



Université Claude Bernard



# DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **05 juillet 2022**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur AUFFINGER Jérémy**

Titre de la thèse : « *Les trous noirs primordiaux et les contraintes par leur radiation de Hawking avec BlackHawk* »



## Résumé

Les trous noirs primordiaux sont au cœur d'un grand nombre de recherches depuis l'époque de la découverte du principe de leur existence. Si elles ont atteint une amplitude suffisante, des perturbations de densité ont pu s'effondrer gravitationnellement après la période d'inflation, ce qui a pu donner naissance à des trous noirs dans l'univers primordial, autrement dit des "trous noirs primordiaux". Les trous noirs primordiaux sont non-baryoniques et non-relativistes. Ainsi, ils apparaissent comme un candidat parfait pour la "matière noire", cette matière non-lumineuse qui est supposée être cinq fois plus abondante que la matière ordinaire dans les grandes structures de l'univers.

Hawking a démontré qu'un trou noir n'est de fait pas tout à fait "noir", mais qu'il émet un rayonnement continu comme s'il était un corps noir d'une température inversement proportionnelle à sa masse. Ce "rayonnement de Hawking" a deux conséquences majeures. La première, c'est qu'un trou noir perd de la masse au court du temps à cause de son "évaporation" par rayonnement de Hawking. La seconde est qu'un trou noir peut être vu. Cette émission continue est associée à des conséquences sur le milieu environnant les trous noirs primordiaux. Il existe une étroite fenêtre pour laquelle les trous noirs primordiaux seraient à la fois suffisamment massifs pour être stables à l'échelle de l'âge de l'univers, et suffisamment petits pour n'avoir aucun effet gravitationnel autre que leur densité globale. Ces trous noirs primordiaux sont justement les candidats à la matière noire mentionnés plus haut.

Le rayonnement de Hawking pourrait être la seule manière de les détecter. Il est donc primordial de le calculer le plus précisément possible, afin d'obtenir des prédictions soit sur les signaux à chercher dans les données astronomiques, soit sur les meilleurs instruments à construire pour les observer. C'est ainsi qu'est né BlackHawk : un code libre et gratuit qui en est à sa version v2.1. BlackHawk calcule le rayonnement de Hawking d'une distribution de trous noirs, qui peuvent avoir des masses, des charges électriques ou des vitesses de rotation différentes. Ensuite, BlackHawk utilise différents codes de physique des particules pour prendre en compte les interactions entre particules émises, ainsi que leur potentielle désintégration.

Ce manuscrit de thèse rassemble tous les travaux que j'ai menés au cours de ces dernières années, principalement avec BlackHawk. Ils sont de deux sortes.

Premièrement, il y a les travaux qui consistent à calculer le rayonnement de Hawking d'une distribution de trous noirs primordiaux et à comparer ce rayonnement à des données astronomiques, dans le but d'en tirer une contrainte sur leur abondance. J'ai mené plusieurs études de ce type, notamment sur les trous noirs en rotation avec une distribution étendue. J'ai

aussi pu ainsi démontrer que malgré des progrès récents en matière de théorie et d'observations, les contraintes existantes souffrent d'une marge d'erreur considérable.

Deuxièmement, il y a les travaux théoriques sur les propriétés et l'évolution des trous noirs dues à leur évaporation. J'ai étudié notamment la durée de vie et l'évolution du moment angulaire de trous noirs en rotation. J'ai également obtenu les formules qui permettent de calculer le rayonnement de Hawking d'une large classe de trous noirs non standards ; les contraintes en sont modifiées. Enfin, les trous noirs primordiaux peuvent produire des champs au-delà du Modèle Standard, notamment des particules de matière noire, ce qui a fait l'objet d'une étude à part entière.

Le développement de BlackHawk annonce une ère de précision numérique dans l'étude des trous noirs primordiaux, appuyée par le lancement de nouveaux instruments d'observation.