Les structures de l'Univers de galaxies

Si nous décrivons par une matrice la variation de densité de matière produite par une perturbation, il existe un système de coordonnées particulier où l'on peut trouver, par diagonalisation de la matrice, les trois directions principales de compression. On obtient ainsi les valeurs propres de la compression pour chaque direction. La compression peut se faire selon trois modes : 1) si une des valeurs propres est bien supérieure aux autres, alors la compression se fera principalement dans la direction correspondante et il se formera une structure plane, 2) de même, si deux valeurs propres dominent il se formera une structure en filament, 3) si les trois valeurs propres sont quasiment identiques, il se formera une structure plus ou moins sphérique (un amas). Cette description s'accommode d'une évolution non-linéaire, seule capable d'expliquer les très fortes concentrations de galaxies observées en certaines régions. La description de l'Univers serait comme à un assemblage de bulles de savon : les galaxies seraient à la surface des bulles. Aux intersections des bulles il y aurait des filaments et aux intersections des filaments il y aurait des amas.

Encadré : L'idée de Ya.B. Zeldovich

Zeldovitch représente une perturbation appliquée à la matière, dans un repère Lagrangien (i.e., entraîné par l'expansion), par un vecteur $C(t).p(x')$. où les variables de temps et d'espace sont séparées. La matrice de déformation a pour élément : $C(t)\cdot \partial p_i / \partial x'_j$ (i, j =1 à 3).

Cette matrice est diagonalisable dans un repère x où ses éléments diagonaux, qu'on appelle les valeurs propres, seront notées : α, β, γ .

Nous nous placerons désormais dans ce repère, d'axes parallèles aux composantes de la déformation.

La conservation d'un élément de masse dM pour un volume d^3x entraîné par l'expansion (cas Lagrangien) et pour un volume d^3r non entraîné (cas Eulérien) s'écrit :

$$dM = \rho_0 . d^3x = \rho(r,t)\cdot d^3r \qquad (1)$$

Le passage de d^3r à d^3x se fait par le déterminant Jacobien J d'éléments $\partial r_i / \partial x_j$ (les r_i et x_j sont les composantes de r et x). Avec l'expansion et la perturbation l'expression de r est :

$$r = R(t)\left[x + C(t)\cdot p(x)\right]. \qquad (2)$$

$R(t)$ est le facteur d'échelle décrivant l'expansion. Les éléments de J se déduisent de l'équation (2).
$\partial r_i / \partial x_j = R(t)\cdot\left[\partial x_i/\partial x_j + C(t)\cdot \partial p_i / \partial x_j\right]$. Le Jacobien est diagonal dans le repère choisi. On a :

$$\rho(\vec{r},t) = \rho_0 \cdot J^{-1} = \rho_0 \cdot \begin{vmatrix} R(1+C.\alpha) & 0 & 0 \\ 0 & R(1+C.\beta) & 0 \\ 0 & 0 & R(1+C.\gamma) \end{vmatrix}^{-1}$$

$$\rho(\vec{r},t) = \frac{\rho_0}{R^3}\cdot \begin{vmatrix} 1/(1+C.\alpha) & 0 & 0 \\ 0 & 1/(1+C.\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 1/(1+C.\gamma) \end{vmatrix} = \frac{\rho_0}{R^3}\cdot\frac{1}{(1+C.\alpha)}\cdot\frac{1}{(1+C.\beta)}\cdot\frac{1}{(1+C.\gamma)}$$

Si $\alpha \to -1/C$ alors la compression tend vers l'infini dans la direction de x_1 : on formera un plan (pancake) ; Si $\alpha \approx \beta \to -1/C$ alors la compression tend vers l'infini dans deux directions orthogonales x_1 et x_2 : on formera un filament. Si $\alpha \approx \beta \approx \gamma \to -1/C$ alors la compression tend vers l'infini dans trois directions : on formera un amas.

Si la perturbation est nulle on obtient évidemment : $\rho(r,t) = \rho_0 / R^3$

Si la perturbation est très faible on retrouve l'approximation linéaire dépendant seulement du temps.