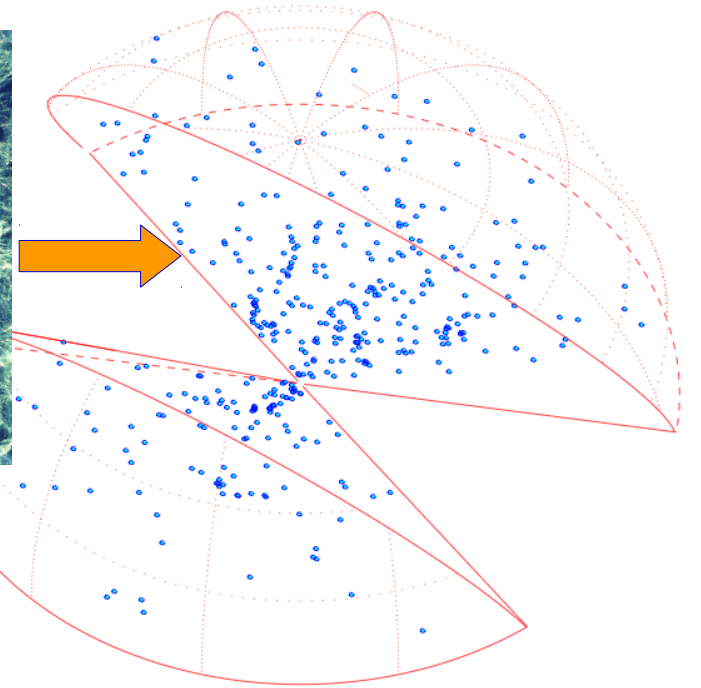
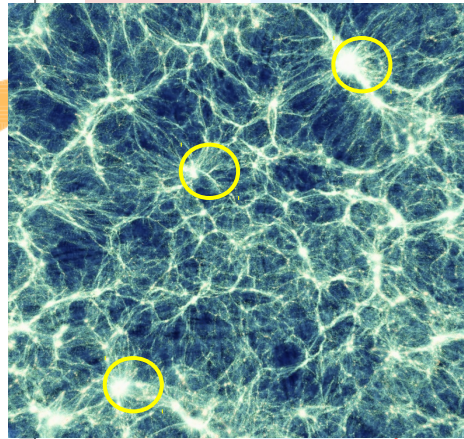
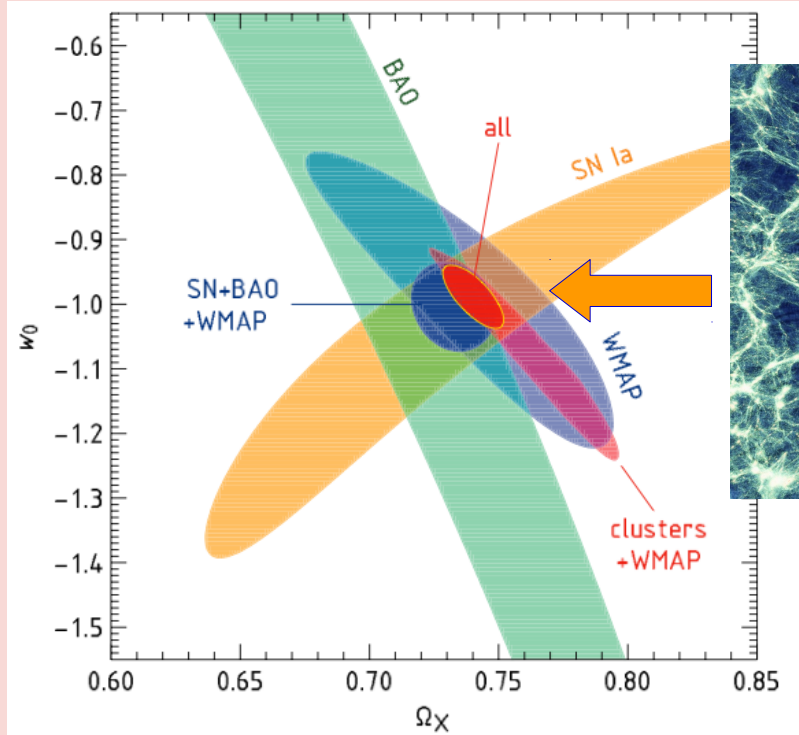

Les relevés X pour la cosmologie : X-CLASS, XXL, eROSITA

Nicolas Clerc
IRAP – GAHEC

Journées nationales PNCG 2017
16 novembre 2017 - Lyon

Amas de galaxies : une sonde cosmologique

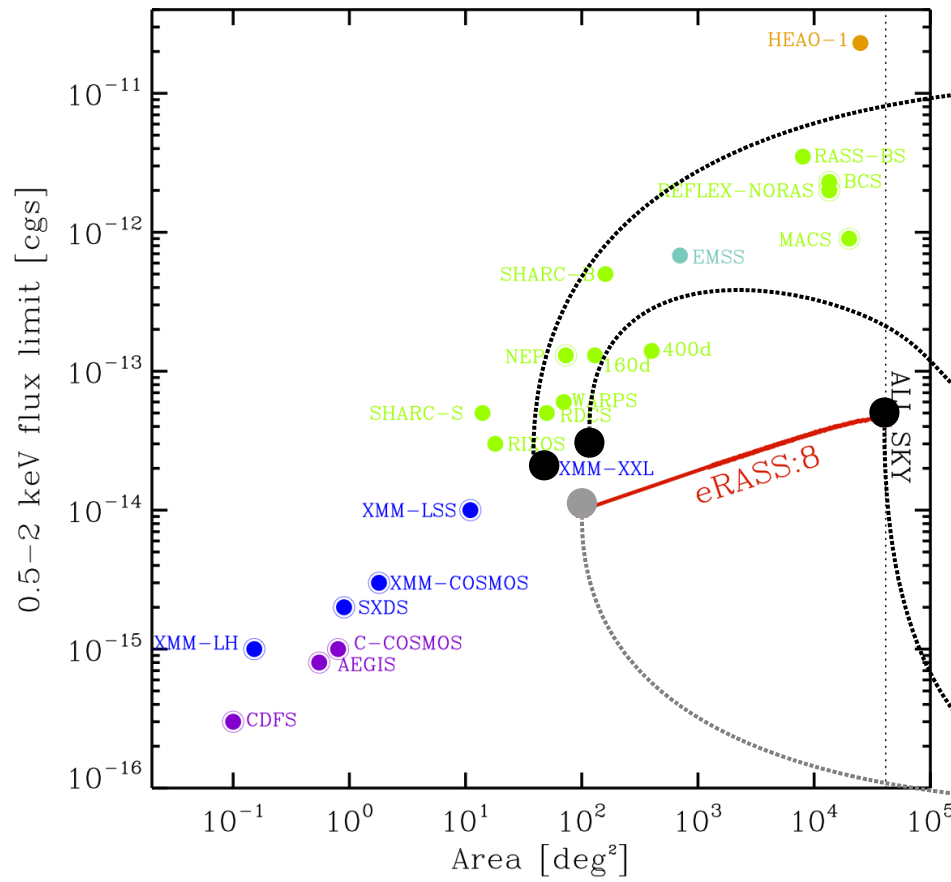


Croissance des structures + expansion
Fonction de masse des halos $n(M, z)$
Physique du gas émetteur de rayons X

Structure à grande échelle
 $\xi(s ; z)$ et/ou $P(k ; M, z)$
Les amas sont des traceurs ultra-biaisés

Plan

PNG2017 - 16.11.2017 - N.Clerc



I. XMM-XXL

- ♦ 2014 – 2019
- ♦ 50 deg² XMM-Newton
- ♦ Consortium international

II. X-CLASS

- ♦ 2010 – ...
- ♦ Archives XMM-Newton
- ♦ Équipe internationale

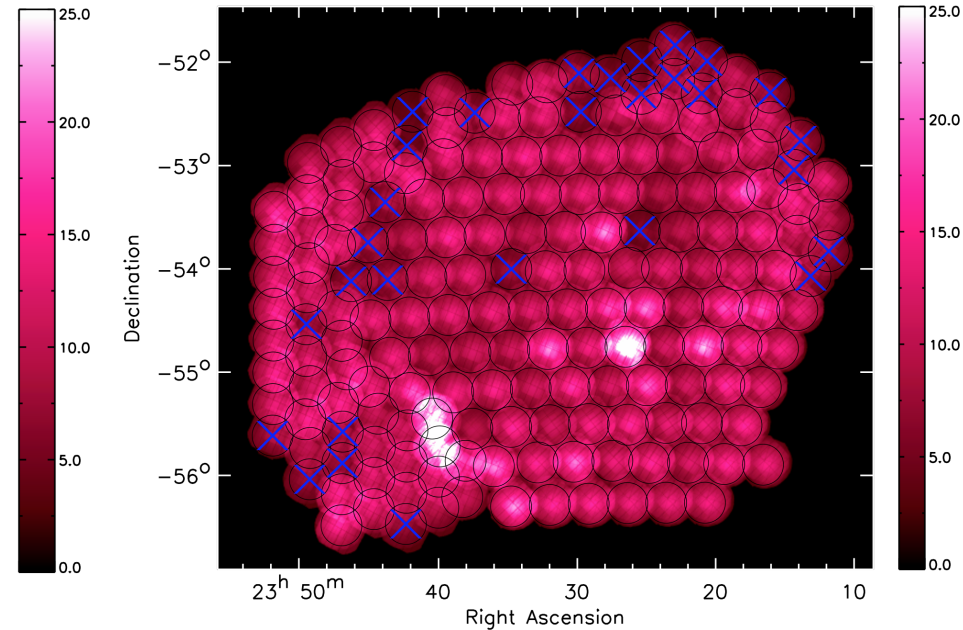
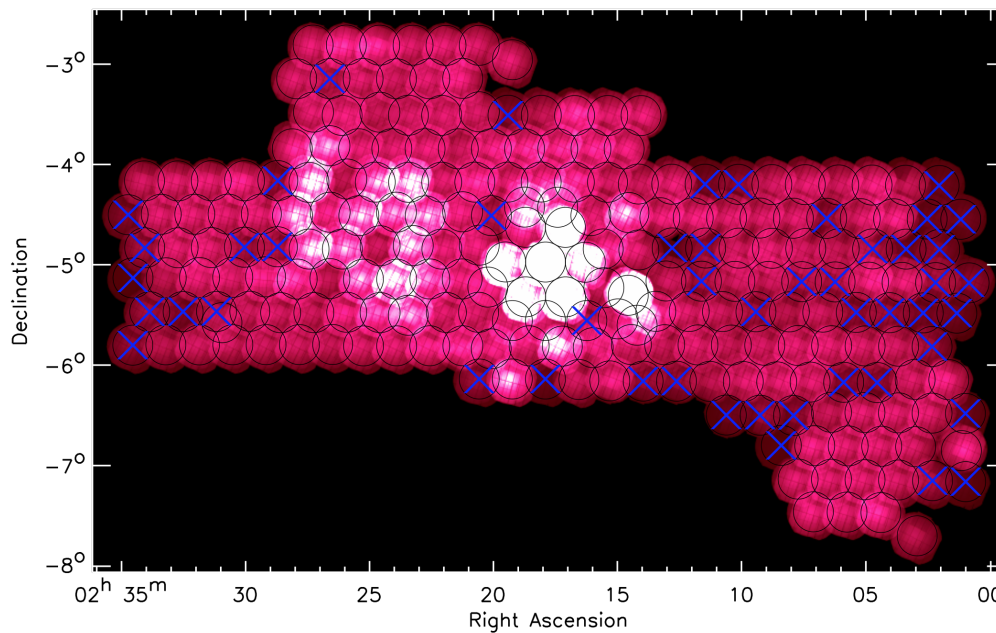
III. eROSITA

- ♦ 2019 – 2023+
- ♦ Nouvel instrument, 4 π
- ♦ Consortium allemand (50 %)

I. XMM-XXL

Relevé $2 \times 25 \text{ deg}^2$, porté par la communauté,
Contraintes cosmologiques sur l'énergie sombre

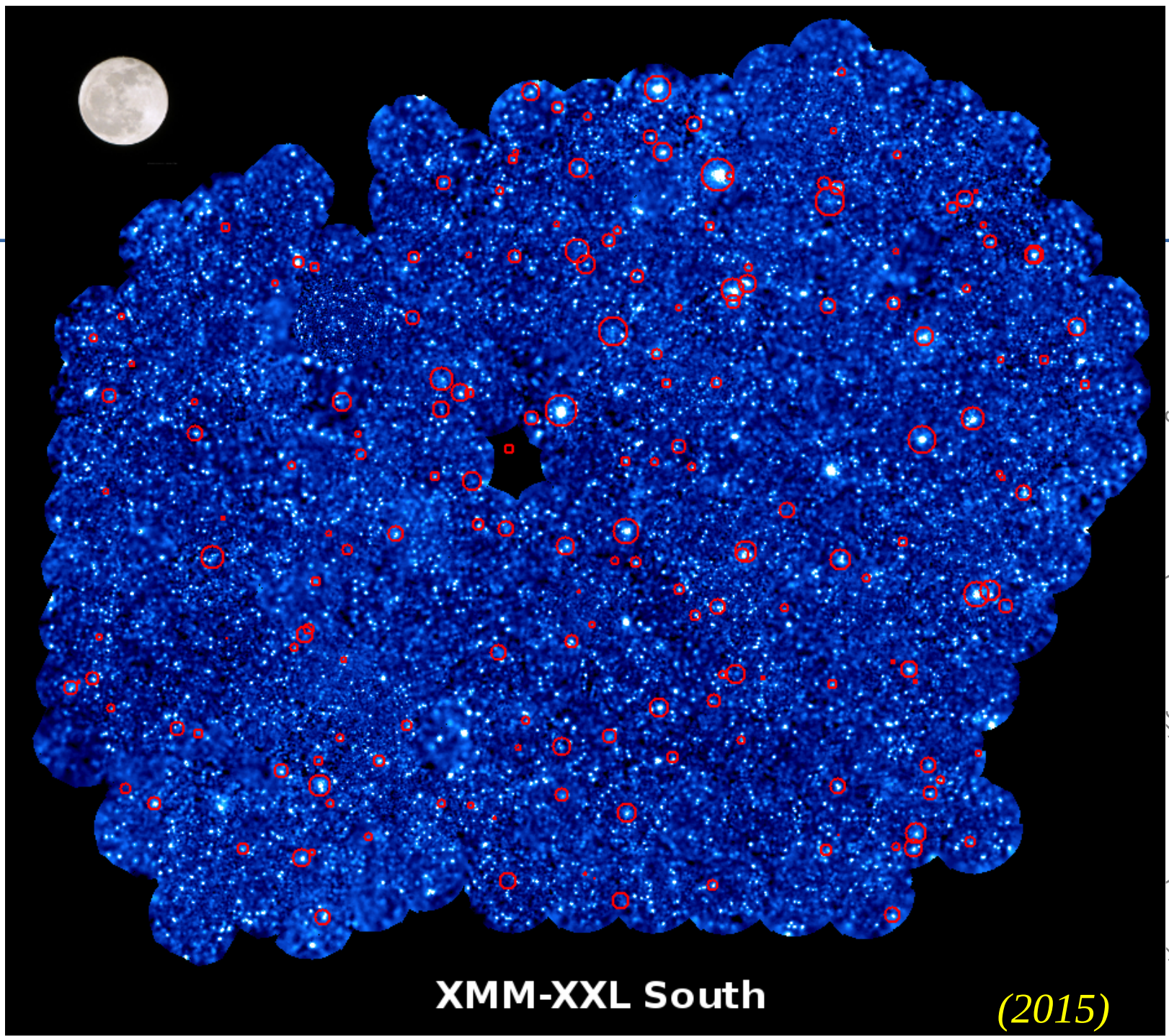
Le relevé XMM-XXL



XXL paper I – Pierre et al. (2016)

- **Deux champs de 25 deg² – 6.9 Ms XMM – consortium international 100+ chercheurs**
 - XMM VLP qui a suivi le XMM-LSS (2000 – 2010)
 - 540 observations complétées en 2013
 - Suivi dédié en imagerie, spectroscopie, multi- λ
 - Première série de 14 papiers publiée en juillet 2016 dans A&A
- **Un grand relevé en X de profondeur médiane pour étudier l'énergie noire**

PNGG2017 - 16.11.2017 - N.Clerc



XMM-XXL South

(2015)

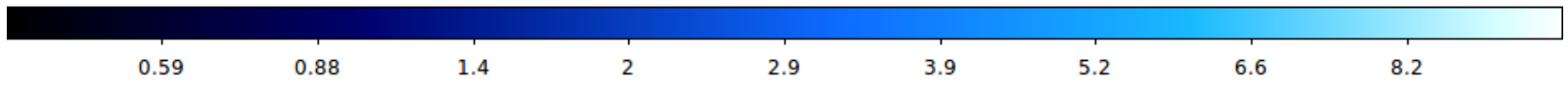
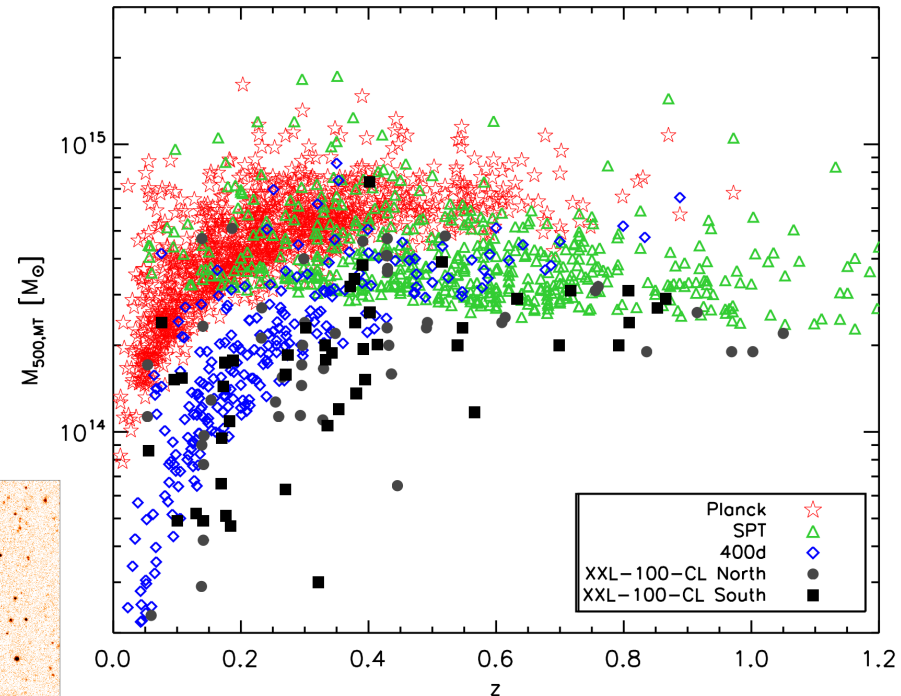


Image: M. Pierre (CEA/Saclay), F. Pacaud (Bonn), XXL

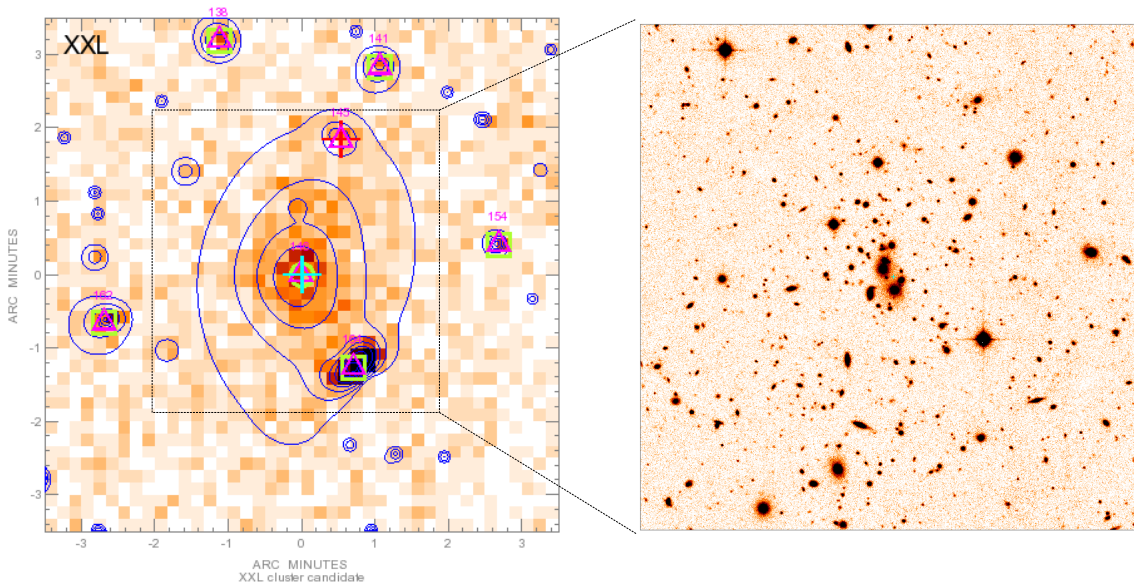
Les 100 amas XXL brillants

- **Au-delà de 3×10^{-14} ergs.s⁻¹.cm⁻² dans 1'**
- 97% complétude en redshift spectroscopique
- Mesures de $L_{X,500}$, T_X et M_{tot}
- Fonction de sélection et mesures soignées



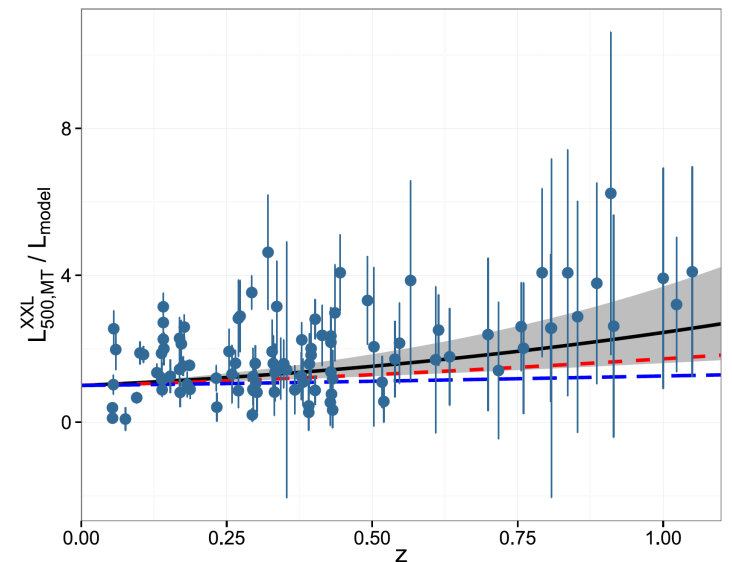
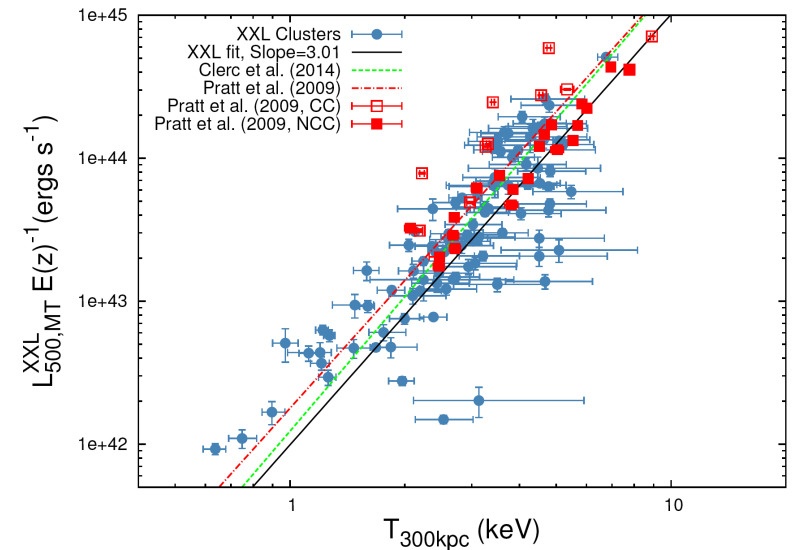
XXL paper II – Pacaud et al. (2016)
XXL paper XIV – Lidman et al. (2016)

← Amas XXL à $z = 0.429$ en X et visible

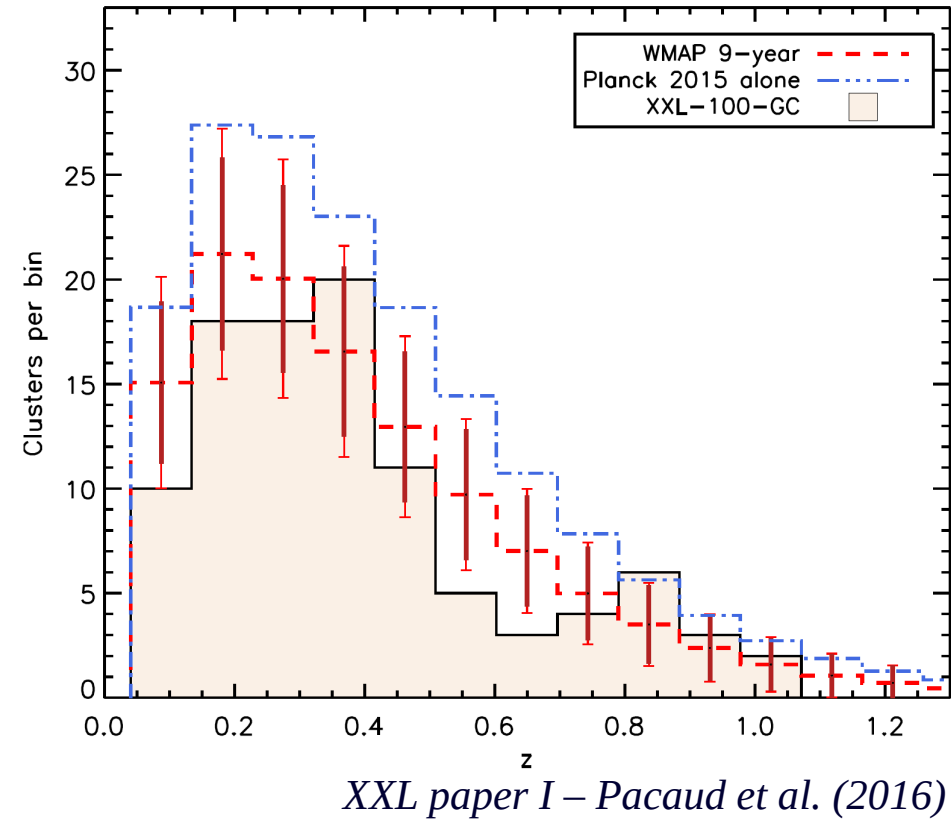
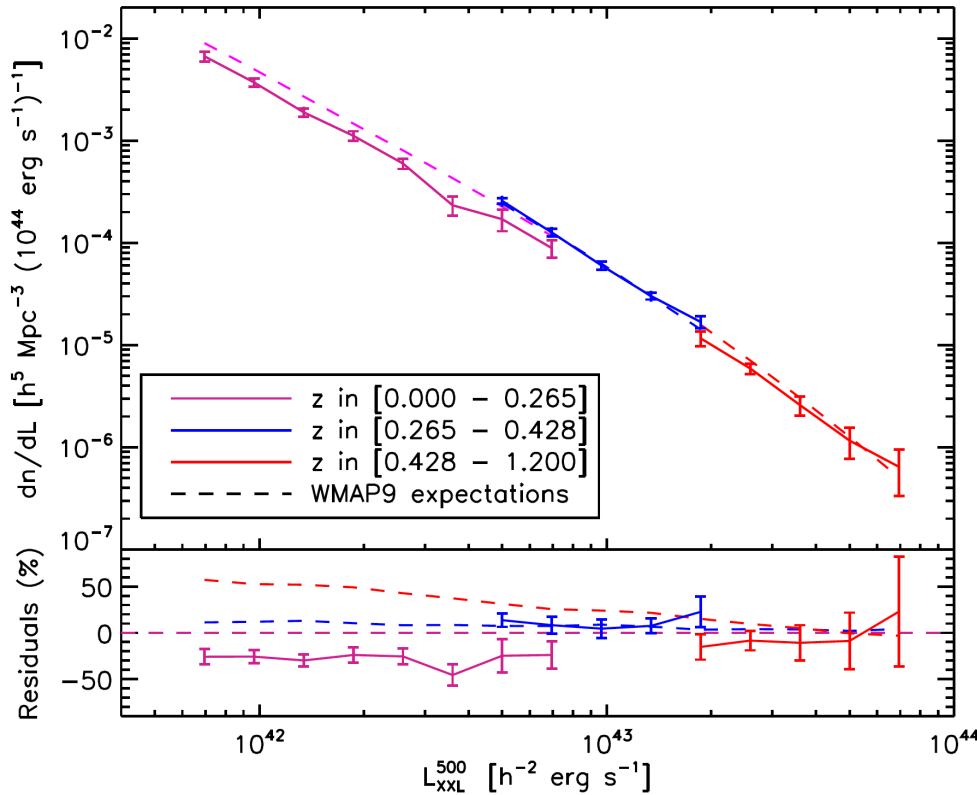


La relation L_x-T_x des amas XXL-100

- **Relation d'échelle cruciale qui révèle la physique non gravitationnelle dans les groupes et amas**
 - Très étudiée, mais échantillons et sélections très différents
- **Pour les 100 amas XXL brillants :**
 - Pente plus élevée que prédiction auto-similaire 2.65 ± 0.15
 - Évol. compatible avec auto-sim. $E(z)^{1.46 \pm 0.80}$
- Calcul auto-cohérent de la relation L-T prenant en compte les effets de sélection



Distribution de la population XXL-100



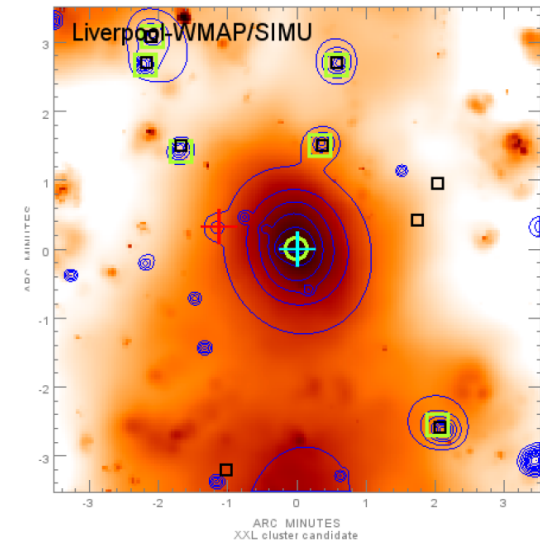
XXL paper I – Pacaud et al. (2016)

- **Le déficit d'amas par rapport au CMB Planck est confirmé par l'échantillon ~ complet C1+C2: 365 amas sur ~50 deg²**
 - *XXL paper XX – Adami et al. 2017, in press.*

En cours de réalisation [XXL]

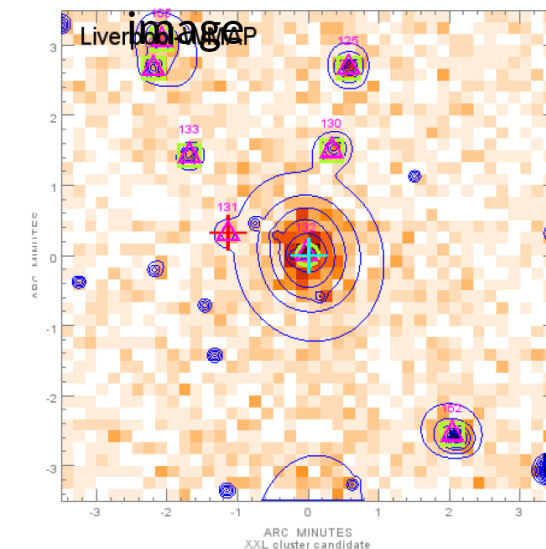
- Etudes de la population des galaxies d'amas
- Usage intensif de simulations hydrodynamiques pour le calcul des fonctions de sélection et les tests cosmologiques (→)
- Calculs cosmologiques finals sur les amas
 - *Comptages et fonctions de corrélations*
- Articles sur les AGN : environnement, distribution 3D
- Publications série II : ~20 articles soumis fin 2017

OWLS simulations (X-ray flux)
McCarthy, Le Brun, 2014



Photon band image + X-ray Wavelet Contours.
log10(photons/cm2/sec): -9.500, -6.500

10ks XMM photon image



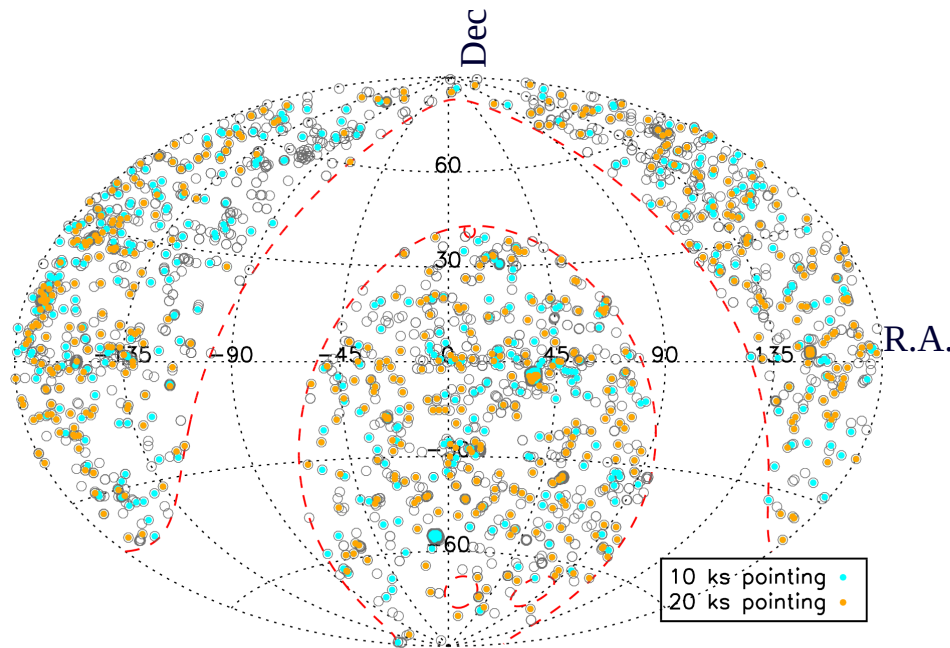
Raw X-ray photon image + X-ray Wavelet Contours.

II. X-CLASS

Relevé sur tout le ciel extragalactique,
« *Spin-off* » & complément à XXL

X-CLASS

- XMM CLuster Archive Super Survey
- Cataloguer les sources étendues dans plus de 3700 pointés choisis dans l'archive XMM (~130 deg² après sélections) jusque 1/2012.



Clerc et al. 2012: *1^{er} catalogue de 421 détections étendues + analyse*

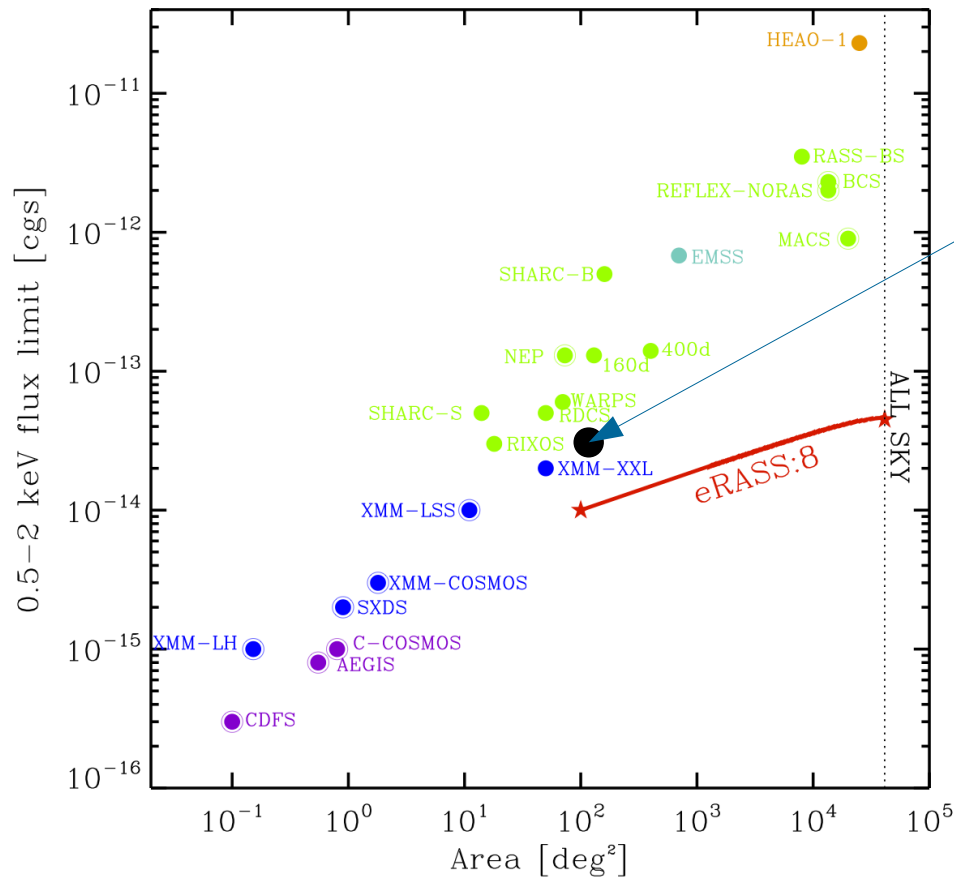
Ridl et al. 2017: *suivi optique (voir suite)*

A l'heure actuelle: *1322 détections*

In progress: *retraitement de tous les pointés XMM avec la nouvelle version du pipeline XXL (Faccioli et al. prep.)*

X-CLASS

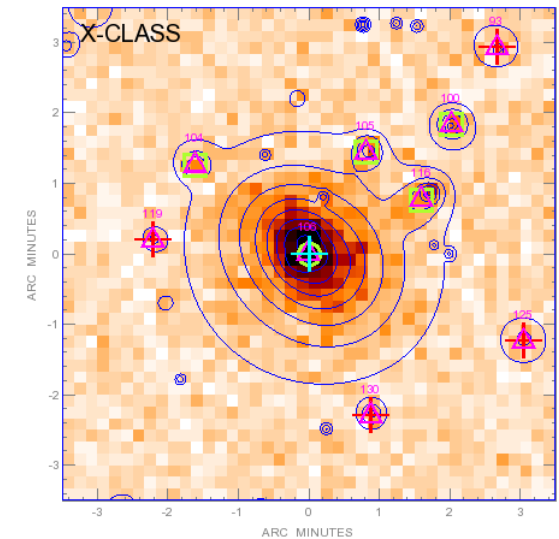
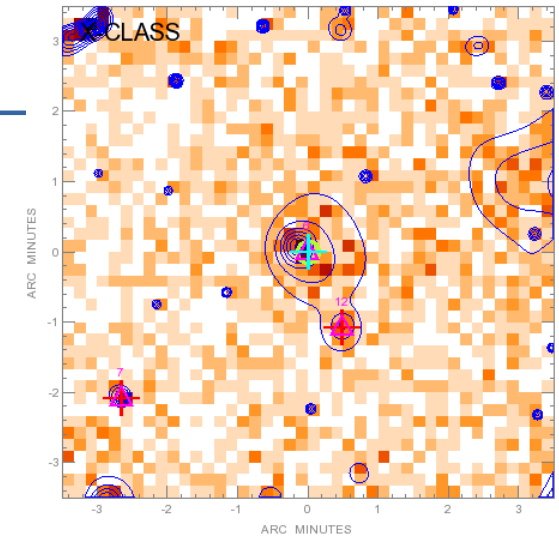
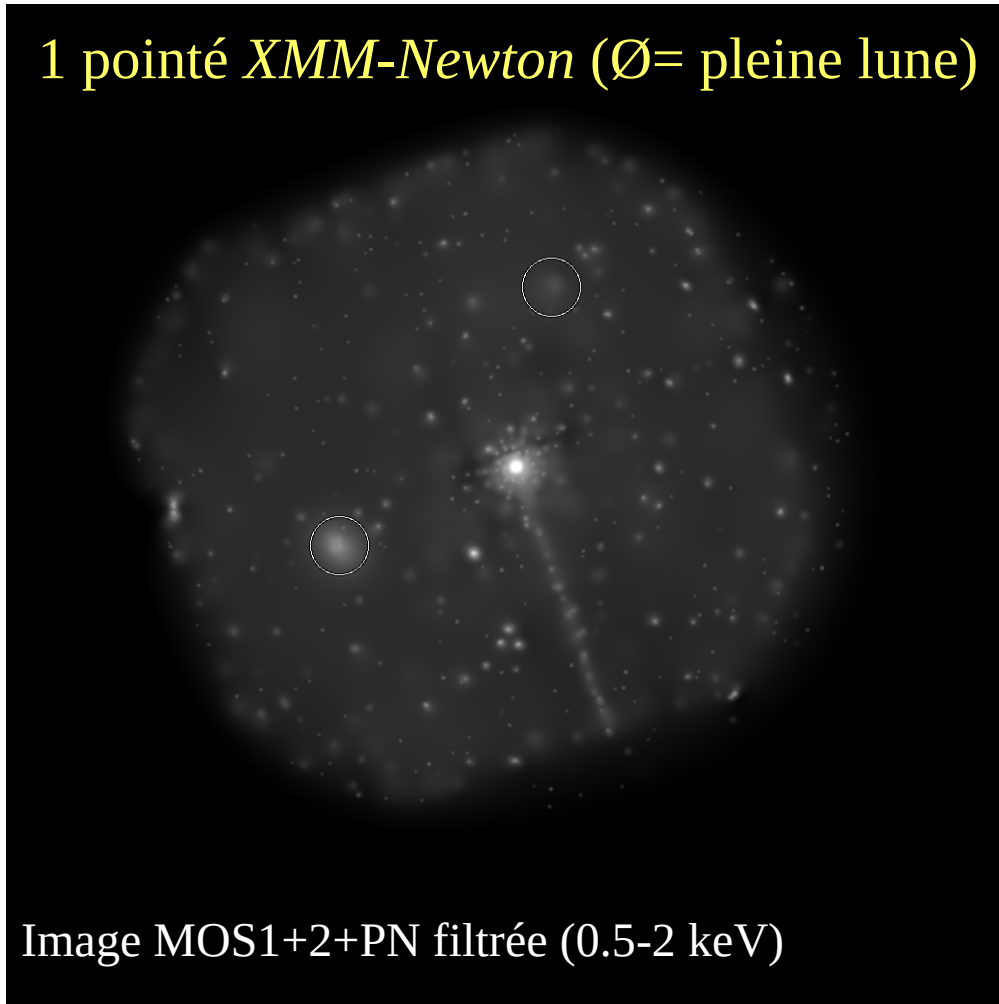
PNGC2017 - 16.11.2017 - N.Clerc



- Un relevé en X de sources étendues
- Caractérisation automatique et visuelle de leur nature (amas ou autre)
- Réparti sur tout le ciel extragalactique
- La fonction de sélection est connue et sous contrôle
 - *Chaque choix de design privilégie cet aspect à l'exhaustivité (e.g. ≠ XCS)*
- Base de données puissante et dédiée hébergeant le catalogue
 - Point crucial dans le projet
 - Nécessite investissement

X-CLASS

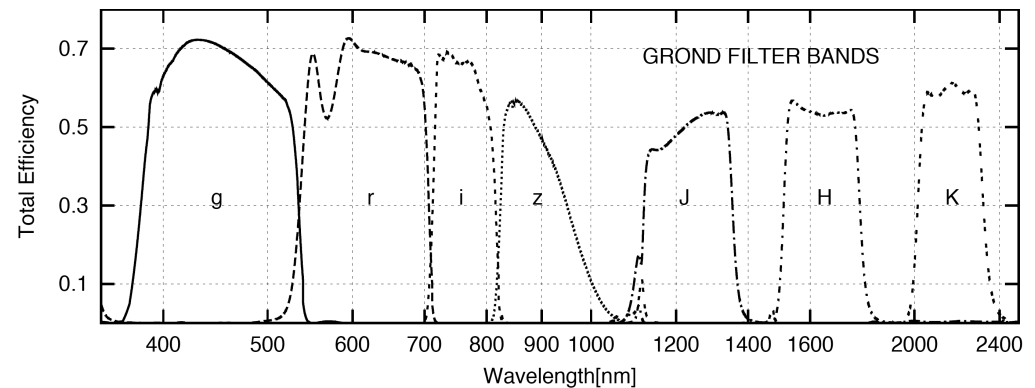
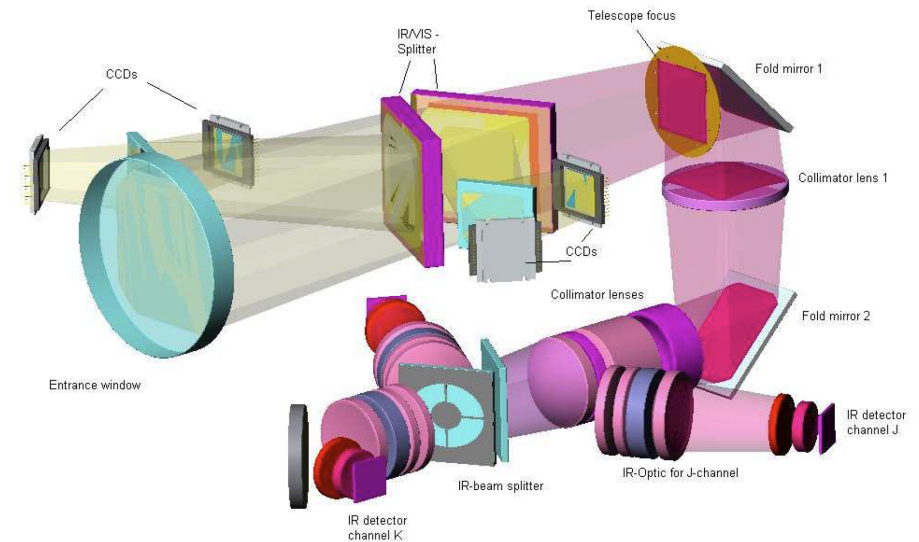
1 pointé *XMM-Newton* (\varnothing = pleine lune)



+ veto optique (relevé Palomar peu profond de tout le ciel) pour identifier les galaxies proches, les étoiles saturées, etc.

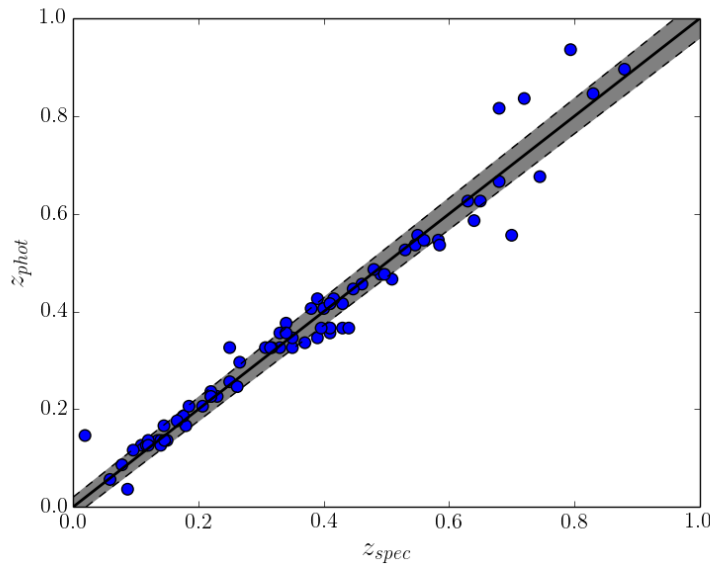
Suivi optique : programme X-CLASS/GROND

- Instrument GROND@2.2m/La Silla
- Acquisition *griz+JHK* simultanée
- 448 objets XCLASS $\delta < +20^\circ$
- 6 semestres, achevé en Mars 2016
- Un *défi* en 2012...
- Ridl, et al. (2017) : 232 photo-z d'amas



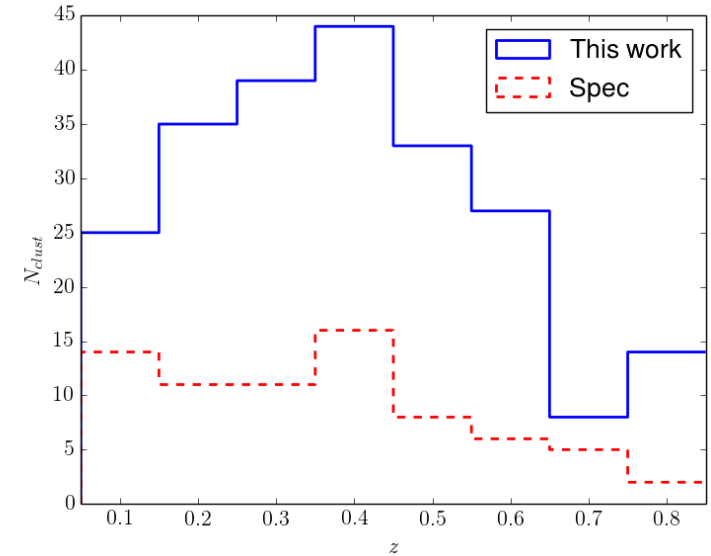
X-CLASS/GROND: résultats

PNG2017 - 16.11.2017 - N.Clerc

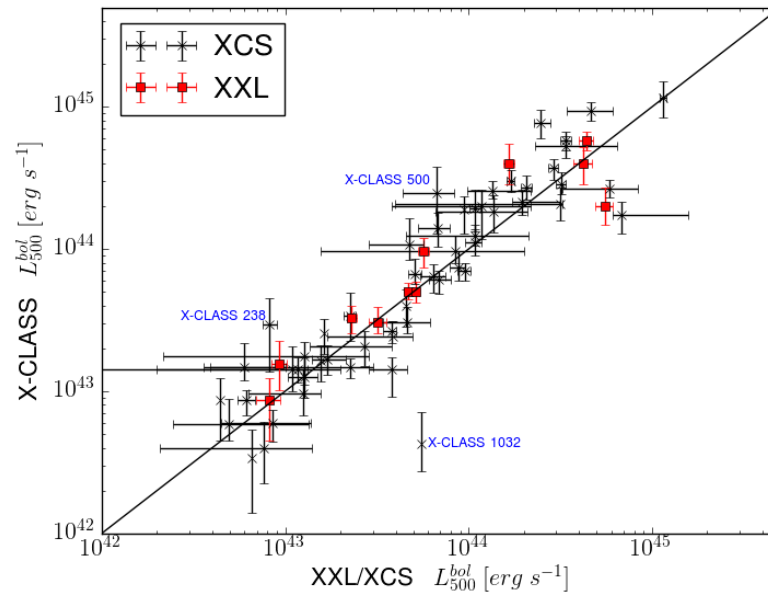


$\Delta z / (1+z) = 2\%$

Jusque $z \sim 0.8$

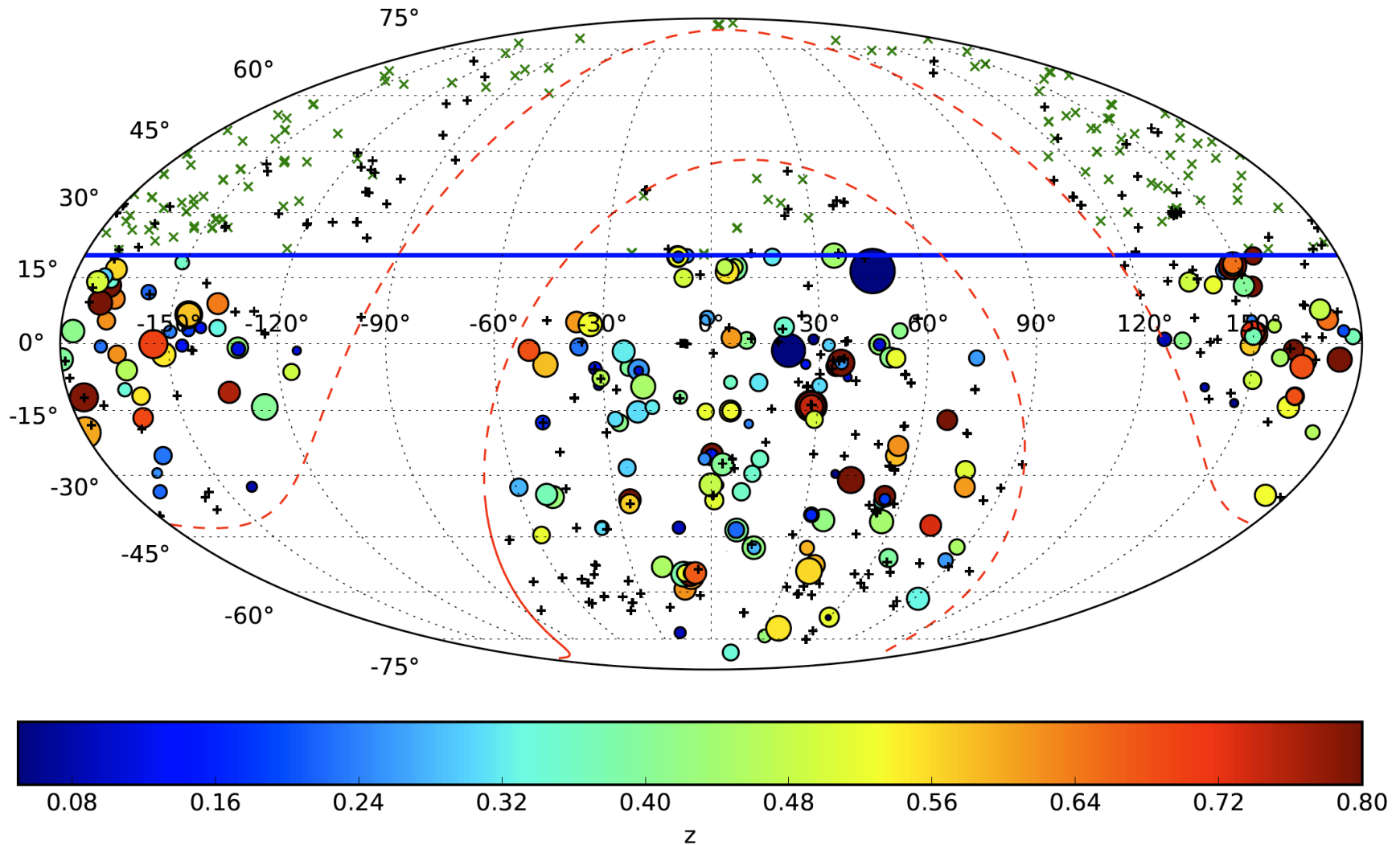


Luminosités dans r_{500}



Ridl et al. (2017)

X-CLASS/GROND: résultats



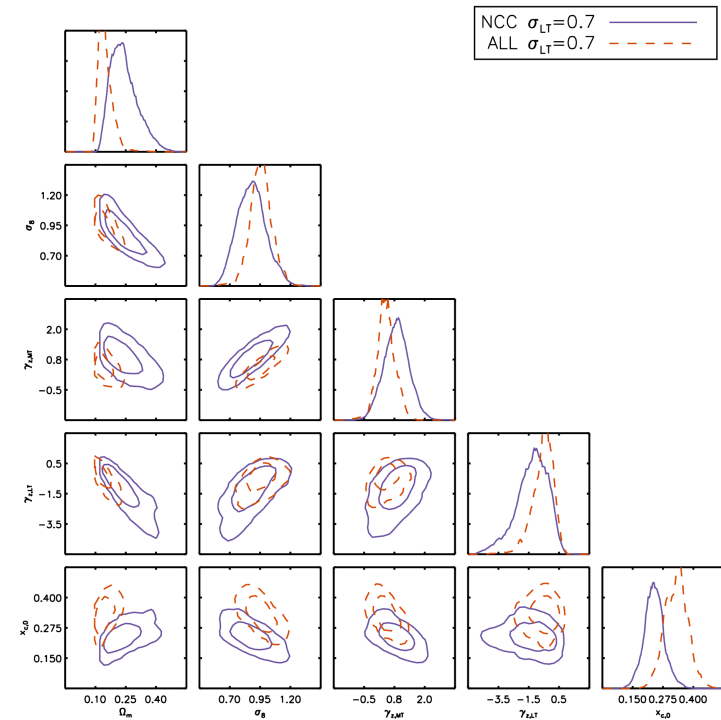
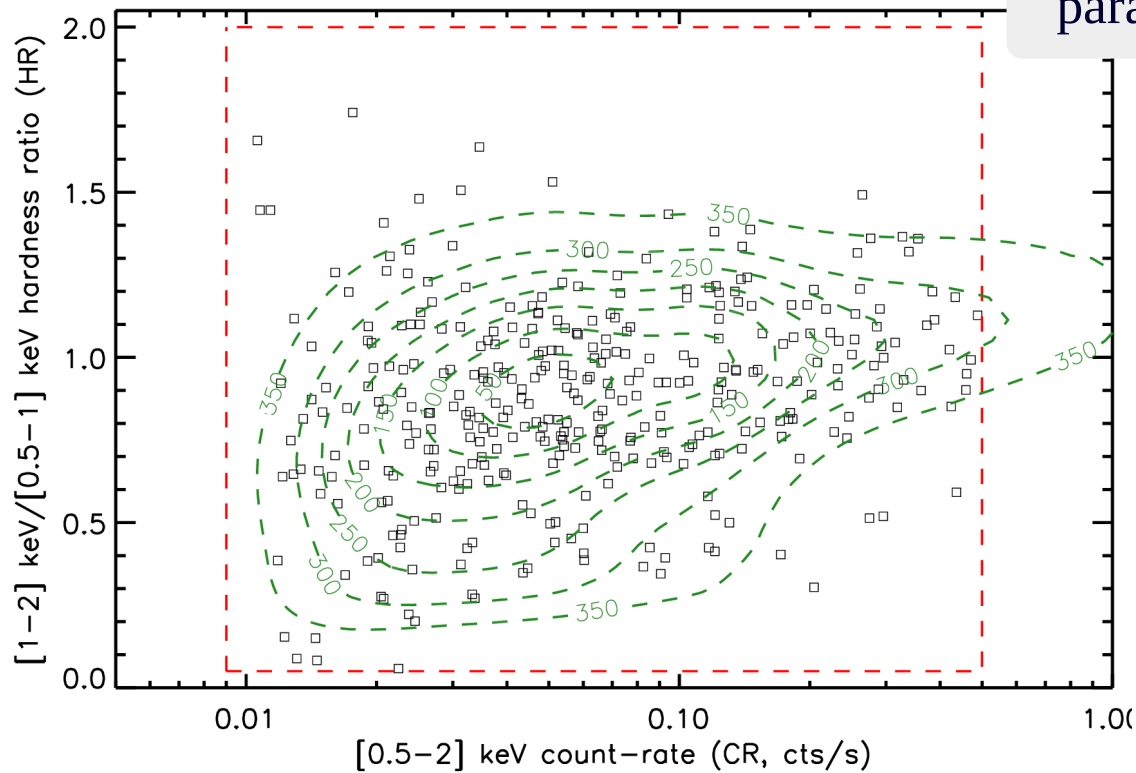
PNG2017 - 16.11.2017 - N.Clerc

En cours de réalisation [X-CLASS]

- Mise à jour majeure du catalogue et de la DB ('Renaissance' run)
 - $\sim 2000 - 2500$ amas
- +200 champs GROND, dont 24 candidats $z > 0.8$ [$t_{\text{exp}} \sim 1-5\text{h}$]
- Mesures spectro X ($\rightarrow T_X$), relations d'échelle
- Mesures photo/morphologiques X (f_X, L_X, β -model, ...)
- Relations d'échelle X/optiques, biais de sélection
- **Analyse cosmologique de l'échantillon avec la méthode z -CR-HR**
- Recensement des galaxies et groupes très proches ($z < 0.05$)
- Signatures des lentilles gravitationnelles (*stacks*, arcs, etc.)

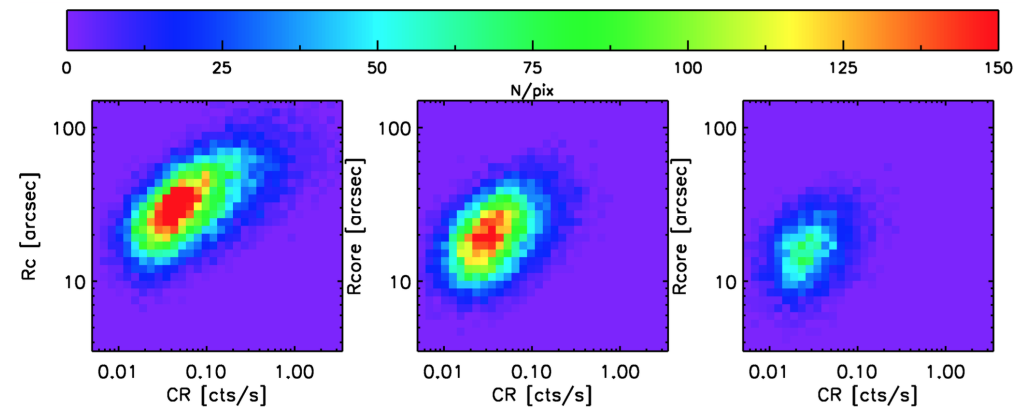
Analyse X-CLASS-1 : 1^{ers} résultats

- Modélisation dans le domaine des observables brutes
- Contraintes sur un ensemble de paramètres dont Ω_m , σ_8 ...



Vers un modèle d'observable synthétique

- Espace 4-d des observables brutes (flux X, couleur X, redshift optique, taille X)
- Fonction de sélection naturellement incluse
- Maximisation rapide de la vraisemblance et/ou MCMC
- Monte-Carlo sur des simulations pour collecter les barres d'erreur
- Pas de mesures de masse, mais une (auto-)calibration des relations d'échelle



NC et al., 2012

Pierre, Valotti, ..., NC, et al. accepted in A&A

Pierre, Valotti, ..., NC, et al., submitted

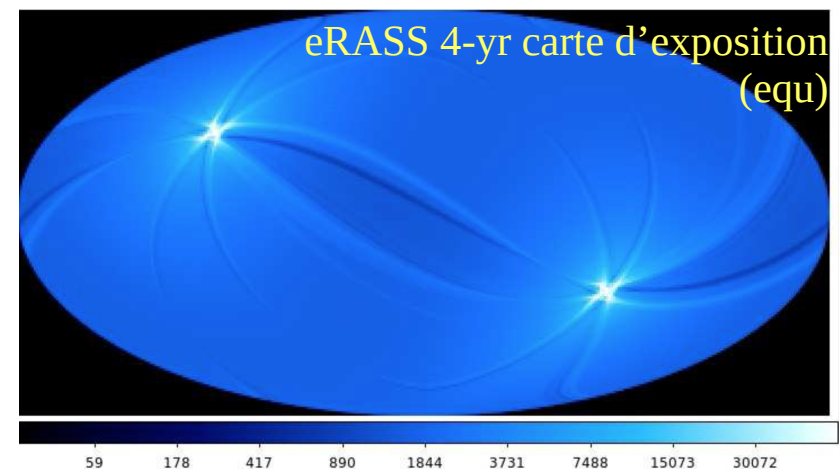
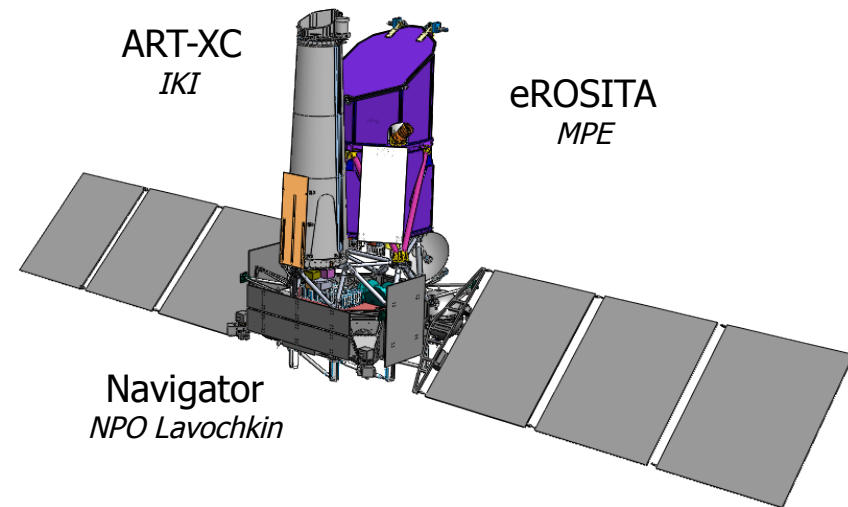
Ridl, NC et al. (in prep.)

III. eROSITA

Le recensement de *tous* les amas de galaxies massifs dans l'univers,
Cosmologie de précision avec les amas

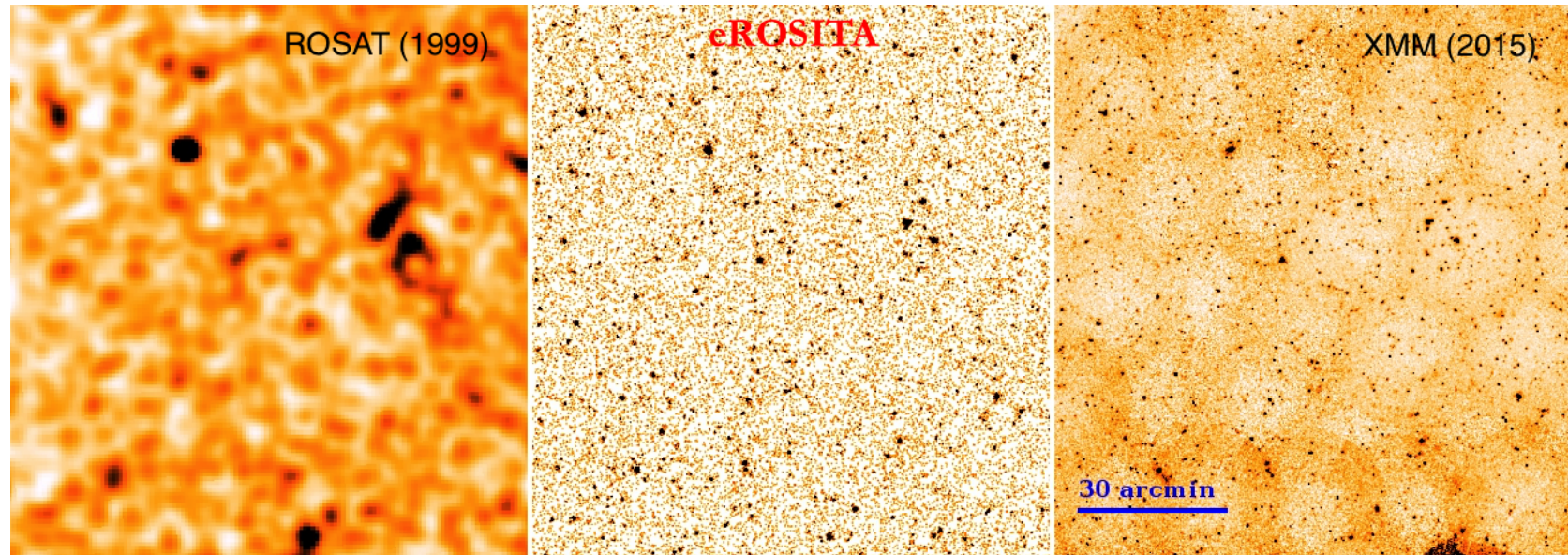
Demain: le relevé *eROSITA* all-sky survey

- **Départ vers L2 de Baïkonour (fin 2018)**
 - 3 mois de vol vers L2: *vérification, étalonnage*
 - 4 ans de relevé: *8x tout le ciel*
 - 3.5 ans observations pointées ($\sim 20\%$ GTO)
 - Données partagées MPE (DE)/IKI (Ru)
 - PI: P. Predehl, PS: A. Merloni (MPE)
- **Plus que l'héritier de ROSAT!**
 - FoV = 0.8 deg^2
 - PSF: $28''$ (moyenne des scans) ; $16.1''$ (sur l'axe)
 - $A_{\text{eff}} \sim \text{XMM} @ 1 \text{ keV}$
 - $0.3\text{-}10 \text{ keV}$; $\Delta E/E \sim 20\text{-}50$
- ***eROSITA* est prêt**
 - Etalonné, performances conformes, complètement assemblé, intégration en Russie



Credit: J. Robrade (Hamburg Obs.)

Le relevé *eROSITA* all-sky survey



- **Limites sources ponctuelles** : $\sim 10^{-14}$ (0.5-2 keV) et 2×10^{-13} (2-10 keV) ergs/s/cm²
- **Limites sources étendues** $\sim 3-4 \times 10^{-14}$ ergs/s/cm²
- Recensement sur une très large surface des amas de galaxies (10^5) et noyaux actifs de galaxies (3M) dans les bandes X molles et dures

Merloni et al. 2012, Clerc et al., subm. to A&A – Image credits: MPE, eROSITA_DE, XMM-XXL

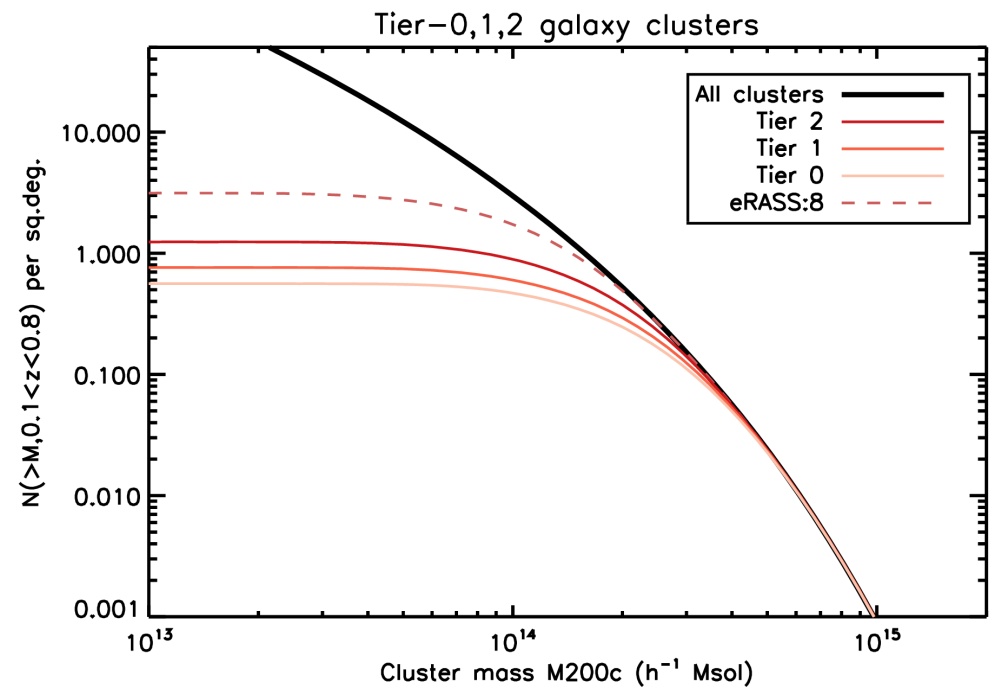
Suivi des amas de galaxies multi-niveaux

▪ Hémisphère nord: SDSS-IV (+V)

- Tier 0: RASS et sources XMM (surtout des AGN et amas)
- Tier 1 (& 2) : suivi eRASS:1 (étendues et ponctuelles)

▪ Hémisphère sud: ESO/4MOST (+SDSS-V)

- Télescope VISTA (4m)
- Notamment : relevés AGN et amas
- Période 2023 – 2027



SDSS-IV surveys (2014 through 2020)

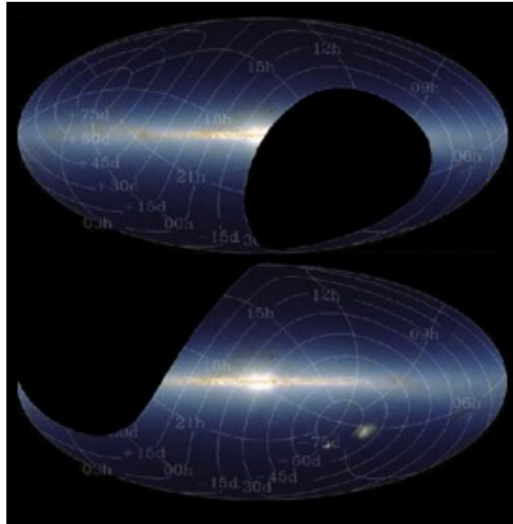
APOGEE-2



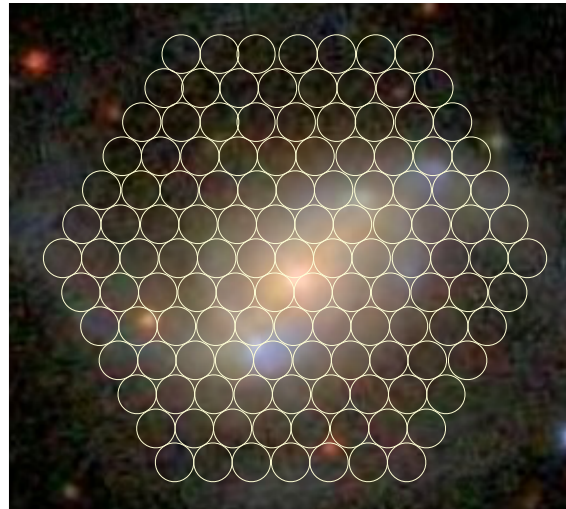
MaNGA



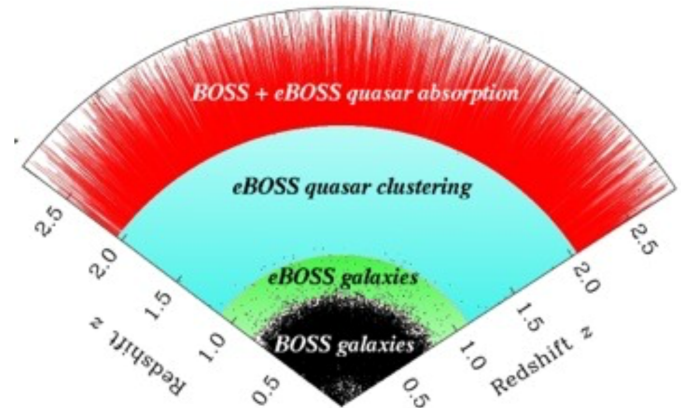
**eBOSS,
TDSS,
SPIDERS**



Maps hundreds of thousands of individual stars in the Milky Way.



Maps 10,000 nearby galaxies.



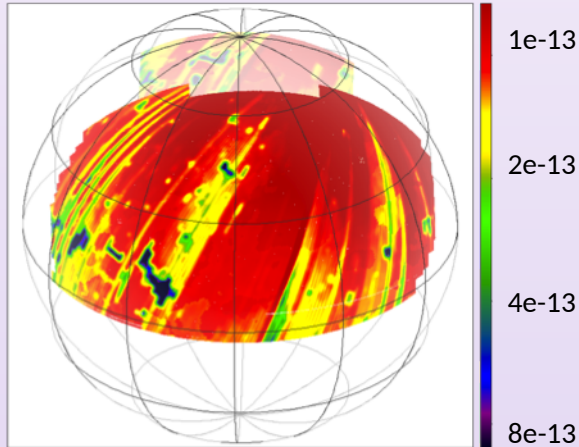
Maps the Universe of galaxies and quasars. Especially quasars.

galaxy evolution & dark matter

dark energy & cosmology

Tier 0 (pre-eRosita): CODEX (RASS+RedMapper)

RASS-faint sensitivity ergs/s/cm^2



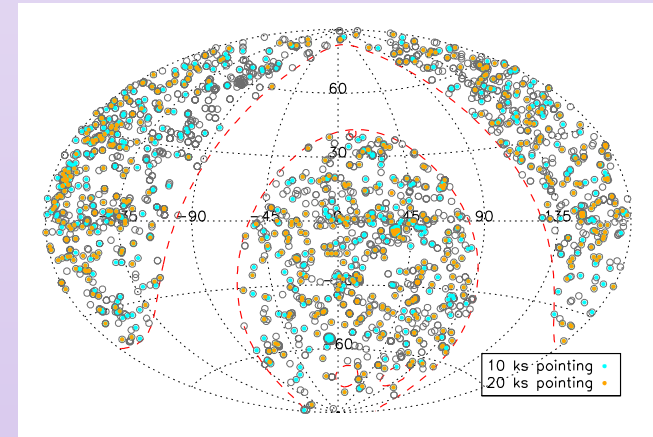
SDSS ugriz+RedMapper

Objectif: confirmation spectroscopique de 75 % des amas CODEX (=4500) + dispersions de vitesses « statistiques » pour les sous-échantillons massifs

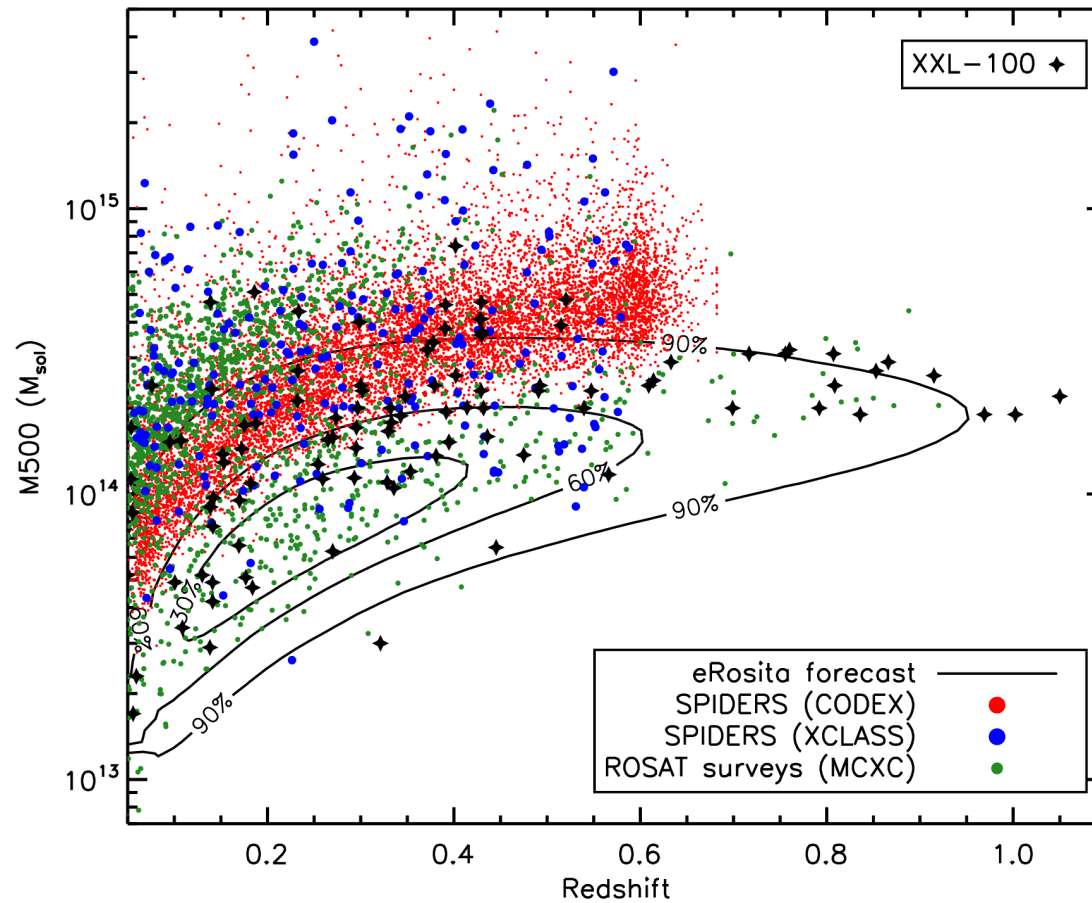
- Sélections optimale des galaxies cibles
- $\sim 10,000 \text{ deg}^2$
- Séquences rouges, $0.1 < z < 0.6$
- Masse médiane $\approx 4 \times 10^{14} M_{\text{sol}}$

Pre-eRosita: RM-XCLASS (XCLASS+RedMapper)

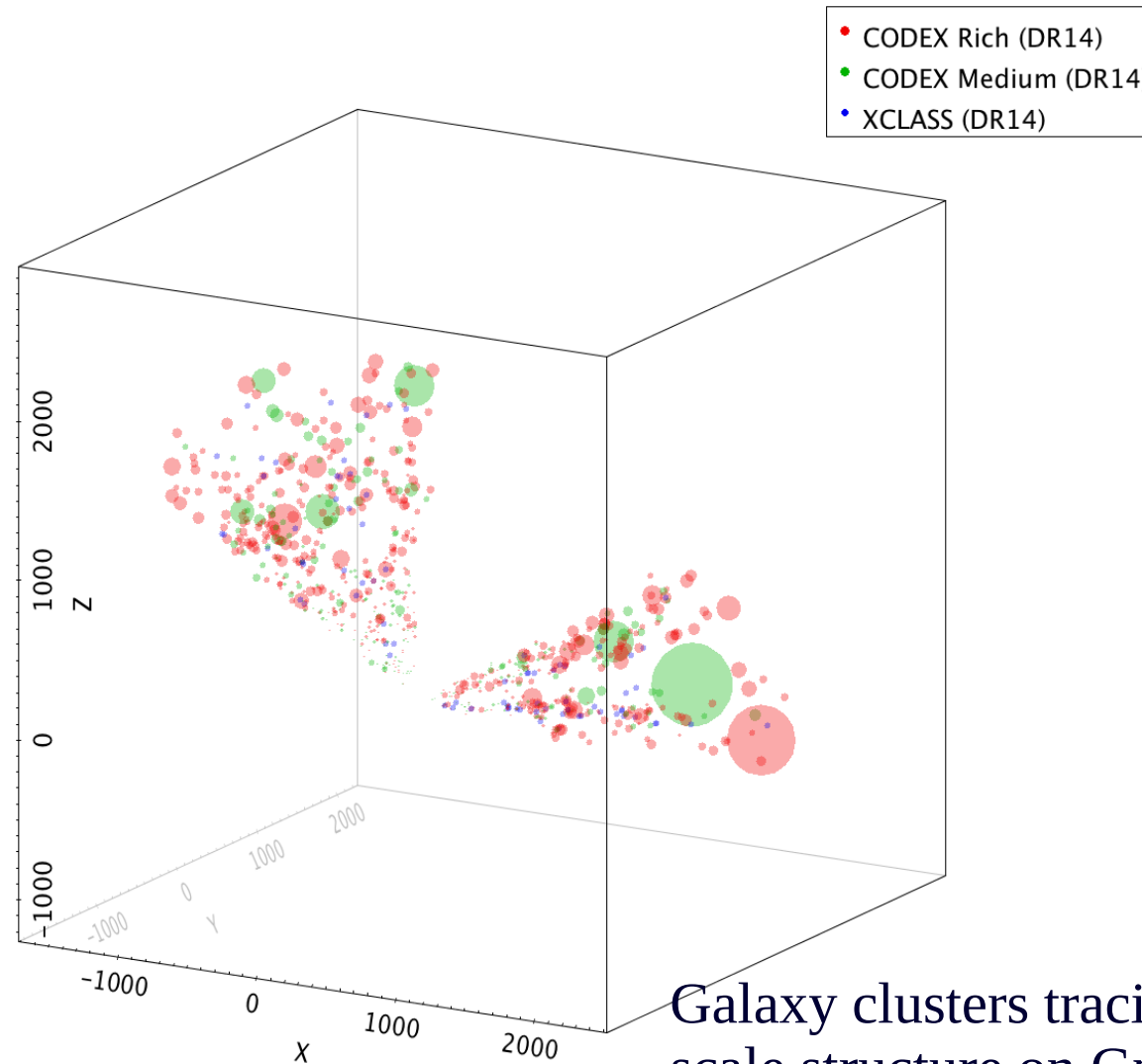
- Amas XCLASS associés au catalogue RedMapper (*Sadibekova+14*)
- 278 amas dans la surface SDSS ($\sim 50\text{-}60 \text{ deg}^2$)
- Caractérisation X haute-fidélité (XMM)
- Moyennement massifs (ok pour relations d'échelle)



RASS, ROSAT, eRASS, XMM-XXL, SPIDERS



Current status (SPIDERS DR14)



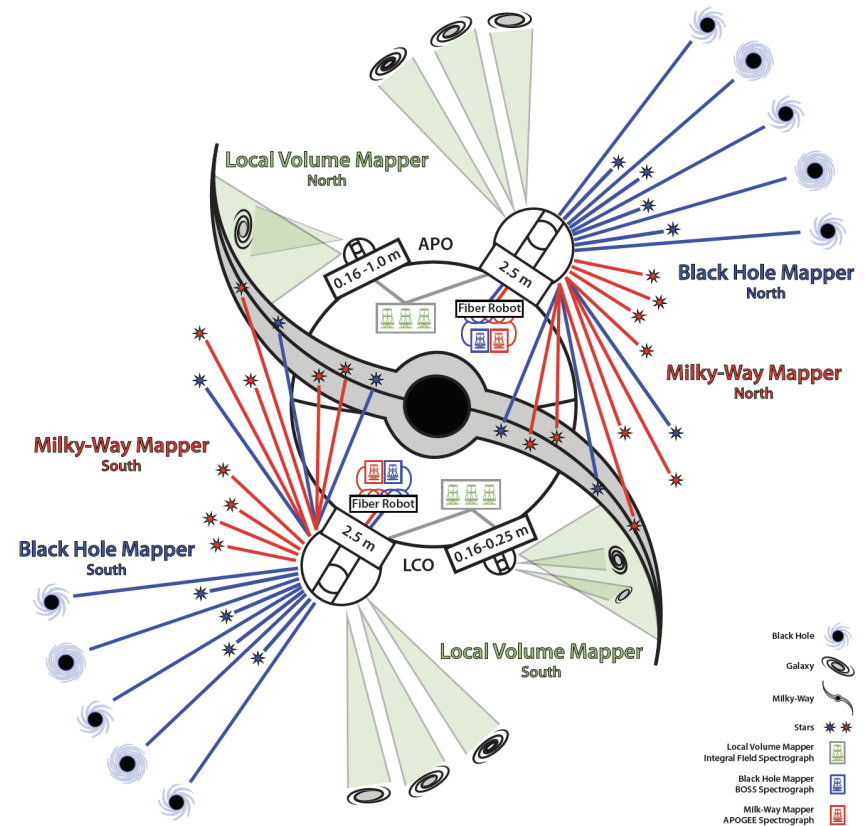
Galaxy clusters tracing the large-scale structure on Gpc scales
NC et al. (2016) ; NC in prep.

En cours de réalisation [SPIDERS]

- **BCGs dans SPIDERS:** identification, morphologie et environnement; masses stellaires vs. masse du halo.
- Meilleures estimées des **masses dynamiques** pour SPIDERS
 - *Étalonnage des masses & cosmologie avec la fonction de masse*
- **Distribution 3D des amas ;** estimation du biais des amas
 - *Tire parti des grands volumes et statistiques*
- **Catalogues** and jeu de données
 - *Échantillons haute-fidélité, inspectés visuellement, confirmés par spectroscopie optique*
 - *Valeur ajoutée : masses d'amas, propriétés des BCG, masses stellaires*

After Sloan 4: après 2020

- Le futur de SDSS se prépare
- SDSS-V c'est :
 - Une infrastructure d'observation
 - Un programme scientifique de grands relevés
 - Un consortium, une collaboration
 - *Notamment, 80k spec-z dans 10k amas X*
- En phase de définition et de levée de fonds (2020 → 2025)
- + d'infos : [arXiv 1711.03234](https://arxiv.org/abs/1711.03234) (Kollmeier, et al.)



Adapté de A. Merloni (MPE)

Conclusion / perspective à 2-3 ans

- **Recensement des amas et redshifts : statistique**
 - *Saut quantitatif en vue ! Ex : $10^3 \rightarrow 10^5$ amas ; $o(10^6)$ spectres optiques*
- **Mesures et caractérisation des observables : précision**
 - Observables brutes \rightarrow Pseudo-masses \rightarrow Masses
 - Accès à des variables de contrôle : environnement 10-100 Mpc, morphologie (*assez nouveau !*)
- **Modélisation adaptée à ces nouveaux échantillons : contraintes**
 - Distribution dans l'espace des observables brutes et pseudo-masses (*original !*)
 - {XXL, XCLASS} et {SPIDERS/eROSITA} recouvrent (M, z) ; la zone commune permet étalonnage croisé.

Merci

After Sloan 4: relevés spectroscopiques « panoptiques »

- « **Milky Way Mapper** »

- Programme mené par Jennifer Johnson (OSU)
- Scientifiques relevé : M Ness (MPIA), J. Bird (Vand.), N. De Lee (NKU), A. Tkachenko (Leuven)
 - *Genèse de la Galaxie*
 - *Astrophysique stellaire*
 - *Complément spectroscopique pour Kepler, Gaia, TESS*

- « **Black Hole Mapper** »

- Programme mené par Scott Anderson (UW)
- Scientifiques relevé : Y. Shen (UIll), A. Merloni (MPE)
 - *Reverberation mapping de grande échelle*

Le suivi *eROSITA*

- « **Local Volume Mapper** »

- Programme mené par Niv Drory (Arizona)
- Scientifiques relevé: K. Kreckel (MPIA), G.Blanc (OCIS)
 - *IFU optique ultra-large, focus sur le milieu interstellaire*

