



Classifier les amas de galaxies avec des méthodes d'apprentissage machine

Maria Sadikov (étudiante à la maîtrise en supervision avec Julie Hlavacek-Larrondo et Laurence Perreault-Levasseur, boursière IVADO et FRQNT), Carter Rhea, Michael McDonald

MISE EN CONTEXTE THÉORIQUE

Les amas de galaxies

- Les amas de galaxies sont des ensembles de galaxies liées par la gravité. Ils ont une masse typique de 10^{14} à 10^{15} masses solaires et une étendue de quelques Mpc [1]. Ils sont constitués de
 - galaxies (3% de la masse)
 - matière sombre (84% de la masse)
 - gaz intra-amas (13% de la masse). [3]
- Gouvernés par le théorème du viriel et soumis à un important puits gravitationnel, les amas de galaxies contiennent une quantité énorme d'énergie. Pour le gaz intra-amas, l'énergie est convertie en énergie thermique, ce qui résulte en des températures près de $T=10^7-10^8\text{K}$ [2].
- Au centre de l'amas de galaxies se trouve un **trou noir supermassif**. Celui-ci accrète de la matière, ce qui forme le noyau actif de galaxie: une région très dense qui contient un énorme pouvoir.



Figure 1 - Image reconstituée de l'amas de galaxies de Persée, composée d'une image en rayons X captée par le télescope Chandra (en bleu) et d'un ensemble d'images dans le domaine radio (en rose), captées par le Sloan Digital Sky Survey et le Very Large Array. Au centre se trouve la galaxie elliptique géante NGC 1275, dont les filaments ont été imagés dans le domaine du visible par le télescope Hubble. (Source : J. Hlavacek-Larrondo & M. Gendron-Marsolais, 2017)

Le gaz intra-amas

- Le gaz intra-amas émet surtout dans les **rayons X** à cause de sa haute température, et cette émission peut être directement reliée à la densité du gaz [4].
- On définit **deux groupes d'amas de galaxies**, qui se différencient par leur profil d'émission dans les rayons X:
 - les **amas à cœur froid** (cool core clusters), qui ont une émission très prononcée au centre;
 - les **amas à cœur non-froid** (non-cool core clusters), qui ont une émission plus uniforme.

• Le gaz intra-amas émet d'énormes quantités d'énergie sous forme de rayons-X; on s'attendrait donc à observer un refroidissement rapide de l'amas, surtout dans le cas des amas à cœur froid.

• Cependant, ce n'est pas du tout ce qu'on observe [4]! Il doit donc y avoir une source d'énergie supplémentaire qui compense le processus de refroidissement. La théorie la plus acceptée est désormais celle de la **rétroaction du noyau actif de galaxie** [5] : le trou noir supermassif situé au centre de l'amas chauffe le gaz en y injectant de l'énergie sous forme de radiation et de jets relativistes.

• On souhaite étudier ces processus afin de mieux comprendre l'interaction entre le trou noir supermassif et le gaz environnant.

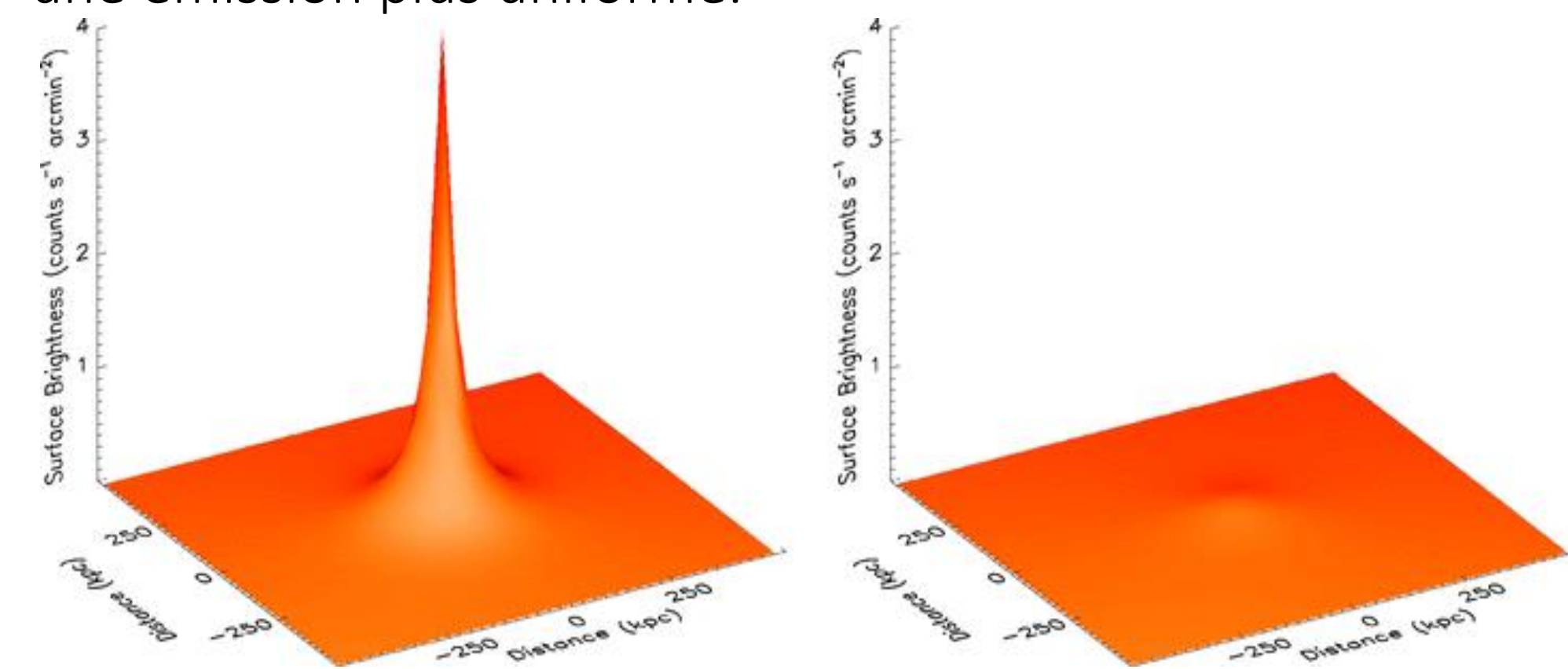


Figure 2 – Représentation de la distribution de la brillance de surface (Surface Brightness) pour un amas à cœur froid (à gauche) et un amas à cœur non-froid (à droite). Source: Million & Allen (2009)

LE PROJET

But du projet:

Développer un réseau de neurones qui prédit la valeur du temps de refroidissement afin de classifier les amas de galaxies en cœur froid et cœur non-froid

Générer des images simulées d'amas de galaxies en rayons X:

- Sélectionner des amas de galaxies dans les simulations cosmologiques hydrodynamiques *IllustrisTNG*
- Extraire l'information sur le gaz intra-amas (position, vitesse, densité, température)
- Générer des photos en spécifiant un modèle d'émission
 - Projeter les photons selon un axe
 - Récueillir les photons pour former une image, puis convoluer cette image avec la fonction de réponse du télescope Chandra → Obtenir ainsi des images d'amas de galaxies tels que ceux-ci seraient observés dans les rayons X avec l'instrument.

Appliquer des méthodes d'augmentation de données :

projections selon d'autres axes, variation du temps d'exposition, rotations et réflexions de l'image

Générer les étiquettes :

Le principal paramètre permettant de classifier les amas de galaxies est le temps de refroidissement t_{cool} . On définit une valeur centrale de densité et de température pour chaque amas, à partir desquelles on peut calculer la valeur de t_{cool} . L'amas peut ensuite être classé comme:

- amas à cœur froid si $t_{cool} < 1\text{Gyr}$
- amas à cœur non-froid si $t_{cool} > 1\text{Gyr}$

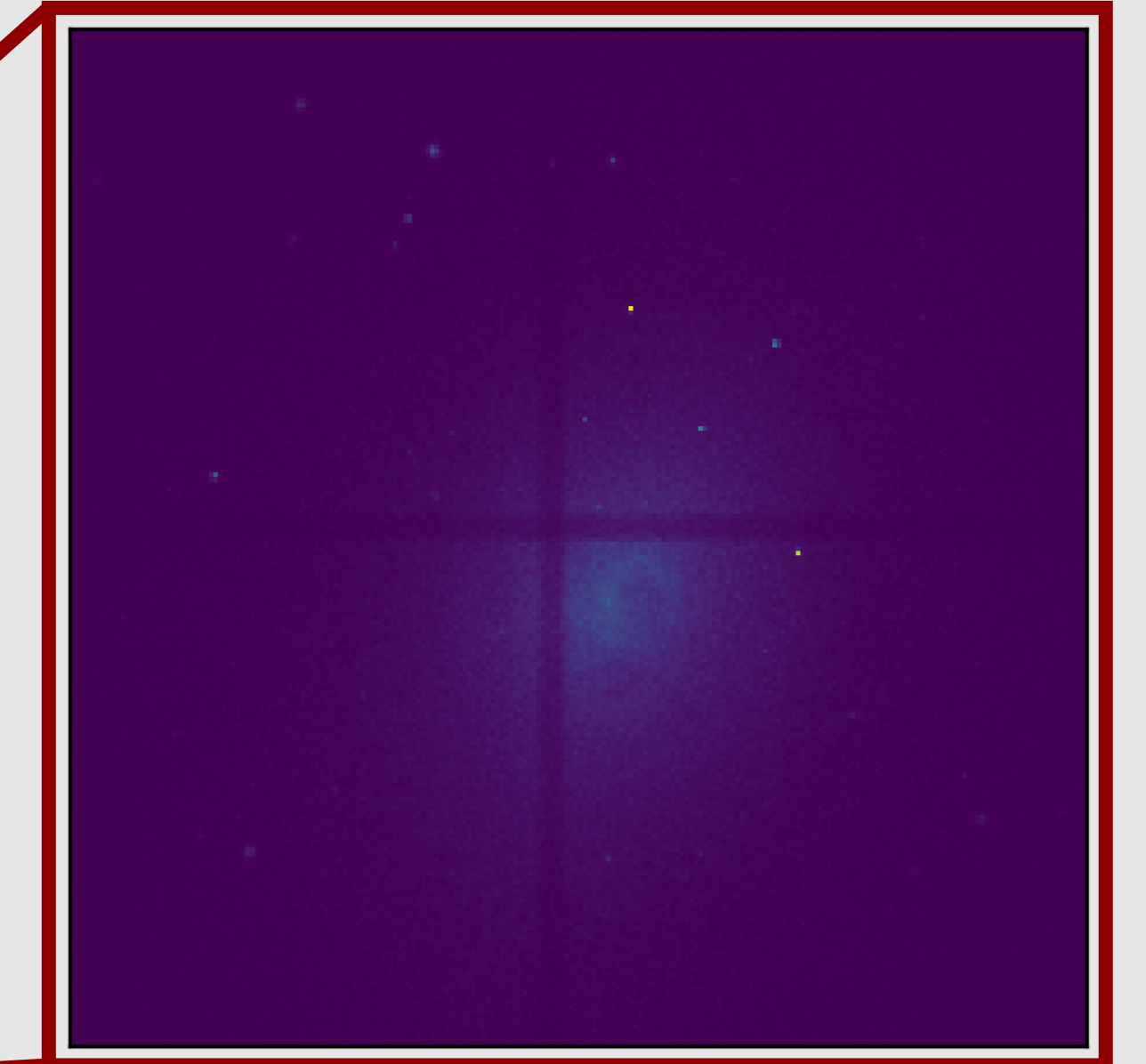
Tester nos algorithmes sur des images simulées ainsi que sur des vraies observations

Entraîner puis valider le réseau de neurones

Une fois conçu, le réseau sera entraîné sur des images simulées d'amas de galaxies en rayons X, puis validé sur un ensemble indépendant.

Analyser nos données:

Sur quoi le réseau se base-t-il pour prendre sa décision? Que peut-on apprendre?



Références

- [1] Hlavacek-Larrondo, J. (2012). Extreme AGN Feedback in Highly-Luminous Clusters of Galaxies (Mémoire de Doctorat, Université de Cambridge, Cambridge, Royaume-Uni)
- [2] Richard-Laferrrière, A. (2019). L'impact des trous noirs les plus massifs de l'Univers sur le coeur des amas de galaxies (Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, Montréal, Québec)
- [3] J. Mohr, B. Mathiesen, and A. Evrard. Properties of the Intracluster Medium in an Ensemble of Nearby Galaxy Clusters. *Astrophysical Journal*, 517:627–649, 1999.
- [4] Peterson J. R., Fabian A. C. X-ray Spectroscopy of Cooling Clusters. *Phys. Rep.* 427,1,2006.
- [5] Yang, H.-Y. K. Reynolds, C. S. How AGN Jets Heat the Intracluster Medium – Insights from Hydrodynamic Simulations. *The Astrophysical Journal*, 829(2):90, 2016.