

Formation des pièges à poussières auto-induits autours de planètes et de lignes de gel dans les disques protoplanétaires

Alexia Hocine (UCBL1)

Tuteur : Arnaud Véricel (CRAL)

Université de Claude Bernard Lyon 1

4 Juillet 2019

Présentation du CRAL

Introduction

Centre de Recherche d'Astrophysique de Lyon

- la Mécanique
- GALPAC
- HARISSA



Présentation du CRAL

Introduction

Centre de Recherche d'Astrophysique de Lyon

- la Mécanique
- GALPAC
- HARISSA



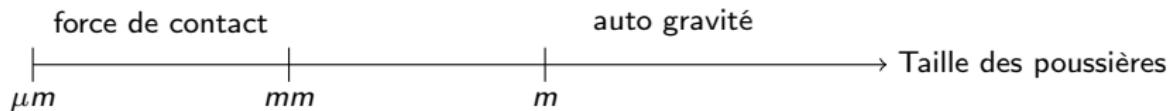
Objectif d'HARISSA

Simuler la formation de planète à partir de grains de poussière et du gaz.

Formation planétaire

Introduction

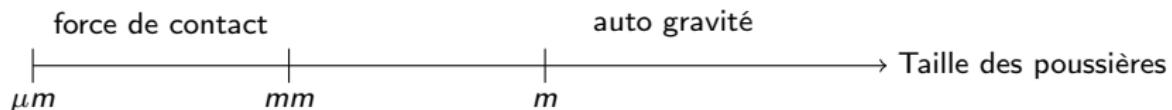
Régime intermédiaire



Formation planétaire

Introduction

Régime intermédiaire



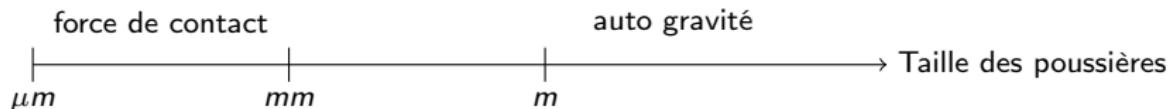
Régime intermédiaire :

- Barrière de fragmentation
- Barrière de dérive radiale

Formation planétaire

Introduction

Régime intermédiaire



Régime intermédiaire :

- Barrière de fragmentation
- Barrière de dérive radiale

⇒ Ligne de gel : emprisonne la poussière et l'empêche de migrer vers l'intérieur du système et de se faire accréter.

Formation des pièges à poussières auto-induits autours de planètes et de lignes de gel dans les disques protoplanétaires

Méthode

Programme LYONSPH
splash
profiles
analysis

Résultat

Présentation des simulations
Influence de la masse de la planète
Anneau multiple
Position de l'anneau de la poussière en fonction de la masse de la planète

Formation des pièges à poussières auto-induits autours de planètes et de lignes de gel dans les disques protoplanétaires

Méthode

Programme LYONSPH
splash
profiles
analysis

Résultat

Présentation des simulations
Influence de la masse de la planète
Anneau multiple
Position de l'anneau de la poussière en fonction de la masse de la planète

Programme LYONSPH

Méthode

Méthode SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics)

Le disque est représenté par des particules représentatives.

Programme LYONSPH

Méthode

Méthode SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics)

Le disque est représenté par des particules représentatives.

Programme LYONSPH

- Programme interne au CRAL.
- 15 ans de développement.
- Simule la dynamique du gaz et de la poussière dans un disque protoplanétaire.

Programme LYONSPH

Méthode

Méthode SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics)

Le disque est représenté par des particules représentatives.

Programme LYONSPH

- Programme interne au CRAL.
- 15 ans de développement.
- Simule la dynamique du gaz et de la poussière dans un disque protoplanétaire.

Fichiers de sortie

- Un fichier par pas de temps.
- Une colonne par variable.
- Une ligne par particule représentative.

splash

Méthode

- Daniel Price (université de Monash en Australie)
- Outils d'interprétation des programmes de type SPH



profiles

Méthode

profiles

- Calcul les profils radiaux d'un pas de temps d'un fichier de sorti de gaz et de poussière de LYONSPH :
 - Densité de surface Σ ,
 - Pression P_g ,
 - Taille $s...$

profiles

Méthode

profiles

- Calcul les profils radiaux d'un pas de temps d'un fichier de sorti de gaz et de poussière de LYONSPH :
 - Densité de surface Σ ,
 - Pression P_g ,
 - Taille $s...$

multi_profil

Applique le programme profiles à tous les fichiers de la poussière et de gaz.

Perfectionnement de l'outil

Méthode

Optimisation de multi_profil

Optimisation du code :

- Suppression des redondance,
- Ajout de paramètres :
 - Un exécutable
 - Numéro du 1^{er} fichier (facultatif)
 - Numéro du dernier fichier (facultatif)
 - Pas à appliquer entre les fichiers (facultatif)
- Recherche de tous les numéros de fichiers.

Perfectionnement de l'outil

Méthode

Optimisation de multi_profil

Optimisation du code :

- Suppression des redondance,
- Ajout de paramètres :
 - Un exécutable
 - Numéro du 1^{er} fichier (facultatif)
 - Numéro du dernier fichier (facultatif)
 - Pas à appliquer entre les fichiers (facultatif)
- Recherche de tous les numéros de fichiers.

Développement de programme outil

- addData : ajoute des colonnes à un fichier de profiles.

Perfectionnement de l'outil

Méthode

Optimisation de multi_profil

Optimisation du code :

- Suppression des redondance,
- Ajout de paramètres :
 - Un exécutable
 - Numéro du 1^{er} fichier (facultatif)
 - Numéro du dernier fichier (facultatif)
 - Pas à appliquer entre les fichiers (facultatif)
- Recherche de tous les numéros de fichiers.

Développement de programme outil

- `addData` : ajoute des colonnes à un fichier de profiles.
- `filterData` : conserve certaines colonnes d'un fichier.

analysis

Méthode

Retourne un fichier où chaque ligne représente pour chaque fichier de profiles :

- le pas de temps
- l'orbite du maximum de densité surfacique,
- sa valeur,
- et son incertitude.

analysis

Méthode

Retourne un fichier où chaque ligne représente pour chaque fichier de profiles :

- le pas de temps
- l'orbite du maximum de densité surfacique,
- sa valeur,
- et son incertitude.

Optimisation réalisée

En cas de plusieurs anneaux.

Les simulations

Méthode

Name	<i>a</i>	<i>r_{snow}</i>	<i>e</i>	M _P
alpha	33,5	100	0,50	10 M _J
alphanew	50	100	0,00	10 M _J
beta	60	50	0,26	10 M _E
betanew	75	50	0,00	10 M _E
gamma	33,5	0	0,50	5 M _J
gammanew	50	0	0,00	5 M _J
lambdanew	100	50	0,00	1 M _J
lambdanewlow	100	50	0,00	1 M _E
mu	33,5	50	0,50	1 M _E
nu	28,25	0	0,47	10 M _J
nunew	40	0	0,00	10 M _J
omega	81	40	0,16	0,1 M _J
phi	67	90	0,17	10 M _J
<i>nulow</i>	28,25	0	0,47	1 M _J
<i>omeganew</i>	80	40	0,00	0,1 M _J
<i>phinewlow</i>	80	90	0,17	5 M _E
<i>phinewlowfast</i>	80	90*	0,17	5 M _E
<i>thetanew</i>	90	0	0,00	1 M _E

- 18 simulations

Les simulations

Méthode

Name	a	r_{snow}	e	M_P
alpha	33,5	100	0,50	10 M _J
alphanew	50	100	0,00	10 M _J
beta	60	50	0,26	10 M _E
betanew	75	50	0,00	10 M _E
gamma	33,5	0	0,50	5 M _J
gammanew	50	0	0,00	5 M _J
lambdanew	100	50	0,00	1 M _J
lambdanewlow	100	50	0,00	1 M _E
mu	33,5	50	0,50	1 M _E
nu	28,25	0	0,47	10 M _J
nunew	40	0	0,00	10 M _J
omega	81	40	0,16	0,1 M _J
phi	67	90	0,17	10 M _J
<i>nulow</i>	28,25	0	0,47	1 M _J
<i>omeganew</i>	80	40	0,00	0,1 M _J
<i>phinewlow</i>	80	90	0,17	5 M _E
<i>phinewlowfast</i>	80	90*	0,17	5 M _E
<i>thetanew</i>	90	0	0,00	1 M _E

- 18 simulations
- variables :
 - masse planète M_P
 - demi grand axe de la planète a
 - excentricité e
 - distance de la ligne de gel à l'étoile r_{snow}

Les simulations

Méthode

Name	a	r_{snow}	e	M_P
alpha	33,5	100	0,50	10 M_J
alphanew	50	100	0,00	10 M_J
beta	60	50	0,26	10 M_E
betanew	75	50	0,00	10 M_E
gamma	33,5	0	0,50	5 M_J
gammanew	50	0	0,00	5 M_J
lambdanew	100	50	0,00	1 M_J
lambdanewlow	100	50	0,00	1 M_E
mu	33,5	50	0,50	1 M_E
nu	28,25	0	0,47	10 M_J
nunew	40	0	0,00	10 M_J
omega	81	40	0,16	0,1 M_J
phi	67	90	0,17	10 M_J
<i>nulow</i>	28,25	0	0,47	1 M_J
<i>omeganew</i>	80	40	0,00	0,1 M_J
<i>phinewlow</i>	80	90	0,17	5 M_E
<i>phinewlowfast</i>	80	90*	0,17	5 M_E
<i>thetanew</i>	90	0	0,00	1 M_E

- 18 simulations
- variables :
 - masse planète M_P
 - demi grand axe de la planète a
 - excentricité e
 - distance de la ligne de gel à l'étoile r_{snow}
- constantes :
 - masse solaire
 - 200 000 grains de poussières
 - 600 000 de gaz
 - influence de la ligne de gel

Les simulations

Méthode

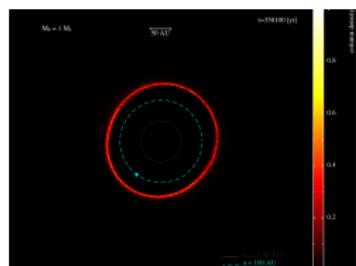
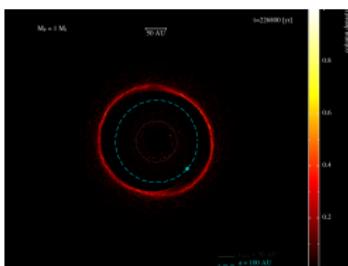
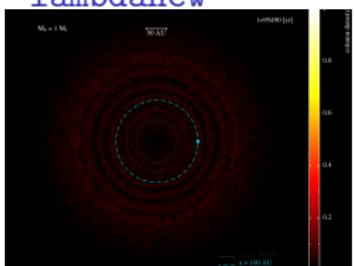
Name	a	r_{snow}	e	M_P
alpha	33,5	100	0,50	10 M_J
alphanew	50	100	0,00	10 M_J
beta	60	50	0,26	10 M_E
betanew	75	50	0,00	10 M_E
gamma	33,5	0	0,50	5 M_J
gammanew	50	0	0,00	5 M_J
lambdanew	100	50	0,00	1 M_J
lambdanewlow	100	50	0,00	1 M_E
mu	33,5	50	0,50	1 M_E
nu	28,25	0	0,47	10 M_J
nunew	40	0	0,00	10 M_J
omega	81	40	0,16	0,1 M_J
phi	67	90	0,17	10 M_J
<i>nulow</i>	28,25	0	0,47	1 M_J
<i>omeganew</i>	80	40	0,00	0,1 M_J
<i>phinewlow</i>	80	90	0,17	5 M_E
<i>phinewlowfast</i>	80	90*	0,17	5 M_E
<i>thetanew</i>	90	0	0,00	1 M_E

- 18 simulations
- variables :
 - masse planète M_P
 - demi grand axe de la planète a
 - excentricité e
 - distance de la ligne de gel à l'étoile r_{snow}
- constantes :
 - masse solaire
 - 200 000 grains de poussières
 - 600 000 de gaz
 - influence de la ligne de gel

Influence de la masse de la planète

Résultats

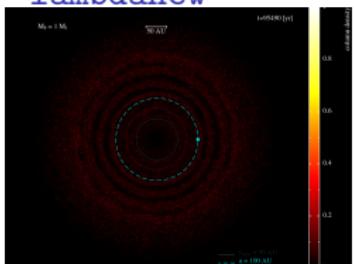
lambdanew



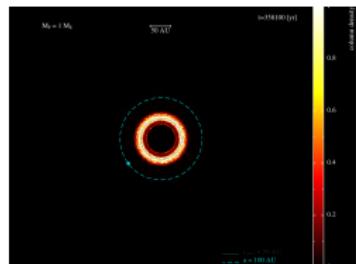
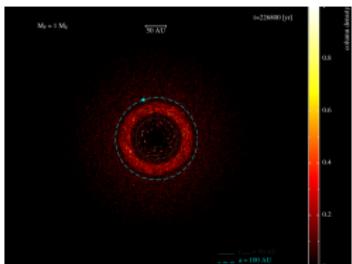
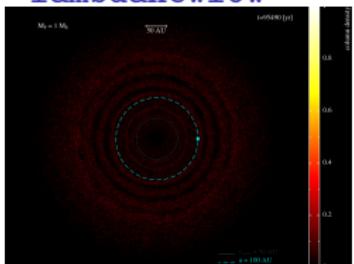
Influence de la masse de la planète

Résultats

lambdanew



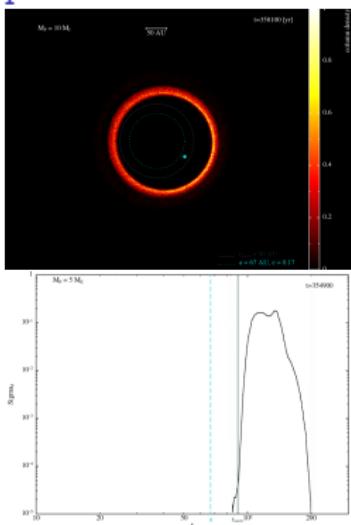
lambdanewlow



Anneau multiple

Résultats

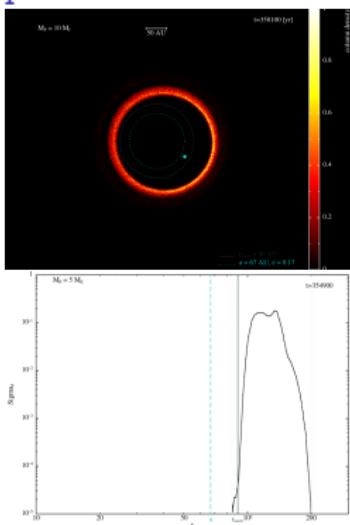
phi



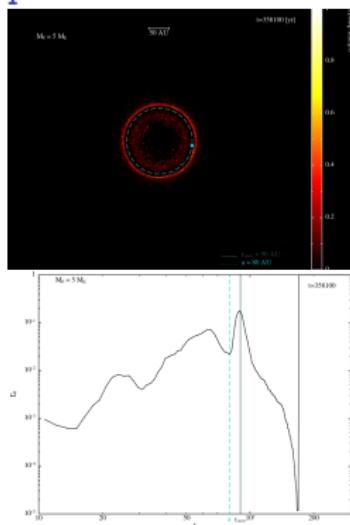
Anneau multiple

Résultats

phi



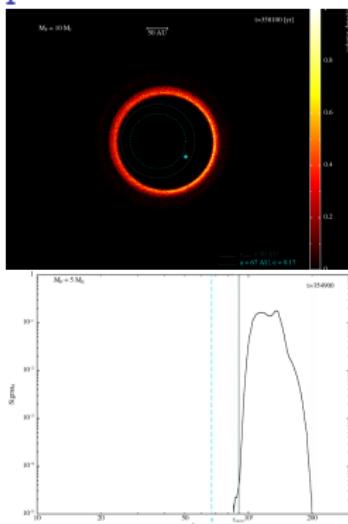
phinewlow



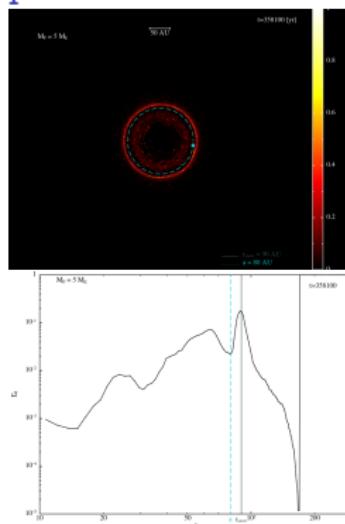
Anneau multiple

Résultats

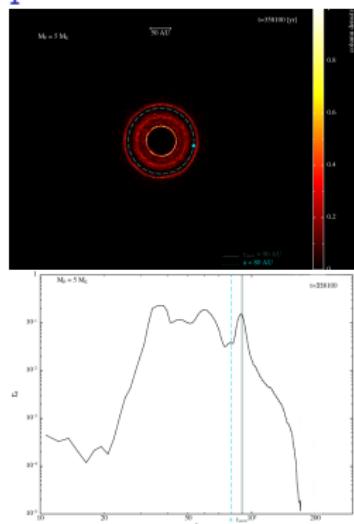
ϕ



phineowlow

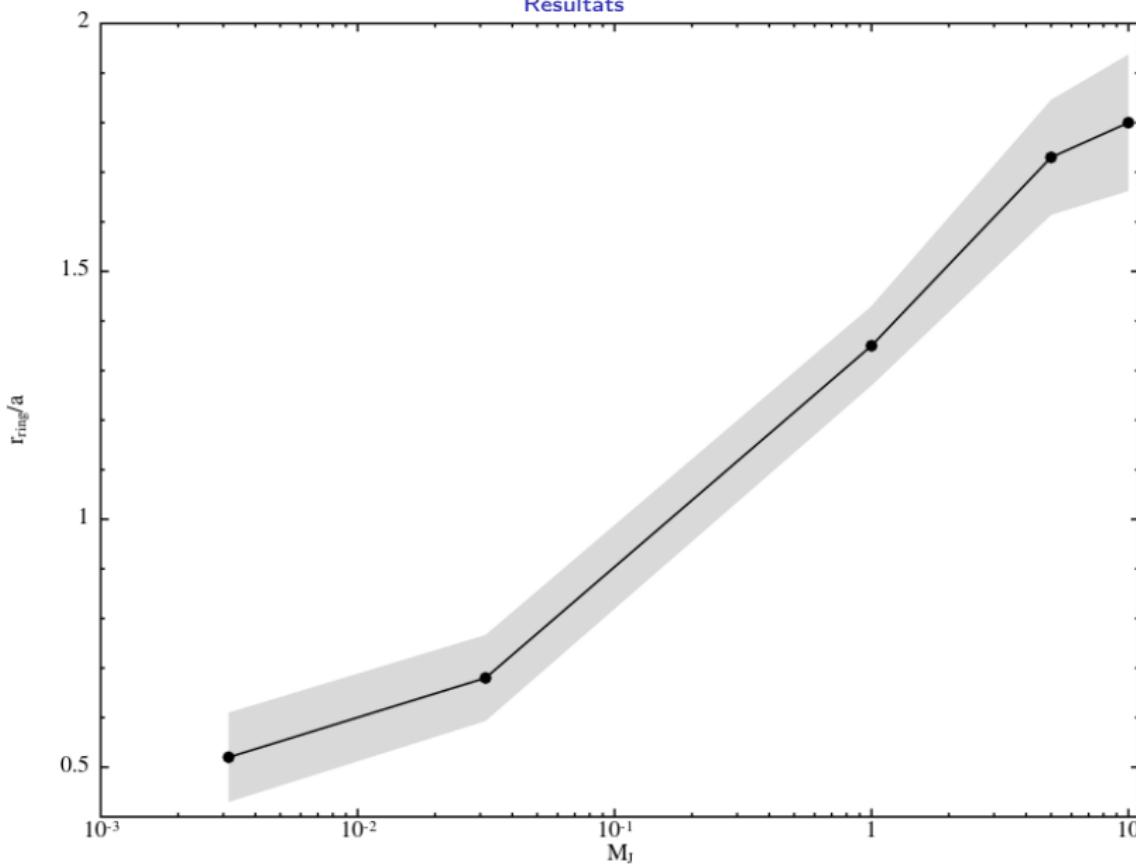


phineowlowfast



Influence de la masse de la planète

Résultats



Introduction

○○○

Méthode

○○○○○

Résultat

○○○○

Conclusion

●○○○○○○○○○

Conclusion

Conclusion

Résultats scientifiques

- Mise en évidence du lien entre la masse, le demi-grand axe et la position de l'anneau.
- Nouvelle méthode de détection des exoplanètes.

Conclusion

Résultats scientifiques

- Mise en évidence du lien entre la masse, le demi-grand axe et la position de l'anneau.
- Nouvelle méthode de détection des exoplanètes.

Travail effectué

- Mise en image de simulation
- Interprétation de simulation
- Amélioration de programme
- Développement d'outil numérique

Ligne de gel

Ligne de gel

- évolution naturelle de la poussière forme des maximums de pression grâce à la rétroaction sur le gaz.
- + front de condensation

Conséquence

emprisonne la poussière est l'empêche de migrer vers l'intérieur du système

Numériquement

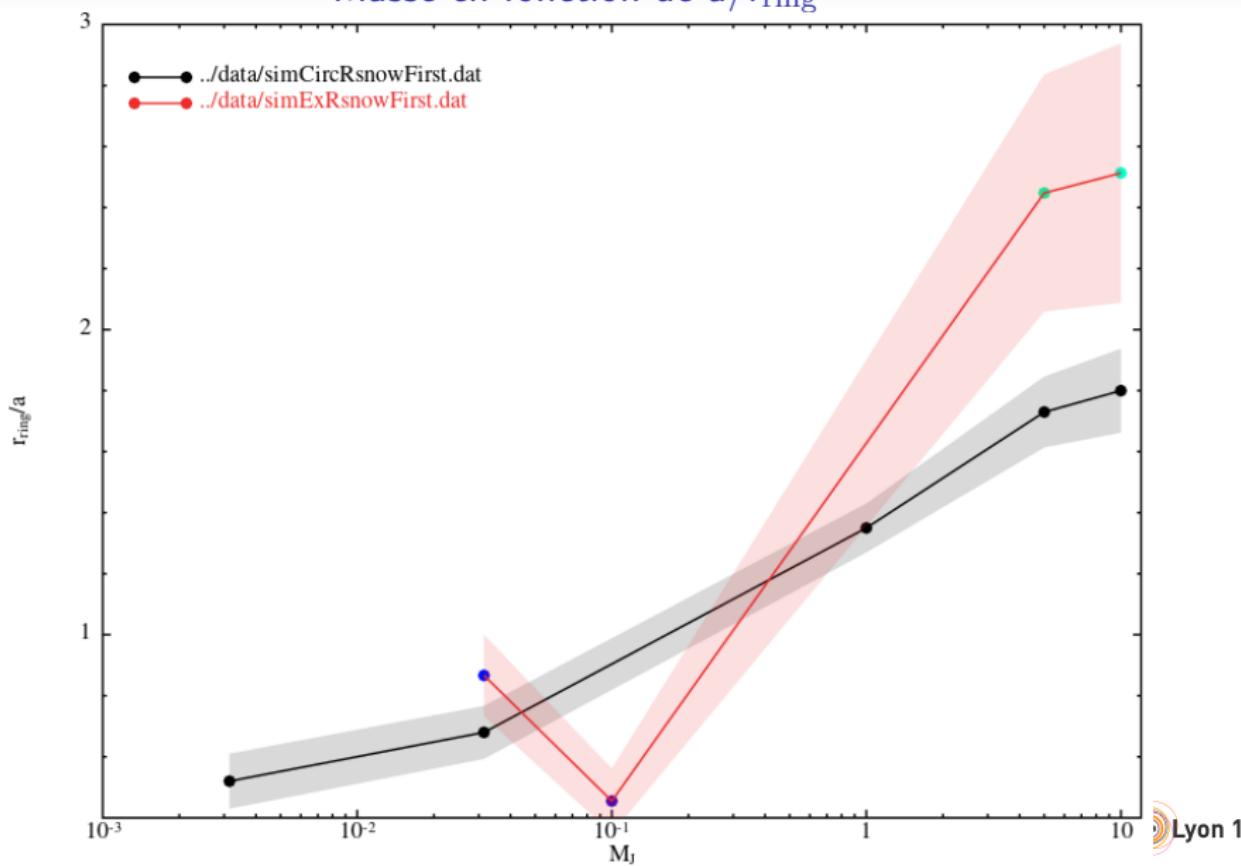
Représenter par une différence de vitesse :

$$V_{\text{rel}} = V_{\text{fragout}} - V_{\text{fragin}} = 15 - 5 = 10 \text{ m.s}^{-1}$$

Exception de phinewlowfast :

$$V_{\text{rel}} = V_{\text{fragout}} - V_{\text{fragin}} = 10 - 5 = 5 \text{ m.s}^{-1}$$

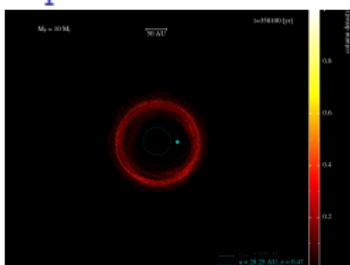
Masse en fonction de a/r_{ring}



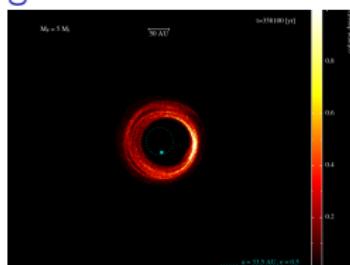
Influence de la masse de la planète massive

Résultats

alpha



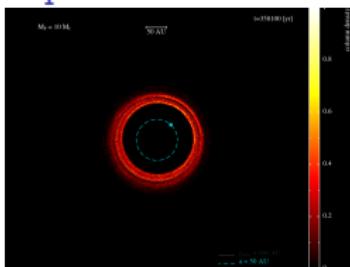
gamma



nu



alphanew



gammanew



nunew



Influence de la masse de la planète légère

Résultats

beta



omega



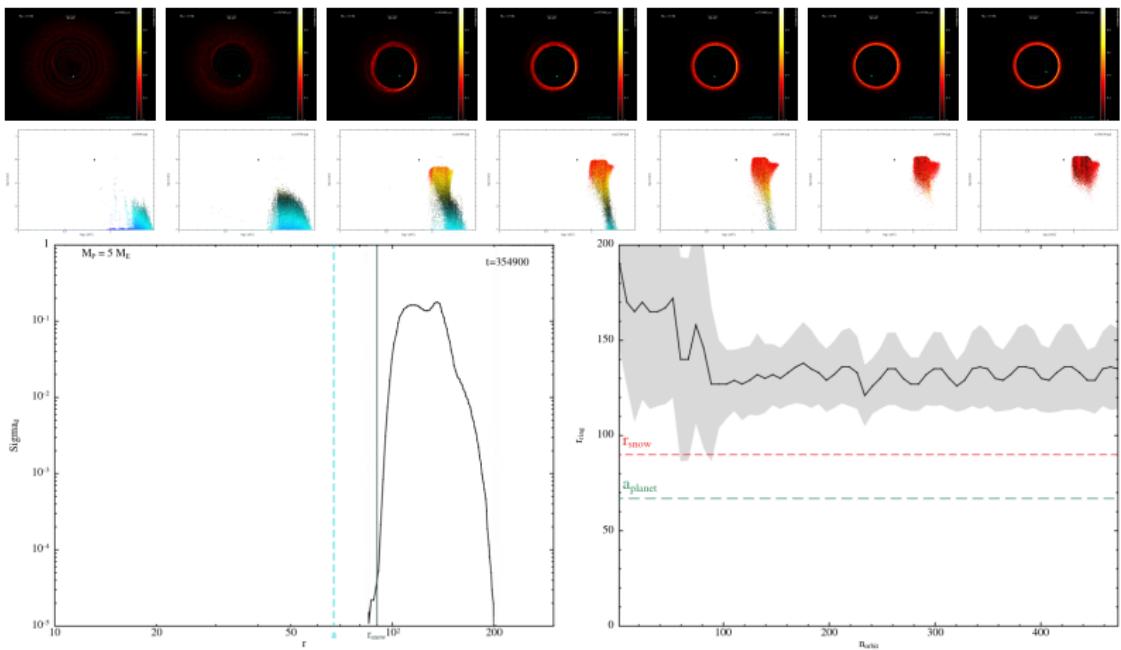
betanew



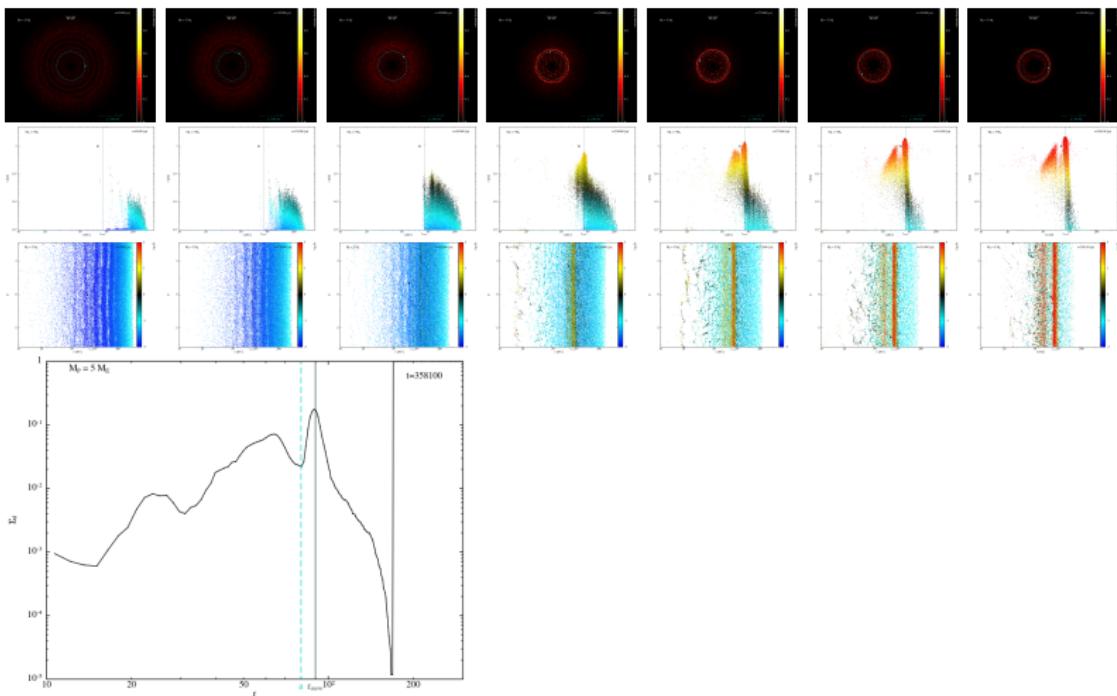
thetanew



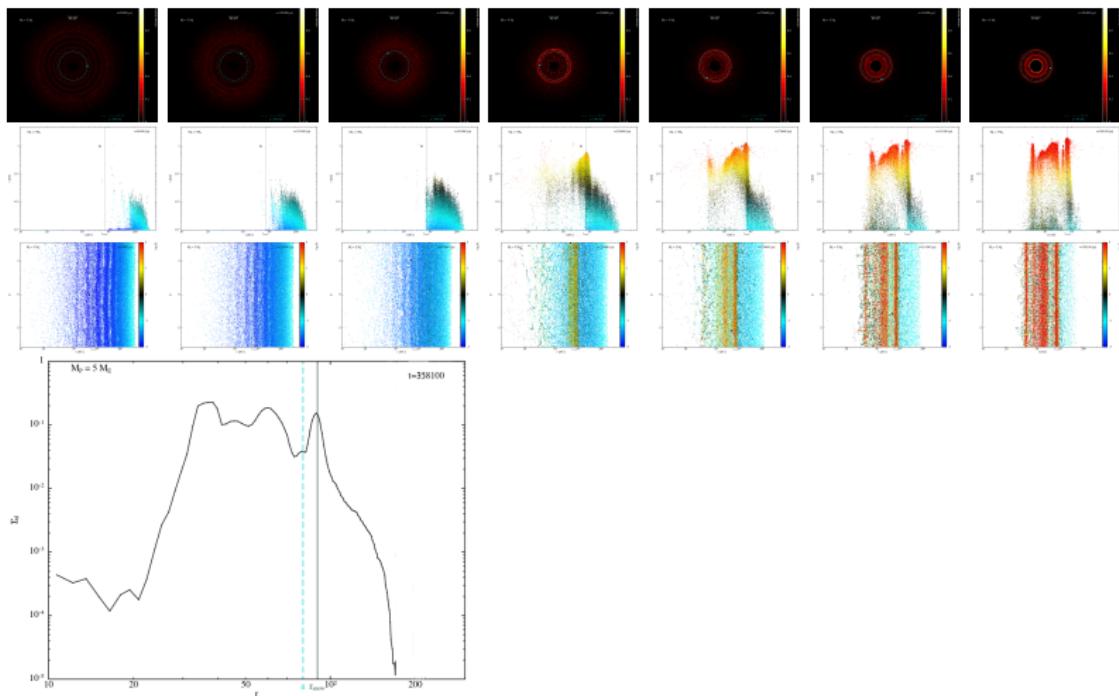
phi



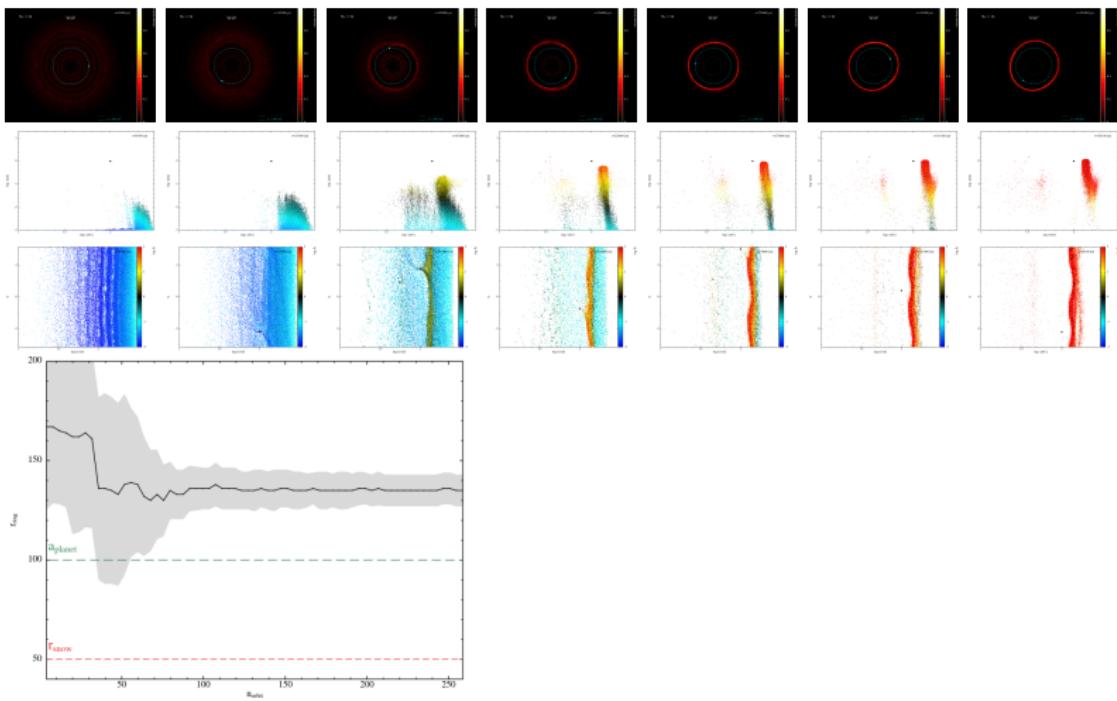
phinewlow



phinewlowfast



lambdanew



lambdanewlow

