

Etablissement **Université de Montpellier**

École doctorale **I2S - Information, Structures, Systèmes**

Spécialité **Physique**

Unité de recherche **LUPM - Laboratoire Univers et Particules Montpellier**

Encadrement de la thèse Hervé WOZNIAK

Début de la thèse le **1 octobre 2021**

Date limite de candidature **18 mai 2021**

Mots clés - Keywords

Galaxies, Matière noire, Dynamique, Simulations, Gaia

Galaxies, Dark matter, Dynamics, Simulations, Gaia

Profil et compétences recherchées - Profile and skills required

Savoirs académiques : dynamique des systèmes hamiltoniens et/ou dynamique galactique

Compétences numériques : principes des codes N-corps et hydrodynamiques

Langages : Fortran 95 (ou être en capacité de l'apprendre, i.e. connaître un autre langage compilé), Python (graphismes, statistiques)

Academic knowledge: hamiltonian dynamics and/or galactic dynamics

Numerical skills: principles of N-body and hydrodynamical codes.

Languages: Fortran 95 (or be able to learn it, i.e. know another compiled language), Python (graphism, stats)

Description de la problématique de recherche - Project description

En étudiant les échanges de moment cinétique entre le milieu interstellaire, le halo de matière noire et un disque stellaire, le phénomène de migration stellaire observé dans les galaxies à disque devient un puissant outil de diagnostic sur l'évolution chimico-dynamique des galaxies. Les contraintes imposées ainsi sur l'évolution conjointe entre les différentes composantes peuvent alors être testées avec des observations Gaia.

By studying the exchanges of angular momentum between the interstellar medium, the dark matter halo and a stellar disk, the stellar migration phenomenon observed in disk galaxies becomes a powerful diagnostic tool on the chemical-dynamic evolution of galaxies. The constraints thus imposed on the co-evolution between the different components can then be tested with Gaia observations.

Thématique / Domaine / Contexte

Evolution des galaxies

Astrophysique et dynamique gravitationnelle

Le modèle cosmologique de la matière noire froide (CDM) prédit que les galaxies sont intégrées dans des distributions étendue de matière noire (DM) avec un profil radial spécifique et (presque) universel. Les mesures de courbes de rotation issues des observations de l'hydrogène ionisé (HII) ou neutre (HI) dans les parties extérieures des galaxies de type tardif (Rubin & Ford 1970, Bosma 1978), ont fourni

des preuves de la présence de DM dans ces systèmes il y a déjà plusieurs décennies. Cependant, les courbes de rotation ne sont que de l'ordre zéro de l'influence mutuelle entre le contenu stellaire et la DM. Presque toutes les propriétés dynamiques des galaxies sont marquées par l'empreinte de la DM mais également par la présence du milieu interstellaire (MIS). C'est probablement le cas de la migration stellaire dans le disque des galaxies, mais le rôle possible de la DM et du MIS dans ce phénomène n'a pas été étudié.

La migration stellaire des étoiles du disque des galaxies a été invoquée comme un mécanisme dynamique pour expliquer la dispersion de la métallicité stellaire observée dans le voisinage du Soleil. La relation âge-métallicité (AMR) montre que la dispersion de la métallicité stellaire augmente avec l'âge des étoiles (par exemple, Edvardsson et al. 1993 ; Mackereth et al. 2019). Elle suggère l'existence d'un mécanisme de chauffage du disque stellaire. La migration stellaire pourrait alors également être une cause, bien que d'autres mécanismes aient été proposés. Cependant, la migration stellaire n'a pas lieu dans un hypothétique disque parfaitement axisymétrique, constitué uniquement d'orbites circulaires. Une ou plusieurs perturbations gravitationnelles sont à l'origine de tout écart par rapport à cette hypothétique perfection. Ces perturbations peuvent être intrinsèques (ondes de densité - telles que des barres ou des bras spiraux -, relaxation à deux corps, particules de matière noire, etc.) ou extrinsèques (satellites de galaxies, rencontres, fusions, accrétion de gaz, etc.). De plus, l'amplitude des perturbations, et donc leur capacité à reproduire les observations, dépend du mécanisme physique sous-jacent.

Deux classes de modèles basés sur des simulations à N corps ont été proposées :

- 1) Sellwood & Binney (2002) ont montré que les ondes spirales, éventuellement transitoires, ont la capacité de modifier le moment cinétique des étoiles sans changer la fonction de distribution, de sorte que le disque ne se réchauffe pas à la suite de ces changements. Ces ondes spirales ont leur propre vitesse de propagation avec laquelle les étoiles peuvent entrer en résonance. Sellwood & Binney (2002), confirmé par Roškar et al. (2012), ont montré que les échanges de moment cinétique ont lieu principalement lors de la corotation. Par conséquent, le mécanisme de diffusion de la corotation pourrait être responsable de la migration stellaire.
- 2) Pour Minchev & Famaey (2010), les résonances sont également responsables de la migration stellaire, mais leur mécanisme diffère quelque peu de celui de Roškar et al. (2012). En effet, Minchev & Famaey (2010), confirmé par Minchev et al. (2011), considèrent les interactions entre une barre stellaire et une structure spirale. Dans ce cas, il existe au moins deux modes et les résonances peuvent se chevaucher. Le chevauchement des résonances introduit un chaos supplémentaire en augmentant l'efficacité de la diffusion orbitale, ce qui modifie également le moment cinétique des étoiles.

Aucune de ces études ne prend en compte l'interaction entre les étoiles et les particules de DM, et entre les étoiles et le MIS. Cependant, il a été démontré (Athanassoula 2003 sans gaz, Curir et al. 2006 avec gaz) que le moment angulaire est échangé à des résonances verticales entre le disque stellaire et le halo sombre. Il est donc nécessaire de réexaminer la migration stellaire du point de vue de ces échanges. La DM peut absorber le moment cinétique du disque mais pourrait aussi le redistribuer. Le mécanisme de migration doit être simulé de manière complète en étendant la formalisation du taux de diffusion de Chirikov, récemment introduit dans la dynamique stellaire (Wozniak 2020a,b). Cet indicateur permet d'isoler les régions des galaxies sensibles aux échanges d'énergie et de moment cinétique.

Objectifs

Comprendre les mécanismes physiques donnant lieu au phénomène de migration stellaire dans les disques de galaxies.

Méthode

1. Étendre l'étude aux simulations N-corps + hydro pour déterminer l'impact de l'ajout d'une composante dissipative ;
2. Étendre le formalisme du taux de diffusion de Chirikov dans les simulations à N-corps pour inclure l'interaction avec la matière noire et le gaz, en utilisant divers scénarios : potentiel externe fixe (NFW par exemple), particules massives vivantes ;
3. Déterminer l'impact de chaque composante sur le moment angulaire, l'énergie et les variations de l'action radiale (JR) (cf. Wozniak 2020b) ;

Résultats attendus - Expected results

Tirer toutes les conclusions astrophysiques des nouveaux modèles, notamment en ce qui concerne l'impact de la DM sur les courants et les migrations stellaires, l'évolution de la distribution de la DM, le degré de chaos dynamique requis, etc. et éventuellement proposer un scénario ou une histoire de la formation dynamique de la galaxie ou de toute autre galaxie.

Prévoir les conséquences observationnelles de ces simulations afin que les modèles puissent être comparés aux observations telles que celles de la mission Gaia de l'ESA (Milky-way).

Précisions sur l'encadrement - Details on the thesis supervision

Réunions hebdomadaires avec l'encadrant Formations en programmation avancée (GENCI) Présentations régulières en journal-club de l'équipe Séminaire interne labo selon l'avancement du projet Colloques et ateliers selon le calendrier disponible

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

Accès au mésocentre mseo@LR pour les calculs et aux centres nationaux en tant que de besoin.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...

Publications dans des revues académiques (Astronomy & Astrophysics, MNRAS, The Astrophysical Journal)

Collaborations envisagées

En fonction des besoins :

A. Nelson (Los Alamos) autour d'un nouveau code de simulations;

Membres du Gaia-DPAC pour l'utilisation de données Gaia.

Références bibliographiques

Wozniak H., 2020a, ApJ 889, 81 "Stellar migration in galaxy disks using the Chirikov diffusion rate"

Wozniak H., 2020b, A&A 642, A207 "Diffusion of radial action in galactic discs"

Dernière mise à jour le 11 janvier 2021