

# Reconstruire l'histoire d'accrétion de la Voie Lactée par l'étude de son système d'amas globulaires

Thèse sous la direction de

**Paola DI MATTEO & Ana GOMEZ & Misha HAYWOOD**

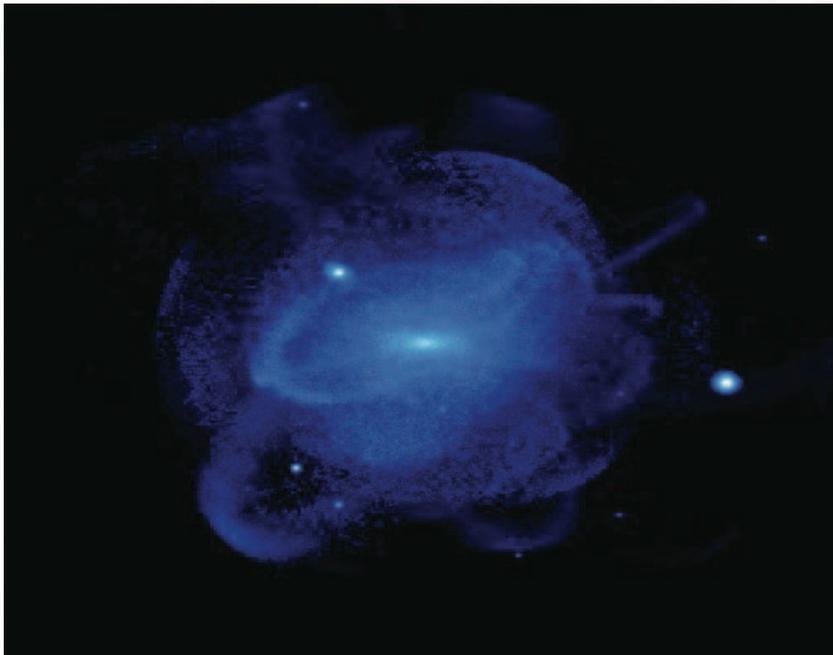
**2013 - 2016**

GEPI – UMR 8111 Observatoire de Paris - Meudon

**Ingrid JEAN-BAPTISTE**

# Contexte

- ◆ Modèle  $\Lambda$ CDM : Les galaxies comme la Voie Lactée sont le résultat de fusions/accrétions de galaxies plus petites.
- ◆ Destruction des satellites par effet de marée et mélange de leurs composantes (gaz, étoiles, amas globulaires) dans la Galaxie.
- ◆ Signatures de ces événements observables dans le halo et le disque stellaire de la Galaxie.
- ◆ L'identification et l'étude de ces sous-structures tracent l'histoire de formation de la Galaxie.



Simulation cosmologique : construction du halo stellaire par accrétion de galaxies satellites (Bullock & Johnston. 2005)



NGC 5907 : Débris d'une galaxie satellite accrétée

# Objectif de ma thèse

**Utiliser le système des amas globulaires pour étudier l'histoire de croissance en masse de la Galaxie**

## **Volet observationnel** (article en prep.)

- ◆ Analyser les paramètres connus des AG pour mettre en évidence des corrélations (distribution spatiale, chimie, âges, cinématique)
  - ◆ Etudier les relations des AG avec les étoiles de champ

## **Volet numérique**

- ◆ Simuler l'évolution dynamique de processus d'accrétion
  - ◆ Simuler l'évolution séculaire des AG

**Confronter les résultats des simulations avec les observations**

# Objectif de ma thèse

**Utiliser le système des amas globulaires pour étudier l'histoire de croissance en masse de la Galaxie**

## **Volet observationnel** (article en prep.)

- ◆ Analyser les paramètres connus des AG pour mettre en évidence des corrélations (distribution spatiale, chimie, âges, cinématique)
  - ◆ Etudier les relations des AG avec les étoiles de champ

## **Volet numérique**

Comment se déroule le processus d'accrétion des AGs ?  
Quelles sont les propriétés orbitales des amas accrétés ?  
Quelles sont les signatures des progéniteurs des AGs accrétés ?  
Quel lien avec la population stellaire sous-jacente ?

**Confronter les résultats des simulations avec les observations**

# Identification des débris d'accrétion

*Les courants stellaires sont des signatures observationnelles d'un processus de fusion/accrétion d'une galaxie satellite avec une galaxie plus massive. Ils peuvent contenir des amas globulaires qui ont été arraché de leur galaxie hôte et qui, par la suite, se mélangeront au système d'AGs « in situ ».*

La détection et l'analyse des courants stellaires sont un chemin pour tenter de reconstruire l'histoire d'accrétion de la Voie Lactée

## Hypothèses utilisées pour la détection des courants stellaires

- ◆ Le plan orbital des débris du satellite reste inchangé durant le processus de fusion (halo stellaire)
- ◆ Les étoiles appartiennent à un même système si elles partagent le même vecteur vitesse (voisinage du soleil)

## Limitations

- ◆ Potentiel galactique axisymétrique donc non conservation des débris sur un même plan orbital
- ◆ Superposition des courants stellaires au vois. du soleil en raison de la faible période orbitale du satellite et des échelles de temps courts pour le mélange dynamique dans les régions internes de la Galaxie

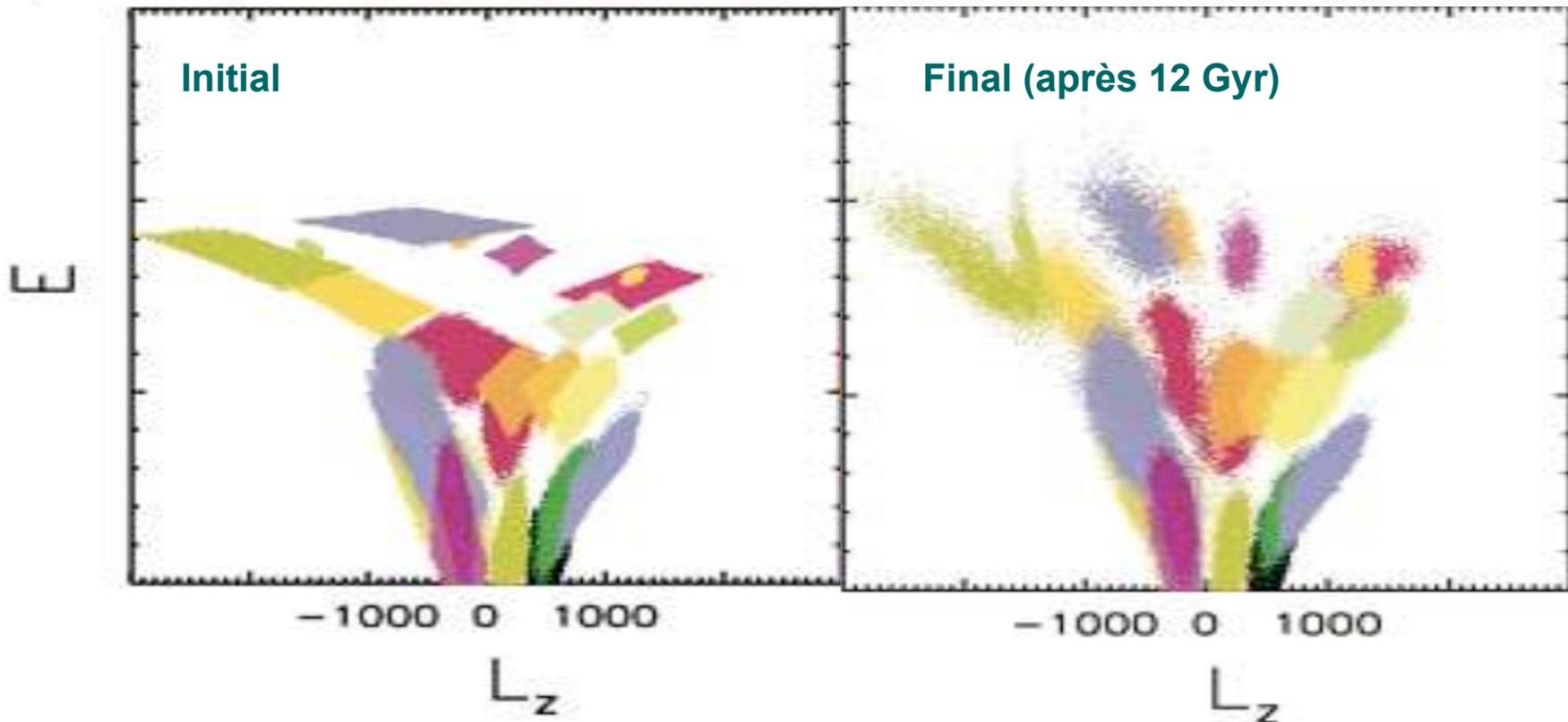
**Nécessité d'utiliser une méthode qui permet d'identifier les débris d'un même système après plusieurs orbites galactique.**

# Conservation des intégrales du mouvement

L'énergie et le moment angulaire sont des quantités qui se conservent au cours du temps. Cependant, le potentiel gravitationnel de la Galaxie étant axisymétrique, seul la composante  $z$  du moment angulaire se conserve

- ◆ Simulation de la destruction de galaxies satellites dans un potentiel Galactique indépendant du temps. (Fig : Les couleurs différentes représentent des satellites différents)

*Helmi & de Zeeuw (2000)*

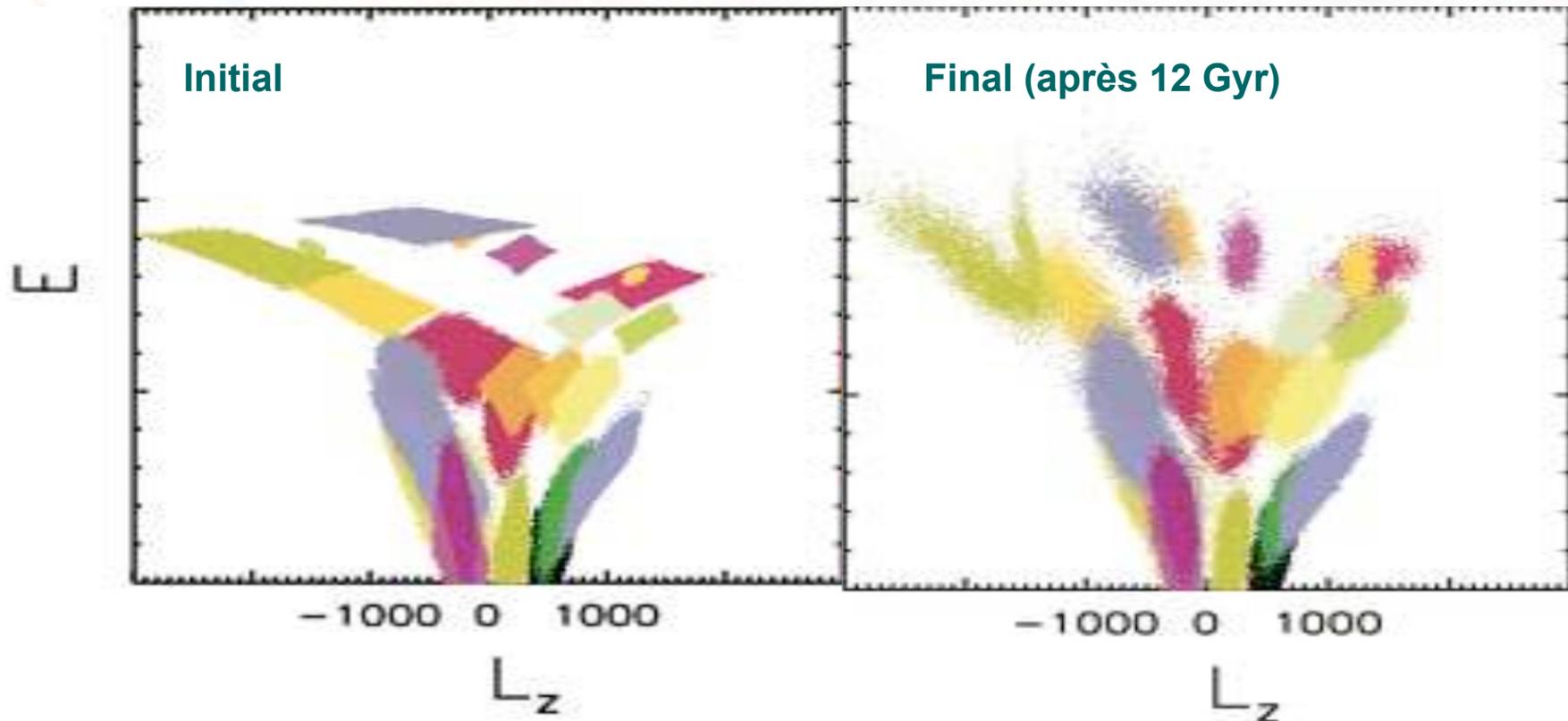


# Conservation des intégrales du mouvement

- ◆ Les étoiles d'un même satellite occupent un volume restreint dans l'espace  $E - L_z$ .
- ◆ « Le clumping » initial se maintient après 12 Gyr
- ◆ Le nombre de « clump » permettrait de remonter au nombre d'événements d'accrétion
- ◆ Dans un potentiel Galactique « vivant », les structures observées restent cohérentes au cours du temps (Knebe et al. 2005)

**L'espace  $E - L_z$  serait donc adapté pour identifier les débris des événements d'accrétion.**

*Helmi & de Zeeuw (2000)*



# Les simulations

**On étudie l'interaction de 1 à 4 galaxies satellites dans le potentiel gravitationnel d'une galaxie type VL.**

Les simulations ont été exécuté avec le code Tree SPH (Semelin & Combes 2002)

## **La Galaxie :**

$N_{\text{tot}} = 25 \text{ M}$  de part. , composantes : halo de matière noire, disque mince, disque épais et un système de 100 amas globulaires

## **Les Satellites :**

Rapport de masse de 1:10, même structuration des composantes, système de 10 AGs, différentes inclinaisons orbitales, prograde & retrograde ...

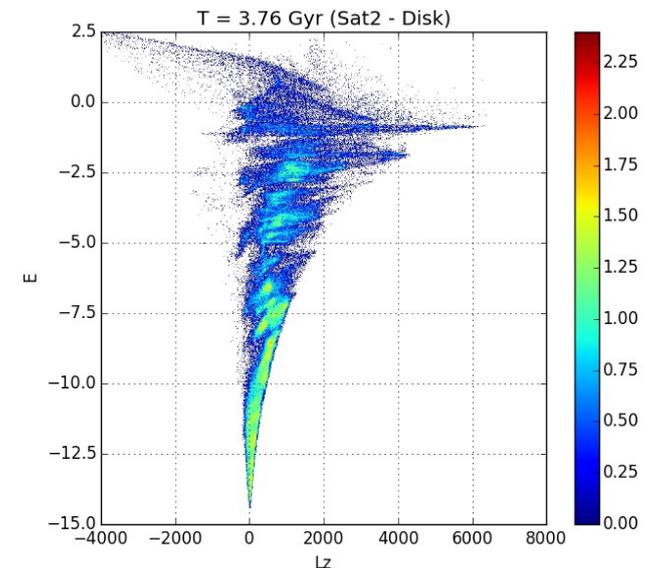
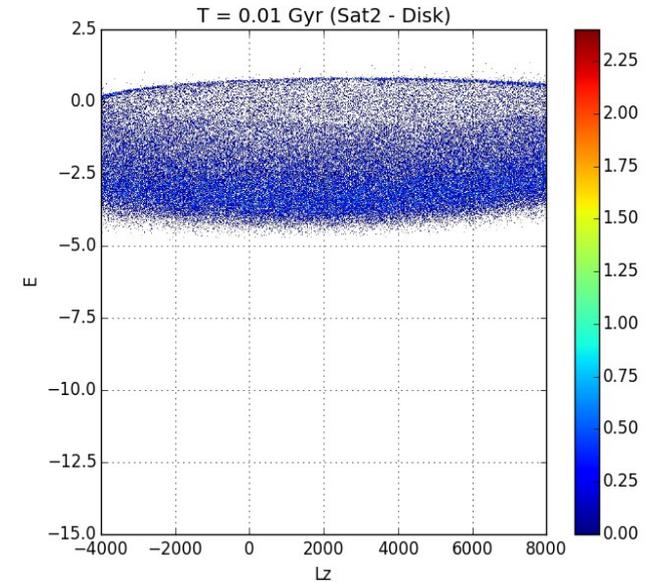
→ *Visualisation de la simulation avec 1 satellite en interaction ...*

# Simulations – Interaction avec 1 satellite

## *Espace des intégrales du mouvement*

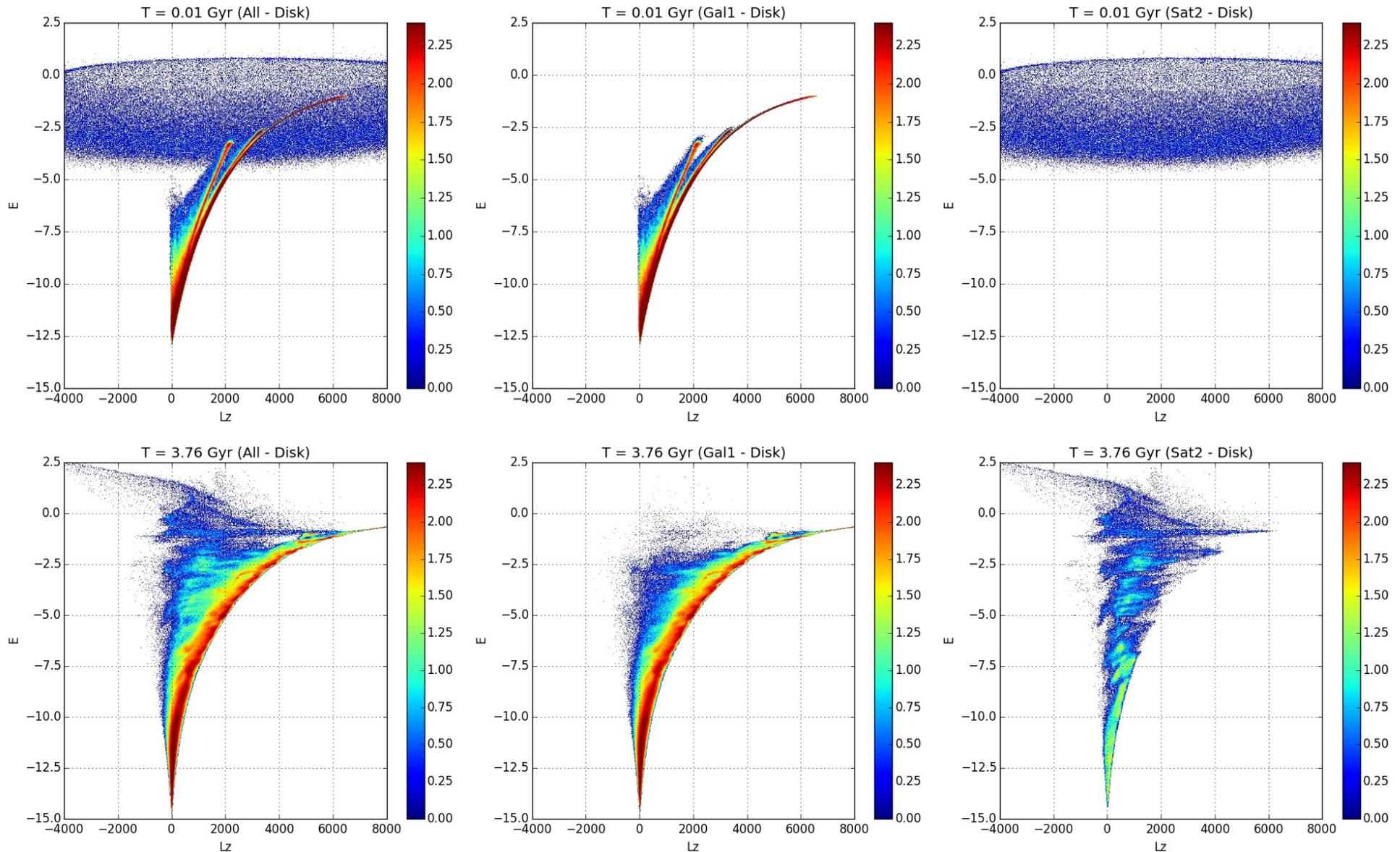
### Satellite :

- ◆ Durant le processus d'accrétion, la morphologie de la distribution des étoiles dans le plan  $E - L_z$  n'est pas conservée.
- ◆ Présence de sous-structures de forte densité, clumps
- ◆ Après 3 Gyr, la distribution évolue peu, les clumps se maintiennent au cours du temps. Les quantités  $E$  et  $L_z$  sont conservées



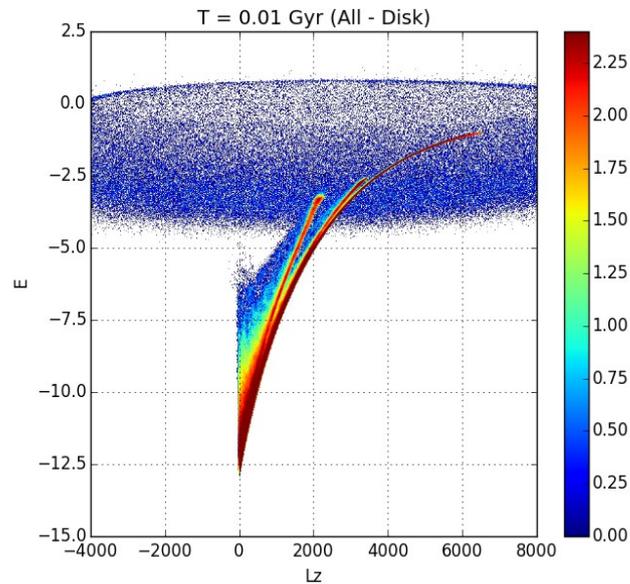
# Simulations – Interaction avec 1 satellite

*Espace des intégrales du mouvement*



# Simulations – Interaction avec 1 satellite

## *Espace des intégrales du mouvement*

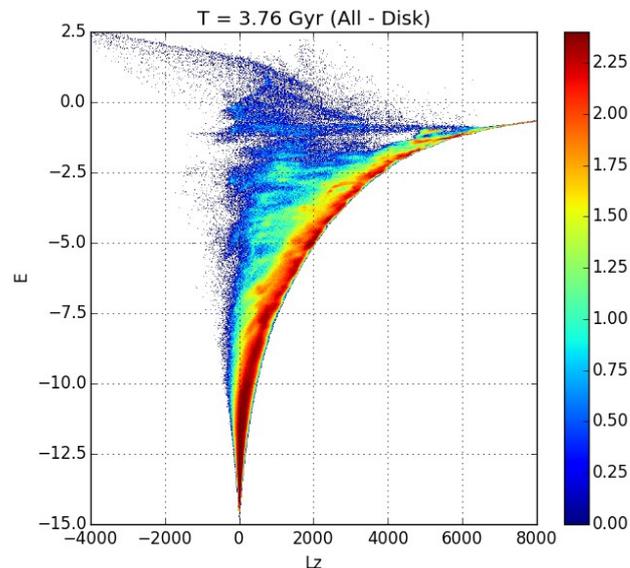


### Satellite :

- ◆ Durant le processus d'accrétion, la morphologie de la distribution des étoiles dans le plan E-Lz n'est pas conservée.
- ◆ Présence de sous-structures de forte densité, clumps
- ◆ Après 3 Gyr, la distribution évolue peu, les clumps se maintiennent au cours du temps. Les quantités E et Lz sont conservées

### Galaxie :

- ◆ Echauffement des composantes du disque stellaire. Les étoiles d'énergie élevée perdent en moment angulaire (peuplement du halo stellaire par les étoiles de la Galaxie)

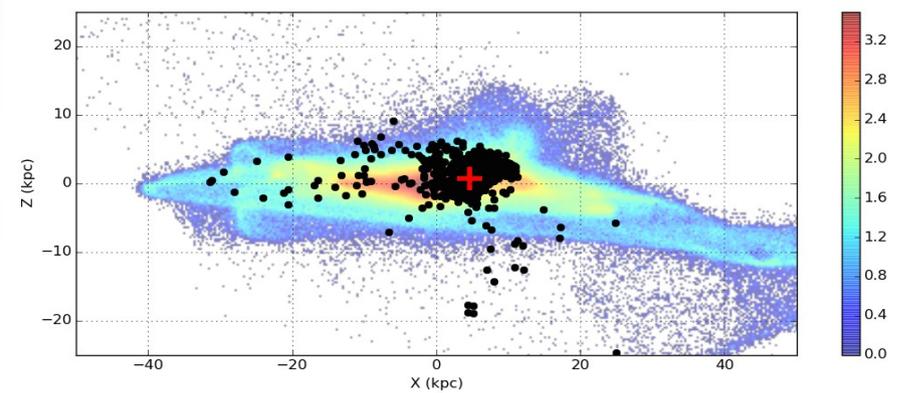
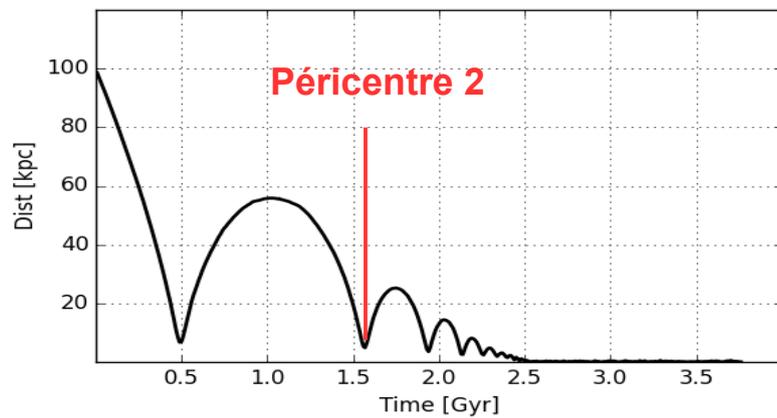
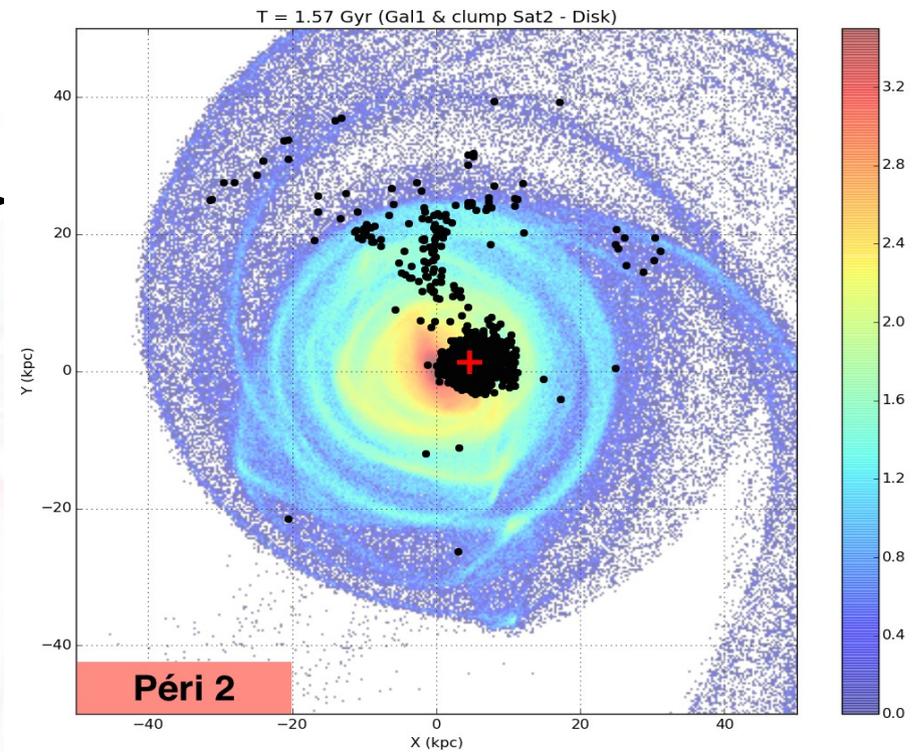
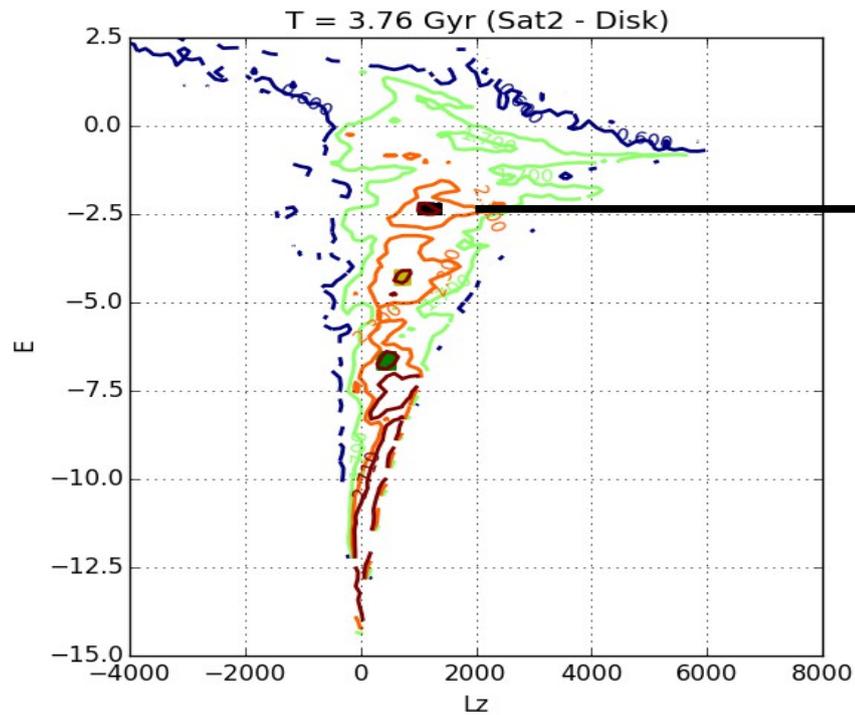


### Satellite + Galaxie :

- ◆ La distribution clumpy des étoiles du satellite en E – Lz est observable à E élevé et Lz faible. Cependant cette région est contaminée progressivement au cours du temps par les étoiles de la Galaxie.
- ◆ La différenciation étoiles accrétées / *in-situ* est difficile

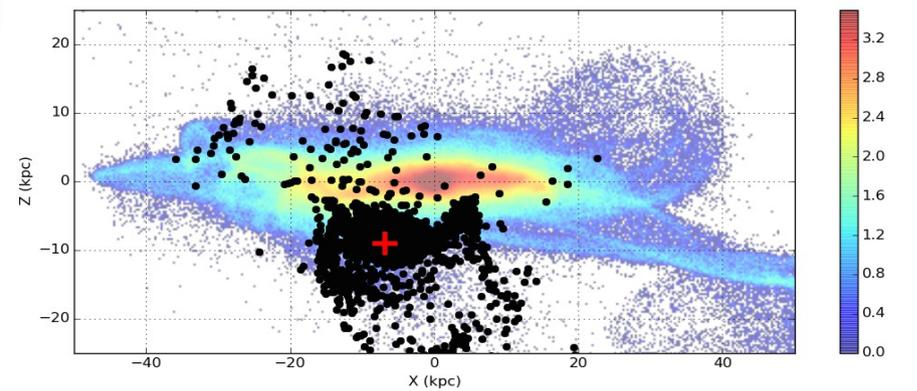
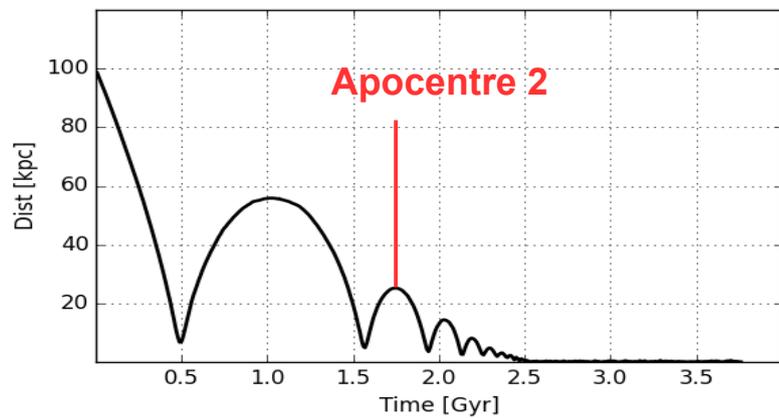
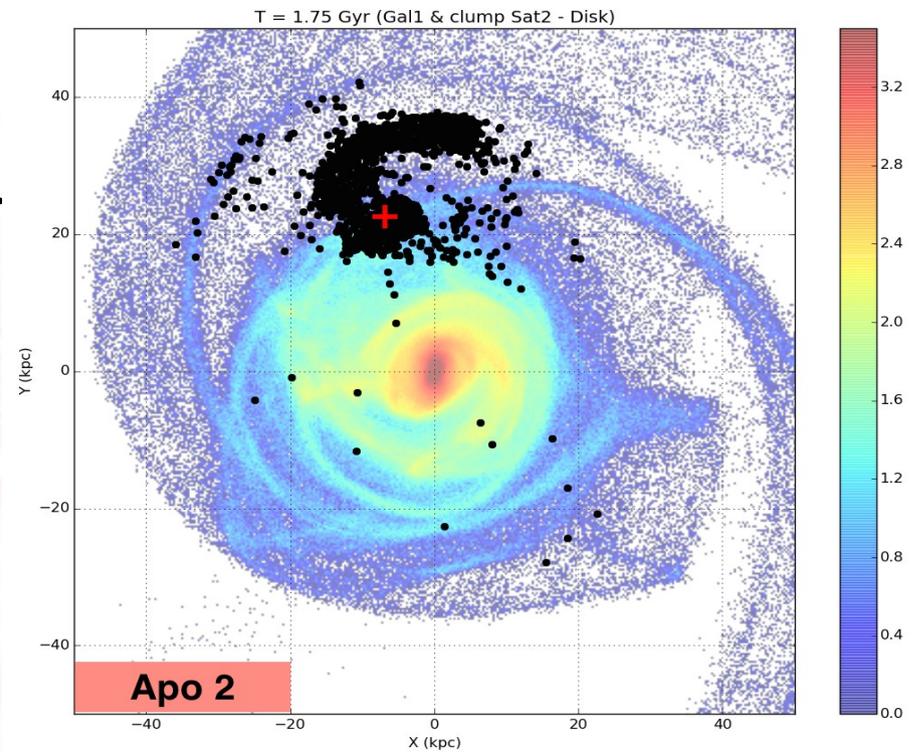
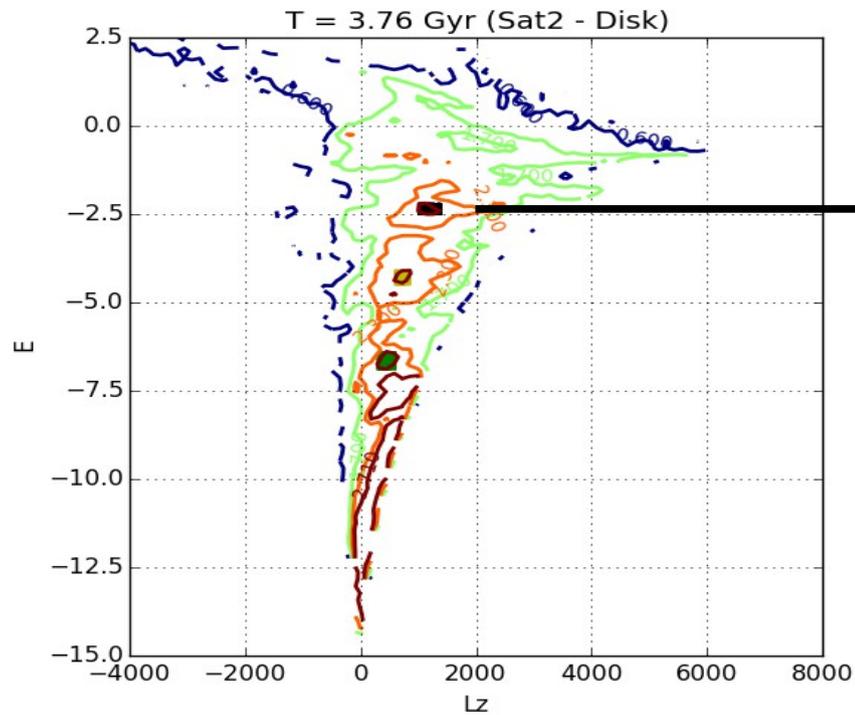
# Simulations – Interaction avec 1 satellite

## Les clumps



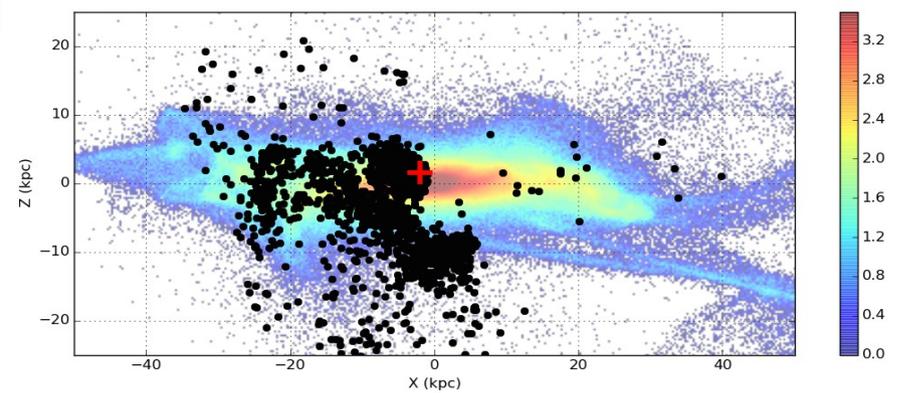
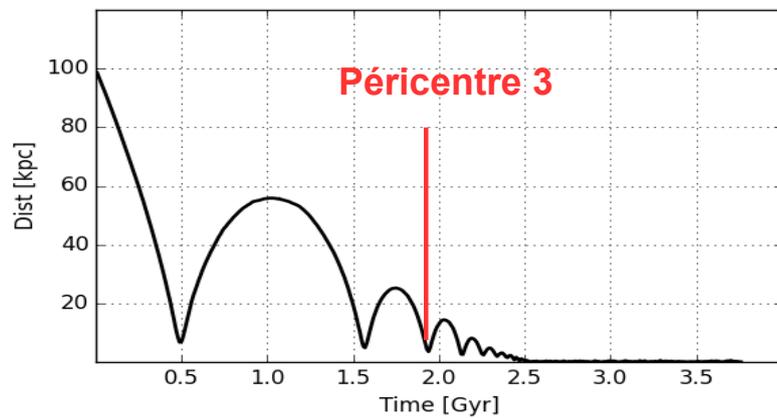
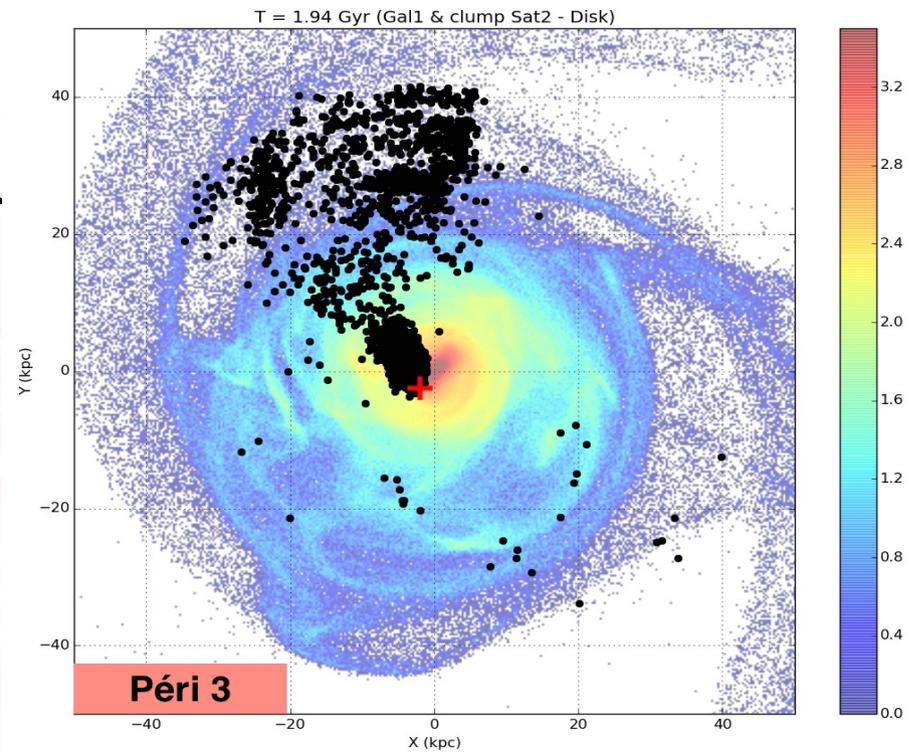
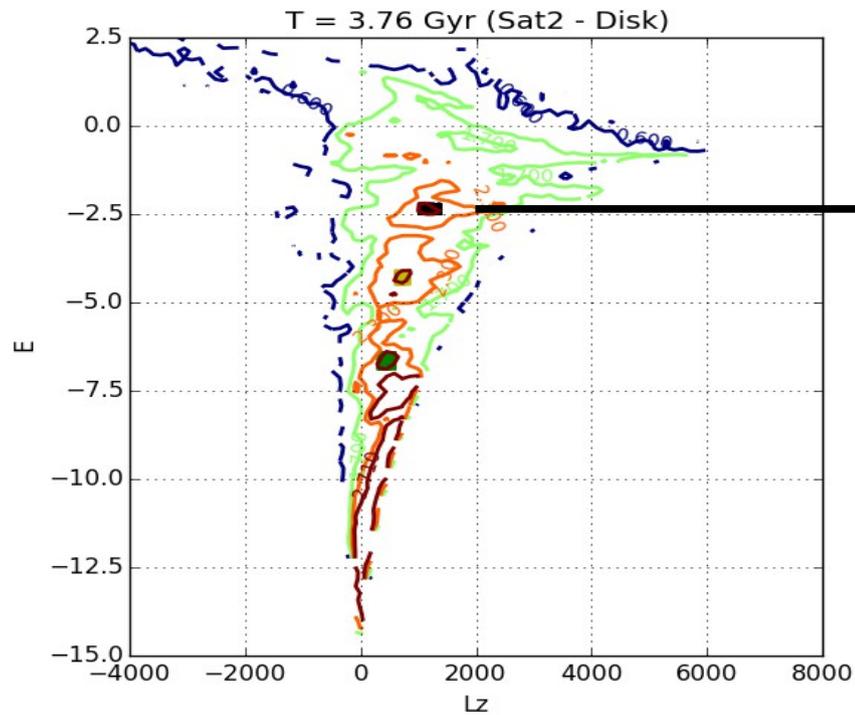
# Simulations – Interaction avec 1 satellite

## Les clumps



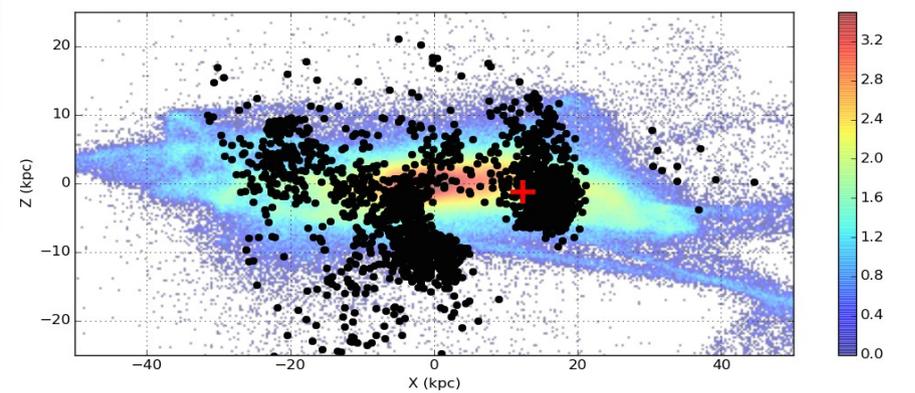
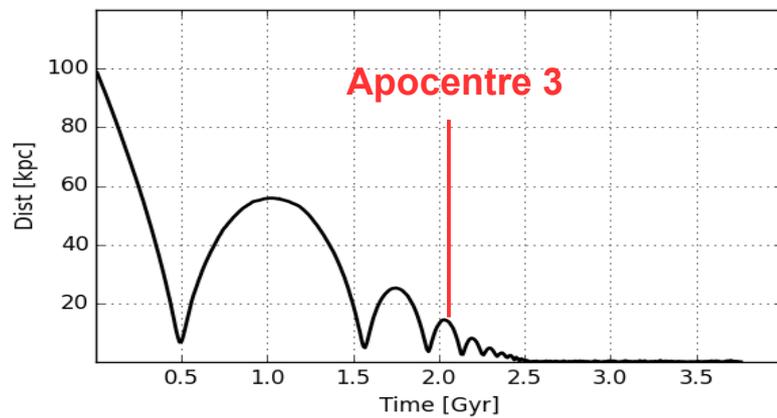
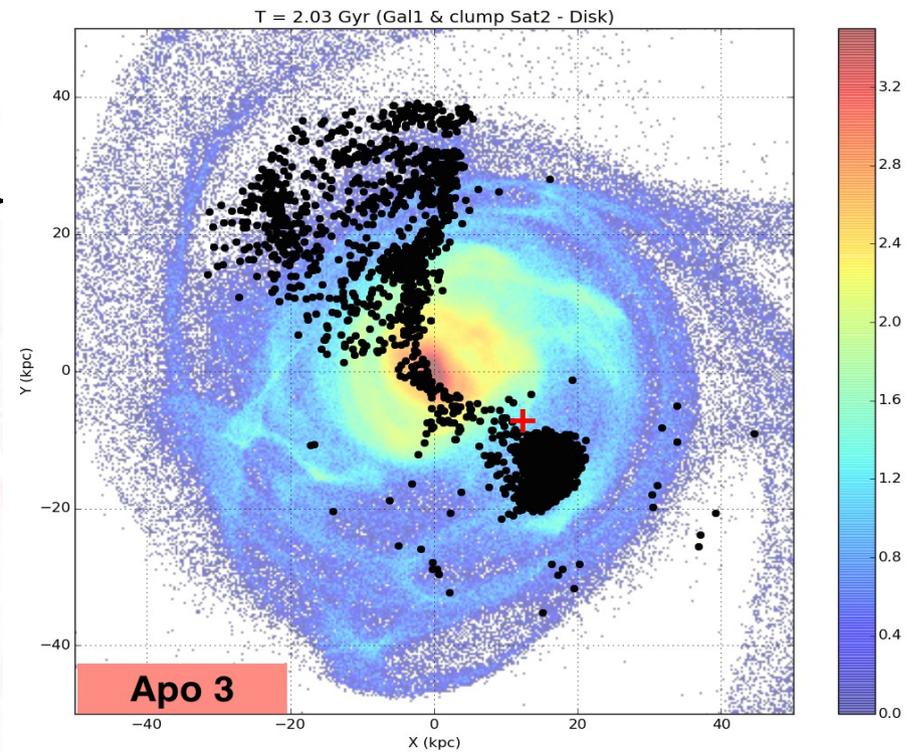
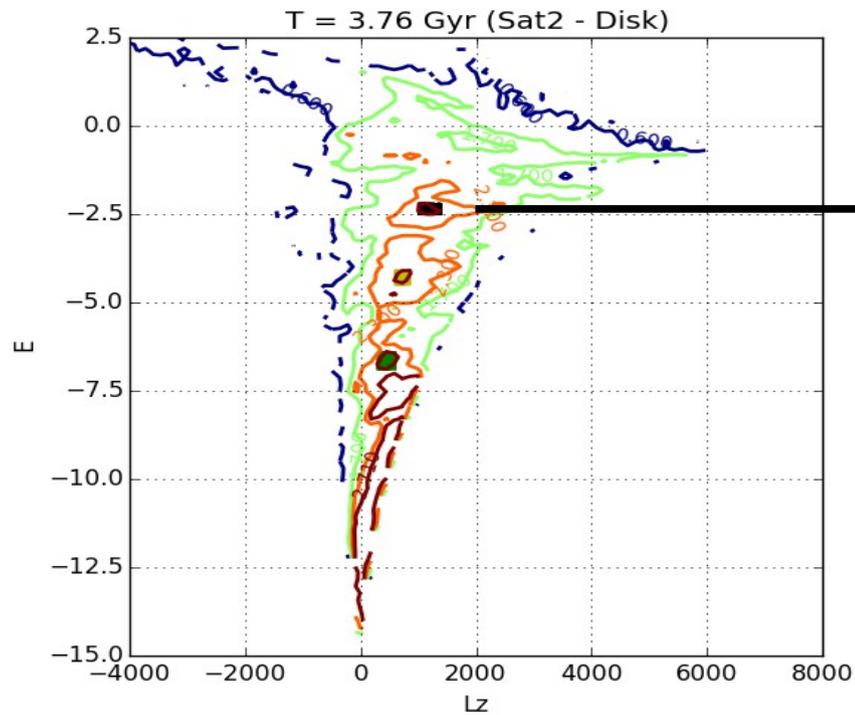
# Simulations – Interaction avec 1 satellite

## *Les clumps*



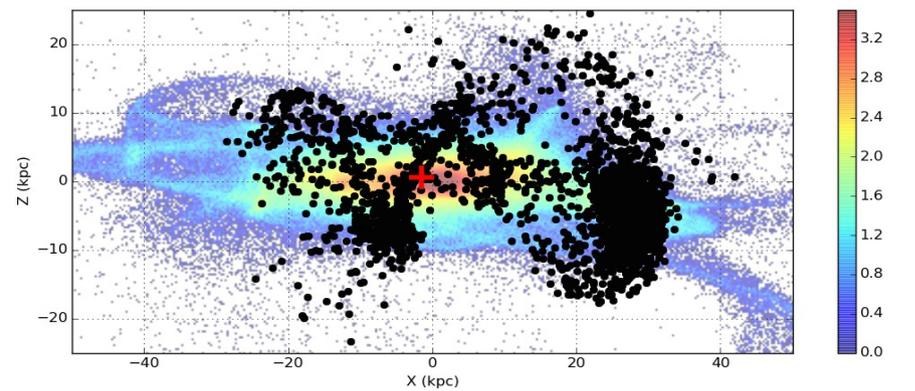
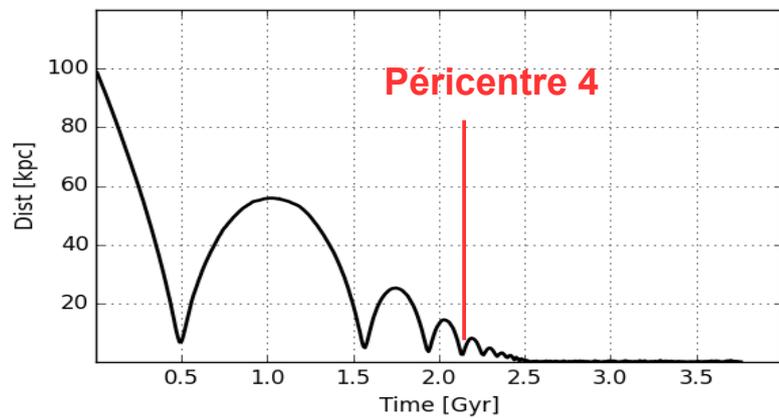
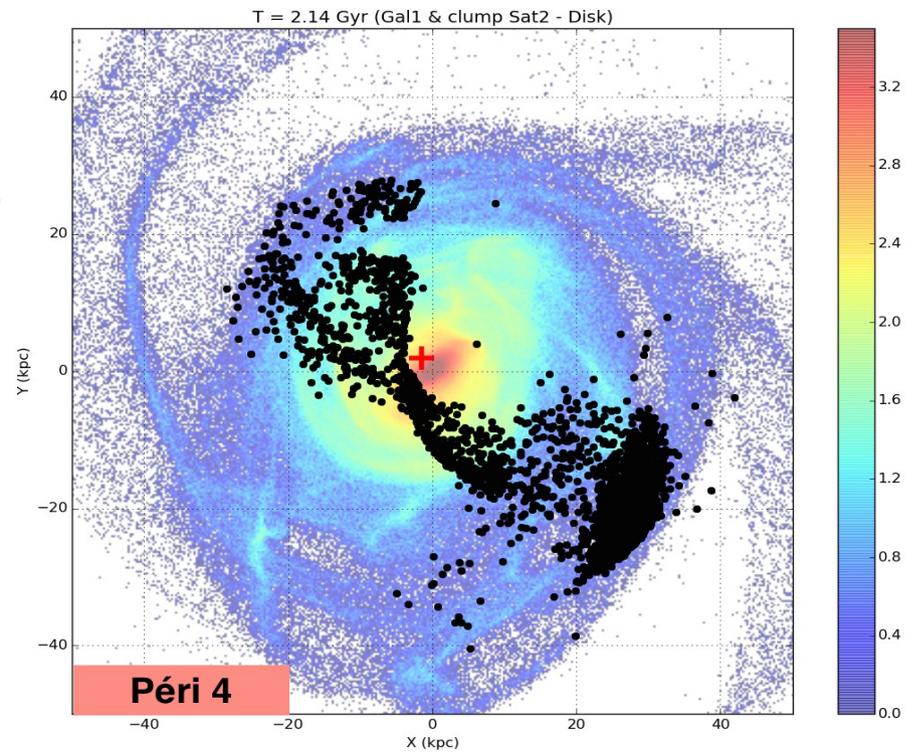
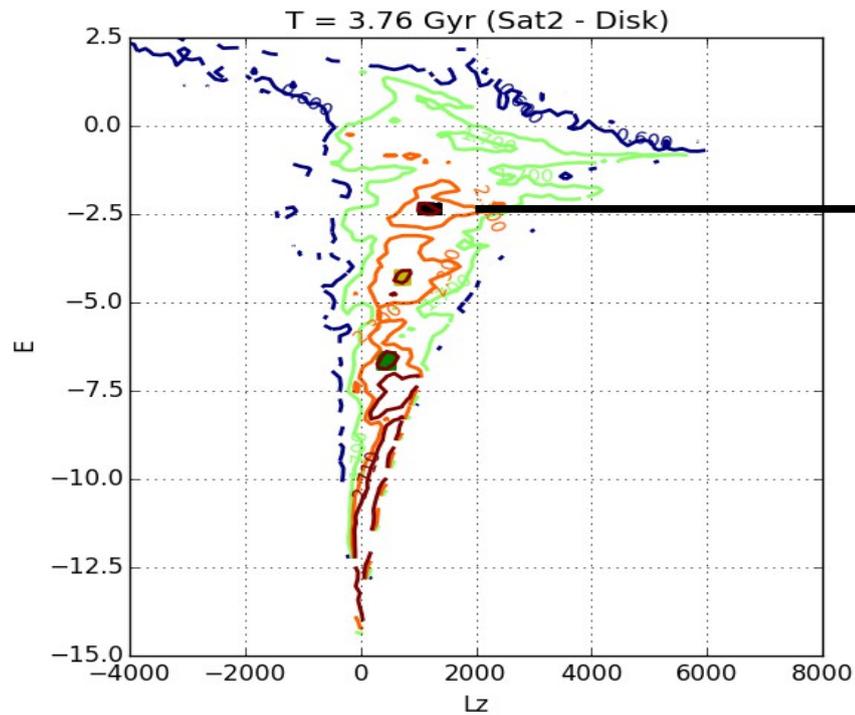
# Simulations – Interaction avec 1 satellite

## *Les clumps*



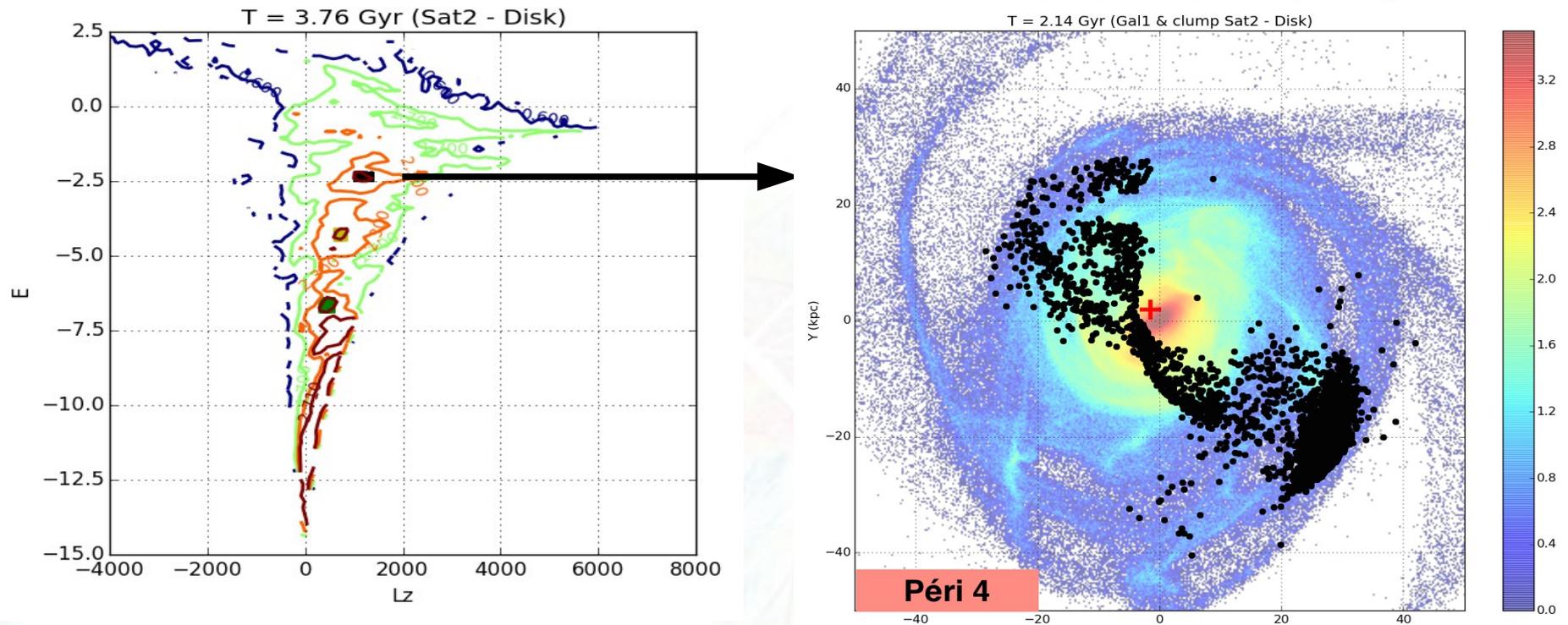
# Simulations – Interaction avec 1 satellite

## *Les clumps*



# Simulations – Interaction avec 1 satellite

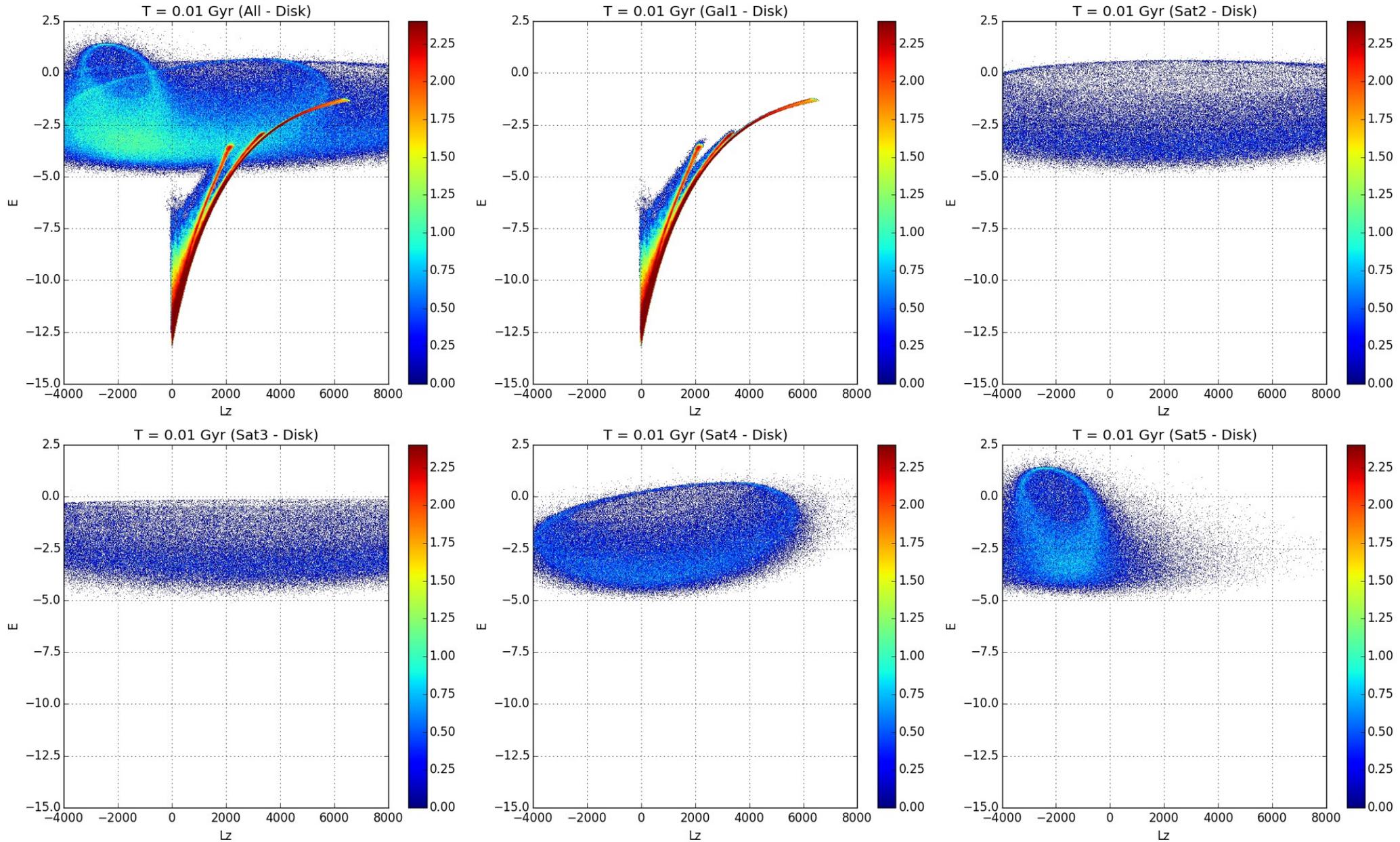
## Les clumps



- ◆ Dans la distribution des étoiles dans l'espace  $E - L_z$ , les clumps sont constitués d'étoiles qui se sont échappées du satellite lors de ses différents passages à l'apocentre
- ◆ 1 clump peut – être constitué d'étoiles perdues à différents temps.

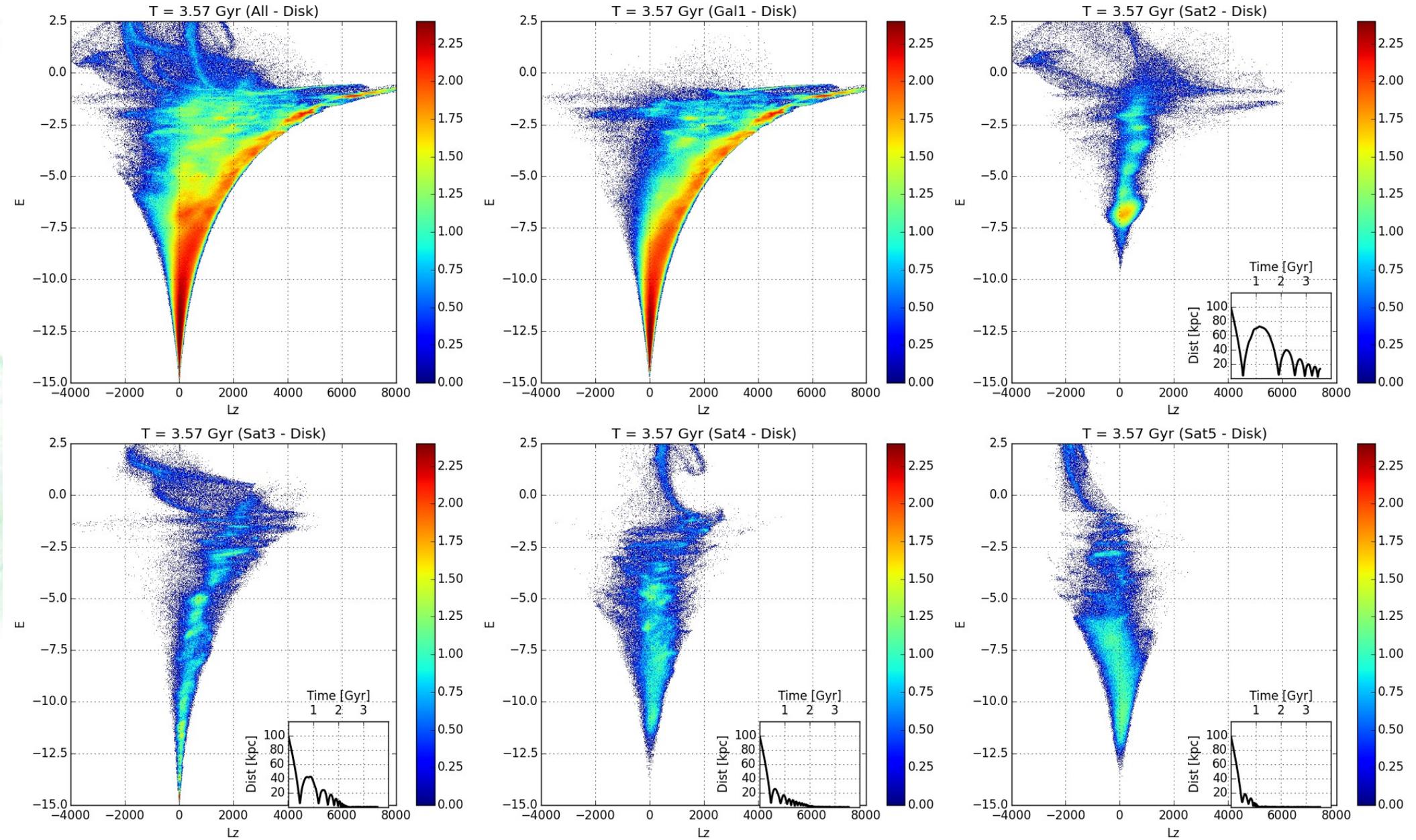
# Simulations – Interaction avec 4 satellites

*Espace des intégrales du mouvement*



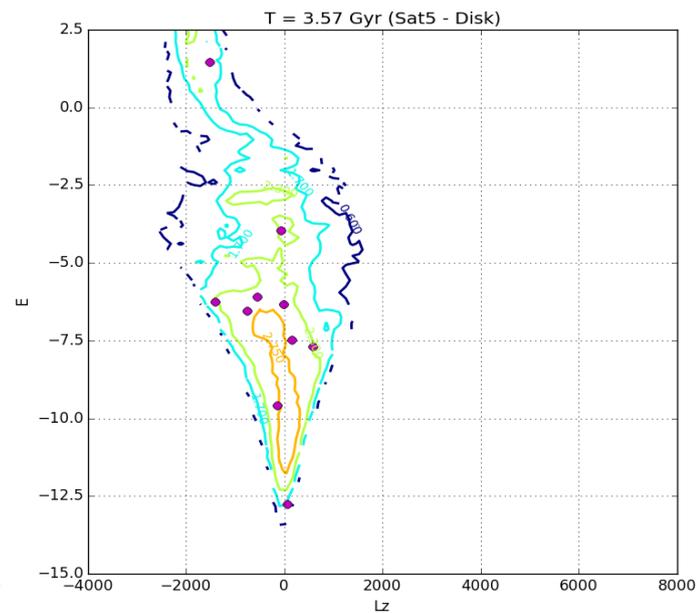
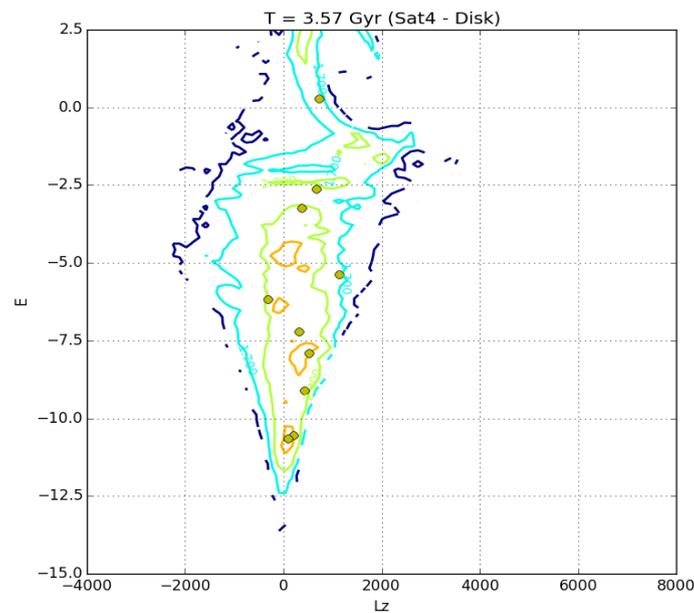
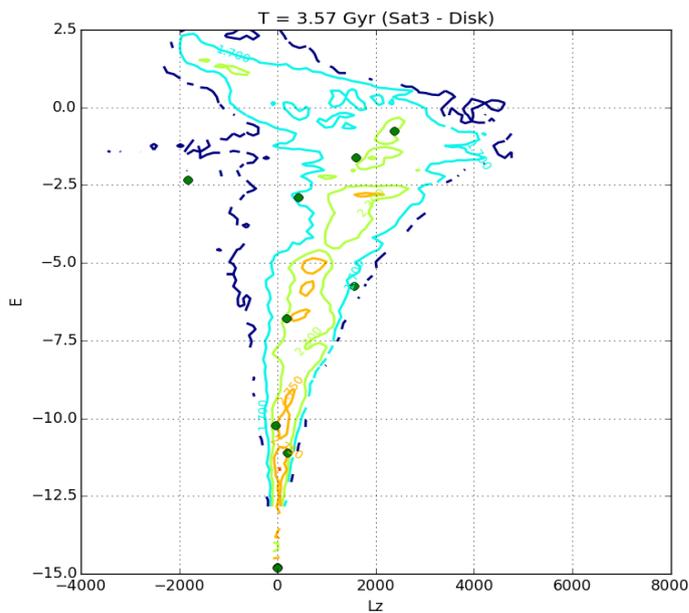
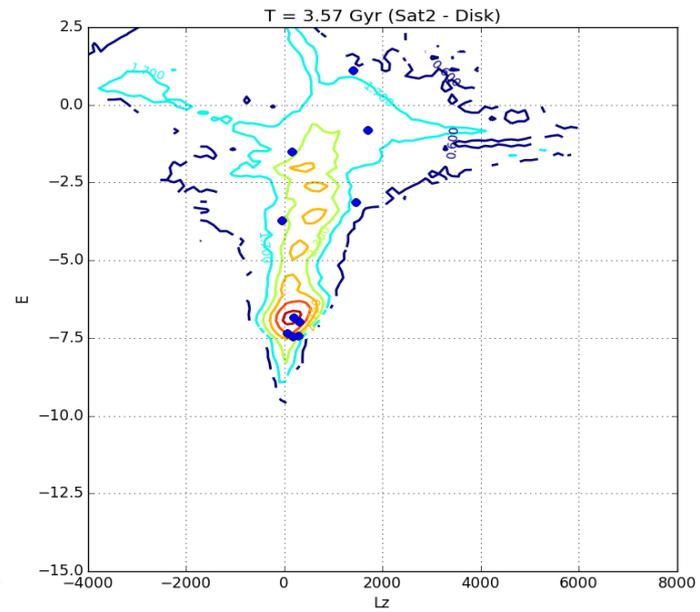
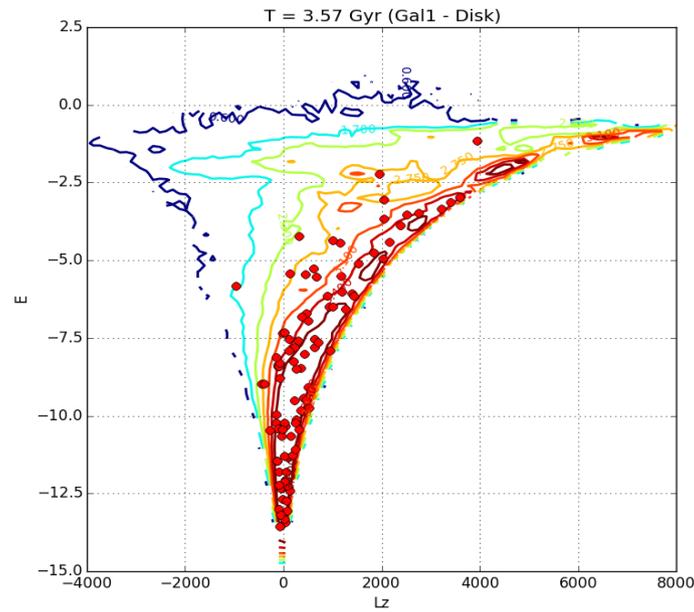
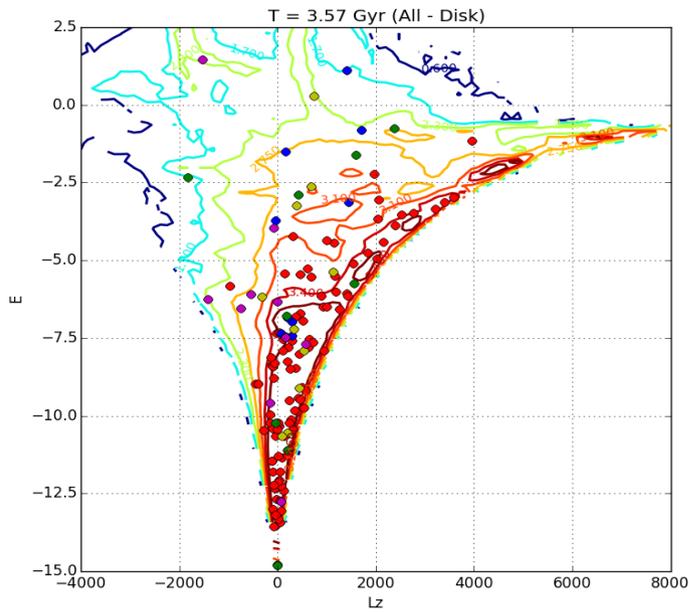
# Simulations – Interaction avec 4 satellites

*Espace des intégrales du mouvement*



# Simulations – Interaction avec 4 satellites

## Les amas globulaires



# Conclusion

- ◆ La distribution initiale des étoiles du satellite dans l'espace des intégrales du mouvement n'est pas maintenue après la fusion complète du satellite avec la Galaxie
- ◆ Les sous-structures (clumps) visibles dans l'espace  $E - L_z$  des galaxies satellites montrent les étoiles qui ont quitté le satellite lors de ses passages à l'apocentre. La densité des clumps dépend des conditions orbitales initiales des satellites. Les clumps semblent se maintenir dans l'espace  $E - L_z$  au cours du temps.
- ◆ Du fait de la superposition des étoiles des satellites avec les étoiles *in situ*, il est très difficile de remonter au nombre de galaxies satellites accrétées. L'identification même des débris d'accrétion est un vrai challenge dans l'espace des intégrales du mouvement. L'addition d'informations sur l'abondance chimique des étoiles peut aider à différencier les débris issus de différents événements d'accrétion.



**Merci de votre attention !**