

Simulation UNIVERS avec COSMOGRAVITY

TUTORIEL version 12/4/2025

Notre connaissance présente de l'univers à grande échelle est fondée sur

- une théorie géométrique de la gravitation : la « relativité générale » qui relie les variations de la géométrie de l'espace-temps à celles de son contenu matière-énergie.
- le « principe cosmologique » selon lequel le contenu est homogène et isotrope (pareil partout et dans toutes directions à un instant donné).

Le modèle d'Univers ainsi construit ne peut représenter la réalité qu'à des échelles où l'univers réel est homogène et isotrope. Lorsque Einstein a publié son premier modèle d'univers statique en 1917 le principe cosmologique n'était qu'une hypothèse (simplificatrice) mais elle a été progressivement confortée par les observations au long du XX^e siècle. Et le rayonnement de fond cosmologique nous montre que les plus fortes inhomogénéités de étaient d'à peine 10^{-5} (1/100000). Cette symétrie est à la base des **simulations « UNIVERS »**

C'est à partir de ces infimes inhomogénéités que la matière et du refroidissement consécutif à l'expansion de l'espace qu'ont pu se former des objets massifs (galaxies, étoiles, planètes, astéroïdes, ... y compris des trous noirs) auprès desquels on peut calculer les trajectoires avec des **simulations « TRAJECTOIRES »**.

Simulation UNIVERS avec COSMOGRAVITY

TUTORIEL

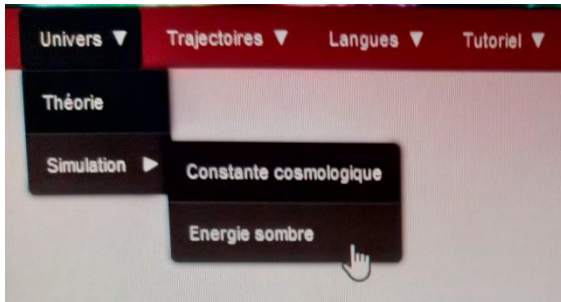
Le facteur d'échelle de l'univers

RAPPEL. Avec la relativité générale et le principe cosmologique la courbe **a(t)** du *facteur d'échelle réduit* de l'espace est déterminée par la donnée de la valeur présente de trois des 4 paramètres de densité Ω_i (i pouvant être rayonnement, matière, Λ constante cosmologique, k courbure) et de celle de la valeur présente H_0 du *taux d'expansion* H de l'espace.

1. En ouvrant l'onglet **Univers > simulation > constante cosmologique**, la simulation du modèle standard (valeurs collaboration Planck 2015) est lancée et affiche son $a(t)$.
2. Vous pouvez modifier les **Entrées** et simuler des **univers différents** en changeant les valeurs des paramètres de densité et du taux d'expansion. Note : le paramètre de densité de radiation Ω_{r0} est calculé à partir de la température du RFC qui est en entrées. **Cliquer sur « Tracer » pour lancer la nouvelle simulation.**
3. Vous pouvez également utiliser le **diagramme interactif** pour modifier Ω_{m0} et $\Omega_{\Lambda0}$.
4. Dans tous les cas vous pouvez **sauvegarder entrées et graphique** produit en cliquant sur **Enregistrer**
5. L'option **Univers Plat** force $\Omega_k = 0$ en ajustant $\Omega_{\Lambda0}$

UNIVERS avec COSMOGRAVITY

TUTORIEL



Dans la barre de menu sélectionner **Univers** puis **Simulation** et choisissez entre les modèles d'univers:

- avec constante cosmologique Λ
- avec Energie sombre

Un graphique du facteur d'échelle $a(t)$ apparaît

Par défaut les valeurs des paramètres cosmologiques sont celles du modèle standard (Planck 2015) avec Λ . Vous pouvez simuler d'autres univers en modifiant les valeurs présentes de ces paramètres et en cliquant sur « Tracer ». Sur la droite, un diagramme interactif des paramètres de densités présents de matière et de Λ Ω_{m0} et $\Omega_{\Lambda0}$ permet de modifier simplement ce couple de paramètres qui sont dominants pour l'évolution du facteur d'échelle de notre univers. Pour le choix « énergie sombre » les paramètres supplémentaires ont par défaut les valeurs $w_0=-1$ et $w_1=0$ pour lesquelles cette énergie sombre est mathématiquement équivalente à Λ (cf. Théorie).

En haut à droite de la fenêtre un bouton « Constantes » permet d'afficher les constantes de la physique : gravitation, vitesse de la lumière, Planck, Boltzmann. Par défaut ce sont bien évidemment leurs valeurs aujourd'hui « officielles ».

Vous pouvez changer les valeurs a_{\min} et a_{\max} du graphique et cliquer sur tracer

Simulation UNIVERS avec COSMOGRAVITY

TUTORIEL

Calculatrice cosmologique : la boîte à outils de l'observateur

Le clic sur **Calculatrice cosmologique** ouvre une nouvelle fenêtre : Les entrées de la fenêtre principale sont rappelées et les masses volumiques $\rho_{\Lambda 0}$, ρ_{m0} et ρ_{r0} sont calculées.

1. En entrant un (ou deux) z (et une intensité photométrique) et en appuyant sur **calcul** vous lancez le calcul des **paramètres** ainsi que ceux des **distances métriques** correspondant au(x) z (et les luminosités, distances luminosité, distances diamètre apparent, éclats)
2. En sélectionnant ensuite z_1 ou z_2 Vous pouvez calculer le **diamètre apparent** θ en secondes d'arc correspondant à un **diamètre réel** D (en m ou en pc) ou bien le calcul inverse en rentrant θ en secondes d'arc
3. D'autres calculs inverses sont disponibles : **$z(d_m)$, $z(t)$**
4. Enfin un **générateur de graphiques** à fins pédagogiques :
 1. **Quatre distances** en fonctions de z : distance métrique, distance luminosité, distance diamètre apparent, distance temps-lumière sur un même graphique entre z_{\min} et z_{\max}
 2. **Les quatre paramètres de densité** Ω_i en fonction de z entre z_{\min} et z_{\max}
 3. **Le temps cosmique** en fonction de z entre z_{\min} et z_{\max}

Constantes (un clic sur **Constantes** dans la fenêtre principale ouvre une nouvelle fenêtre)

Vous pouvez y modifier les valeurs par défaut des **constantes fondamentales** de la physique : c , k , h , G ... et choisir la définition de l'unité de temps année.