

1 Discussion physique : feedback stellaire et distribution baryonique

1.1 Question de départ

On peut s'interroger sur le rôle du *feedback stellaire* dans la distribution de la matière baryonique.

Dans les modèles de formation galactique, les premières générations d'étoiles peuvent expulser du gaz par plusieurs mécanismes :

- vents stellaires,
- explosions de supernova,
- rayonnement ultraviolet intense.

Si ces processus ne dépendent pas directement de la présence de matière noire, on peut alors se poser la question suivante :

Si une galaxie expulse une grande fraction de sa matière baryonique, où se retrouve cette matière ?

On pourrait imaginer que cette matière se disperse dans une région de taille comprise entre

$$1 \text{ Myr} \lesssim R \lesssim 10 \text{ Myr}$$

(correspondant à environ 0.3 à 3 Mpc), contenant potentiellement une masse baryonique comparable à celle d'une galaxie massive :

$$M \sim 10^{10} - 10^{11} M_{\odot}.$$

Cela soulève la question de savoir si de telles concentrations diffuses de matière baryonique devraient être observables.

1.2 Contraintes énergétiques

L'expulsion complète du gaz d'une galaxie nécessite de surmonter l'énergie de liaison gravitationnelle du halo.

Une estimation d'ordre de grandeur donne

$$E \sim \frac{GM^2}{R}.$$

Pour une galaxie typique :

$$M \sim 10^{11} M_{\odot}, \quad R \sim 50 \text{ kpc}.$$

On obtient alors

$$E \sim 10^{59} \text{ J}.$$

Or une supernova libère environ

$$E_{\text{SN}} \sim 10^{44} \text{ J.}$$

Il faudrait donc approximativement

$$N_{\text{SN}} \sim 10^{15}$$

supernovae pour expulser totalement la masse baryonique d'une galaxie massive.

Cela montre que le *feedback* ne peut généralement pas vider complètement les grandes galaxies.

1.3 Distribution réelle du gaz expulsé

En pratique, le gaz expulsé reste souvent lié gravitationnellement au halo galactique et se distribue dans ce que l'on appelle le milieu circumgalactique (*Circumgalactic Medium*, CGM).

Ce gaz présente typiquement :

— une température

$$T \sim 10^5 - 10^6 \text{ K,}$$

— une extension spatiale de l'ordre de

$$100 \text{ kpc} \lesssim R \lesssim 500 \text{ kpc,}$$

— une masse baryonique totale

$$M \sim 10^9 - 10^{10} M_{\odot}.$$

Le gaz peut ensuite retomber vers la galaxie dans un processus appelé

galactic fountain.

1.4 Limites de l'expulsion à grande échelle

Pour que la matière atteigne des distances de plusieurs mégaparsecs, il faudrait des vitesses d'éjection de l'ordre de

$$v \gtrsim 3000 \text{ km s}^{-1}.$$

Or les vents galactiques typiques ont des vitesses de l'ordre de

$$v \sim 300 - 1000 \text{ km s}^{-1}.$$

Cela limite fortement l'extension maximale du gaz expulsé.

1.5 Cas particulier des galaxies naines

Dans les galaxies de faible masse :

$$M_{\text{halo}} \sim 10^9 - 10^{10} M_{\odot},$$

le potentiel gravitationnel est plus faible.

Dans ce régime, le feedback stellaire peut effectivement expulser une grande fraction du gaz baryonique, produisant des galaxies :

- ultra-diffuses,
- pauvres en étoiles,
- dominées par leur halo gravitationnel.

1.6 Le problème des baryons manquants

Les observations cosmologiques indiquent une densité baryonique

$$\Omega_b \approx 0.048.$$

Cependant, la matière baryonique observée dans les galaxies ne représente qu'environ

$$20\% - 30\%$$

de la valeur attendue.

Le reste est probablement distribué dans le

$$\textit{Warm-Hot Intergalactic Medium (WHIM)}$$

qui correspond à un gaz diffus situé entre les galaxies.

1.7 Interprétation dans le cadre de la RGH

Dans le cadre de la Relativité Générale Hypercomplexe (RGH), il est également possible d'envisager un scénario différent.

Certaines structures gravitationnelles pourraient correspondre à des halos dominés par la contribution hypercomplexe du champ gravitationnel :

$$T_{\mu\nu}^{\text{eff}} = T_{\mu\nu}^{\text{baryon}} + T_{\mu\nu}^H.$$

Dans certains régimes :

$$T_{\mu\nu}^H \gg T_{\mu\nu}^{\text{baryon}}.$$

Dans ce cas, un halo gravitationnel pourrait exister même en présence d'une très faible quantité de matière baryonique.

1.8 Conclusion

La question de la localisation des baryons expulsés par les processus de feedback stellaire reste un problème actif en cosmologie.

Les observations suggèrent que :

- une partie des baryons se trouve dans les halos circumgalactiques,
- une autre fraction est dispersée dans le milieu intergalactique chaud,
- certaines structures gravitationnelles pourraient contenir très peu de baryons.

Ces objets constituent des laboratoires astrophysiques importants pour tester les modèles de formation galactique et les extensions possibles de la gravitation.