L’arbre cosmique : soupe primitive, trous noirs-graines et rebond quantique

Essai narratif, pédagogique et détaillé sur une hypothèse de morphogenèse arborescente des espaces-temps

Fil directeur : si un univers peut produire des trous noirs, et si certains trous noirs évitent la singularité par un rebond quantique, alors ils peuvent être pensés comme les nœuds-germes d’une arborescence d’espaces-temps.

Ce document organise une hypothèse spéculative, mais cohérente sur le plan pédagogique : expliquer la “soupe primitive” non comme une apparition isolée, mais comme le produit possible d’un cycle cosmique où des univers engendrent d’autres univers par leurs trous noirs. Il ne s’agit pas d’un modèle cosmologique établi. Il s’agit d’un récit conceptuel appuyé sur des éléments reconnus — relativité générale, trous noirs, problème des singularités, cosmologie quantique à boucles, hypothèse de Smolin — et prolongé par une lecture symbolique : arbre cosmique, materia prima alchimique, chaos primordial des traditions.

Niveau	Statut	Idée principale
Cosmologie standard	Établi dans ses grandes lignes	L’Univers observable provient d’un état chaud, dense, en expansion, dont le CMB conserve une trace fossile.
Trous noirs	Établi	Ils résultent d’un effondrement gravitationnel et concentrent matière-énergie et courbure.
Singularité classique	Prédiction de la relativité générale, mais signe de limite théorique	La densité et la courbure divergent dans la description classique.
Rebond quantique	Hypothèse de gravité quantique	La singularité pourrait être remplacée par un seuil de densité maximale.
Univers-enfants	Spéculatif	Un rebond de trou noir pourrait ouvrir une nouvelle branche d’espace-temps.
Arbre d’espaces-temps	Image morphogénétique	Les trous noirs seraient les nœuds où un univers parent engendre des univers-fils.

1. La question de la soupe primitive

La cosmologie moderne décrit un Univers ancien très chaud, très dense, presque homogène, où matière et rayonnement étaient intimement couplés. À ce stade, l'Univers ressemble moins à un monde déjà formé qu'à une matrice physique : un plasma opaque, traversé par des fluctuations minuscules, dans lequel les formes futures ne sont pas encore déployées.

Cette image scientifique résonne avec une image beaucoup plus ancienne : celle du chaos primordial. Dans les mythes, l'Univers ne surgit presque jamais d'un ordre déjà achevé. Il naît d'un océan, d'une nuit, d'une masse confuse, d'un abîme ou d'une matière indifférenciée. L'alchimie parle de materia prima : une matière première obscure, non différenciée, mais capable de toutes les transformations.

La soupe primitive n'est pas seulement un désordre : elle est le possible avant sa différenciation.

La grande question devient alors : pourquoi y aurait-il une soupe primitive ? Pourquoi l'origine prend-elle la forme d'un état dense, chaud, indifférencié, plutôt que celle d'un monde déjà ordonné ou d'un néant absolu ? La réponse proposée ici est la suivante : une soupe primitive pourrait être le produit d'un processus de dissolution extrême. Un univers déjà formé produirait des trous noirs ; certains de ces trous noirs, au lieu de s'achever en singularité, pourraient rebondir et donner naissance à une nouvelle région d'espace-temps, chaude, dense, indifférenciée. La soupe primitive serait alors une matière ancienne redevenue possible.

Image	Sens cosmologique	Sens symbolique
Soupe primitive	Plasma chaud et dense, état initial de l'Univers observable	Matière confuse, réserve de formes possibles
Materia prima	État physique avant différenciation structurée	Base de l'Œuvre alchimique
Chaos primordial	Indifférenciation initiale	Fond mythique d'où naît le monde
Fluctuation	Petite différence de densité ou de champ	Germe de forme
Structure	Galaxie, étoile, trou noir, réseau cosmique	Coagulation provisoire du possible

2. L'image de l'arbre : graine, croissance, fruit, descendance

L'image de l'arbre permet de penser la cosmologie non seulement comme expansion, mais comme morphogenèse. Un arbre naît d'une graine, grandit, se ramifie, produit des feuilles, des fruits, puis des graines capables d'engendrer de nouveaux arbres. Transposée à la cosmologie, cette image invite à chercher quels seraient les fruits ou graines de l'Univers.

Les galaxies pourraient être les grandes branches ; les étoiles, les organes énergétiques qui transforment les éléments ; les planètes, les condensations secondaires ; la vie et la conscience, peut-être des floraisons réflexives. Mais les objets qui ressemblent le plus à des fruits-germes sont les trous noirs : ils apparaissent au terme d'une évolution stellaire ou galactique, concentrent l'histoire de la matière, et posent la question d'un passage vers un autre régime du réel.

Arbre	Univers	Commentaire
Graine initiale	Soupe primitive, fluctuation initiale, état quantique primordial	Point de départ non encore différencié, mais fécond.
Tronc	Lois physiques et expansion cosmique	La structure globale qui porte la croissance.
Branches	Toile cosmique, filaments, amas, galaxies	La ramification visible de la matière.

Feuilles et fleurs	Étoiles, planètes, systèmes complexes	Lieux de transformation et d'émergence.
Fruits noirs	Trous noirs	Résultat terminal de certaines branches, concentration extrême.
Graines	Rebonds quantiques possibles	Possibilité spéculative d'un univers-fils.

Dans cette image, le trou noir est à la fois fruit d'un univers mûr et graine possible d'un autre espace-temps.

3. Le trou noir : concentration, horizon, singularité

Au sens établi, un trou noir est une région de l'espace-temps où la gravité est si forte qu'aucun signal classique, pas même la lumière, ne peut ressortir une fois l'horizon franchi. Le trou noir n'est donc pas seulement un objet dense : il est une modification extrême de la causalité et de la géométrie.

Pour une masse M non chargée et non en rotation, le rayon de Schwarzschild donne l'échelle de l'horizon :

$$R_s \ = \ 2GM \ / \ c\text{^}2$$

Lorsque la matière se concentre sous ce rayon, elle ne forme pas simplement une sphère dense dans l'espace : elle crée une région dont l'intérieur évolue vers une courbure extrême. Dans la relativité générale classique, cette évolution conduit à une singularité.

$$rho \ -> \ \infty, \quad R \ -> \ \infty$$

Ici, rho désigne la densité, et R représente symboliquement une mesure de la courbure. Cette divergence n'est pas nécessairement un objet physique réel ; elle peut être le signe que la théorie classique sort de son domaine de validité. La singularité est moins une chose qu'un point d'échec conceptuel : l'endroit où la relativité générale exige une théorie plus profonde.

Élément	Description physique	Lecture dans notre récit
Horizon	Frontière causale du trou noir	Le seuil visible depuis l'univers-parent.
Intérieur	Région où la contraction devient inévitable	La descente vers la nigredo gravitationnelle.
Singularité	Divergence de la théorie classique	La panne du langage géométrique continu.
Gravité quantique	Théorie attendue du régime extrême	Le principe qui peut transformer la fin en seuil.

4. Qu'est-ce que la gravité quantique ?

La relativité générale dit que la gravité est la géométrie de l'espace-temps. La physique quantique dit que les grandeurs fondamentales sont décrites par des états, des amplitudes, des fluctuations et des quanta. La gravité quantique cherche donc à penser la géométrie elle-même comme un objet quantique.

Gravité quantique = physique quantique de la géométrie de l'espace-temps.

Elle devient nécessaire lorsque densité, énergie et courbure approchent l'échelle de Planck. La longueur de Planck est :

$$l_P \;=\; \sqrt{(\hbar\, G \,/\, c\text{^}3)}$$

et la densité de Planck peut être écrite, à un facteur numérique près, sous la forme :

$$rho_P \sim c\text{^}5 \,/\, (\hbar\, G\text{^}2)$$

À ces échelles, l'espace-temps ne peut plus être traité comme une feuille lisse indéfiniment divisible. C'est précisément dans cette zone que l'on peut imaginer que la singularité classique soit remplacée par une transition physique : une borne, un seuil, peut-être un rebond.

5. L'équation classique de Friedmann : expansion ou contraction de la géométrie

Pour comprendre le rebond, il faut partir de l'équation cosmologique la plus simple. Dans un univers homogène, isotrope, spatialement plat, sans constante cosmologique explicite dans l'écriture simplifiée, l'équation de Friedmann classique s'écrit :

$$H\text{^}2 \;=\; (8\, pi\, G \,/\, 3)\, rho$$

Le paramètre H est le taux d'expansion relatif de l'Univers :

$$H \;=\; (\dot{a}) \,/\, a$$

Le facteur a(t) mesure la taille relative de l'Univers. Si H est positif, l'Univers est en expansion. Si H est négatif, il est en contraction. Si H vaut zéro, la contraction ou l'expansion s'arrête momentanément.

Quantité	Signification
a(t)	Facteur d'échelle : taille relative de l'Univers.
dot(a)	Vitesse de variation du facteur d'échelle.
H = dot(a)/a	Taux relatif d'expansion ou de contraction.
rho	Densité d'énergie moyenne.
G	Constante gravitationnelle.

En remontant le temps dans un univers en expansion, a(t) diminue. Pour de la matière ordinaire, la densité évolue grossièrement comme :

$$rho_matter\; proportional\;\; 1 \,/\, a\text{^}3$$

et pour du rayonnement :

$$rho_radiation\; proportional\;\; 1 \,/\, a\text{^}4$$

Donc si a tend vers zéro, la densité tend vers l'infini. La relativité générale classique aboutit alors à une singularité. C'est ici que le raisonnement du rebond commence : et si l'infini n'était pas physique, mais le signe qu'une correction quantique de la géométrie doit intervenir ?

6. La correction quantique effective : comment apparaît le rebond

Dans la cosmologie quantique à boucles, la dynamique cosmologique peut recevoir une correction effective. Une forme pédagogique souvent utilisée est :

$$H\text{^}2 \;=\; (8\,pi\,G\,/\,3)\,rho\,(1 \;-\; rho\,/\,rho_c)$$

Ici, rho_c est une densité critique. Elle représente le seuil où les effets de gravité quantique deviennent dominants. Le facteur nouveau est :

$$1 \;-\; rho\,/\,rho_c$$

Lorsque la densité est très inférieure à rho_c, ce facteur vaut presque 1, et l'on retrouve la cosmologie classique. Mais lorsque la densité approche rho_c, ce facteur tend vers zéro. Alors H^2 tend vers zéro : la contraction s'arrête.

Régime	Condition	Conséquence
Classique	rho << rho_c	La correction est négligeable ; l'équation de Friedmann classique est retrouvée.
Approche du seuil	rho augmente	Le terme correctif ralentit la contraction.
Seuil quantique	rho = rho_c	H = 0 ; la contraction s'arrête.
Rebond	H passe de négatif à positif	La branche contractante devient branche expansive.

Développée, l'équation devient :

$$H\text{^}2 \;=\; (8\,pi\,G\,/\,3)\,rho \;-\; (8\,pi\,G\,/\,3)\,(rho\text{^}2\,/\,rho_c)$$

Le second terme, négatif, agit comme une répulsion effective à haute densité. Mais il ne faut pas l'imaginer comme une force ordinaire. Il s'agit d'une modification de la relation entre densité et courbure : la géométrie quantique ne laisse plus la courbure diverger librement.

La gravité quantique ne rajoute pas simplement une force : elle remplace l'infini par une borne.

7. D'où vient le terme correctif ?

Dans la cosmologie quantique à boucles, la courbure n'est pas représentée comme dans la relativité générale classique. On ne quantifie pas directement la variable de connexion gravitationnelle comme une grandeur continue ordinaire ; on utilise des holonomies, c'est-à-dire des exponentielles de la connexion le long de petites boucles. Cette opération remplace une grandeur non bornée par une fonction bornée, de type sinus.

Schématiquement, on remplace :

$$b \;->\; sin(lambda\,b)\,/\,lambda$$

où b est une variable gravitationnelle liée au taux d'expansion, et lambda une échelle associée au quantum d'aire. Dans un Hamiltonien effectif simplifié, on obtient :

$$H_eff \;=\; -\;3V\,sin\text{^}2(lambda\,b)\,/\,(8\,pi\,G\,gamma\text{^}2\,lambda\text{^}2) \;+\; rho\,V$$

La contrainte hamiltonienne impose H_eff = 0. On en tire :

$$rho \;=\; rho_c\,sin\text{^}2(lambda\,b)$$

avec :

$$rho_c \;=\; 3\,/\,(8\,pi\,G\,gamma\text{^}2\,lambda\text{^}2)$$

Comme sin^2(lambda b) est borné entre 0 et 1, la densité est automatiquement bornée :

$$rho <= rho_c$$

La relation entre H et b donne ensuite une expression de type :

$$H = sin(2\ lambda\ b) / (2\ gamma\ lambda)$$

donc :

$$H\text{^}2 = sin\text{^}2(lambda\ b)\ cos\text{^}2(lambda\ b) / (gamma\text{^}2\ lambda\text{^}2)$$

En utilisant sin^2(lambda b) = rho/rho_c et cos^2(lambda b) = 1 - rho/rho_c, on obtient :

$$H\text{^}2 = (8\ pi\ G / 3)\ rho\ (1 - rho / rho_c)$$

Le terme correctif vient donc de la structure quantique de la géométrie : la courbure effective est bornée.

8. Du trou noir au bébé-univers : scénario de rebond

L'équation précédente est d'abord une équation cosmologique homogène. L'intérieur réel d'un trou noir est plus complexe. Pourtant, elle sert de modèle pédagogique : elle montre comment une contraction qui, classiquement, finirait en singularité, peut être transformée par une correction quantique en rebond.

Le scénario spéculatif peut être décrit en étapes :

Étape	Processus physique	Interprétation morphogénétique
1	Une région massive s'effondre et forme un horizon.	Le flux entre dans un puits gravitationnel.
2	La matière continue vers des densités extrêmes.	Les formes anciennes sont comprimées et dissoutes.
3	La relativité générale prédit une singularité.	Le langage classique atteint sa limite.
4	La densité approche une valeur critique.	Le puits arrive à saturation géométrique.
5	Les corrections de gravité quantique deviennent dominantes.	L'infini est remplacé par un seuil.
6	La contraction s'arrête puis rebondit.	Le puits devient source.
7	Une nouvelle branche expansive peut apparaître.	Naissance possible d'un univers-fils.

L'image hydrodynamique est alors très utile : le trou noir serait comme un puits qui concentre le flux. Dans la relativité générale classique, ce puits est sans fond. Dans une hypothèse de gravité quantique, il atteint une capacité maximale : non pas une capacité matérielle, mais une capacité géométrique. Arrivé à saturation, le flux ne peut plus s'enfoncer classiquement ; il se redéploie sur une autre branche d'espace-temps.

Le trou noir serait un puits saturé qui ne déborde pas dans l'espace, mais vers un autre espace-temps.

9. Que signifie “un autre espace-temps” ?

Dire qu’un trou noir pourrait créer un nouvel univers ne signifie pas qu’il rejetterait la matière absorbée ailleurs dans notre espace, comme une canalisation traversant une feuille de papier. Cela signifie plutôt qu’une nouvelle région de géométrie pourrait naître derrière l’horizon, causalement séparée de notre univers-parent.

L’image de la feuille reste néanmoins utile si elle est corrigée. Notre univers peut être imaginé comme une face ou une surface. Le trou noir y crée un puits. Mais ce puits ne mène pas simplement à l’autre face d’une feuille déjà existante : il peut être pensé comme un point où la feuille bourgeonne, se ramifie et produit une nouvelle feuille.

Image naïve	Image corrigée
Un tunnel conduit vers un autre lieu de notre Univers.	Le trou noir peut ouvrir une nouvelle région d’espace-temps.
La matière ressort intacte de l’autre côté.	Les formes anciennes sont dissoutes en un état primordial.
L’autre face existe déjà.	La nouvelle branche peut être engendrée par le rebond.
Le trou noir est un passage dans l’espace.	Le trou noir est un passage vers la création possible d’un espace.

Un univers n’est pas seulement une quantité de matière. C’est une totalité géométrique capable de porter des distances, un temps, une expansion, des horizons, des fluctuations et une histoire. Créer un univers, dans ce contexte spéculatif, signifie créer une nouvelle région de relations physiques.

Le trou noir ne serait pas un passage dans l’espace ; il serait un passage vers la création d’un nouvel espace.

10. Smolin : sélection naturelle cosmologique

Lee Smolin a proposé dans les années 1990 une hypothèse appelée sélection naturelle cosmologique. L’idée est que les singularités des trous noirs pourraient être supprimées par des effets de gravité quantique, conduisant à la création de nouvelles régions en expansion. Les paramètres physiques de ces univers-fils pourraient varier légèrement. Les univers qui produisent beaucoup de trous noirs auraient donc plus de descendants.

Le schéma darwinien devient :

$$reproduction + variation + selection -> evolution\,cosmologique$$

Biologie	Cosmologie de Smolin
Organisme parent	Univers parent
Reproduction	Création d’univers-fils par trous noirs
Mutation	Variation légère des constantes physiques
Fécondité	Nombre de trous noirs produits
Sélection	Univers dont les paramètres favorisent la production de trous noirs

Cette théorie reste spéculative. Mais elle donne une structure très claire à l’image de l’arbre cosmique : les univers ne seraient pas seulement juxtaposés ; ils auraient une filiation. Chaque univers serait une branche issue d’un autre, et ses propres trous noirs pourraient produire des branches ultérieures.

11. Arborescence des espaces-temps

Si l'on accepte provisoirement l'hypothèse du rebond et des univers-enfants, on obtient une image grandiose : l'ensemble du réel ne serait pas un univers unique, mais une arborescence d'espaces-temps. Les trous noirs y seraient les nœuds de bifurcation.

$$Univers_ancetre \ -> \ trou_noir \ -> \ Univers_fils$$

$$Univers_fils \ -> \ trous_noirs \ -> \ Univers_petits_fils$$

On peut aussi représenter cette structure comme un réseau fluvial. Un univers est un bassin. Ses structures internes sont les affluents. Les trous noirs sont des pertes profondes, où le flux disparaît du bassin visible. Le rebond serait une résurgence, non pas dans le même bassin, mais dans un autre espace-temps.

Image de l'arbre	Image du fleuve	Image cosmologique
Tronc	Bassin principal	Univers parent
Branches	Affluents	Structures internes : galaxies, étoiles, trous noirs
Fruit noir	Perte karstique	Trou noir
Graine	Résurgence	Rebond quantique
Nouvelle pousse	Nouveau bassin	Univers-fils
Forêt	Réseau hydrographique	Multivers arborescent

Les trous noirs seraient les nœuds de ramification d'un arbre d'espaces-temps.

Cette arborescence peut devenir fractale si le processus se répète : chaque univers produit des trous noirs, certains trous noirs produisent des univers, ces univers produisent à leur tour des trous noirs. La ramification n'est plus seulement dans l'univers ; elle devient une propriété possible de la genèse des univers.

12. La soupe primitive comme materia prima issue du rebond

Dans cette hypothèse, la soupe primitive d'un univers-fils ne surgit pas de rien. Elle est la forme réinitialisée d'un effondrement antérieur. Les anciennes structures — étoiles, atomes, noyaux, champs organisés — ne sont pas transmises telles quelles. Elles passent par une concentration où leur forme est dissoute. Ce qui peut émerger après le rebond est un état chaud, dense, indifférencié : une nouvelle materia prima cosmique.

$$formes_anciennes \ -> \ effondrement \ -> \ densite_critique \ -> \ rebond \ -> \ soupe_primitive$$

Cette lecture est importante : le trou noir ne créerait pas une soupe primitive malgré sa concentration, mais précisément par elle. La concentration extrême détruit les formes, les rend à un état de potentialité, puis le rebond peut ouvrir une nouvelle différenciation.

Moment	Processus physique	Correspondance alchimique
Univers structuré	Galaxies, étoiles, éléments, trous noirs	Coagulation des formes
Effondrement	Concentration gravitationnelle	Nigredo, descente dans le noir
Régime quantique	Densité critique, fin du continuum classique	Materia prima
Rebond	Transition contraction-expansion	Solve et coagula
Nouvel univers	Soupe chaude et dense, fluctuations	Nouvelle œuvre

13. Le trou noir comme symbole alchimique

Le trou noir est l'un des symboles les plus puissants de la cosmologie contemporaine. Il est noir, invisible, dévorant, fermé, terminal. Tout semble y disparaître. Cette image rejoint la nigredo alchimique : la phase noire, la dissolution, la putréfaction, le retour à l'indifférencié.

Mais dans l'alchimie, la nigredo n'est pas seulement la mort. Elle est la condition d'une transformation. Il faut dissoudre l'ancienne forme pour rendre possible une nouvelle coagulation. Le trou noir, dans une cosmologie du rebond, devient alors le four alchimique du cosmos : il concentre, dissout, réinitialise, puis peut ouvrir une nouvelle genèse.

Le trou noir serait la nigredo de l'arbre cosmique : le fruit noir où l'Univers se défait en materia prima.

Cette image rejoint aussi de nombreuses traditions. Les mythes de création décrivent souvent un retour à l'eau, à l'abîme, à la nuit, au chaos, avant l'émergence d'un monde. La création est séparation, différenciation, mise en ordre. Dans notre langage, elle est morphogenèse : passage de la materia prima à la structure.

Tradition ou image	Motif central	Lien avec l'hypothèse cosmique
Alchimie	Materia prima, nigredo, solve et coagula	Le trou noir dissout les formes et prépare une nouvelle genèse.
Mythes de création	Océan primordial, chaos, nuit, abîme	La soupe primitive comme indifférencié fécond.
Arbre du monde	Axe, racines, branches, fruits	L'Univers comme organisme de ramification.
Fleuve cosmique	Sources, bassins, pertes, résurgences	Les trous noirs comme pertes et univers-fils comme résurgences.
Philosophie du devenir	La forme comme processus transitoire	Chaque univers est une branche provisoire d'un devenir plus vaste.

14. Ce qui est établi, ce qui est hypothétique

Pour que ce document reste rigoureux, il faut maintenir une frontière nette entre les faits établis, les modèles discutés et les prolongements symboliques.

Niveau	Contenu	Statut
Trous noirs	Objets astrophysiques observés, issus d'effondrements ou de croissance gravitationnelle.	Établi
Relativité générale	Prédit des horizons et des singularités dans certaines conditions.	Établi comme théorie classique
Singularités	Densités et courbures infinies dans les solutions classiques.	Signal probable de limite théorique
Gravité quantique	Théorie attendue du régime de Planck.	Non encore complète expérimentalement
Rebond quantique	Remplacement possible de la singularité par une densité critique.	Modèle théorique spéculatif, notamment en cosmologie quantique à boucles
Univers-enfants	Nouvelle région d'espace-temps née d'un trou noir.	Hypothèse spéculative
Arbre d'espaces-temps	Structure généalogique de mondes ramifiés.	Image philosophique et morphogénétique

Lecture alchimique	Trou noir comme nigredo et materia prima.	Interprétation symbolique

15. Synthèse finale : la genèse comme ramification

Nous pouvons désormais remettre l'ensemble du raisonnement en ordre. L'Univers observable apparaît comme une structure en croissance : il naît d'une soupe chaude et dense, se différencie, produit des galaxies, des étoiles, des éléments lourds, des planètes et des trous noirs. Les trous noirs sont les fruits noirs de cette croissance. Dans la relativité générale classique, ils conduisent à une singularité. Mais dans une perspective de gravité quantique, cette singularité pourrait être remplacée par un seuil de densité maximale.

À ce seuil, l'effondrement s'arrête. La géométrie classique ne peut plus se contracter. Les corrections quantiques agissent comme une répulsion effective, non pas au sens d'une force ordinaire, mais comme une modification profonde de la relation entre densité et courbure. Le trou noir devient alors un puits saturé. Et ce puits, s'il rebondit, peut devenir source.

La matière absorbée ne ressort pas telle quelle. Les formes anciennes sont dissoutes. Ce qui peut apparaître, de l'autre côté du rebond, c'est une nouvelle soupe primitive : chaude, dense, indifférenciée, mais porteuse de fluctuations. La graine n'est donc pas un objet intact ; elle est un état de potentialité. Elle est la materia prima d'un univers-fils.

Ainsi se dessine une structure arborescente des espaces-temps. Un univers parent produit des trous noirs ; certains trous noirs pourraient produire des univers-fils ; ces univers-fils pourraient produire à leur tour de nouveaux trous noirs. Le cosmos ultime ne serait plus un seul monde, mais une généalogie de mondes, une forêt d'espaces-temps, une ramification dont les nœuds obscurs seraient les trous noirs.

Vu de notre branche, le trou noir est un gouffre. Vu de la branche qui naît, il pourrait être un commencement.

La phrase la plus concise serait peut-être :

$$Univers_parent \; -> \; trou_noir \; -> \; rebond_quantique \; -> \; soupe_primitive \; -> \; Univers_fils$$

Et la phrase la plus symbolique : le trou noir est le fruit noir de l'arbre cosmique, le lieu où l'ancienne forme se dissout pour redevenir graine.

Repères bibliographiques indicatifs

Cette bibliographie ne prétend pas clore le sujet ; elle donne quelques points d'appui pour distinguer le socle scientifique du prolongement spéculatif et symbolique.

- Lee Smolin, "The fate of black hole singularities and the parameters of the standard models of particle physics and cosmology", arXiv:gr-qc/9404011, 1994.
- Lee Smolin, The Life of the Cosmos, Oxford University Press, 1997.
- Abhay Ashtekar, Tomasz Pawlowski, Parampreet Singh, "Quantum Nature of the Big Bang: Improved dynamics", Physical Review D 74, 084003, 2006.
- Abhay Ashtekar, Brajesh Gupt, "Generalized effective description of loop quantum cosmology", Physical Review D 92, 084060, 2015.
- Carlo Rovelli, Francesca Vidotto, "Planck stars", International Journal of Modern Physics D / arXiv:1401.6562, 2014.

- Aurélien Barrau, Carlo Rovelli, “Planck star phenomenology”, Physics Letters B, 2014.
- René Thom, Stabilité structurelle et morphogenèse, 1972.
- Ilya Prigogine, La Nouvelle Alliance ; et travaux sur les structures dissipatives.