

1 Flux baryonique galactique et éjection par feedback stellaire

1.1 Motivation

Les processus de formation stellaire produisent des mécanismes de rétroaction (*stellar feedback*) capables d'expulser une fraction importante du gaz baryonique d'une galaxie.

Les principaux mécanismes sont :

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

Ces mécanismes peuvent produire des vents galactiques capables de transporter du gaz au-delà du disque galactique.

La question physique fondamentale est alors :

Quelle quantité de matière baryonique peut être expulsée et jusqu'à quelle distance ?

1.2 Énergie de liaison gravitationnelle

Pour une galaxie de masse totale M et de rayon caractéristique R , l'énergie gravitationnelle de liaison est approximativement

$$E_{\text{bind}} \sim \frac{GM^2}{R}. \quad (1)$$

Pour une galaxie typique :

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

On obtient un ordre de grandeur

$$E_{\text{bind}} \sim 10^{59} \text{ J}. \quad (2)$$

L'énergie libérée par une supernova est typiquement

$$E_{\text{SN}} \sim 10^{44} \text{ J}. \quad (3)$$

Le nombre de supernovae nécessaires pour expulser entièrement le gaz serait donc

$$N_{\text{SN}} \sim \frac{E_{\text{bind}}}{E_{\text{SN}}} \sim 10^{15}. \quad (4)$$

Cela montre que l'expulsion complète de la matière baryonique est difficile pour les galaxies massives.

1.3 Vitesse d'éjection

Les vents galactiques présentent typiquement des vitesses

$$v_{\text{wind}} \sim 300 - 1000 \text{ km s}^{-1}. \quad (5)$$

La distance maximale atteinte par le gaz peut être estimée en comparant cette vitesse à la vitesse d'échappement du halo.

Pour un halo galactique typique :

$$v_{\text{esc}} \sim 500 \text{ km s}^{-1}. \quad (6)$$

Ainsi, une partie du gaz expulsé reste gravitationnellement liée au halo.

1.4 Milieu circumgalactique

Le gaz expulsé forme généralement un halo diffus appelé

Circumgalactic Medium (CGM)

caractérisé par :

$$T \sim 10^5 - 10^6 \text{ K}, \quad (7)$$

$$R \sim 100 - 500 \text{ kpc}, \quad (8)$$

$$M_{\text{gas}} \sim 10^9 - 10^{10} M_{\odot}. \quad (9)$$

Ce gaz peut ensuite retomber vers la galaxie dans un cycle appelé

galactic fountain.

1.5 Éjection dans le milieu intergalactique

Dans certains cas extrêmes (galaxies naines ou interactions gravitationnelles), une fraction du gaz peut être expulsée dans le milieu intergalactique.

Le gaz se distribue alors dans le

Warm-Hot Intergalactic Medium (WHIM)

caractérisé par :

$$T \sim 10^5 - 10^7 \text{ K}. \quad (10)$$

Ce milieu pourrait contenir une grande fraction des baryons manquants de l'univers.

1.6 Flux baryonique

On peut estimer le flux de masse éjectée par un vent galactique :

$$\dot{M}_{\text{out}} \sim \eta \dot{M}_\star, \quad (11)$$

où

- \dot{M}_\star est le taux de formation stellaire,
- η est le facteur de chargement du vent.

Les observations donnent typiquement

$$\eta \sim 1 - 10 \quad (12)$$

pour les galaxies à forte formation stellaire.

1.7 Limites de l'expulsion

Pour atteindre une distance de plusieurs mégaparsecs, la vitesse d'éjection devrait être

$$v \gtrsim 3000 \text{ km s}^{-1}. \quad (13)$$

Ces vitesses ne sont généralement pas atteintes par les vents galactiques standards.

Ainsi, la plupart du gaz expulsé reste confiné dans le halo circumgalactique ou le voisinage intergalactique immédiat.

1.8 Interprétation possible dans la RGH

Dans le cadre de la Relativité Générale Hypercomplexe (RGH), une autre interprétation peut être envisagée.

La gravité effective peut contenir une contribution provenant du champ hypercomplexe :

$$T_{\mu\nu}^{\text{eff}} = T_{\mu\nu}^{\text{baryon}} + T_{\mu\nu}^H. \quad (14)$$

Dans certains régimes :

$$T_{\mu\nu}^H \gg T_{\mu\nu}^{\text{baryon}}. \quad (15)$$

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

Ces structures pourraient correspondre à des halos hypercomplexes dans lesquels la matière ordinaire n'a jamais été capturée efficacement ou a été expulsée lors des premières phases d'évolution galactique.

1.9 Conséquences observationnelles

De tels systèmes pourraient apparaître comme :

- galaxies ultra-diffuses,
- halos gravitationnels détectés par dynamique des amas globulaires,
- structures dominées par une composante gravitationnelle invisible.

Ces objets constituent donc des laboratoires astrophysiques intéressants pour tester les modèles de formation galactique et les extensions géométriques de la gravitation.