

Vers une caractérisation 3D des sources étendues en rayons X

Contact : fabio.acero@cea.fr; gabriel.pratt@cea.fr

Images et animations : www.github.com/facero/sujets2020

Contexte: Avec les observations profondes obtenues par les satellites XMM-Newton et Chandra (contenant jusqu'à 100 millions de photons), les données à haute résolution spectrale d'Hitomi et les télescopes XRISM et Athena en préparation, la richesse croissante des données en rayons X est entrain de transformer notre vision de l'Univers chaud et énergétique mais au prix d'une difficulté croissante à analyser ces données. Avec une forte implication de la communauté française, l'instrument X-IFU du satellite Athena combinera une haute résolution spectrale et spatiale et révolutionnera le domaine de la spectro-imagerie en rayons X. En dépit de la richesse des archives en rayons X et du bond en performance des missions à venir, nos méthodes d'analyses n'ont que trop peu évoluées dans les dernières décennies et ne peuvent extraire la richesse d'information scientifique contenue dans ces données. En effet les méthodes d'analyse actuelles se limitent à des analyses spectrales à 1D d'un côté et à des analyses spatiales 2D de l'autre et n'exploitent pas la nature multi-dimensionnelle des données en rayons X (position, énergie et temps d'arrivée pour chaque photon). De plus, elles ne sont pas efficaces pour corriger des effets de projections géométriques et de séparer les différentes composantes physiques en présence.

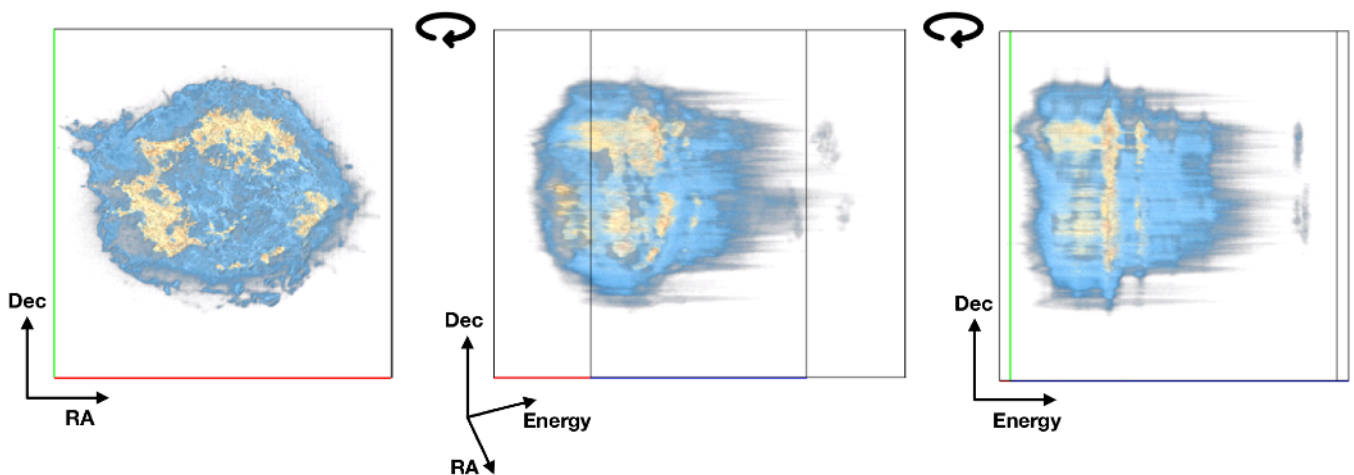


Figure 1: rendu volumétrique du cube (RA, Dec, énergie) de données du vestige de supernova Cassiopeia A. L'image de face (colonne de gauche) montre la distribution spatiale de l'émission en rayons X alors que l'image de côté (colonne de droite) montre la distribution en énergie de ces photons et révèle la cartographie des éléments lourds (Mg, Si, S, Fe, etc) au travers des raies d'émissions. Les nouveaux outils d'analyses proposés prendront le plein avantage de la nature multidimensionnelle des données pour cartographier la température, abondance et distribution de vitesse des éjecta.

Description du projet: Ce projet se propose de transformer la façon dont nous pouvons analyser les données en rayons X en se basant sur l'expertise acquise par le groupe de mathématiques appliquées au sein de notre laboratoire et en particulier sur les méthodes d'apprentissage à l'aveugle (blind source separation) initialement développées pour séparer les avant-plans du CMB dans les données Planck. Ces méthodes se basent sur la diversité spectrale et morphologique des données dans le domaine ondelettes pour séparer les sources. Ces techniques permettent d'identifier et de caractériser les composantes physiques présentes au sein des sources étendues. Actuellement une nouvelle version de cet algorithme est en cours de développement pour ajouter des contraintes physiques spectrales (spectres thermiques ou loi de puissance par exemple) par le biais de machine learning (feature learning dans notre cas). Ceci ouvre alors la

possibilité à une séparation de sources donnant des résultats plus robustes et de déconvoluer en même temps des effets de projection afin de pouvoir cartographier les valeurs de paramètres physiques comme la température et l'abondance du gaz chaud dans les amas de galaxies ou les vestiges de supernova en trois dimensions (x, y, z).

Dans ce projet le/la candidat(e) utilisera ces nouveaux outils pour étudier quelles empreintes les mécanismes d'explosion de supernovae laissent dans leur vestiges. En effet les mécanismes des explosions de Type Ia ou d'effondrement gravitationnel sont encore mal connus mais comme chaque mécanisme laisse une empreinte spécifique dans les éjectas, l'étude de la morphologie en 3D des vestiges plusieurs centaines d'années après permet d'étudier l'explosion initiale.

D'un point de vue technique, le/la candidat(e) aura pour but de développer, adapter au contexte des rayons X et d'appliquer ces techniques étape par étape à des données de complexité croissante en collaboration avec le groupe de mathématiques appliquées et le groupe rayons X. Dans un premier temps cette application se fera aux données d'archives de XMM-Newton et Hitomi (si possible). Ceci permettra de maximiser le retour scientifique des données d'archive et dans un second temps, à partir des modèles obtenus grâce aux archives, de construire des simulations Athena de sources étendues plus réalistes puis de tester nos nouvelles méthodes sur ces données simulées X-IFU à très haute résolution spectrale. Ce projet contribuera à améliorer la contribution scientifique française à la mission Athena et en particulier au segment en développant de nouveaux outils d'analyse.

Travaux précédents: ce sujet de thèse fait suite à une première exploration de la méthode de séparation de source en rayons X sur des toy models de vestiges de supernovae (Picquenot et al., 2019) qui a pu montré les grandes capacités de la méthode. Cette thèse se focalisera en particulier sur les aspects reconstruction tri-dimensionnelles et haute résolution spectrale avec l'instrument X-IFU.

Références:

Cosmic microwave background reconstruction from WMAP and Planck PR2 data; [Bobin et al., 2016](#)
Novel method for component separation of extended sources in X-ray astronomy; [Picquenot, Acero, Bobin, Maggi, Ballet & Pratt, 2019](#).

Mot clés: astronomie en rayons X, XMM-Newton, Athena, traitement du signal, blind source separation, machine learning, amas de galaxies, vestige de supernovae.