
L'ÉMISSION MILLIMÉTRIQUE À CENTIMÉTRIQUE DES GALAXIES PROCHEES

DIRECTEUR DE THÈSE : CAROLINE BOT

OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE DE STRASBOURG, 11 RUE DE L'UNIVERSITÉ, 67000 STRASBOURG

TEL : 03 68 85 23 96 ; E-MAIL : CAROLINE.BOT@ASTRO.UNISTRA.FR

Au sein de toute galaxie, du gaz (principalement de l'hydrogène) et des grains de poussières sont présents entre les étoiles, constituant le milieu interstellaire (MIS). Ce milieu est la matière à partir de laquelle seront constituées les nouvelles étoiles et il garde la trace des générations stellaires passées. Il est donc important à étudier en lien avec la formation stellaire dans les galaxies. Un point critique de ces études est d'estimer la quantité de matière disponible (la masse totale de gaz). L'émission des poussières est souvent utilisée comme un traceur potentiel de l'ensemble du gaz (neutre, ionisé ou moléculaire) en supposant un rapport gaz-sur-poussière en fonction de la métallicité.

Les gros grains de poussières à l'équilibre thermique émettent de l'infrarouge lointain au domaine millimétrique (mm) et dominent la masse des poussières dans le MIS des galaxies. De nombreuses analyses de l'émission de ces poussières dans les galaxies proches ont été faites grâce aux observations du satellite Herschel jusqu'à 500 μ m. Des observations individuelles pour une fraction de galaxies ont été effectuées avec des télescopes comme le JCMT, APEX ou à l'IRAM. Ces observations sub-millimétriques sont importantes pour contraindre la quantité de poussières froides. Mais ces observations ont aussi montré que l'émissivité des poussières dans ce domaine de longueur d'ondes peut être plus plate que ce qui était supposé. Ceci peut s'expliquer par des grains de composition différente. L'analyse des observations sub-millimétriques modifie significativement les masses de poussières déduites et nous renseignent sur l'évolution des propriétés des poussières avec l'environnement.

L'émission radio des galaxies est bien connue. Aux longueurs d'ondes supérieures à 3cm (aux fréquences $\nu < 10$ GHz), l'émission des galaxies normales est dominée par le rayonnement synchrotron des électrons relativistes. Vers 1cm (30GHz), le rayonnement libre-libre des électrons devient significatif. Ces deux rayonnements (synchrotron et libre-libre) peuvent être modélisés par des lois de puissances. A l'émission venant directement des galaxies étudiées, va venir se rajouter le rayonnement d'arrière plan des fluctuations du fond diffus cosmologique (CMB), avec un maximum d'émission autour de 2mm (150GHz).

En comparaison, l'émission des galaxies dans le domaine millimétrique (mm) à centimétrique (cm) a été très peu étudiée jusqu'à présent du fait des difficultés d'observation. Le satellite Planck, créé pour l'étude des fluctuations du CMB, a observé le ciel complet dans 9 bandes entre 30 et 857GHz (1cm et 350 μ m). Ces observations basse résolution (entre 4' et 32') sont suffisantes pour détecter les galaxies les plus proches et les plus brillantes. L'analyse des données mm à cm des nuages de Magellan (les deux plus grandes galaxies sur le ciel) a montré un excès d'émission dans le petit nuage de Magellan (Figure 1), au dessus de l'émission des poussières, libre-libre, synchrotron et de fluctuations positives du CMB [1,2]. Cet excès d'émission n'a pas été trouvé dans le grand nuage de Magellan mais on note que l'analyse impliquait de nouveau une fluctuation positive du CMB [2]. L'analyse de l'émission de la galaxie M31 montre elle aussi la nécessité d'une fluctuation positive du CMB [3]. Or statistiquement, il serait extraordinaire que pour les trois plus grandes galaxies sur le ciel, il y ait une fluctuation positive du CMB en arrière plan. Cet artefact pourrait donc cacher une partie d'un excès d'émission mm à cm. Deux autres galaxies proches ont aussi fait l'objet d'études individuelles avec les données Planck: NGC4213 [4] et M33 [5,6]. Ces études montrent une émission des poussières plus plate qu'attendue, donc peut-être là encore un excès d'émission dans le domaine mm. La difficulté

Réservé pour la gestion des résumés de la comparaison de ces galaxies est cependant que ces études sont hétérogènes sur les méthodes, les modèles et les hypothèses utilisées. De plus, il semble essentiel d'augmenter le nombre de galaxies étudiées dans ce domaine de longueur d'ondes.

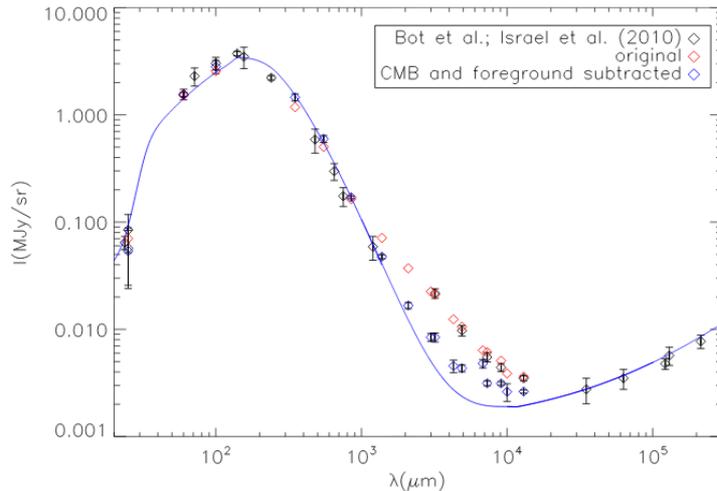


Figure 1 : Distribution spectrale en énergie de la galaxie du petit nuage de Magellan de l'infrarouge au radio. On observe un excès d'émission dans le domaine millimétrique à centimétrique, au dessus du modèle d'émission des poussières, libre-libre et synchrotron (courbe bleue) ajusté sur ces données. La présence d'une fluctuation positive du CMB en arrière plan permet de réduire cet excès mais pas de l'expliquer totalement.

Le sujet de cette thèse est donc de **d'analyser de manière systématique l'émission mm à cm des galaxies proches**. Cela nécessite de construire, pour chaque galaxie, la distribution spectrale en énergie de l'émission intégrée, de l'infrarouge au radio. Puis d'analyser cette émission à l'aide d'un modèle d'émission des poussières, d'émission libre-libre et synchrotron et de fluctuations du CMB en arrière plan. L'échantillon d'analyse pourra être constitué des galaxies observées et détectées à la fois par les satellites IRAS, Planck et ayant des observations d'archives radio.

L'analyse de cet échantillon permettra de répondre aux questions suivantes: *Existe-t-il un excès d'émission dans des galaxies autres que le petit nuage de Magellan et si oui, quelles sont les conditions environnementales favorisant cet excès? Quelles sont les statistiques des fluctuations du CMB en arrière plan des galaxies observées et sont-elles compatibles avec nos connaissances du CMB ou peuvent-elles cacher un excès d'émission? Peut-on trouver un lien entre l'indice d'émissivité sub-mm des poussières et l'émission dans le domaine mm à cm? Que peut-on en déduire sur la nature et les propriétés des poussières?*

Les modèles utilisés et la compréhension de l'émission des galaxies du mm au cm permettra aussi de faire des prédictions pour l'instrument CONCERTO installé au télescope APEX (Chili) en janvier 2021. Cet instrument produira des spectres basse résolution spectrale (mais avec une résolution spatiale similaire aux observations Herschel) dans le domaine 120-360 GHz (830 μ m-2.5mm). Ces prédictions permettront de proposer des **observations d'un échantillon de galaxies proches avec CONCERTO** et de les analyser.

D'autre part, l'échantillon d'étude pourra être complété d'observations à plus hautes résolution en faisant des demandes pour la caméra NIKA2 à l'IRAM sur quelques galaxies. Ces observations permettront de comprendre comment les propriétés intégrées des galaxies se déclinent à plus haute résolution et quelles sont les régions dominantes (régions diffuses, de formation d'étoiles, nuages moléculaires, etc).

Le but de cette thèse est d'apporter une avancée significative sur la compréhension de l'émission mm à cm des galaxies proches, peu étudiée jusqu'à présent. Les travaux proposés apporteront de nouvelles contraintes sur les propriétés des poussières et sur la masse du milieu interstellaire, ainsi que sur l'importance et les variations de l'excès d'émission mm à cm dont l'origine est encore inconnue.

- [1] C. Bot, N. Ysard, D. Paradis, et al. *A&A* **523**, A20 (2010).
- [2] Planck collaboration, P.A. Ade, N. Aghanim, et al, *A&A*, **536**, A17 (2011).
- [3] Planck collaboration, P.A. Ade, N. Aghanim, et al, *A&A*, **582**, A28 (2015).
- [4] I. Hermelo, U. Lisenfeld, M. Relano, et al., *A&A*, **549**, A70 (2013).
- [5] I. Hermelo, M. Relano, U. Lisenfeld et al., *A&A*, **590**, A56 (2016).
- [6] C. Tibbs, F. Israel, R. Laureijs, J. Tauber et al., *MNRAS*, **477**, 4968 (2018).