

# Gravité et Géométrie de l'espace-temps

*Relativité générale d'Einstein - Trous noirs - Énergie noire -  
Masses négatives - Modèle Janus à deux métriques de  
Jean-Pierre Petit*

Alain Boudet  
Dr es Sciences  
septembre 2025

© Copyright 2025 - Alain Boudet

Tous les documents présents sur ce site sont protégés par les lois sur les droits d'auteur.

Les publications de ce site sont identifiées par le numéro international ISSN  
2430-5626

**Cet article est l'aboutissement d'études, d'investigations, de compréhensions, de synthèse, de réflexions, de clarifications et de reformulation en langage simple, qui ont demandé une somme importante de travail.**

**Si vous deviez en tirer parti devant un public de lecteurs ou de spectateurs ou pour quoi que ce soit, merci de le citer**

**Résumé:** La publication de la théorie de la relativité restreinte en 1905 par Albert Einstein, suivie par celle de la relativité générale en 1915, ont profondément bouleversé les esprits des scientifiques ainsi que l'opinion commune. Subitement, l'espace n'était plus absolu, mais déformable. Il comportait une quatrième dimension, celle du temps. La gravitation devenait une courbure de cet espace-temps.

Karl Schwarzschild en a fourni une solution qui a donné naissance à la notion de trou noir. Alexander Fridman et Georges Lemaitre en ont fourni une autre qui prédisait que l'univers n'est pas statique, mais en expansion constante, et cela a été confirmé par les observations de Edwin Hubble en 1929. Cette expansion était censée ralentir peu à peu. Mais en 1998, des mesures ont montré qu'elle s'accélère. Les astronomes inventent alors la notion d'énergie noire, dont la gravitation est négative, qui expliquerait ce phénomène.

Le modèle Janus de Jean-Pierre Petit est une alternative qui se passe de l'énergie noire. Inspiré par le modèle des univers jumeaux du russe Andreï Sakharov, il comporte deux feuillettes en interaction, l'un avec des masses positives et l'autre avec des masses négatives. Il a l'avantage de rendre compte de phénomènes cosmiques par ailleurs incompris: la phase inflationnaire, l'existence de grands vides, l'homogénéité de l'univers, etc.

## Table des matières

<b>Albert Einstein et la relativité générale</b>		<b>4</b>
Un repère absolu dans l'espace	4	
Apparition de l'espace-temps	4	
Courbure de l'espace-temps	5	
L'équation d'Einstein	5	
Les solutions de l'équation d'Einstein	5	
L'éther et la relativité générale	7	
<b>Trous noirs et rayon de Schwarzschild</b>		<b>7</b>
Évolution des étoiles	7	
La conscience des étoiles	8	
Les champs de torsion comme source d'énergie	8	
Le rayon de Schwarzschild	9	
<b>L'univers en expansion et l'énergie noire</b>		<b>10</b>
Accélération de la vitesse d'expansion	11	
L'introduction de la matière sombre	11	
L'énergie noire mystérieuse	11	
La constante cosmologique	11	
Valeur de l'énergie noire	11	
Modèles alternatifs	12	
<b>Des masses négatives existent-elles?</b>		<b>12</b>
Masses négatives théoriques dans l'histoire	12	
Masse négative et antimatière	13	
Propriétés des masses négatives	13	
<b>Andreï Sakharov et les univers jumeaux</b>		<b>13</b>
Le dissident soviétique	14	
Les univers jumeaux	14	
Les modèles doubles	14	
<b>Le modèle Janus de Jean-Pierre Petit</b>		<b>14</b>
Les masses négatives du modèle Janus	15	
Propriétés des masses	16	
Accélération de l'expansion de l'univers	16	
La structure à bulles et la formation précoce des galaxies	16	
L'homogénéité, la phase d'inflation, et la vitesse de la lumière	17	
Le fond diffus cosmologique	18	
Attracteurs et répulseur	18	
Des trous pas si noirs	19	
<b>Annexes mathématiques</b>		<b>20</b>
<b>Les Espaces courbes de Bernhard Riemann</b>		<b>20</b>
Calculer la distance entre deux points sur une surface	20	
Tenseurs	21	
<b>Équation d'Einstein</b>		<b>21</b>
Solution de Schwarzschild	21	
Solution de Kerr	22	
Signature de la métrique	22	
Rayon de Schwarzschild	22	
<b>Modèle Janus de Jean-Pierre Petit</b>		<b>23</b>
<b>Références</b>		<b>25</b>

La physique classique s'est développée avec succès depuis Galilée et Newton jusqu'à la fin du 19<sup>e</sup> siècle. On la nomme *classique* parce qu'elle s'est répandue dans l'esprit populaire, mais aussi parce qu'elle est proche de notre expérience quotidienne, dans notre manipulation des objets, des pâtes, des liquides et des gaz.

Elle inclut l'astronomie qui, à l'époque, décrivait seulement le système solaire avec ses planètes en mouvement, et un univers statique, peuplé d'étoiles fixes.

Elle inclut également l'étude de la lumière, qui a culminé avec les apports de Maxwell et ses équations de l'électromagnétisme.

Pourtant, à la fin du 19<sup>e</sup> siècle, cette physique a buté sur certains phénomènes inexplicables dans son cadre (*voir mon article Matière et rayonnements* - [https://www.spirit-science.fr/Matiere/Phys1-matiere\\_ondes.html](https://www.spirit-science.fr/Matiere/Phys1-matiere_ondes.html)). C'est en partant de ces désaccords que sont nées d'autres physiques, essentiellement deux: la physique quantique et la relativité générale.

La **physique quantique** est apparue dans les années 1930 avec le physicien danois **Niels Bohr** (1885 - 1982), le physicien autrichien **Erwin Schrödinger** (1887 - 1961) et le physicien allemand **Werner Heisenberg** (1901 - 1976), mais elle a ses racines dans les années 1900, avec le physicien allemand **Max Planck** (1858 - 1948), qui a introduit mathématiquement la quantification des rayonnements électromagnétiques, et avec **Albert Einstein** qui en 1905, en a fait une caractéristique physique intrinsèque de la lumière.

La physique quantique s'applique aux espaces de dimensions atomiques et subatomiques et s'appuie sur la nature granulaire et finie des quantités d'énergie échangées. Deux articles lui sont consacrés dans ce site (*Concepts fondamentaux de la physique quantique* - <https://www.spirit-science.fr/Matiere/Phys2-quantique.html> - et *Énergie de l'espace dans la physique quantique relativiste* - <https://www.spirit-science.fr/Matiere/Phys3-ether.html>).

De son côté, la **relativité générale**, due à Albert Einstein, décrit les champs de gravitation et s'applique aux très grands espaces, à l'astronomie ou la cosmologie. C'est elle qui a popularisé la notion de trou noir. Cette théorie fait appel à la géométrie de l'espace et aux mesures de distances. Elle est élégante et très puissante. Elle est le fondement de cet article.

Mais son développement présente certaines incohérences, en particulier l'existence supposée de l'**énergie noire** que je vais présenter plus loin.

Alternativement, le modèle Janus, proposé par le physicien et théoricien **Jean-Pierre Petit**, permet de résoudre ces incohérences, moyennant l'introduction de la notion de masse négative.

La théorie de la **relativité générale** d'Einstein et la **physique quantique** sont deux théories incompatibles. Dans un autre article je décrirai certaines théories qui tentent laborieusement de les concilier.

En-dehors de ces modèles, il existe d'autres modèles qui se passent de l'introduction de l'énergie noire, de la quantification, et de la courbure de l'espace. Ils sont basés sur l'existence d'un fluide qui remplit tout l'espace, qui se manifeste par des pressions, des flux, des vortex. Ce fluide est appelé le plus souvent l'**éther**. Certains lui prêtent la faculté de **conscience**. Nous examinerons ces hypothèses dans d'autres articles.

Commençons par une description succincte de la relativité générale elle-même. Les données mathématiques seront indiquées dans l'annexe.

# Albert Einstein et la relativité générale



La cosmologie étudie les mouvements et l'évolution des étoiles et des galaxies, sous l'influence de champs de gravitation. En l'état actuel de la science, la théorie qui rend compte de ces mouvements est la **relativité générale**. Elle est l'œuvre du physicien d'origine allemande, **Albert Einstein** (1879 - 1955)

Dans mon article sur l'éther (*L'énergie de l'espace selon la physique quantique* - <https://www.spirit-science.fr/Matiere/Phys3-ether.html>), j'ai écrit qu'Einstein avait publié sa théorie de la relativité restreinte (ou spéciale) en 1905, et qu'elle a précédé la relativité générale. Ces deux théories reposent sur une redéfinition de l'espace.

## Un repère absolu dans l'espace

Pour définir la position d'un point dans l'espace, on y place un repère (dit aussi **référentiel**), fait de 3 axes par rapport auxquels on définit les 3 coordonnées du point. Les coordonnées sont les mesures des distances entre ce point et les axes. Mais quel est ce référentiel? Est-il quelconque?

Non. Il existe des référentiels particuliers dans lesquels tout objet ponctuel libre, c'est-à-dire non soumis à une force, s'y déplace en mouvement rectiligne à vitesse constante, ou reste immobile. C'est le principe d'inertie. Ces référentiels sont nommés **galiléens ou inertiels**.

Si nous nous installons dans un de ces repères, il nous est impossible de détecter une éventuelle vitesse constante de ce repère. Par exemple lorsqu'un train démarre à côté d'un autre qui reste immobile, on ne perçoit pas lequel est immobile et lequel démarre, tant qu'on ne s'aide pas d'un troisième point de vue, celui de l'environnement. Par contre, lorsque le train effectue un virage, on le sent par la force centrifuge qui nous projette sur le côté. Le train n'est plus galiléen.

Selon les fondements de la physique classique, **les lois de la nature prennent la même forme dans tous les référentiels galiléens**. Ces référentiels sont en en mouvement rectiligne et uniforme les uns par rapport aux autres.

Mais pourquoi dans la nature certains référentiels privilégiés sont-ils galiléens et pas les autres? **Isaac Newton** a donné une réponse en 1697 dans son ouvrage *Principia*. **Il existerait un espace absolu dans lequel les lois de la physique prennent des formes simples**. Les référentiels inertiels sont ceux qui sont soit immobiles soit en mouvement rectiligne et uniforme par rapport à cet espace absolu.

Or voici que le physicien **James Clerk Maxwell** arrive avec ses équations des ondes électromagnétiques (*voir article Matière et rayonnement* - [https://www.spirit-science.fr/Matiere/Phys1-matiere\\_ondes.html](https://www.spirit-science.fr/Matiere/Phys1-matiere_ondes.html)), qui malheureusement ne respectent pas ce principe d'invariance d'un référentiel à l'autre.

## Apparition de l'espace-temps

Einstein vient à la rescousse. Il redéfinit les notions de temps et d'espace. Ils ne sont plus absolus, mais relatifs les uns par rapport aux autres. Cela signifie que si l'on place des observateurs dans chacun des référentiels, ceux-ci semblent se contracter ou se dilater en fonction de leur vitesse par rapport à l'observateur. Temps et espace s'entremêlent dans un **espace-temps unique, qui comporte donc 4 dimensions**, les 3 d'espace et une de temps.

En outre, **la masse se révèle être une forme d'énergie**, avec la fameuse formule  $E=mc^2$ . En conséquence, de l'énergie peut se manifester comme une masse et une masse peut être transformée en énergie pure.

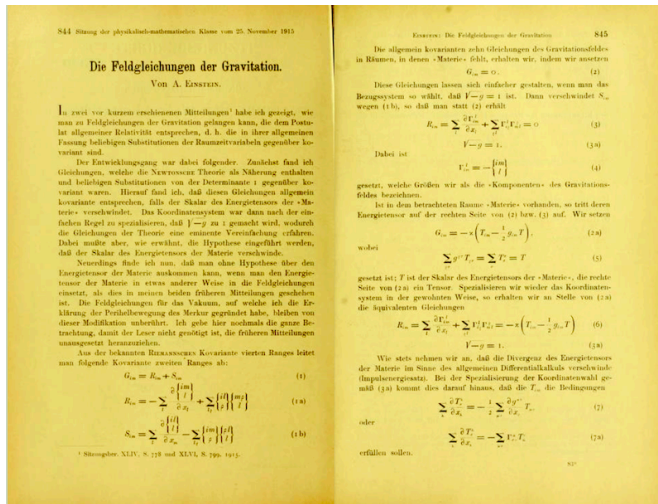
Dans cette théorie de la relativité restreinte, la notion d'éther se trouve éliminée. Dans sa publication, Einstein écrit:

*L'introduction d'un éther lumineux se révèle superflue par le fait que notre vision développée ici ne requiert aucun espace absolu au repos doué de propriétés particulières (A. Einstein, [Zur Elektrodynamik bewegter Körper](#), *Annalen der Physik*, 1905, 17, 891-921)*

# Courbure de l'espace-temps

Poursuivant ses recherches, Einstein s'efforce d'introduire la notion de gravitation dans ses équations. C'est alors qu'il élabore la théorie de la **Relativité Générale**, aidé des mathématiciens **Marcel Grossmann** et **David Hilbert**.

Dans cette théorie, les forces qui s'exercent sur des masses, c'est-à-dire les forces de gravitation, n'apparaissent pas directement. Elles sont remplacées par des modifications géométriques de l'espace-temps appelées **courbures de l'espace**, qui sont exprimées par des équations adéquates (*voir en annexe Les mathématiques de la relativité générale*).



Einstein présente sa théorie à l'Académie des sciences de Prusse en 1915 (*Die Feldgleichungen der Gravitation, A. Einstein, Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 25 nov. 1915, 844-847*), puis en 1916 (*Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie, A. Einstein, Annalen der Physik, 1916, 49, 769*).

Selon la Relativité Générale, la présence de matière, c'est-à-dire d'objets qui possèdent une masse, courbe l'espace-temps. C'est de cette courbure que découle le champ de gravitation.

Mais qu'est-ce qu'un espace courbe? La courbure de l'espace est définie par la façon dont on calcule la distance entre deux points

repérés par leurs coordonnées dans l'espace-temps, façon appelée la métrique de cet espace-temps. Cette métrique ne dépend pas du repère particulier que l'on choisit.

Si l'on représente l'espace à 3 dimensions en le réduisant à 2 dimensions, l'espace peut être représenté graphiquement par une surface élastique. Le temps intervient par son évolution. La présence d'une masse déforme cette surface en profondeur. Si une autre masse se présente, elle suit une géodésique de cette surface déformée, c'est-à-dire la ligne la plus naturelle, celle qui est la plus directe, la plus courte.

Selon l'expression du physicien états-unien **John Archibald Wheeler** (1911 - 2008), co-auteur de l'ouvrage *Gravitation* (1973), *La matière indique à l'espace-temps comment se courber; l'espace-temps indique à la matière comment se déplacer*.

Sur une surface courbe, par exemple une sphère, le chemin le plus court entre deux points (nommé la géodésique) suit la courbure de la sphère et se calcule différemment que sur une surface plane. (*voir Annexes mathématiques*)

## L'équation d'Einstein

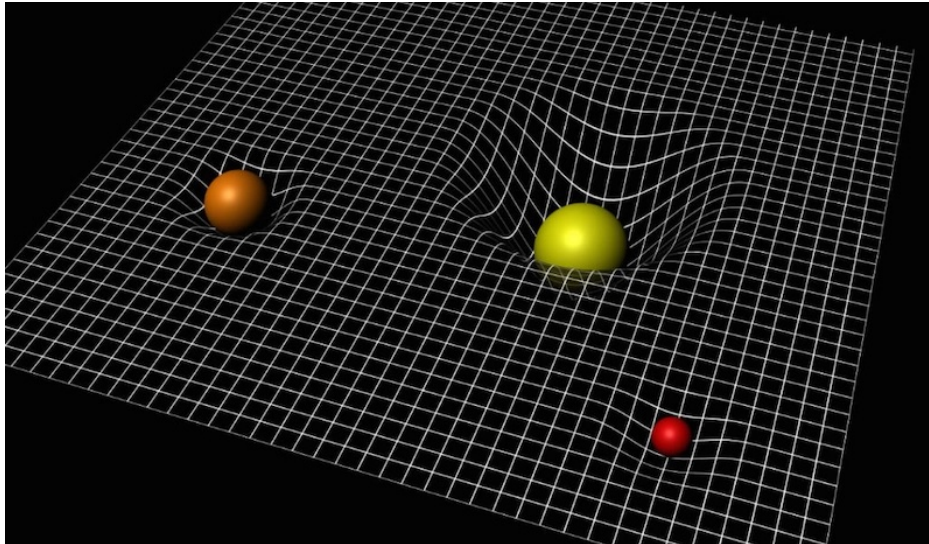
Einstein en déduit une équation qui relie d'un côté la matière, exprimée par l'élément **T**, et de l'autre l'espace-temps exprimée par l'élément **G**. L'élément **T** représente la densité d'énergie de la matière et inclue ses caractéristiques d'énergie et de quantité de mouvement qui causent la courbure de l'espace-temps. L'élément **G** décrit la courbure de l'espace-temps qui en résulte.

Étant donné une masse représentée par **T**, le jeu consiste à trouver la ou les solutions de cette équation pour en déduire la valeur de **G**, donc la métrique résultante et ses géodésiques.

**G** et **T** sont des êtres mathématiques spéciaux appelés **tenseurs**, sortes de vecteurs dotés de plus de 2 valeurs. Dans le cas de l'espace-temps à 4 dimensions, **G** et **T** comportent un ensemble de dix composantes, exprimées par des coordonnées dans l'espace-temps, conduisant à 10 équations à résoudre.

## Les solutions de l'équation d'Einstein

Ces 10 équations sont bien trop complexes pour qu'on puisse les résoudre directement. Les cosmologistes ont dû faire des hypothèses supplémentaires simplificatrices pour trouver des solutions mathématiques dans des cas particuliers.



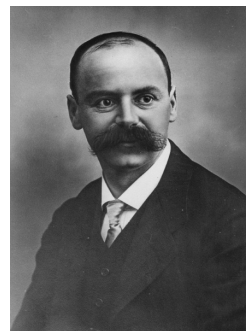
En premier lieu, ils supposent que l'Univers est **homogène**. Cela signifie qu'il y a partout à peu près la même densité de matière et de rayonnement.

En réalité, l'Univers n'est pas homogène, bien qu'il en soit très proche. Les étoiles sont rassemblées dans des galaxies, les galaxies dans des amas et des super-amas, et les super-amas dans des filaments (*voir article Aspects géométriques et sonores de l'Univers* - [https://www.spirit-science.fr/doc\\_structure/codes\\_geometriques.html](https://www.spirit-science.fr/doc_structure/codes_geometriques.html)).

Les cosmologistes supposent aussi que l'Univers est **isotrope**, c'est-à-dire qu'il se présente de la même façon dans toutes les directions à partir de n'importe quel point de l'espace. On appelle ces hypothèses le **principe cosmologique**.

## Solution de Karl Schwarzschild

En 1915, moins de 2 mois après la publication de l'équation d'Einstein, le physicien prussien **Karl Schwarzschild** (1873-1916) trouve une solution en se restreignant au cas où l'objet de masse  $M$  créateur de la courbure (par exemple une étoile), est sphérique et sans mouvement de rotation. Il calcule la courbure de l'espace-temps à l'extérieur de l'étoile, qu'on connaît maintenant sous la dénomination de **géométrie de Schwarzschild**.



Il envoya une lettre à Einstein dans laquelle il lui exposait ses calculs. Einstein les présenta à l'Académie des sciences de Prusse le 13 janvier 1916. (*Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie, Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften, 1916, 189-196* [https://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/get\\_file?pdfs/SPAW./1916/1916SPAW.....189S.pdf](https://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/get_file?pdfs/SPAW./1916/1916SPAW.....189S.pdf))

Quelques semaines plus tard Einstein reçoit un nouveau courrier de Schwarzschild qu'il va lire le 24 février devant l'Académie, où il a calculé la courbure de l'espace-temps à l'intérieur de l'étoile. (*Über das Gravitationsfeld einer Kugel aus inkompressibler Flüssigkeit nach der Einsteinschen Theorie, Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1916, 424-434* <https://archive.org/details/sitzungsberichte1916deutsch/page/424/mode/2up?view=theater>).

La première métrique est dite extérieure à l'étoile, et la seconde intérieure.

Il a déterminé le rayon minimal à partir duquel la lumière ne peut plus s'échapper. Il trouve environ 3 km pour le Soleil.

## Solution de Kerr-Newman

Toujours dans le cas d'un univers homogène et isotrope, le mathématicien néo-zélandais **Roy Patrick Kerr** (né en 1934) a trouvé en 1963 une solution exacte aux équations de la relativité générale qui s'applique cette fois aux masses **en rotation** sans charge électrique. Avec le physicien états-unien **Ezra Newmann** (1929 - 2021), il trouve en 1965 la solution pour une masse en rotation avec **une charge non nulle**.

## L'éther et la relativité générale

Dans le cadre de la Relativité Générale, l'espace est donc texturé par un **milieu continu abstrait** (le champ de gravitation), **sans support matériel** bien qu'il soit **doué de propriétés physiques** comme la faculté de se déformer. Einstein le considéra alors comme l'éther, qu'il réintroduisit dans sa vision de l'espace-temps. Il l'indiqua clairement à une conférence qu'il prononça à l'université de Leyde le 5 mai 1920:

*Le point de vue qu'on pouvait, au premier abord, adopter en face de cet état de choses [les conclusions de la relativité restreinte] semblait être le suivant: l'éther n'existe point du tout [...] Une réflexion plus attentive nous apprend pourtant que cette négation de l'éther n'est pas nécessairement exigée par le principe de la relativité restreinte.*

*On peut admettre l'existence de l'éther, mais il faut alors **renoncer à lui attribuer un état de mouvement déterminé**, c'est-à-dire qu'il faut le dépouiller par l'abstraction de son dernier caractère mécanique que Lorentz lui a encore laissé. [...]*

*En résumé, nous pouvons dire:*

*Selon la théorie de la relativité générale, **un espace sans éther est inconcevable**, car non seulement la propagation de la lumière y serait impossible, mais il n'y aurait même aucune possibilité d'existence pour les règles et les horloges et par conséquent aussi pour les distances spatio-temporelles dans le sens de la physique. (Albert Einstein, *L'éther et la théorie de la Relativité Générale*, 1928, Leiden Lecture, Éd. Gauthier-Villars)*

On constate que la nature de cet éther reste floue, et qu'il ne se manifeste pas.

## Trous noirs et rayon de Schwarzschild

C'est à partir de la solution de Schwarzschild qu'est né le concept de rayon gravitationnel, suivi de la notion de trou noir. Celle-ci avait été proposée bien avant l'existence de la relativité générale, avant que le terme trou noir soit forgé. Le trou noir est défini comme un corps tellement massif que la lumière ne peut pas s'en échapper.

Ce phénomène avait déjà été signalé par l'astronome **John Michell** en 1784 devant l'auditoire de la *Royal Society de Cambridge*, puis en 1796 par le mathématicien et philosophe **Pierre Simon de Laplace** devant l'auditoire de l'*Académie des Sciences*, avec le raisonnement suivant.

Si la lumière, disaient-ils, est faite de corpuscules (selon la théorie alors en vogue), alors ceux-ci ne peuvent s'échapper d'un objet de masse **M** et de rayon **r** que si leur énergie cinétique est supérieure à leur énergie potentielle gravitationnelle, et donc si **r** est supérieur à une certaine valeur **r<sub>0</sub>**. Autrement dit si les corpuscules de lumière sont suffisamment éloignés du centre. Ce rayon vaut environ 1 cm pour la Terre et 3 km pour le soleil.

L'idée tombe en désuétude jusqu'à ce qu'elle renaisse avec la relativité générale et la géométrie de Schwarzschild. Comme le souligne le cosmologiste Jean-Pierre Petit que je présente plus loin, la notion de trou noir a pris naissance en 1939 avec l'article des physiciens états-uniens **Robert Oppenheimer** (1904 - 1967) et **Hartland Sweet Snyder** (1913 - 1962) *On Continued Gravitational Contraction* (<https://www.jp-petit.org/papers/cosmo/1939-Oppenheimer-Snyder.pdf>) dans lesquels ils calculent l'effondrement d'une étoile massive.

La construction du modèle et son nom de *trou noir* sont dus au physicien états-unien **John Archibald Wheeler** (1911 - 2008) et à son étudiant **Charles W. Misner** (1932 - 2023), auteurs d'un article de 1957 (*Gravitation as Properties of a Curved Empty Space. Flux in multi Connected Spade. Annals of Physics 2, 525*), qui sont plus tard devenus célèbres pour leur volumineux livre rédigé avec **Kip Thorne** (prix Nobel 2017) et publié en 1973 *Gravitation*.

Pour mieux comprendre cette notion de trou noir, prenons connaissance de la façon dont évoluent les étoiles.

## Évolution des étoiles

Selon le modèle cosmologique standard, les étoiles naissent de la contraction d'un nuage de gaz et de molécules, due à la force de gravitation. La contraction se poursuivant, la

température de cet agglomérat s'élève, jusqu'à atteindre un seuil où s'enclenchent des **réactions de fusion nucléaire**.

Ces réactions nucléaires sont la source de leur énergie et de leur brillance. **Elles transforment l'hydrogène en hélium**. Au début, l'étoile est composée d'environ 70 % d'hydrogène et de 28 % d'hélium. L'étoile trouve un **équilibre entre la tendance à la dilatation provoquée par la fusion de l'hydrogène et la tendance à la contraction due à la gravité**.

Les étoiles grossissent ensuite en captant de la matière dans l'espace. Elles s'entourent d'un disque dit d'accrétion (accrétion = accroissement par agglomération).

Lorsque l'hydrogène est épuisé, l'étoile devient une **géante rouge**, dans laquelle se produit la fusion des noyaux d'hélium en carbone et en oxygène.

Puis elle se change en **naine blanche**, une étoile très ramassée et très dense, d'une taille similaire à la Terre mais dont la masse est équivalente à celle du Soleil. Si cette masse dépasse 1,44 fois celle du Soleil, l'étoile s'effondre sous l'effet de son propre poids.

Les étoiles dont la masse est comprise entre 8 et 40 masses solaires évoluent en **supergéantes rouges**. La fusion des éléments chimiques se poursuit par étapes jusqu'à synthétiser du silicium et du fer. Puis, une **étoile à neutrons** se forme, d'un diamètre d'environ 10 kilomètres, constituée uniquement de neutrons agglomérés.

Les cosmologistes estiment que les étoiles dont la masse dépasse 3 fois celle du Soleil s'effondrent sur elles-mêmes et aboutissent à la création d'un **trou noir**.

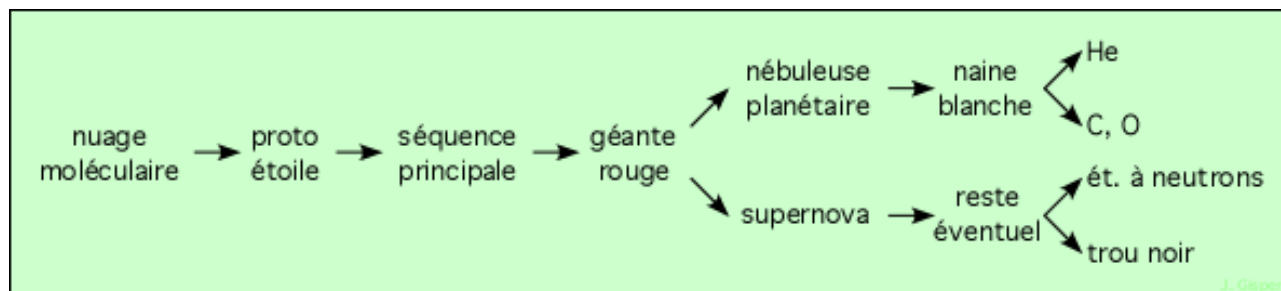


Schéma tiré du cours d'astronomie de Jacques Gispert à l'observatoire de Marseille - [https://astronomia.fr/4eme\\_partie/evolution.php](https://astronomia.fr/4eme_partie/evolution.php)

## La conscience des étoiles

Le schéma d'évolution précédent a été élaboré par des cosmologistes en tenant compte uniquement des réactions nucléaires et thermiques et de la force de gravité. Il y a pourtant d'autres facteurs d'évolution qui interviennent.

En effet, selon certains enseignements spirituels, les étoiles sont douées de conscience. Cela signifie qu'elles procèdent d'un **acte de création issu des plans supérieurs de réalité**.

De même qu'un être humain est une âme habitant un corps de chair, et que cette âme évolue par le jeu de ses expériences corporelles terrestres (*voir mon article Les plans subtils d'intelligence supérieure* - [https://www.spirit-science.fr/doc\\_spirit/realite-superieure.html](https://www.spirit-science.fr/doc_spirit/realite-superieure.html)), de même une conscience habite une étoile, ce qui lui permet de vivre un autre type d'évolution, où le temps n'a plus la même signification.

De même qu'une âme incarnée est limitée par les lois physiques et biologiques liées à son corps, de même une conscience habitant une étoile obéit aux lois physiques de son état. Je ne sais pas dans quelle mesure elle peut agir sur sa destinée.

## Les champs de torsion comme source d'énergie

Un autre facteur d'évolution des étoiles, plus tangible et mesuré scientifiquement, est le champ de torsion, découvert et étudié par l'astronome russe **Nikolaï Kozyrev**. Pour lui, une étoile ne tire pas son énergie seulement des réactions nucléaires qui l'amènent à brûler jusqu'à épuisement. Elle reçoit également de l'énergie de son environnement, le vide de l'espace, rempli de **champs de torsion** (que d'autres nomment **éther**), qui lui permet de se régénérer.

J'ai décrit en détail le travail de Kozyrev et les caractéristiques des champs de torsion dans

mon article *L'éther fluide et tourbillonnaire des champs de torsion* ([https://www.spirit-science.fr/Matiere/phys51\\_torsion.html](https://www.spirit-science.fr/Matiere/phys51_torsion.html)). Je cite:

*Kozyrev met le doigt sur la contradiction aigüe entre la deuxième loi de la thermodynamique qui emmène l'Univers vers sa mort thermique [qui consiste en un équilibre thermique uniforme sans aucun mouvement], et l'absence de signes quelconques indiquant un équilibre dans la diversité observée de l'Univers. [...] Les corps célestes et leurs systèmes sont si bien isolés les uns des autres que leur mort thermique [selon la loi de la thermodynamique] aurait dû se produire bien avant qu'un système externe puisse interférer. (Kozyrev N.A. 1963, extrait de Causal mechanics and the possibility of experimental studies of the properties of time. Dans: History and Methodology of Natural Science. 2nd issue, en russe. Cité par A.P. Levich 1996)*

## Le rayon de Schwarzschild

Revenons à la notion de trou noir.

Lorsqu'une masse est très concentrée dans l'espace, par exemple dans une étoile à neutrons, sa force gravitationnelle est si intense qu'elle empêche toute forme de matière ou de rayonnement placés en-dessous d'une certaine distance de son centre, de s'en échapper.

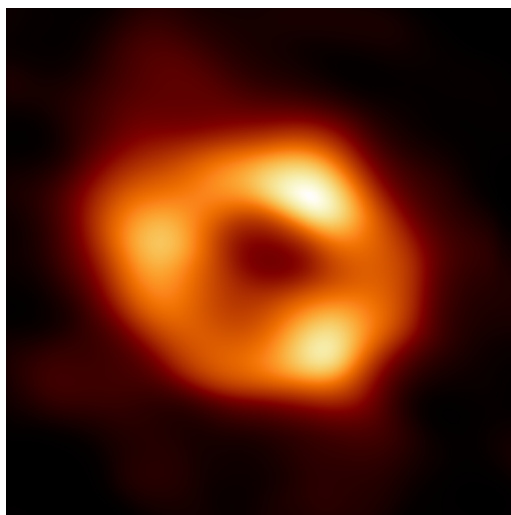
Cette distance est nommée **rayon gravitationnel** ou **rayon de Schwarzschild  $R_s$** . Au-dessus, la matière et la lumière sont libres. Le trou noir est défini comme une boule sphérique à l'intérieur de laquelle un observateur extérieur ne peut rien voir. C'est ce qui lui a valu le nom de *trou noir*. Étonnamment, le calcul du rayon gravitationnel aboutit à la même valeur que celle calculée par Laplace  $r_0$  (*voir annexes mathématiques en fin d'article*).

Si au lieu de la métrique de Schwarzschild, on adopte celle de Kerr, on obtient une valeur du rayon gravitationnel un peu plus petite.

La sphère de libération, ou surface du trou noir, est appelée **horizon des événements**, car une particule qui vient de l'extérieur et entre dans cette sphère ne reviendra jamais (selon cette théorie moyennement simplificatrice).

L'observation astronomique n'a fourni que quelques rares exemplaires d'étoiles qui ont été interprétées comme des trous noirs. Par exemple, l'**objet M87\*** dans la galaxie M87 a été imagé le 10 avril 2019 par l'équipe de l'*Event Horizon Telescope*, un réseau de 8 radiotélescopes implantés sur toute la surface de la Terre.

Un autre nommé **Sagittarius A\*** a été imagé par le même réseau EHT au cœur de notre galaxie, la Voie lactée, et publié le 12 mai 2022.



Merci à Wikipédia. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Sagittarius\\_A\\*#/media/Fichier:EHT\\_Sagittarius\\_A\\_black\\_hole.tif](https://fr.wikipedia.org/wiki/Sagittarius_A*#/media/Fichier:EHT_Sagittarius_A_black_hole.tif)

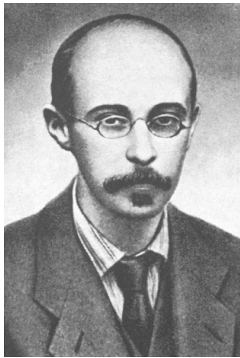
En contradiction, le cosmologiste Jean-Pierre Petit a montré que les équations d'origine de Schwarzschild révélaient qu'une autre situation critique avait lieu avant l'état de trou noir. Cette solution a été oubliée. Dans ce cas, on reste à l'état de **trou gris**, c'est-à-dire que la lumière est atténuée mais pas complètement prisonnière (*voir annexes mathématiques*).

## L'univers en expansion et l'énergie noire

L'univers est en expansion. Cela signifie que la distance entre deux étoiles, quelles qu'elles soient, augmente avec le temps, comme les grains de raisins immergés dans la pâte, qui s'écartent dans un soufflé pendant la cuisson, comme le disait Hubert Reeves.

Cette idée d'expansion est récente. Elle ne date que des années 1920, pas plus. Auparavant, on se représentait une voûte céleste fixe, où évoluaient le système solaire et ses planètes. Dans les débuts de la relativité générale, on pensait encore que l'univers était statique et immuable. Mais les calculs et les observations astronomiques vont mettre à mal cette représentation.

Deux chercheurs, Alexander Fridman et Georges Lemaître, vont trouver, indépendamment l'un de l'autre, des équations mathématiques qui régissent l'énergie de l'univers, solutions de l'équation d'Einstein.



Le physicien russe **Alexander Fridman** (souvent francisé en Alexandre Friedmann - 1888 - 1925) publie un article en 1922 relatif aux espaces à courbure spatiale positive, puis un autre en 1924, incluant le cas d'une courbure spatiale négative. Ses équations prédisent que **l'univers est en expansion**.

D'autre part, sans avoir eu connaissance des travaux de Fridman, le physicien belge et prêtre **Georges Lemaître** (1884 - 1966) publie ces mêmes équations dans un article de 1927. Elles prédisent une expansion de l'univers à vitesse d'autant plus grande que les galaxies sont éloignées. **La vitesse d'expansion (nommée vitesse de fuite ou vitesse de récession par les cosmologistes) est**

**proportionnelle à la distance de leur éloignement.** (*Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques, Annales de la Société Scientifique de Bruxelles, ann. soc. sci. bruxelles, 47A, 1927, 49 - <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1927ASSB...47...49L/abstract> - <https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1927ASSB...47...49L>)*



Par ces équations, Fridman et Lemaître brisaient l'image d'un univers statique et lui substituait **un univers mobile, en expansion**, ce qui demandait un certain courage pour braver l'opinion ambiante.

La conséquence logique est qu'on peut se demander comment l'univers était au-début de l'expansion. En remontant le temps, l'univers devient de plus en plus dense et de plus en plus chaud, et commence par une singularité, qui est un point d'énergie concentré, inimaginable, impossible à décrire. C'est l'origine de la notion de **Big Bang**, selon le mot de **Fred Hoyle** (cosmologiste britannique, 1915 - 2001).

En 1929, **Edwin Hubble** (astronome états-unien 1889 - 1953) publie le résultat des mesures de vitesses de fuite de quelques dizaines de galaxies. Elles confirment que l'univers est en expansion et que **les objets célestes s'éloignent à des vitesses proportionnelles à leurs distances**. Elles fournissent une valeur de la constante de proportionnalité **H<sub>0</sub>**, nommée depuis constante de Hubble, pas si constante que ça car sa valeur peut varier légèrement.

La loi de Hubble-Lemaître s'écrit **V = H<sub>0</sub>.d**, où **H<sub>0</sub>** vaut environ 67 km/s.Mpc (67 kilomètres par seconde et par mégaparsec) à 10% près (*Edwin Hubble, A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 15, 168-173, 1929 - <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.15.3.168>*)

## Accélération de la vitesse d'expansion

Après l'abandon d'un univers statique, se présente alors une nouvelle information susceptible de chahuter les esprits trop tranquilles.

En effet, selon les équations de Fridman-Lemaître, l'univers continue à se dilater sans arrêt et devrait aller vers une extinction progressive tandis que **la vitesse d'expansion ralentirait**.

Mais cette prévision est contredite en 1998 par des observations réalisées par des astronomes états-uniens (**Saul Perlmutter**, **Brian Schmidt** et **Adam Riess**, tous les trois prix Nobel de Physique en 2011), effectuées sur des explosions d'étoiles phares (des supernovae de type Ia). Elles indiquent que **l'expansion de l'Univers s'accélère**.

## L'introduction de la matière sombre

Ce n'est pas la première fois que la théorie est en désaccord avec des observations cosmologiques.

En effet, les estimations des vitesses de rotation des étoiles à la périphérie des galaxies spirales par l'astronome américaine **Vera Rubin** dans les années 1970, puis par d'autres, sont supérieures aux valeurs prévues par les équations de Newton. Ces vitesses restent pratiquement constantes au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre, au lieu de décroître.

Comment comprendre ce désaccord? Rien ne permet d'en rendre compte. On introduit donc artificiellement une substance invisible, la **matière sombre** (ou noire). Les galaxies spirales seraient baignées et entourées d'un halo de cette matière sombre.

## L'énergie noire mystérieuse

Ensuite, comment rendre compte du désaccord entre l'observation et la théorie sur l'accélération de la vitesse d'expansion de l'univers? Très simple ! On ajoute artificiellement une autre énergie adéquate. C'est l'**énergie noire**.

Ne pas confondre cette énergie noire avec la matière sombre. Alors que la matière sombre s'étend seulement dans des parties restreintes de l'Univers, l'énergie noire remplit l'univers.

**La force de gravitation ordinaire tend à rapprocher les masses et à rétrécir l'Univers.** À l'opposé, l'énergie noire représente une énergie qui tempère la force de gravitation. C'est donc une **énergie négative**. Alors que la matière sombre interagit avec la gravitation de façon attractive.

Mais qu'est-ce qu'une énergie négative? Pas de réponse de la part de la science standard.

L'**énergie noire** est ainsi appelée parce qu'on ne la détecte pas. On ne sait donc pas si elle existe vraiment. C'est seulement une supposition posée arbitrairement pour ajuster l'équation à une phase d'accélération de l'Univers.

## La constante cosmologique

Il se trouve qu'Einstein avait déjà, dès 1917, ajouté ce terme correctif à son équation sous le nom de **constante cosmologique  $\Lambda$**  (lettre grecque qu'on prononce *lambda*). C'était une constante de l'Univers dont il ne connaissait pas la nature. Elle lui semblait nécessaire pour ajuster mathématiquement, non pas les mouvements de l'Univers à une accélération qui n'était pas envisagée à l'époque, mais au contraire pour rendre compte d'un univers statique, comme on le supposait encore avant 1930. Puis il l'abandonna quand il sut que l'univers était en expansion.

Cette constante cosmologique est revenue sous le nom d'énergie noire.

Actuellement, les cosmologistes estiment donc que **l'univers est composé de 5% de matière visible, de 23% de matière noire, et de 72% d'énergie noire**.

## Valeur de l'énergie noire

Quelle est la nature de cette supposée énergie noire? Serait-elle une sorte d'éther emplissant l'univers? Se pourrait-il qu'elle s'identifie à l'**énergie du point zéro** évaluée dans le cadre de la physique quantique?

Pour le savoir, certains physiciens ont tenté d'évaluer sa valeur. Ils ont examiné les distances

des galaxies éloignées, puis ils ont ajouté certaines hypothèses qui permettent de leur attribuer des âges. Dans ces conditions, **la valeur estimée de l'énergie noire (ou constante cosmologique) est  $10^{-29}$  g/cm<sup>3</sup>.**

Elle est incroyablement inférieure à l'énergie quantique du point zéro telle que nous l'avons rapportée dans l'article *L'énergie de l'espace selon la physique quantique* (<https://www.spirit-science.fr/Matiere/Phys3-ether.html>), qui est estimée à  $10^{91}$  kg/cm<sup>3</sup>, donc  $10^{120}$  fois plus grande!!! Il n'est donc pas envisageable de les identifier. Les scientifiques sont interrogatifs devant cette différence.

## Modèles alternatifs

Il existe d'autres façons de rendre compte de ces anomalies cosmiques sans faire appel artificiellement, ni à la matière sombre, ni à l'énergie noire.

Nous en décrivons quelques-uns dans les articles de cette série. Dans la suite de l'article présent, nous présentons le modèle Janus de **Jean-Pierre Petit** qui introduit l'existence de masses négatives.

## Des masses négatives existent-elles?

D'après notre expérience quotidienne des poids, un objet tel qu'une assiette est pesant. Cela signifie que si on le lâche, il tombe sur le sol. Newton en a donné l'explication: la Terre attire l'objet selon la loi de gravitation qu'il a énoncée. Cette loi s'exerce pour **toutes les masses, toutes s'attirent les unes les autres par gravité en fonction de leur masse**. Il en est ainsi des planètes qui sont attirées par le soleil et gravitent autour de lui.

Mais alors, comment une masse peut-elle être qualifiée de négative?

Attention, on ne parle pas ici de masses chargées électriquement, mais de masses électriquement neutres. **Une masse négative ne serait pas attirée par la Terre, mais repoussée par elle**. Cela voudrait dire en pratique qu'elle s'envolerait. Cette idée peut nous sembler bizarre, voire farfelue.

Pourtant Jean-Pierre Petit et d'autres avant lui ont employé ce concept.

Rappelons qu'une masse est équivalente à une énergie, et donc qu'une masse négative est également une énergie négative.

## Masses négatives théoriques dans l'histoire

En 1926, lorsque le physicien suédois **Oskar Klein** (1894 - 1977) et le physicien allemand **Walter Gordon** (1893 - 1939) proposèrent l'équation de la fonction d'onde d'une particule relativiste de spin 0 dans un champ électromagnétique, ils trouvèrent des solutions qui correspondent pour une part à des réalités physiques, mais pour une autre part à des systèmes d'énergie négative. Ces systèmes furent considérés comme absurdes. Peut-être pas si absurdes, après tout.

En 1930, le physicien britannique Paul Dirac (1902-1984) effectua des calculs pour les particules de spin 1/2 qui l'amènèrent également à des solutions où certaines particules ont des énergies négatives qui ne correspondent à rien de physique. Du moins le pensait-on alors.

L'encyclopédie wikipedia ([https://fr.wikipedia.org/wiki/Masse\\_négative](https://fr.wikipedia.org/wiki/Masse_négative)) présente une liste d'auteurs ayant par la suite admis la notion de masse négative:

En 1951, le physicien états-unien **Joaquin Luttinger** (1923 - 1997) publie *On Negative mass in the theory of gravitation (À propos de la masse négative dans la théorie de la gravitation, Awards for Essays on Gravitation, Gravity Research Foundation)*.

En 1957, le mathématicien autrichien **Hermann Bondi** (1919 - 2005) publie *Negative Mass in General Relativity (La masse négative dans la relativité générale, Rev. Mod. Phys., 29, 3, 1957, 423)*. Il y expose les propriétés de ces masses.

En 1989, le mathématicien britannique **William B. Bonnor** (1920 - 2015) s'est demandé

quelle incidence aurait une matière de masse négative. Rien ne suggère *a priori* que toute masse devrait être positive (W. B. Bonnor, *Negative mass in general relativity - Masse négative en relativité générale, General Relativity and Gravitation*, 21, 1989).

En 2000, le physicien israélien **Max Jammer** (1915 - 2010) démontre qu'aucune loi physique n'exclut l'existence de masses négatives. (*Concepts of Mass in Contemporary Physics and Philosophy, Les concepts de masse dans la physique et la philosophie contemporaines, Princeton University Press*)

En 2014, **Saoussen Mbarek** et **Manu Paranjape**, physiciens à l'Université de Montréal au Canada, affirment que la masse négative peut exister dans notre univers (*Negative mass bubbles in de Sitter space-time - Bulles de masse négative dans l'espace-temps de de Sitter, arXiv, 2014* <https://archive.wikiwix.com/cache/index2.php?url=https://arxiv.org/pdf/1407.1457v1/index.html#federation=archive.wikiwix.com&tab=url>)

## Masse négative et antimatière

L'interrogation de Dirac le conduit à inventer la notion d'**antiparticule**, qui sera reprise par la suite dans des contextes différents, y compris en science-fiction.

Attention, l'antiparticule n'est pas forcément ce qu'on imagine. Elle a reçu une définition bien précise en physique. C'est une particule elle-même, qui a la **même masse et le même spin que la particule correspondante**. Par contre sa charge électrique et ses nombres quantiques sont opposés à ceux de la particule. Donc **l'antiparticule d'une particule à masse positive a également une masse positive**.

Ce que l'on a défini comme **antimatière** est composée des antiparticules de la matière ordinaire (protons, neutrons, électrons).

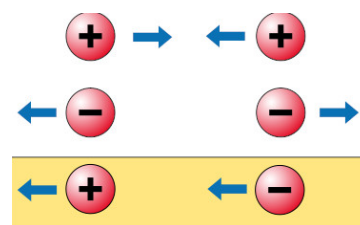
Dans l'hypothèse de l'existence de cette antimatière, les scientifiques restent perplexes devant la présence de matière ordinaire et l'absence d'antimatière dans notre univers actuel. Si les deux types ont été créés en même temps peu après le Big Bang, pourquoi, se disent-ils, l'antimatière aurait-elle quasiment disparu? (problème nommé **asymétrie matière/antimatière**). Le russe Sakharov proposera une réponse, comme nous le verrons.

## Propriétés des masses négatives

L'autrichien **Hermann Bondi** cité plus haut a décrit les interactions entre masses positives et négatives, sans charge électrique. Selon ses calculs, les masses positives attirent les autres masses selon la loi de Newton. Au contraire les masses négatives repoussent.

Il en résulte un mouvement de fuite entre une masse positive qui cherche à s'approcher d'une masse négative, et une masse négative qui la repousse, phénomène que **William B. Bonnor** nommera mouvement *runaway*.

Jean-Pierre Petit en donne une autre explication dans le cadre du modèle Janus.



Merci à Wikipedia. Le signe des particules renvoie au type de masse et non pas à leur charge électrique. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=39603483>

## Andrei Sakharov et les univers jumeaux

En 1967 le physicien russe **Andrei Sakharov** (1921 - 1989) publie une série d'articles en russe, où il présente un modèle cosmologique complètement nouveau composé de deux univers jumeaux.

Ses travaux n'ont été connus par le bloc des nations de l'ouest qu'à partir de 1982, à cause du régime politique soviétique de contrôle et d'interdiction de communication entre les deux blocs de l'ouest et de l'est. Cette interdiction était matérialisée par des lignes de barbelés et des grillages, présents dès 1946 et jusqu'en 1989. On l'a surnommée le *rideau de fer*.



## Le dissident soviétique

Sakharov est connu pour son engagement dans la défense des droits de la personne humaine. Mais auparavant, sous les régimes politiques de Joseph Staline et de Nikita Khrouchtchev, il participe à des recherches sur la conception des bombes nucléaires H.

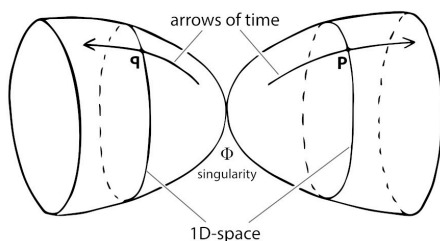
Puis ayant compris les dangers liés aux pouvoirs du complexe militaro-industriel en URSS et aux États-Unis, il s'oriente en 1965 vers la recherche théorique. À partir de 1968, il s'implique dans la défense des dissidents politiques et la dénonciation de la répression, au moyen de publications, de conférences, et la création d'un comité. En conséquence il reçoit le prix Nobel de la paix en 1975.

De 1980 à 1986, il est assigné à résidence à Gorki, et interdit de communications avec l'extérieur, sauf pour recevoir des journaux scientifiques.

En 1986, il bénéficie des nouvelles conditions de liberté d'expression instituées sous le nom de Glasnost (transparence) par le Congrès du Parti communiste de l'Union soviétique, puis par le président Mikhaïl Gorbatchev, qui mettent fin à son exil. Il devient alors très populaire dans le monde.

Son œuvre scientifique est traduite en anglais et publiée en 1982, puis traduite en français et publiée en 1984 (*Andrei Sakharov, Œuvres Scientifiques*)

## Les univers jumeaux



En 1967, Sakharov propose la première **théorie des univers jumeaux**, qui rassemble notre univers ordinaire, et un deuxième univers symétrique du premier **par renversement du temps**. Cet univers, appelé *monde - ombre*, se déroule en reculant dans le temps. Il est peuplé d'antimatière.

Ce modèle rend compte de l'asymétrie matière/antimatière, c'est-à-dire de l'absence d'antimatière dans notre univers. Le principe est que dans notre univers, **la production de**

**matière est légèrement plus rapide que celle d'antimatière, tandis que c'est l'inverse dans l'univers jumeau.**

## Les modèles doubles

Quelques autres modèles d'univers doubles ont été proposés par la suite par d'autres auteurs. Ils ont en commun de posséder deux métriques différentes, reliées l'une à l'autre. Ils introduisent des masses négatives.

Les masses négatives provoquent une gravité répulsive, donc une antigravitation. Elles permettent de se passer de l'hypothèse de l'existence de la matière sombre et de l'énergie noire.

La physicienne et vulgarisatrice scientifique allemande **Sabine Hossenfelder** (née en 1976) propose en 2008 une théorie à 2 métriques  $g$  et  $h$ , avec deux courbures différentes, où deux observateurs effectuent des mesures différemment (*A bi-metric theory with exchange symmetry, Phys.Rev.D78, 044015, 2008, <https://arxiv.org/abs/0807.2838v1>*). Elle est également l'auteur du livre *Physique existentielle: Guide scientifique sur les plus grandes questions de la vie* (2025)

## Le modèle Janus de Jean-Pierre Petit

**Jean-Pierre Petit** (né en 1937) est un physicien et vulgarisateur scientifique français. Après avoir obtenu son diplôme d'ingénieur à Supaéro (École nationale supérieure de l'aéronautique et de l'espace), il poursuit une carrière au CNRS à Marseille où il effectue des recherches sur la magnétohydrodynamique (MHD), puis sur l'astrophysique théorique.

Il est connu par ailleurs comme auteur de bandes dessinées de vulgarisation scientifique



intitulées *Anselme Lanturlu* ([téléchargeables gratuitement à Savoir sans frontières](http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables/free_downloads.html) [http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables/free\\_downloads.html](http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables/free_downloads.html))

Dès 1977, il développe un modèle cosmologique issu de la relativité générale, auquel il ajoute une deuxième métrique comportant des masses négatives. C'est le modèle *Janus*.

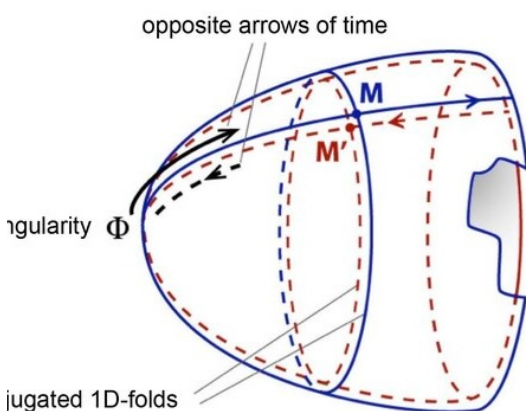
Ses fondements sont semblables aux propositions d'Andreï Sakharov, mais Petit n'en prendra connaissance qu'en 1984, grâce à leurs traductions françaises. Le modèle Janus en diffère sur de nombreux points.

Dans ce qui suit, je m'efforce de décrire ce modèle et ses conséquences cosmologiques à partir des publications principales de Petit, du moins en restant à un niveau de compréhension modeste pour les non-spécialistes, tel que je

suis, et que sont la plupart de mes lecteurs.

- en premier lieu la publication de 2024, *A bimetric cosmological model based on Andreï Sakharov's twin universe approach*, par Jean-Pierre Petit, Florent Margnat et Hicham Zejli (*Eur. Phys. J. C*, 84, 1226, <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13569-w>)
- J.P. Petit, G. D'Agostini, 2022, *Janus, le seul modèle qui explique l'accélération de l'expansion cosmique* (<https://hal.science/hal-03831547/document>)
- J.P. Petit, G. d'Agostini et N. Debergh, 2021, *Bimetric models. When negative mass replaces both dark matter and dark energy. Excellent agreement with observational data. Solving the problem of the primeval antimatter* (DOI: 10.13140/RG.2.2.34648.62724)
- J.P. Petit et G. d'Agostini, 2014, *Negative mass hypothesis in cosmology and the nature of dark energy* (*Astrophys Space Sci*, A29, 145-182, DOI 10.1007/s10509-014-2106-5)
- le livre de Hicham Zejli, 2024, *Modèle Cosmologique Janus*. ([http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables/Francais/modele\\_cosmologique\\_janus\\_Zejli/2024-12-19-Modele-Cosmologique-Janus-Zejli-corrige-sans-preface.pdf](http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables/Francais/modele_cosmologique_janus_Zejli/2024-12-19-Modele-Cosmologique-Janus-Zejli-corrige-sans-preface.pdf))
- C'est particulièrement dans la série de vidéos Janus de J.P. Petit ([https://www.jp-petit.org/nouv\\_f/VIDEOS\\_JANUS.htm](https://www.jp-petit.org/nouv_f/VIDEOS_JANUS.htm)) que nous découvrons ce modèle de façon didactique et ludique, en particulier dans sa présentation générale (<https://www.youtube.com/watch?v=UfzjFObZEi4>).

## Les masses négatives du modèle Janus



Le modèle Janus comporte deux métriques, donc deux systèmes de géodésiques. Il s'inscrit donc dans la catégorie des modèles dits bimétriques. L'une des métriques décrit les masses positives, et l'autre les masses négatives.

Comme chez Sakharov, les deux univers de Janus ont des flèches du temps opposées. Mais l'univers jumeau de Janus vient se superposer à l'univers ordinaire. Les deux univers entrent en interaction gravitationnelle. (voir *Physical and Mathematical Consistency of the Janus Cosmological Model*; February 2023; DOI: 10.21203/rs.3.rs-2639206/v2, Hasnae ZEJLI Hicham ZEJLI - [https://www.researchgate.net/publication/](https://www.researchgate.net/publication/369316357)

[369316357 Physical and Mathematical Consistency of the Janus Cosmological Model](https://www.researchgate.net/publication/369316357))

Le modèle Janus incorpore les mathématiques de **Jean-Marie Souriau** (mathématicien français, 1922 - 1912). Celui-ci a montré que **l'inversion du temps est équivalente à des énergies négatives, donc des masses négatives**. Ainsi, le modèle Janus comporte des masses positives et des masses négatives.

Les deux types de masses sont décrits mathématiquement par deux métriques différentes.

Celle pour les masses positives est identique à l'équation d'Einstein lorsque la quantité de masse négative est nulle. L'autre, la métrique pour les masses négatives, en est le miroir (*voir annexes mathématiques*).

On peut en déduire des conséquences cosmologiques, qui sont vérifiables par l'observation: **l'accélération de l'expansion de l'univers**, sans recourir à l'énergie noire; **la structure à bulles de l'univers** et l'existence de grands vides interstellaires; la **formation précoce d'étoiles et de galaxies** après le Big Bang, et d'autres.

## Propriétés des masses

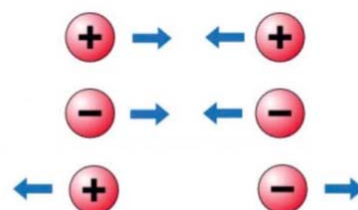
L'adjonction d'une deuxième métrique change les interactions des masses négatives et positives. L'approximation mathématique newtonnienne des deux équations montre que:

- les masses de même signe s'attirent, donc les masses positives s'attirent et les masses négatives s'attirent.
- les masses de signes opposés se repoussent. Le phénomène de runaway (fuite) a disparu.

Les masses négatives sont invisibles. Elles émettent des rayonnements sous forme de photons d'énergie négative, que nos systèmes ne peuvent pas capter.

On peut en tirer immédiatement la conclusion que **lorsqu'un des deux types de masse est présent, l'autre est repoussé donc absent**. Ainsi, là où il y a des masses positives, les masses négatives disparaissent presque entièrement.

Pour J.P. Petit, une autre conséquence importante concerne la formation des noyaux lourds dans les étoiles. Ceux-ci se forment dans le monde des masses positives. À l'opposé, **dans le monde des masses négatives, il n'y a rien d'autres que des noyaux légers, l'hydrogène et l'hélium. Il n'y a ni étoiles, ni galaxies, ni planètes.**



Janus Cosmological Model

## Accélération de l'expansion de l'univers

J'ai exposé plus haut la double énigme d'une part des vitesses des étoiles à la périphérie des galaxies, et d'autre part de l'accélération de l'expansion de l'univers.

La première est en contradiction avec les lois de Newton et on a voulu la résoudre en inventant la matière noire. La seconde est en contradiction avec les équations de Fridman-Lemaître et on a voulu la résoudre en inventant l'énergie noire.

**Le modèle Janus explique ces deux observations par la présence de masses négatives invisibles**, qui remplacent parfaitement les rôles supposés de la matière sombre et de l'énergie noire.

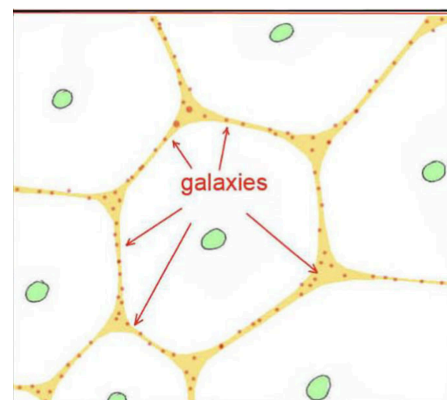
En définitive, **notre univers est constitué de 5% de matière visible et de 95% de masse négative invisible.**

## La structure à bulles et la formation précoce des galaxies

À cause de leur attirance, les masses négatives se rassemblent. Le modèle Janus prévoit des amas de masses négatives plus ou moins sphériques distribués régulièrement (en vert sur la figure).

Les masses positives, celles que l'on peut observer, sont repoussées, formant les parois d'une structure cellulaire, comme des assemblages de bulles de savon (en jaune). L'intérieur de la cellule est vide, sauf au centre.

Les amas de galaxies se situent aux points de rencontre de quatre cellules, tandis que les filaments (cordons de galaxies) ou plaques, (*voir article Géométrie de l'univers - [https://www.spirit-science.fr/doc\\_structure/codes\\_geometriques.html](https://www.spirit-science.fr/doc_structure/codes_geometriques.html)*) correspondraient à une arête ou



Structure à bulle du modèle Janus. En vert, masse négative, en jaune masse positive. Extrait de EPJC, 2024, 84, 1226

une face où se rencontreraient trois de ces cellules. Les masses négatives se situent au centre des cellules.

Le calcul montre alors que **des étoiles et galaxies se forment dans les premières centaines de millions d'années**, ce qui est beaucoup plus précoce que ce que prévoit le modèle standard, un minimum d'un milliard d'années.

Or, les observations du télescope spatial James Webb ont confirmé ce résultat en 2022, ce qui intrigue les astrophysiciens. Il a mis en évidence **l'existence de galaxies, dotées d'une structure de spirale barrée, entièrement formées, âgées de 300 millions d'années**.

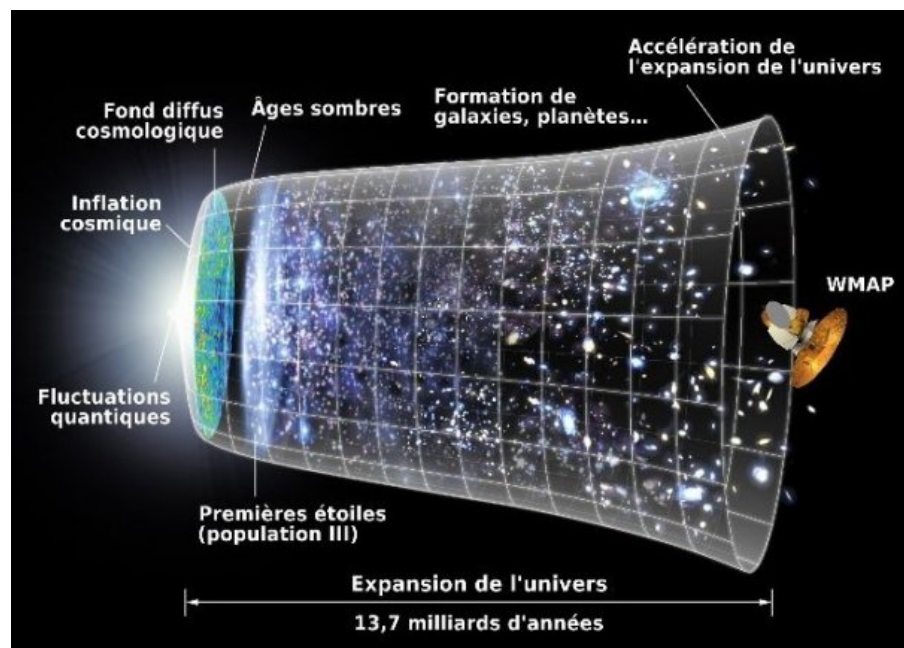
## L'homogénéité, la phase d'inflation, et la vitesse de la lumière

La cartographie de l'univers et du fond cosmologique montre qu'à part de très faibles fluctuations, il est incroyablement homogène. Comment expliquer cela? D'après la science dominante, cela n'a pu arriver que si toutes les parties de l'univers ont été en contact à un moment donné, au moment où il était très chaud et très dense. Sa taille était alors infiniment plus petite qu'un noyau atomique.

Les cosmologues ne voyaient pas comment insérer cette phase de contact étroit dans l'histoire cosmique. C'est le physicien états-unien **Alan Guth** (né en 1947) qui a inventé en 1979 un événement spécial dans l'expansion de l'univers qui pourrait l'expliquer, événement nommé **ère inflationnaire**. Attention, l'inflation n'est pas l'expansion, mais un épisode énormément accéléré de cette expansion.

La figure ci-dessus représente l'évolution supposée de l'univers depuis le Big Bang à gauche jusqu'à nos jours. Les cercles transversaux figurent la taille de l'univers.

La phase inflationnaire aurait été très brève, entre les âges de  $10^{-36}$  et  $10^{-32}$  sec, donc une durée extrêmement courte pendant laquelle l'expansion de l'univers a été très rapide et le grossissement énorme, de l'ordre de  $10^{26}$  comme on peut le voir sur la figure. Cette brève durée aurait permis de conserver l'homogénéité. Puis l'univers aurait commencé son expansion selon la loi de Hubble (*The inflationary universe: a possible solution to the horizon and flatness problems, Phys. Rev. D 23, 347, 1981*)



Mais pourquoi cette inflation se serait-elle produite? Qu'est-ce qui l'aurait déclenchée? Selon Alan Guth, il faut supposer qu'un champ scalaire s'est manifesté et qu'il a généré une grande force de répulsion. Son influence se serait transmise par des particules nommées **inflatons**. Il n'existe aucune évidence que ce scénario se soit réellement produit.

Ce bricolage n'est pas envisagé dans le modèle Janus. Ce phénomène et d'autres pourraient être expliqués par une **variation de la vitesse de la lumière**. La vitesse de la lumière n'est pas restée constante depuis le début du Big Bang. Au fur et à mesure que l'univers s'expande et que sa taille croît, la vitesse de la lumière décroît.

Inversement, en remontant le temps, **la vitesse de la lumière devient infinie à l'approche du Big Bang. Cela expliquerait l'homogénéité de l'univers sans faire appel à la théorie de l'inflation.**

L'idée d'une vitesse variable avait été proposée auparavant par Schwarzschild en 1916 à l'intérieur d'une étoile. La vitesse de la lumière, avait-il calculé, devient infinie au centre de l'étoile lorsque son rayon s'approche d'une certaine valeur  $\hat{R}$  (*voir annexes mathématiques*).

## Le fond diffus cosmologique

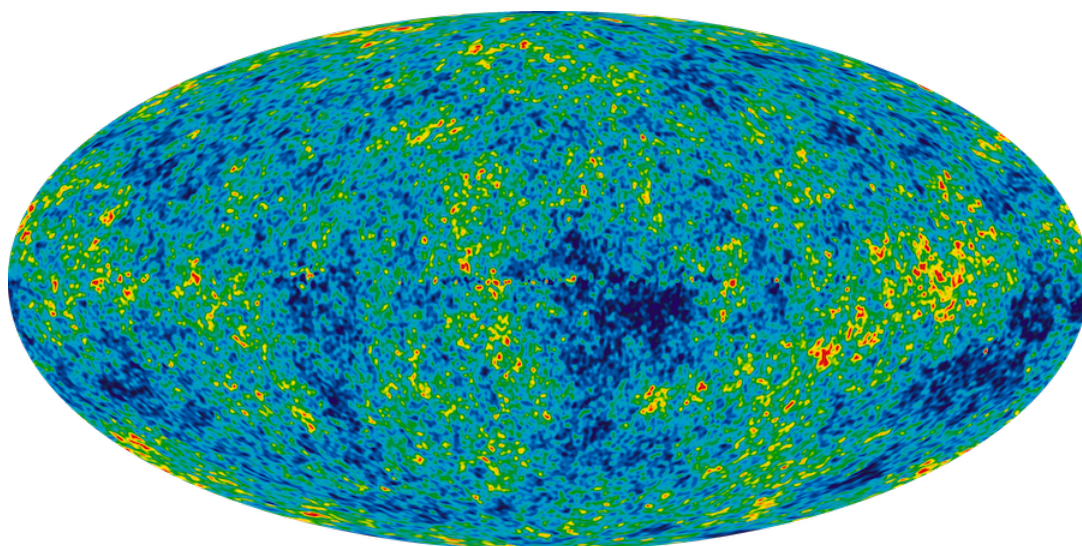
Selon l'histoire standard de l'univers, dans les premiers temps après le Big Bang, l'univers était très concentré, très dense et très chaud. Même après la phase inflationnaire, les photons étaient facilement transformés en paires de protons et d'antiprotons (matière et antimatière), qui elles-mêmes étaient retransformées en photons.

Mais l'univers continue à s'expanser et à se détendre, il devient plus "froid", et sa densité d'énergie n'est plus suffisante pour créer des paires matière/antimatière. Les paires existantes peuvent redevenir photons. À partir de 380 000 ans après le Big Bang, il reste une **mer de photons**, avec quelques protons mais pas d'antiprotons. C'est le fond diffus cosmologique, appelé aussi **rayonnement fossile**. Sa température d'origine, équivalente à une densité d'énergie, est évaluée à environ 3000 K.

Ensuite l'univers continue à s'expanser, la mer de photons se refroidit. **De nos jours, sa température moyenne est de 2,7 K (soit -270,45 °C)**.

Ce rayonnement a été découvert en 1964. Une étude plus précise a été effectuée par le satellite COBE lancé en 1989, puis d'autres études avec les satellites WMAP, lancé en 2001, et Planck, lancé en 2009.

On a découvert que ce rayonnement est homogène et isotrope, c'est-à-dire que sa température est quasiment identique dans toutes les directions du ciel. Son spectre des fréquences s'étend dans le domaine des micro-ondes, avec un pic d'intensité maximale pour la fréquence 160 GHz, soit une longueur d'onde de 0,2 cm.



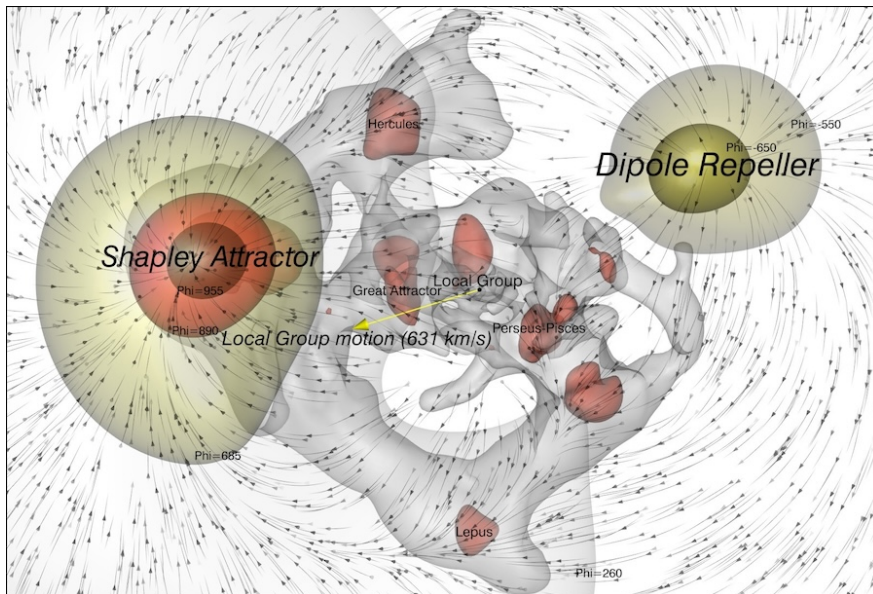
Il existe de minuscules fluctuations qui n'ont été détectées que par des détecteurs de haute précision, car elles sont inférieures au 1/100 000. Cela nécessite une forte augmentation du contraste de l'image pour les mettre en évidence. Sur la carte, les régions bleues sont très légèrement plus froides que la moyenne et les rouges très légèrement plus chaudes.

## Attracteurs et répulseur

En analysant la cartographie du fond diffus cosmologique et en mesurant le décalage vers le rouge du spectre électromagnétique des étoiles et des galaxies, les astronomes peuvent en déduire leur vitesse (valeur et direction).

Dans l'espace intergalactique, ils ont repéré 3 anomalies qui rompent avec cette homogénéité. Deux sont des lieux de convergence appelés **attracteurs**, et l'autre est un lieu de raréfaction appelé **répulseur**.

Sur l'image ci-dessous due à Yehuda Hoffman, Daniel Pomarède, R. Brent Tully et Hélène Courtois (*The Dipole Repeller. Nature Astronomy, 2017, 1, 2, 36*), on identifie d'abord le



**Groupe local de galaxies** qui, comme son nom l'indique, est situé dans notre environnement immédiat - cosmologiquement parlant - et inclue la Voie Lactée. Il comprend 60 galaxies. Il fait partie du superamas de la Vierge.

Puis vient le **Grand Attracteur** au centre, qui a été repéré en 1986 (*Somak Raychaudhury, The distribution of galaxies in the direction of the 'Great Attractor, Nature, 342, 6247, 1989, 251-255*).

L'autre attracteur,

l'**attracteur Shapley**, beaucoup plus étendu, a été découvert en 2006 par D. D. Kocevski et H. Ebeling (*On the origin of the Local Group peculiar velocity, Astrophys. J. 645, 1043-1053*). Sa présence a été confirmée en 2017 par Hoffman, Pomarède, Brent Tully et Courtois (*The dipole repeller, Nature Astronomy, 1, 2, 2017, 0036*). Les vitesses convergent vers cette zone.

Dans cette même publication, l'équipe annonce la découverte du **répulseur du dipôle** (en anglais *Dipole Repeller*), situé à droite, à l'opposé de l'attracteur Shapley. C'est une zone du cosmos très étendue qui paraît quasiment vide et d'où les vitesses divergent. Les galaxies proches s'en éloignent.

Il semble exister une polarité entre d'un côté l'attracteur Shapley, et de l'autre le répulseur du dipôle.

Les cosmologistes n'ont pas d'explications pour ces observations stupéfiantes. Par contre le modèle Janus l'explique très bien. Il suffit de considérer que **le centre de ce grand vide est occupé par un amas de masses négatives**, comme dans le cas de la structure à bulles.

## Des trous pas si noirs

Jean-Pierre Petit a découvert des irrégularités dans l'élaboration standard de la notion de trou noir rapportés dans les publications. Les équations originales de la métrique de Schwarzschild en allemand ont été dénaturées par des confusions dues à l'incapacité de la majorité des scientifiques à comprendre la langue.

S'appuyant sur deux publications de 1939, d'une part celle de **Richard Tolman** (1881 - 1948) de l'institut de technologie de Californie (*Static solutions of Einstein's field equations for spheres of fluid, Physical Review, 55, 4, 1939, 364-373* - <https://www.jp-petit.org/papers/cosmo/1939-Tolman.pdf>) et d'autre part celle de **Robert Oppenheimer** (1904 - 1967) et **Georges Volkoff** (1914 - 2000) de l'université de Californie (*On massive neutron cores, Physical Review, 55, 4, 1939, 374-381* - <https://www.jp-petit.org/papers/cosmo/1939-Oppenheimer-Volkoff.pdf>), il exhume le résultat que **lorsque la masse augmente et dépasse une limite critique, la pression au centre de l'objet devient infinie (voir annexes mathématiques)**.

Dans ce cas, selon le modèle Janus, la pression devient négative et les masses aussi deviennent négatives. Elles peuvent alors traverser l'objet, de sorte que l'excès de masse se déverse. D'où le nom donné par Petit de **plugstar**.

Selon la théorie standard du trou noir, la masse critique serait de 3 masses solaires, tandis que selon le modèle de plugstar, elle est de 2,5 masses solaires. Dans ce cas, il n'existe plus d'horizon des événements, ni de singularité centrale. La partie centrale de l'étoile (par exemple M87\*) émet un rayonnement de plus grande longueur d'onde que le tour, ce qui produit en image reconstituée un disque sombre que les scientifiques ont confondu avec un trou noir qui n'émet aucun rayonnement.

# Annexes mathématiques

## Les Espaces courbes de Bernhard Riemann

Dans notre espace habituel familier, deux droites parallèles ne se rencontrent pas. Cet espace est dit **euclidien**, du nom du mathématicien grec **Euclide**, vivant aux alentours de 300 av.J.C. et auteur d'un traité de mathématique volumineux, *Les Éléments*.



Au 19e siècle de notre ère, le mathématicien allemand **Bernhard Riemann** (1826 - 1866) a élaboré une géométrie des espaces courbés, appelée plus tard géométrie riemannienne ([https://fr.wikipedia.org/wiki/Géométrie\\_riemannienne](https://fr.wikipedia.org/wiki/Géométrie_riemannienne)).

Sur une surface courbe, par exemple une sphère, deux droites parallèles finissent par se rencontrer.

La différence entre les espaces plats ou courbes apparait dans leur façon de calculer les distances entre deux points repérés par leurs coordonnées.

### Calculer la distance entre deux points sur une surface

Dans notre espace ordinaire familier, la distance  $d$  entre deux points, exprimée avec les coordonnées des points  $(x, y, z)$  ou encore  $(x_1, x_2, x_3)$  dans un repère donné, est calculée le long de la ligne droite tracée entre ces deux points. Si les deux points sont infiniment proches, leur distance est notée  $ds$ .

Selon le théorème de Pythagore, dans un repère orthonormé (c'est-à-dire dont les trois axes sont à angle droit) on a

$$d^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 \text{ et } ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2$$

**Dans l'espace à 4 dimensions**, aux trois coordonnées d'espace  $x_1, x_2, x_3$ , on ajoute la coordonnée de temps. Selon la relativité restreinte, elle n'est pas  $t$ , mais  $ct$ , donc équivalente à une longueur, où  $c$  est la vitesse de la lumière. La distance entre deux points est appelée **intervalle d'espace-temps**.

Selon la convention (ou signature)  $(+, -, -, -)$ , le temps intervient avec le signe  $+$ . Donc la distance d'espace-temps s'écrit

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

ou encore

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx_1^2 - dx_2^2 - dx_3^2$$

Pour simplifier l'écriture, on convient de noter les coordonnées par un exposant  $i$ , et l'on écrit

$$ds^2 = \sum (dx^i)^2$$

où  $i$  prend toutes les valeurs de 1 à 4 avec  $x^1 = ct$ . On somme sur toutes les coordonnées  $i$  de 1 à 4.

Sur une **surface courbe**, la distance entre deux points est mesurée en suivant une **géodésique**, qui est le chemin le plus court. La formule mathématique, donnée en fonction des 4 coordonnées, diffère de celle donnée ci-dessus pour un espace "plat", d'une part par l'introduction de termes croisés tels que  $dx^i dx^j$ , et d'autre part par l'introduction de coefficients  $g_{ij}$  associés à chacune des coordonnées. En définitive

$$ds^2 = \sum g_{ij} dx^i dx^j$$

$i$  et  $j$  prenant toutes les valeurs de 1 à 4.

On l'écrit souvent avec les lettres grecques  $\mu$  (mu) et  $\nu$  (nu), en omettant le signe  $\Sigma$ .

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$$

Ce sont ces coefficients  $g_{ij}$  ou  $g_{\mu\nu}$  qui caractérisent un espace courbe et définissent sa métrique. Ils représentent la courbure locale de l'espace et varient d'un point à l'autre.

## Tenseurs

Les coefficients  $g_{ij}$  peuvent être représentés par un tenseur, le tenseur  $\mathbf{G}$ , pour simplifier leur écriture.

Un tenseur est une entité géométrique qui existe indépendamment du repère choisi et des coordonnées des vecteurs. Aussi, si on choisit de le représenter dans un repère par ses coordonnées, celles-ci vont changer si on change de repère. Lorsqu'on a choisi le repère, le tenseur est représenté sous forme de matrice. (par exemple, pour un tenseur à 2 rangées et deux colonnes, consulter <https://www.youtube.com/watch?v=zPRbbM4KJBY>)

## Équation d'Einstein

En relativité générale, la définition d'un champ de gravitation est remplacée par le tenseur  $\mathbf{G}_{\mu\nu}$  qui donne la métrique de l'espace-temps, c'est-à-dire sa géométrie. C'est un tenseur à 4 rangées et 4 colonnes ( $\mu=1$  à 4 et  $\nu=1$  à 4)

Par ailleurs, la masse est décrite par son **tenseur d'énergie-impulsion**  $\mathbf{T}_{\mu\nu}$ , sorte de densité d'énergie. Le tenseur énergie-impulsion  $T_{\mu\nu}$  représente les flux d'énergie et les quantités de mouvement. Ce tenseur crée la courbure de l'espace selon l'équation

$$\mathbf{G}_{\mu\nu} = \chi \mathbf{T}_{\mu\nu} = 8\pi G/c^4 \mathbf{T}_{\mu\nu}$$

où  $G_{\mu\nu}$  est le **tenseur d'Einstein**.  $\chi$  (ki) est nommée la constante d'Einstein.  $G_{\mu\nu}$  se développe en

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - 1/2 g_{\mu\nu} R$$

soit:

$$\mathbf{R}_{\mu\nu} - 1/2 \mathbf{g}_{\mu\nu} \mathbf{R} = \chi \mathbf{T}_{\mu\nu}$$

**Equation du champ d'Einstein**

Tenseur d'Einstein

$G_{\mu\nu}$

Scalaire de Ricci  
(contraction du tenseur de Ricci)

Constante gravitationnelle de Newton

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Tenseur de Ricci  
(contraction du tenseur de Riemann)  
« Laplacien du tenseur métrique »

Tenseur métrique de signature (+, +, +, +)  
Il généralise le théorème de Pythagore

Vitesse de la lumière

Tenseur énergie-impulsion

$G$  est la constante gravitationnelle et  $c$  la vitesse de la lumière.  $R_{\mu\nu}$  est le tenseur dit de Ricci, tenseur métrique de l'espace-temps, et  $R$  est la courbure scalaire, c'est-à-dire la trace du tenseur de Ricci.

**Résoudre cette équation, c'est se donner les  $\mathbf{T}_{\mu\nu}$ , et calculer les  $g_{\mu\nu}$  qui s'en déduisent.**

Ces équations sont valables lorsqu'on n'inclue pas de constante cosmologique  $\Lambda$ , c'est-à-dire une énergie qui remplit l'univers. Dans le cas où on ajoute cette constante, cela donne:

$$\mathbf{R}_{\mu\nu} - 1/2 \mathbf{g}_{\mu\nu} \mathbf{R} + \Lambda \mathbf{g}_{\mu\nu} = \chi \mathbf{T}_{\mu\nu}$$

## Solution de Schwarzschild

Schwarzschild a fourni la solution de l'équation d'Einstein dans le cas d'un espace homogène et isotrope, dans lequel on place un objet sphérique, typiquement une étoile ( [https://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/get\\_file?pdfs/SPAW./1916/1916SPAW.....189S.pdf](https://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/get_file?pdfs/SPAW./1916/1916SPAW.....189S.pdf)). Sa formule donne les géodésiques en coordonnées sphériques.

$$ds^2 = (1 - \alpha/R) dt^2 - \frac{dR^2}{1 - \alpha/R} - R^2 (d\vartheta^2 + \sin^2 \vartheta d\phi^2), \quad R = (r^3 + \alpha^3)^{1/3}.$$

On y distingue ce qui s'identifie aux coefficients  $g_{\mu\nu}$  du tenseur, devant chacune des

coordonnées  $dt^2$  etc..  $\alpha$  est un rayon caractéristique de l'objet, nommé plus tard rayon de Schwarzschild.

La seconde publication de Schwarzschild fournit la solution à l'intérieur de l'étoile (<https://archive.org/details/sitzungsberichte1916deutsch/page/424/mode/2up?view=theater>)

$$ds^2 = \left( \frac{3 \cos \chi_a - \cos \chi}{2} \right)^2 dt^2 - \frac{3}{\chi \rho_0} [d\chi^2 + \sin^2 \chi d\vartheta^2 + \sin^2 \chi \sin^2 \vartheta d\varphi^2].$$

La variable  $\chi$  (ki) correspond à une coordonnée de l'étoile:  $\chi = 0$  correspond au centre et  $\chi = \chi_a$  correspond à la surface.

Jean-Pierre Petit a minutieusement analysé ces équations dans les publications originales en allemand. Il a découvert que les auteurs américains l'avaient transcrit avec des fautes (des changements de variables), et que **ces fautes ont été reproduites jusqu'à nos jours dans les études sur le sujet, ne rendant pas justice au travail original de Schwarzschild** (voir *Physical and mathematical inconsistency of the black holes models. The alternative of the plugstars model. J P Petit, G d'Agostini, 2022* - <https://www.jp-petit.org/papers/cosmo/2022-Physical-and-mathematical-inconsistency-of-the-black-holes-models.-The-alternative-of-the-plugstars-model.pdf>)

## Solution de Kerr

Cette solution, trouvée dans le cas où l'étoile est en rotation, semble appropriée pour de nombreuses étoiles, par exemple les pulsars. Cette métrique se distingue de celle de Schwarzschild par son terme "croisé", c'est-à-dire en  $dt.d\varphi$ , ce qui a des conséquences tangibles. Sa formule est la suivante:

$$ds^2 = \left( 1 - \frac{2m\rho}{\rho^2 + a^2 \cos^2 \theta} \right) c^2 dt^2 - \frac{\rho^2 + a^2 \cos^2 \theta}{\rho^2 + a^2 - 2m\rho} d\rho^2 - (\rho^2 + a^2 \cos^2 \theta) d\theta^2 - \left[ (\rho^2 + a^2) \sin^2 \theta + \frac{2m\rho a^2 \sin^4 \theta}{\rho^2 + a^2 \cos^2 \theta} \right] d\varphi^2 - \frac{4m\rho a \sin^2 \theta}{\rho^2 + a^2 \cos^2 \theta} c dt d\varphi$$

## Signature de la métrique

On appelle signature la suite des signes des coordonnées d'espace-temps qui apparaissent dans les formules d'Einstein et ses dérivées.

Dans la publication de Schwarzschild, la signature est (+ - - -), c'est-à-dire que le temps  $ct$  a un signe +. Cela assure que  $ds^2$  est positive et a un sens physique réel. Mais le mathématicien allemand **David Hilbert** (1862 - 1943), dans ses textes de 1915, a changé cette signature en (- + + +), ce qui ouvre la porte à des représentations complexes avec des  $ds^2$  négatifs. Depuis, c'est la forme la plus souvent adoptée, ce qui pose problème.

## Rayon de Schwarzschild

Le rayon gravitationnel, appelé rayon de Schwarzschild ou horizon des événements, est calculé selon la formule (les notations varient en fonction des auteurs):

$$R_s = \alpha = r_0 = \frac{2GM}{c^2}$$

G est la constante universelle d'attraction ( $G = 6,7 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2\text{kg}^{-2}$ ).

La sphère de rayon  $R_s$  est nommée sphère de Schwarzschild et représente le trou noir. L'intérieur de cette sphère n'est pas physique, car les distances  $ds^2$  y sont négatives. C'est un trou dans lequel il est impossible de pénétrer.

## Modèle Janus de Jean-Pierre Petit

Comme décrit plus haut, ce modèle est une extension de la relativité générale, mais il comprend deux métriques au lieu d'une seule. Elles sont exprimées par deux équations différentes, qui décrivent le comportement des masses positives et des masses négatives.

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R g_{\mu\nu} = \chi \left[ T_{\mu\nu} + \sqrt{\frac{\bar{g}}{g}} K_{\mu\nu} \right]$$

$$\bar{R}_{\mu\nu} - \frac{1}{2}\bar{R} \bar{g}_{\mu\nu} = -\chi \left[ \bar{T}_{\mu\nu} + \sqrt{\frac{g}{\bar{g}}} \bar{K}_{\mu\nu} \right]$$

Équations extraites de la vidéo *Le modèle Cosmologique Janus en mars 2025* - <https://www.youtube.com/watch?v=UfzjFObZEi4>

La première équation se réduit à l'équation d'Einstein quand la quantité de masse négative est quasi nulle. Elle décrit les géodésiques des masses positives.

La seconde équation décrit les géodésiques des masses négatives.

### Absence de singularités géométriques

Une singularité désigne une situation dans laquelle une quantité devient infinie, ce qui pose un problème sur son interprétation physique. La variable  $R$  de Schwarzschild, qui s'exprime par  $R^3 = r^3 + \alpha^3$  ne peut pas être inférieure à  $\alpha$  et ne s'annule donc pas.

Or, en 1934, le physicien états-unien **Richard Chase Tolman** (1881 - 1948) introduit une confusion sur cette coordonnée en la remplaçant par la coordonnée radiale  $r$ , qui elle, peut s'annuler et créer une singularité au centre de l'étoile. Confusion faite également par le mathématicien David Hilbert, et signalée en 1998 par le physicien Canadien Abrams (Leonard Abrams, *Black Holes: The legacy of Hilbert's error*, Can. J. Phys. 67, 919, 1989 - <https://www.jp-petit.org/papers/cosmo/1989-Abrams.pdf>). Cet avertissement est resté sans écho.

Lorsque  $r=0$  dans l'équation extérieure de Schwarzschild,  $R$  devient égal à  $\alpha$  (c'est-à-dire  $R_s$ ), le deuxième coefficient de la métrique devient infini. C'est une deuxième singularité. J.P. Petit montre que cela est dû au choix des coordonnées et que cette singularité n'en est plus une si l'on effectue le changement de variable suivant:

$$R = R_s (1 + L_n \text{ chp})$$

(J.P.Petit and G.D'Agostini : *Cancellation of the Central Singularity of the Schwarzschild Solution with Natural Mass Inversion Process*. *Mod. Phys. Lett.* 30, 9, 2015 - <https://www.jp-petit.org/papers/cosmo/2015-ModPhysLettA.pdf>)

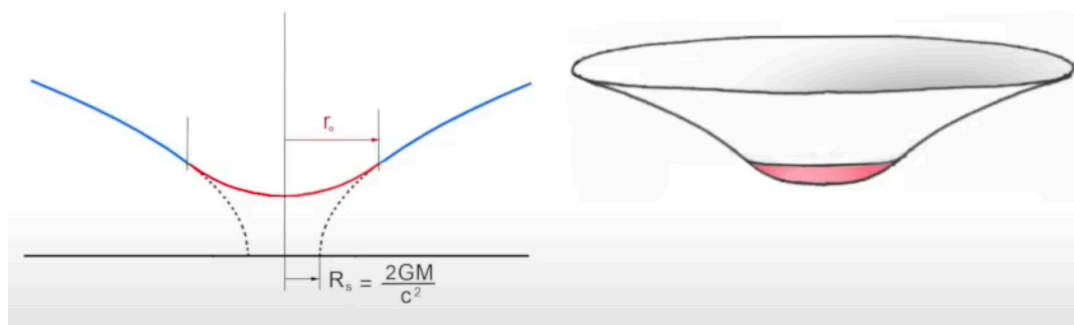


Figure extraite de la vidéo *Janus22-9* - <https://www.youtube.com/watch?v=RKmxVKInk8A>. Ici,  $r_0$  est le rayon de l'étoile et  $R_s$  le rayon de Schwarzschild

En deux dimensions, la surface des géodésiques est représentée par la jonction de deux surfaces, l'une à l'extérieur de l'étoile et l'autre à l'intérieur. Cette surface a été proposée par le physicien autrichien **Ludwig Flamm** (1885 - 1964), décrite en 1916 dans sa publication en allemand *Beiträge zur Einsteinschen Gravitationstheorie (Physikalische Zeitschrift XVII, 448-454)*. Elle a été précisée par le mathématicien allemand **Hermann Weyl** (1885 - 1955, *Zu Gravitationstherie. Annalen der physik, 35, 18, 1917*).

## Singularité physique

Dans l'article de Schwarzschild, il apparait un coefficient de  $ds^2$  comportant une variable  $\chi$ , transformée en  $R_0$ , puis en  $\hat{R}$  dans un article de Tolman (1939). Sa valeur est:

$$\hat{R} = \sqrt{\frac{3c^2}{8\pi G \rho}}$$

Que se passe-t-il lorsqu'on augmente la masse d'une étoile de densité  $\rho$ , autrement dit son rayon  $R_n$  (noté aussi  $r_0$ )? Dans l'espace, la masse d'une étoile à neutrons augmente lorsqu'elle capte la matière d'une étoile voisine qualifiée d'étoile compagne. Son rayon est supérieur au rayon de Schwarzschild  $R_s$  (noté aussi  $\alpha$ ). L'étoile est saine lorsque  $R_s < R_n < \hat{R}$ .

Lorsque le rayon  $R_n$  augmente,  $R_s$  croit plus vite, comme le cube du rayon. Donc  $R_s$  rattrape et égale  $R_n$ . Lorsque  $R_n = R_s$ , on se trouve sur la sphère de Schwarzschild, on a un trou noir. Ce rayon critique  $R_s$  est d'environ 3 masses solaires, mais il n'est jamais atteint.

Car un autre passage critique est atteint avant. Dans sa deuxième publication, Schwarzschild calcule la valeur de la pression au centre de l'étoile. Il constate qu'elle devient infinie lorsque le

$$R_{\text{crphys}} = \sqrt{\frac{8}{9}} \hat{R} = 0.9424 \hat{R}$$

rayon  $R_n$  atteint la valeur 2,5 masses solaires.

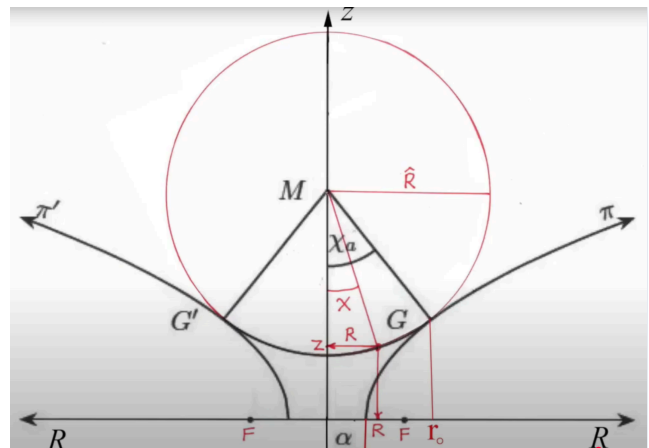


Figure reproduite de la vidéo Janus 22-9-27

. La masse de l'étoile atteint la valeur de

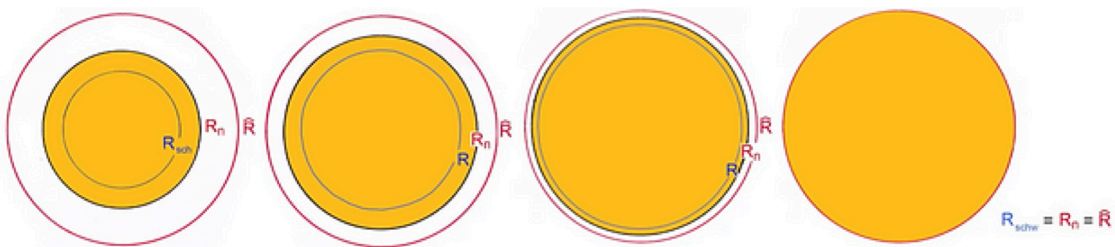


Figure 5 : Evolution of the topology of a neutron star until criticality

Figure reproduite de *Foundations of the black hole model*, J.P. Petit & H. Zejli, 2023, <https://www.jp-petit.org/papers/cosmo/2023-07-15-Black-Hole-Foundation.pdf>

Ainsi lorsque la masse de l'étoile croit, un passage critique physique  $R_{\text{cr}}$  survient avant la criticité géométrique  $R_s$ . Au-delà, la matière ne peut exister.

Dans le modèle Janus, **si l'on tente de dépasser cette limite en augmentant la masse, l'excès de masse s'inverse, devient négatif**. Elle est expulsée par la masse positive. C'est une **plugstar**.

# Références

## Relativité générale et trous noirs

Exposé de David Louapre, Science étonnante, 27 septembre 2018:

<https://www.youtube.com/watch?v=E5LvA8FHBxs>

<https://scienceetonnante.com/blog/2018/09/27/la-relativite-generale/>

Articles de Thierry Lombry, Luxorion

<http://www.astrosurf.com/luxorion/relativite-concepts-dimensions.htm>

<http://www.astrosurf.com/luxorion/menu-cosmologie.htm>

<http://www.astrosurf.com/luxorion/matiere-masse-negative.htm>

Dans wikipedia

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Introduction\\_à\\_la\\_relativité\\_générale](https://fr.wikipedia.org/wiki/Introduction_à_la_relativité_générale)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Karl\\_Schwarzschild](https://fr.wikipedia.org/wiki/Karl_Schwarzschild)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Trou\\_noir](https://fr.wikipedia.org/wiki/Trou_noir)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Historique\\_des\\_trous\\_noirs](https://fr.wikipedia.org/wiki/Historique_des_trous_noirs)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Trou\\_noir\\_de\\_Kerr](https://fr.wikipedia.org/wiki/Trou_noir_de_Kerr)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Trou\\_noir\\_de\\_Kerr-Newman](https://fr.wikipedia.org/wiki/Trou_noir_de_Kerr-Newman)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Expansion\\_de\\_l'Univers](https://fr.wikipedia.org/wiki/Expansion_de_l'Univers)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Asymétrie\\_baryonique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Asymétrie_baryonique)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Introduction\\_aux\\_mathématiques\\_de\\_la\\_relativité\\_générale](https://fr.wikipedia.org/wiki/Introduction_aux_mathématiques_de_la_relativité_générale)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Tenseur\\_énergie-impulsion](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tenseur_énergie-impulsion)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Équations\\_de\\_Friedmann](https://fr.wikipedia.org/wiki/Équations_de_Friedmann)

<https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1978C&T...94..123H> *Les cosmologies de Lemaitre et Friedmann dans le contexte moderne*, Michael Heller, Ciel et Terre, 94, 123, 1978

<https://histoire-des-sciences.eu/dirac-paul-1902-1984/>

## Jean-Pierre Petit

<https://www.jp-petit.org/>

<https://www.jp-petit.org/papers/cosmo/>

<https://www.jp-petit.org/papers/cosmo/2025-03-13-Au-sujet-des-solutions-de-Schwarzschild.pdf>

<https://www.jp-petit.org/papers/cosmo/2022-HAL-Physical-and-mathematical-inconsistency-of-the-BH-Plugstar-model-as-alternative.pdf>

<https://www.jp-petit.org/papers/cosmo/2023-07-15-Black-Hole-Foundation.pdf>

<https://www.youtube.com/watch?v=UfzjFObZEi4> Le modèle Cosmologique Janus, mars 2025

*A bimetric cosmological model based on Andreï Sakharov's twin universe approach*, par Jean-Pierre Petit, Florent Margnat et Hicham Zejli (*Eur. Phys. J. C*, 84, 1226, 2024, <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13569-w>)

J.P. Petit, G. D'Agostini, 2022, *Janus*, le seul modèle qui explique l'accélération de l'expansion

cosmique (<https://hal.science/hal-03831547/document>)

J.P. Petit, G. d'Agostini et N. Debergh, 2021, *Bimetric models. When negative mass replaces both dark matter and dark energy. Excellent agreement with observational data. Solving the problem of the primeval antimatter* (DOI: 10.13140/RG.2.2.34648.62724 - <https://www.jp-petit.org/papers/cosmo/2021-Janus-Cosmological-Model.pdf>)

J.P. Petit et G. d'Agostini, 2014, *Negative mass hypothesis in cosmology and the nature of dark energy* (*Astrophys Space Sci*, A29, 145-182, DOI 10.1007/s10509-014-2106-5 - <https://www.jp-petit.org/papers/cosmo/2014-AstrophysSpaceSci2.pdf>)

Série de vidéos Janus de J.P. Petit [https://www.jp-petit.org/nouv\\_f/VIDEOS\\_JANUS.htm](https://www.jp-petit.org/nouv_f/VIDEOS_JANUS.htm) et particulièrement <https://www.youtube.com/watch?v=UfzjFObZEi4>

[http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables/free\\_downloads.html](http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables/free_downloads.html), bandes dessinées Anselme Lanturlu, vidéos sur le modèle Janus

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean-Pierre\\_Petit](https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean-Pierre_Petit)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Andreï\\_Sakharov](https://fr.wikipedia.org/wiki/Andreï_Sakharov)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Modèle\\_cosmologique\\_bi-métrique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Modèle_cosmologique_bi-métrique)

<https://sabinehossenfelder.com/>