

Rapport sur l'article

“Sub-structure and merger detection in resolved Sunyaev-Zel'dovich images of distant clusters “ par R. Adam, O. Hahn -, F. Ruppin et al.

M. Arnaud (26/05/2017)

Note : je ne commente pas les tests de la section 4, en dehors de mes compétences.

L'article présente deux nouvelles techniques pour détecter des sous-structures dans les cartes SZ, inspirée de techniques utilisées sur les cartes en rayon X, adaptée aux nouvelles données SZ type NIKA. Elles sont testées sur des simulations numériques et appliquées aux amas observés avec NIKA. Le but est de mettre en évidence des caractéristiques de l'état dynamique de l'amas comme des discontinuités de pression ou des compressions localisées du gaz.

Le but scientifique est très important et la technique très novatrice, particulièrement opportune pour tirer partie des progrès en imagerie SZ. Je pense cependant que l'article pourrait avoir beaucoup plus d'impact, en étant plus pédagogique et convaincant. De fait, le paragraphe en début de section 2.2 « ... *namely a Gaussian Gradient Magnitude (GGM) filter and a Difference of Gaussians (DoG) filter. They allow us to identify discontinuities in the pressure distribution and pressure peaks at specific scales, respectively.* » ne me semble ni évident conceptuellement dans le texte, ni démontré de façon assez convaincante en pratique.

Les techniques de « gradient filtering » adaptée ici sont loin d'être *routinely applied to X-ray imaging* comme indiqué dans l'introduction. A ma connaissance la technique GGM a été présentée sur des observations pour la première fois par Sanders et al 2016 et utilisée que pour des données Chandra particulièrement profondes dans le centre de 4 amas uniquement, i.e avec des données de très haut S/N et de grande dynamique spatiale (résolution 1" sur plus de 20' de champ pour des amas locaux). La communauté étudiant le milieu intra-amas n'a donc pas du tout l'habitude de "voir" et d'interpréter des images ainsi filtrées, d'autant plus que le lien entre les cartes filtrées GGM et la mesure des gradients me semble loin d'être intuitive. Comment apparaît un choc ? une compression ?

La technique DoG, si je comprend bien correspond au « unsharp-masking », méthode plus classique maintenant (introduite en 2013). Cependant elle a été utilisée essentiellement que sur le même type de données, pour mettre en évidence surtout des structures à très petites échelles dans une dimension comme les « ripples » ou des edges. Plusieurs échelles peuvent être testées sur les données Chandra. Ici une seule semble pouvoir être considérée. En quoi cela limite la méthode ? Pour quelles structures est-ce adapté ? Généralement avec les cartes SZ type NIKA (15" à $z \sim 0.5$ sur 2'), a-t-on la résolution et la dynamique d'échelle spatiale nécessaires pour les 2 méthodes ?

L'application aux données et même aux simulations apparaît peu convaincante en première lecture. On ne voit pas fondamentalement de différence entre les cartes GGM de MACS J0717.5+3745, PSZ1 G045.85+57.71 et CL J1226.9+3332 d'état dynamique très différent : un anneau plus ou moins régulier dans les 3 cas. De même la différence entre les cartes GGM de l'amas très relaxé et du major merger des simulations n'est pas criante, même avant 'observation' : un anneau dans les deux cas (simplement de rayon différent). Ce qui ressort visuellement des cartes DoG est essentiellement le ou les pics centraux (avec un seul pic pour le triple merger des simulations). De façon générale il est difficile de relier les structures et la physique associée (très riches) soulignés dans le texte (Sec 3.3, 5.3) et ce qui est effectivement visible dans les figures (exemple détaillé ci-dessous).

Je suggère de :

- 1) Expliciter les phénomènes physiques qu'on vise à (mieux) révéler, compte tenu de la résolution des cartes SZ, e.g choc, zone de compression etc... C'est forcément différent de celles des études à la Sanders et al. (i.e. physique des fusions plutôt que physique du cœur). Définir les sous-structures correspondantes dans les cartes en intensité, mais surtout dans les cartes de gradient (ce qui est moins évident). Je comprends qu'il s'agit des chocs (i.e discontinuité de P, *edge* dans les cartes SZ et *ridges* dans les cartes de gradient), zone de compression (comment se distingue une zone de compression d'un choc ?), ellipticité (signature en gradient ?), amas secondaires, autres ? Préciser la notion de *scale of pressure gradient*. Est ce l'échelle typique de variation de pression d'un facteur X par exemple ? Quelle est l'échelle typique pour les amas visés ($z > 0.5$) ? Cela peut faire l'objet d'une petite section au début de la section 2, avant Sec 2.2.
- 2) Relier plus clairement structures en P/Y_SZ et en gradient de P/Y et signature sur les cartes SZ filtrées.
 - a) Sec 2.2.1 Je ne vois pas franchement pas comment Eq 4 et Eq 5 donne le gradient des cartes ni ne comprend le *therefore* dans la phrase « *MGGM, is therefore a measurement of the projected pressure gradient on scale θ_0* ». Le *Gaussian kernel*, $G\theta$, est il en fait le gradient d'une fonction gaussienne ? (comme utilisé dans l'article de Sanders) ? même si c'est le cas le lien entre l'équation 4-5 et une carte de gradient n'est pas trivial. Est ce que cela peut s'expliquer avec les mains ? ou sur un exemple simple (par exemple un des toys modèles ci dessous?) ou en faisant référence à des explications ou figures dans un article d'origine de la méthode ? Est ce que cela ne serait pas mieux de travailler sur le logarithme des cartes (cf article de Sanders) ?
 - b) Je suggère de montrer comment les sous-structures physiques apparaissent dans les cartes filtrées (GGM et/ou DoG) d'abord sur des toys modèles, avec les paramètres de filtrage adapté au SZ (défini Sec 2.2.3). Par exemple je suggère : un amas sphérique à profil gNFW (ie amas relaxé), idem elliptique, deux amas avec zone de compression au milieu, une saut de pression (choc) dans un profil radial. Identifier si possible (ou discuter) les « signatures » des différents types de sous-structures dans ces cartes. L'exemple et la discussion d'un amas sphérique serait particulièrement utile comme référence pour l'étude de toute sous-structure (et aussi la discussion des limitations en échelle spatiale, point 3 ci dessous). En particulier aux échelles considérées ici, le gradient de pression n'est il pas dominé par le gradient radial d'un profil type gNFW ?
 - c) Simulations : Figure 1 : Rajouter des profils de P et gradient de P et/ou des profils SZ et gradient SZ, (dans les secteurs ou coupes pertinents) reliant carte filtrée et structure en pression/Y qu'elle est supposée mettre en évidence. Cela devrait rendre plus convaincant par exemple les différences signalées dans le texte entre RG361 00188, RG474 00172 : les deux *main pressure gradients in the east and west regions* du major merger ne semblent pas plus significatives au vu des seules figures que le *marginal excess in the south* du *quasi perfect ring of radius matched to the filter scale* de l'amas relaxé. Les toys models devraient aussi aider à interpréter la figure 1 des simulations, ie dans des cas "réels" plus complexes. Je suggère aussi des figures plus grandes, deux panneaux sur une largeur de page, ce qui donnerait une page par amas pour les simulations par exemple. Il faudrait aussi optimiser la palette de couleur des cartes SZ.
 - d) Dans toutes les figures : rajouter des labels identifiant chaque caractéristique discutée dans le texte (cf Fig 3 et Fig 15 de Sanders et al, MNRAS, 460).
- 3) Discuter explicitement (sur les toys models et les simulations) les questions d'échelles et les limitations de la dynamique spatiale couverte par les cartes SZ. Il me semble que le fait de filtrer à une seule échelle « utile » limite forcément l'information. En particulier :
 - a) L'anneau qu'on voit dans les cartes GGM ne correspond pas t'il pas surtout au rayon ou le gradient du profil radial de pression correspond à l'échelle du filtrage (comme c'est le cas pour l'amas relaxé si je comprend bien)?
 - b) De même il me semble que les cartes DoG naturellement révèlent un pic central car l'échelle

correspond à la taille typique du cœur de l'amas principal. Ils révèlent des autres pics correspondant aux sous-amas si leur centre est resté assez compact. Est ce que la présence de plusieurs pics n'est pas tout aussi évidente (et même plus évidentes) dans les cartes non filtrées. Quelles autres informations les cartes DoG donnent-elles en pratique ? Est-ce qu'une simple analyse en ondelette ne serait pas mieux ?

- c) Il est fait mention plusieurs fois dans le texte de *null of the gradient region* (dans les cartes GGM). Si je comprend bien c'est en fait quand le gradient n'est plus à l'échelle du filtre, et pas nul en soit. Le texte est très confus sur ce point.
- 4) Mieux justifier les conclusions de l'analyse des 3 amas NIKA, par exemple par l'extraction de profils dans des secteurs. En fait, comme souligné plus haut le lecteur non expert va trouver que les cartes filtrées des 3 amas (Figure 7) se ressemblent beaucoup et les données apparaissent sur-interprétées. En particulier :
- a) l'interprétation des cartes GGM et DoG de PSZ1 G045 en terme de la fusion d'un sous-amas au sud me semble loin d'être justifiée et le deuxième paragraphe très obscur. Je ne comprend pas comment il peut être déduit de la carte GGM *that the pressure is approximately constant along the line-of-sight, over a wide area from the X-ray core to the southwest extension*. Je suppose que la phrase est mal écrite et que c'est la pression le long de la ligne de visée qui est supposée constante? que cela est déduit de la nullité de la carte GGM au centre ? Est-ce que cela peut être le résultat d'une échelle de gradient sortant du filtre ? Même en admettant une pression constante et donc que *the temperature rises in the southwest sector*, (en tenant compte du profil de densité en X) d'où vient l'affirmation, dans le dernier paragraphe, d'une *gas compression on the southwest* (donc en densité). Des extractions de profils devraient clarifier ces points.
 - b) MACS0717. C'est un cas emblématique. Malheureusement, il est très difficile de suivre l'interprétation, basée sur une comparaison entre la localisation des structures GGM et DoG et observées à d'autres longueurs d'ondes (X, radio lensing), alors que seules les cartes SZ sont montrées. Il serait fort utile de faire une figure spécifique pour cet amas, en plusieurs panneaux, superposant des contours multi-lambda. De même la présence de ridge pourrait être renforcée par un profil en coupe.

Ces modifications devraient clarifier ce que ces nouvelles techniques de filtrage sur les cartes SZ peuvent et ne peuvent pas faire.

J'ai conscience que l'implémentation de ses suggestions peut ralentir significativement la soumission de l'article. Le choix est de soumettre plus tôt, s'il est important de prendre date, ou de soumettre un article plus achevé et percutant. C'est aux auteurs principaux de décider. Je recommande dans tous les cas d'améliorer le texte sur les points 1, 2a, 2d, et 3, et être plus prudent et rigoureux sur l'interprétation des cartes observées (point 4). Cela ne devrait pas trop prendre de temps.

Autres Remarques

- 1) Abstract et tout le texte : il y a une confusion entre gradients forts et vraies discontinuités (chocs) Ces dernières sont difficiles, si ce n'est impossibles, à mettre en évidence, et en tout cas la capacité de le faire avec les techniques présentées n'est pas démontrée dans le papier. Je suggère d'être plus rigoureux sur ce point tout au long du texte.
- 2) Introduction :
 - a) le premier paragraphe est confus. Les phénomènes de *turbulences, or shocks and sloshing* ont induits par la formation hiérarchique (physique gravitationnelle) et ne viennent pas en addition de celle-ci (comme en effet le feedback des AGN).
 - b) second paragraphe. La pression ne fournit pas le meilleur diagnostics de la thermodynamique à mon avis (c'est l'entropie). Par contre de la dynamique gravitationnelle si. il pourrait être intéressant de mentionner l'intérêt relatif de la pression et de la densité. Je n'ai pas une vision exhaustive mais on peut donner des exemples. Les cartes SX ont plus de contrastes (densité au carré) mais ne permettent pas de distinguer choc de cold front. On peut voir des cavités en

quasi-équilibre de pression avec l'environnement en X mais on les verra pas en SZ.

- c) 3^e paragraphe : voir ci dessus. However, only few applications of such procedures have been performed using tSZ data. Je suis surprise qu'il y en ait. Quelles sont les références ?
- 3) L'exemple de RG448 00211 de feedback extrême est probablement irréaliste. Je suppose que la majorité de ce type de phénomène plus au centre et moins intense sera inobservable par NIKA.
- 4) La section 5.2 pourrait être résumée (et 5.2.2 et 5.2.3 supprimées) en disant que l'application GGM n'a pas donné de résultats significatifs.
- 5) Section 6 : *Cosmological studies using tSZ observations of clusters of galaxies rely on hypothesis including the hydrostatic equilibrium of the ICM and the self-similarity of the galaxy cluster population.* Ce n'est tout à fait exact. On peut utiliser la masse lensing par exemple. Mais bien sûr la connaissance de l'état dynamique et de l'écart à l'équilibre hydrostatique est en effet important pour la cosmo : pour tester la cohérence d'ensemble de la mesure de la masse et donc sa robustesse (e.g. le rapport $M_{\text{HE}}/M_{\text{lensing}}$ est-il compris ?), et estimer et comprendre la dispersion autour des lois d'échelle, liée a priori à l'état dynamique