), March 10 - 17, 2012. [Invited]

### ACTIONS DE DIFFUSION

1. E. Pointecouteau: Conférence grand publique Rencontres Crozon Exposcience, juillet 2016 (Toulouse) : "Les grandes structures de l'Univers"
2. E. Pointecouteau: Entretien avec le journaliste Sylvain Guilbaud pour son article "La matière manquante de l'Univers cachée dans la toile cosmique", La Recherche 508, 2016.
3. Commissaire de l'exposition "L'Odyssée de la lumière", Mars à Octobre 2015, Cité des Sciences de la Vilette
4. G. Soucail: "De Hubble à James Webb: 25 ans d'observation de l'univers et du monde des galaxies", Cité de l'Espace (Toulouse), 2015.
5. E. Pointecouteau: Travaux encadrés du baccalauréat: rencontres avec des lycéens de terminal S, 2015 (Toulouse).
6. Article pour la revue L'Astronomie "Les résultats cosmologiques de Planck", N. Aghanim et H. Dole, Octobre 2013
7. Conférence grand public "Planck : que nous raconte la première image de l'Univers ?" au festival des deux infinis, Université Pierre et Marie Curie, Paris, septembre 2013

### **E.3. LISTE DES ELEMENTS DE VALORISATION**

Les activités MULTIVERSE sur les amas de galaxie ont permis la construction et la mise à disposition d'une base de données SZCluster-db (<https://szcluster-db.ias.u-psud.fr>) qui offre l'accès à un méta-catalogue d'amas de galaxies observés par l'effet SZ avec différentes missions : Planck/ACT/SPT/CARMA/AMI. L'homogénéisation des données, les cross-corrélation entre les catalogues ont été effectués pour la construction du méta-catalogue. Le service offre la visualisation multi-fréquences des amas du catalogue ainsi qu'un accès au méta-catalogue par un Service d'accès ConeSearch enregistré sur l'observatoire virtuel (VO). Le service a été ouvert en 2013, il est hébergé par IDOC à l'IAS.

Ce premier service offert à la communauté, ainsi que l'expertise sur les amas de galaxie en multi-longueurs d'onde a permis d'initier la proposition d'un nouveau service dédié aux amas de galaxies (MAGYC: Multi-wavelength, Galaxy Clusters) en collaboration avec l'OCA. Ce service offrira un accès à des cartes (Planck, ROSAT, SDSS), à des catalogues d'amas (SZDB, MCXC, Wen12), ainsi qu'une recherche d'amas dans les données SDSS, est en cours d'évaluation pour être labellisé par l'INSU.

## E.4. BILAN ET SUIVI DES PERSONNELS RECRUTES EN CDD (HORS STAGIAIRES)

Identification				Avant le recrutement sur le projet			Recrutement sur le projet				Après le projet				
Nom et prénom	Sexe H/F	Adresse email (1)	Date des dernières nouvelles	Dernier diplôme obtenu au moment du recrutement	Lieu d'études (France, UE, hors UE)	Expérience prof. Antérieure, y compris post-docs (ans)	Partenaire ayant embauché la personne	Poste dans le projet (2)	Durée missions (mois) (3)	Date de fin de mission sur le projet	Devenir professionnel (4)	Type d'employeur (5)	Type d'emploi (6)	Lien au projet ANR (7)	Valorisation expérience (8)
Hurier Guillaume	H	<a href="mailto:ghurier@cefa.es">ghurier@cefa.es</a>	09/2016	Doctorat	France	Thèse	IAS	Postdoc	24	31/08/2015	Chercheur	Académique	Postdoc	Non	Oui
Flores-Cachon Inés	F	—	10/2015	Doctorat	Espagne	Postdoc	IRAP	Postdoc	24	31/01/2015	manipulatrice en électroradiologie	Privé	Employé	Non	Non
Le Brun Amandine	F	<a href="mailto:amanbrun@cea.fr">amanbrun@cea.fr</a>	09/2016	Doctorat	Royaume Uni	Thèse	SAP/CEA	Postdoc	24	15/09/2016	Chercheur	Académique	Postdoc	Oui	Oui