

Le mois dernier, nous avons exploré les preuves concrètes de la Relativité.
Nous avons quitté les équations pour observer le monde.

Et ce que nous avons découvert n'a rien d'abstrait.

La lumière qui se courbe au voisinage des étoiles.
Le temps qui s'écoule différemment selon la vitesse ou l'altitude.
Le GPS qui ne fonctionnerait pas sans corrections relativistes.
L'orbite de Mercure qui trahit la déformation de l'espace-temps.
Les ondes gravitationnelles détectées sur Terre.

Autant de phénomènes mesurés, vérifiés, reproduits.

Autant de confirmations d'une théorie qui, à première vue, semblait presque irréaliste.

Mais il en reste une.

La plus extrême.
La plus déroutante.

Les trous noirs.

Longtemps, ils n'étaient que des solutions des équations d'Einstein.
Aujourd'hui, ils sont observés.

Avec eux, la Relativité ne se contente plus de décrire des écarts subtils.
Elle atteint ses limites les plus radicales.

C'est à cet endroit précis que nous allons maintenant nous placer.

Preuve n°6 : Les trous noirs, la courbure poussée à l'extrême

Les trous noirs représentent la conséquence la plus radicale de la Relativité générale.

Ils montrent que l'espace-temps peut être déformé jusqu'à devenir un puits dont aucune trajectoire ne peut s'échapper - pas même la lumière.

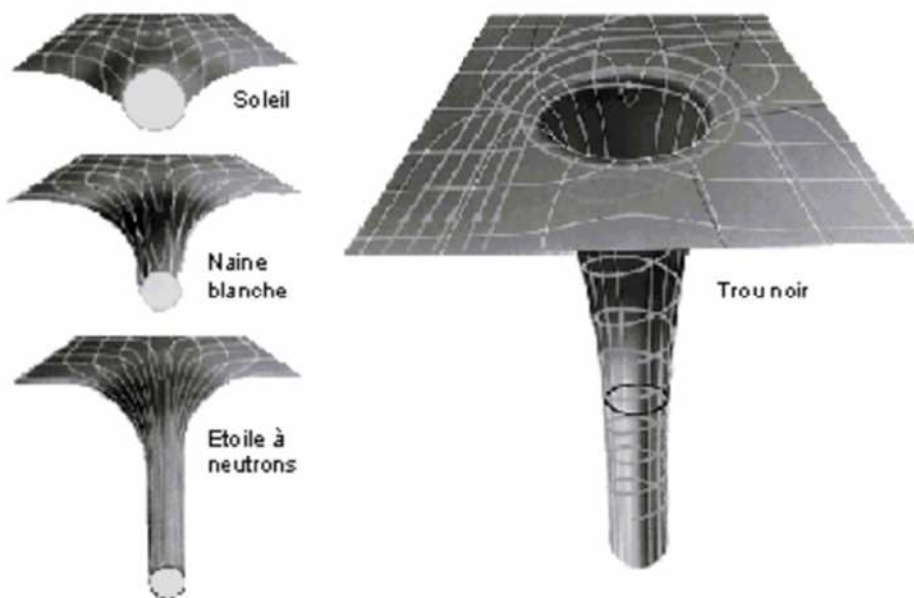
Ils peuvent se former lorsqu'une étoile très massive arrive en fin de vie et s'effondre sur elle-même.

Sa masse, comprimée dans un volume extrêmement réduit, **courbe l'espace-temps**.

Si l'on poursuit l'analogie de la gelée, un objet massif creuse un puits - et plus sa masse est concentrée, plus il devient profond.

Mais au-delà d'un certain seuil, le creux devient si profond que toute trajectoire est irrémédiablement dirigée vers le centre.

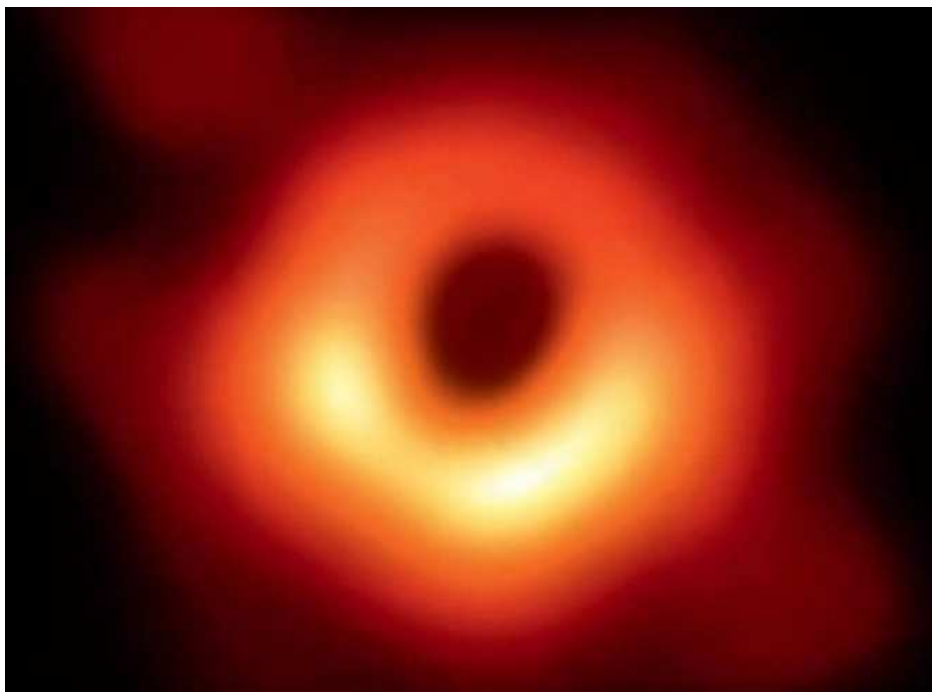
Ce n'est plus une simple déformation.
C'est une géométrie extrême.



Il est toutefois possible que certains trous noirs soient apparus bien plus tôt, dès les premiers instants de l'univers.

2019 : l'humanité voit un trou noir

Grâce au réseau *mondial* Event Horizon Telescope*, l'humanité observe pour la première fois l'empreinte d'un trou noir : une région sombre entourée d'un anneau de lumière déformée par la gravité.



Ce n'est ni un dessin, ni une simulation :

C'est l'image d'une région où la courbure de l'espace-temps atteint un degré extrême.

*Le «*Télescope de l'horizon des événements* » est un réseau mondial et international de plusieurs radiotélescopes qui fonctionnent ensemble pour former un instrument **virtuel** de la taille de la Terre. Cette puissance combinée permet d'obtenir la résolution nécessaire pour observer l'ombre d'un trou noir supermassif.

Depuis, de nombreuses observations indépendantes confirment leur existence : mouvements d'étoiles autour de masses invisibles, émissions intenses de rayons X, disques d'accrétion chauffés à des températures extrêmes.

Les trous noirs ne sont plus une hypothèse.
Ils sont devenus des objets astrophysiques établis.

Quand les équations précèdent le regard

Et pourtant, ils ont d'abord existé... sur le papier.

Les équations d'Einstein les autorisaient dès 1915.
Longtemps avant toute image, la solution était là, inscrite dans la logique interne de la Relativité générale.

Un siècle plus tard, l'observation est venue confirmer ce que les mathématiques avaient annoncé.

Fait remarquable :
avant même d'être observés,
ils existaient déjà en théorie mathématique.

Cela ne relève pas seulement d'un succès technique.
Cela suggère que la structure du réel répond à une cohérence mathématique profonde.

Einstein lui-même s'en étonnait :

« Le mystère le plus incompréhensible de l'univers, c'est qu'il soit compréhensible. »

Dès lors, une question apparaît.

L'univers est-il seulement fait de matière et d'énergie ?
Ou repose-t-il aussi sur une structure plus fondamentale - logique, mathématique -
que nous appelons, faute de mieux, **information** ?

Et si ce que nous observons n'était que la manifestation visible d'une organisation :
une réalité peut-être codée, peut-être géométrique...
que certains physiciens envisagent même comme **holographique** ?

Combien sont-ils ?

On estime aujourd'hui qu'il pourrait exister environ **40 milliards de milliards** de trous noirs dans l'univers observable.

La plupart sont invisibles.
Un trou noir isolé, qui n'absorbe pas de matière, n'émet aucune lumière.

Ce que nous détectons, ce sont les effets de leur présence :
matière chauffée dans un disque d'accrétion, émissions en rayons X, perturbations gravitationnelles.

Le trou noir lui-même demeure silencieux.
C'est son environnement qui le révèle.

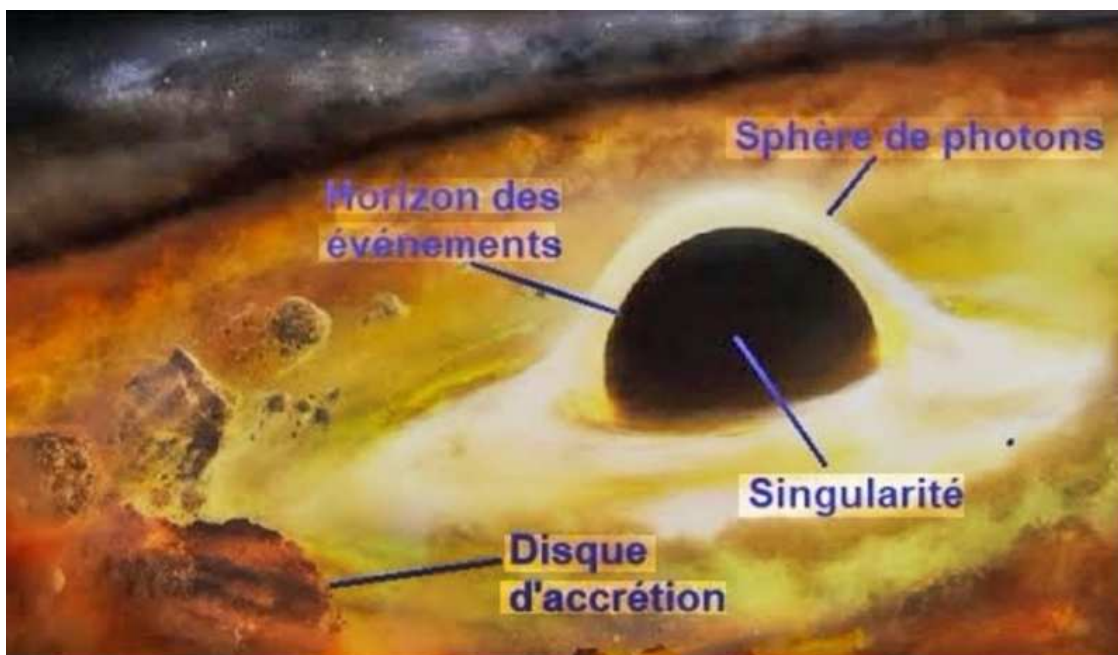
Illustrations artistiques :



Beaucoup restent difficiles à repérer.

Leurs émissions peuvent être masquées par des nuages de gaz et de poussière, ou devenir invisibles selon l'angle d'observation.

Pour les détecter, les astronomes utilisent notamment des observations en infrarouge et en rayons X. Ces longueurs d'onde peuvent traverser la poussière et révéler les régions extrêmement énergétiques qui entourent ces objets.

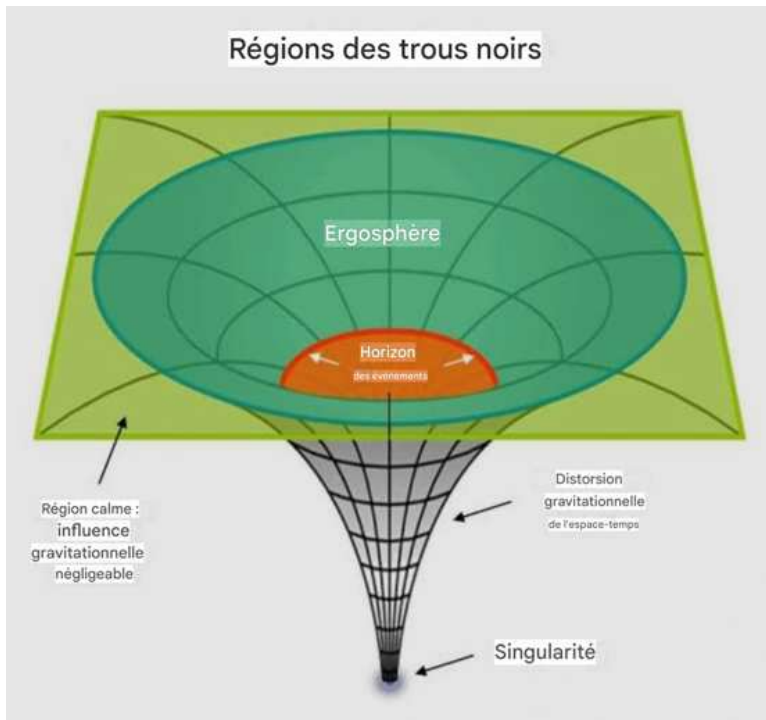


L'horizon des événements : la limite

L'horizon des événements est la frontière de non-retour.

Sur le schéma pédagogique en forme de puits, il correspond au bord à partir duquel :

- la lumière elle-même ne peut plus remonter ;
- aucune information ne peut s'échapper ;
- toutes les trajectoires possibles mènent vers l'intérieur.



Mais la réalité est plus subtile que cette image.

Ce qui change réellement à cette frontière, c'est **la structure même de l'espace-temps**.

À l'intérieur de l'horizon, avancer vers le centre ne correspond plus simplement à un déplacement dans l'**espace** : cela devient une évolution inévitable dans le **temps**.

Autrement dit, tomber vers le centre devient aussi inévitable qu'avancer vers le futur.

De la même manière que nous ne pouvons pas revenir dans le passé, rien ne peut remonter vers l'extérieur.

On ne peut plus « faire demi-tour », non pas par manque de force, mais parce que **la géométrie même de l'espace-temps ne le permet plus**.

Rien de spectaculaire visuellement.
Juste une limite physique.

Mais cette limite possède une particularité importante : **on ne peut pas la voir directement**.

L'horizon des événements ne brille pas.
Il ne produit pas de lumière.

C'est une frontière géométrique de l'espace-temps.

Ce que nous observons dans les images de trous noirs ne correspond donc pas à l'horizon lui-même.

La zone sombre visible au centre des images - appelée **l'ombre du trou noir** - apparaît parce que la lumière qui passe trop près du trou noir est déviée ou capturée et ne nous parvient plus.

Autour de cette ombre apparaît un anneau lumineux formé par la lumière fortement déformée par la gravité extrême.

Ce que nous voyons réellement n'est pas le trou noir lui-même, mais **la lumière déformée qui circule autour de lui**.

La zone sombre centrale est d'ailleurs plus grande que l'horizon des événements lui-même : son diamètre apparent est environ **2,6 fois plus grand**.

Ce que nous observons n'est donc jamais directement l'objet, mais la lumière modifiée par la géométrie de l'espace-temps qui l'entoure.

Au-delà de cette frontière, notre compréhension rencontre cependant une difficulté plus profonde.

À mesure que l'on s'approche de la singularité, les équations cessent de fonctionner. Les notions habituelles d'espace et de temps perdent alors leur sens.

Ce que la physique peut dire aujourd'hui reste plus modeste :

- à la singularité, nos équations divergent ;
- la Relativité générale ne décrit plus correctement la situation ;
- nous ne savons plus décrire l'espace et le temps comme à l'extérieur.

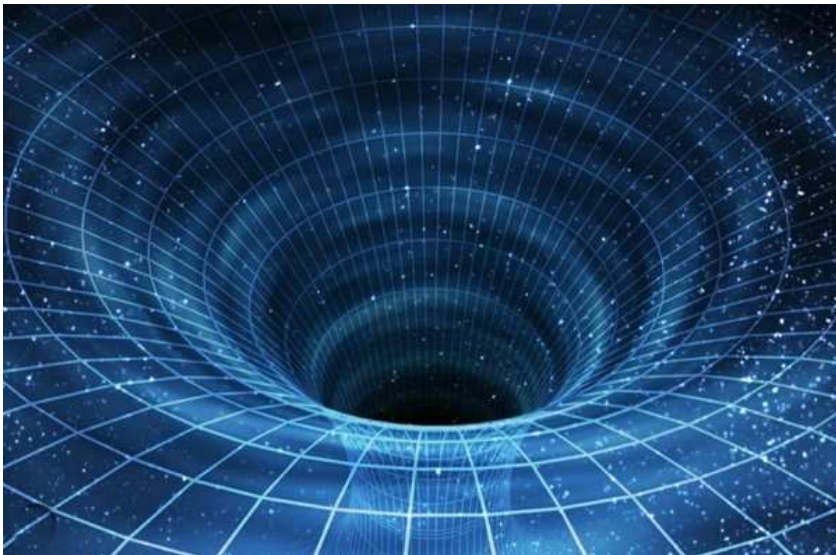


schéma pédagogique

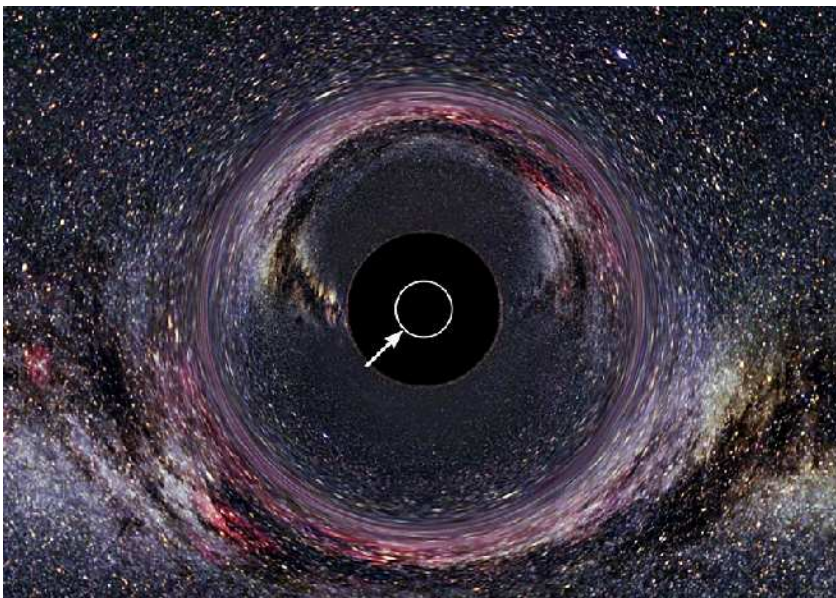


Image réelle

Ce que devient le temps dans un trou noir

N'oublions pas que la Relativité générale a révélé quelque chose de profondément déroutant : le temps n'est pas une dimension immuable.

Il peut se dilater, ralentir, se courber - et même échanger son rôle avec l'espace.

1) Pour celui qui tombe : son temps continue normalement

La personne qui franchit l'horizon :

- respire normalement,
- voit sa montre fonctionner normalement,
- ne traverse aucune barrière visible.

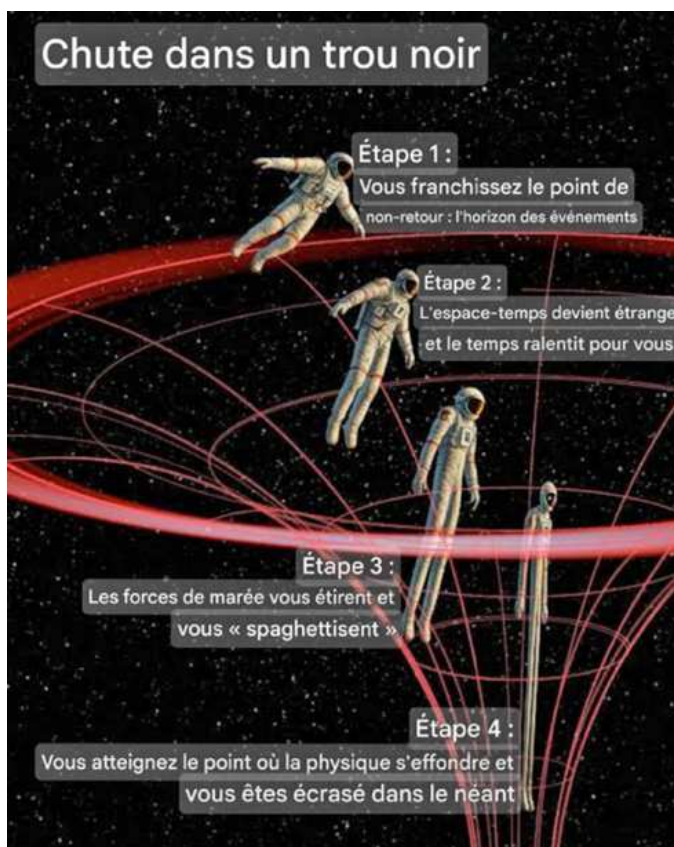
Rien ne lui signale qu'elle vient d'entrer dans une région d'où elle ne pourra plus sortir.

Son temps ne ralentit pas pour elle.

Rien ne change localement : c'est la géométrie de l'espace-temps autour d'elle - notre gelée - qui se déforme.

Mais tous les trous noirs ne se ressemblent pas.

- Dans un **trou noir de masse stellaire ou intermédiaire**, la gravité varie très brutalement : un objet est étiré verticalement et comprimé horizontalement - c'est la « spaghettification » - parfois avant même d'atteindre l'horizon.



- Dans un **trou noir supermassif**, au contraire, l'horizon est immense. La variation de gravité y est plus douce : on pourrait le franchir sans douleur, ni signal perceptible.
- **À l'autre extrême**, Stephen Hawking a prédit l'existence de **micro-trous noirs** : minuscules, dominés par les effets quantiques. Ils émettraient un rayonnement - le rayonnement de Hawking - et perdraient progressivement leur masse jusqu'à s'évaporer très rapidement. S'ils existent, ils seraient extrêmement difficiles à détecter.

Une même théorie.

Des comportements radicalement différents selon l'échelle.

Mais ce n'est pas tout.

Lorsqu'on observe la scène depuis l'extérieur, une autre énigme apparaît.

2) Ce que perçoit un observateur extérieur : le temps ralentit... puis semble s'arrêter

Si l'on observe quelqu'un tomber vers un trou noir :

- ses mouvements semblent ralentir,
- sa lumière devient plus rouge et plus faible,
- et à l'approche de l'horizon, il semble se figer.

Pour l'observateur lointain, le temps paraît s'arrêter au bord du trou noir.

Mais ce n'est pas un arrêt réel du temps.

C'est un effet de la courbure extrême de l'espace-temps : la lumière met de plus en plus de temps à nous parvenir, et son signal s'affaiblit progressivement.

En réalité, la personne continue sa chute normalement.

C'est l'information qui ne parvient plus jusqu'à nous.

Deux points de vue.

Deux descriptions différentes d'un même événement.

Les physiciens résument souvent cette situation par une formule :

**Pour celui qui tombe, l'horizon est franchi en un temps fini.
Pour celui qui regarde de loin, il n'est jamais franchi.**

Et pourtant, il ne s'agit pas de deux réalités différentes.

C'est le même événement, décrit depuis deux positions différentes dans l'espace-temps.

Et c'est ici que la Relativité entre en contradiction avec notre expérience quotidienne : **la réalité dépend du point de vue dans l'espace-temps.**

3) À l'intérieur : quand espace et temps perdent leur sens

Une fois l'horizon franchi, la situation change radicalement.

À l'extérieur, on peut encore choisir sa direction dans l'espace.
À l'intérieur, toutes les trajectoires possibles mènent vers le centre.

Ce n'est plus une option : c'est une nécessité géométrique.

De la même manière que, dans notre monde ordinaire, on ne peut pas empêcher le futur d'arriver, à l'intérieur d'un trou noir on ne peut pas empêcher la singularité d'être atteinte.

Dans la description classique de la Relativité générale, le centre cesse d'être simplement un lieu dans l'espace :
il devient une destination inévitable dans le temps.

Pour celui qui tombe, le temps continue de s'écouler.
Mais il ne mène plus vers une diversité d'avenirs possibles :
il conduit vers un point unique.

Et c'est là que la physique atteint sa limite.

Selon la Relativité générale, la singularité désigne une région où :

- la déformation de l'espace-temps devient sans limite,
- la matière serait comprimée dans un volume tendant vers zéro,
- les équations cessent de fournir un résultat cohérent.

Autrement dit, la théorie produit des grandeurs impossibles à calculer : toute description s'effondre.

Cela ne signifie pas nécessairement que « le temps s'arrête » au sens simple.

Mais à la singularité, le temps pourrait ne plus être une dimension organisée.
Il n'y aurait peut-être plus de succession claire des événements - plus de "avant" ni de "après".

De la même manière, l'espace pourrait perdre sa structure.
Il ne serait plus un "lieu" dans lequel quelque chose se déplace, mais une géométrie qui cesse d'être définissable.
Comme si les coordonnées qui nous permettent de dire "ici" ou "là" n'avaient plus de sens.

Les notions mêmes de temps et d'espace - linéaires, mesurables, ordonnées - pourraient ne plus s'appliquer.

La Relativité ne s'effondre pas ici :
elle nous indique simplement qu'elle ne suffit plus.

Quelque chose semble manquer à notre description de la réalité.
Comme si une partie de ce qui se joue à ces frontières extrêmes échappait encore à nos théories.

Il est interpellant que certaines descriptions d'expériences de mort imminente évoquent, elles aussi, une rupture du temps linéaire : la sensation de naviguer instantanément entre différents espaces ou moments, ou encore l'idée d'un seuil à ne pas franchir, d'un passage sans retour, souvent associé à une lumière intense.

Sans établir de lien direct,

on ne peut s'empêcher de remarquer une certaine proximité dans les images.

Non pas comme une équivalence physique,

**mais comme si, face à l'idée d'une limite ultime, notre imaginaire et nos théories
faisaient émerger des représentations étonnamment proches.**

La singularité : le cœur du puits

Ce que l'on appelle la singularité n'est pas un « objet » au sens classique.

C'est un point où nos lois actuelles cessent de fonctionner.

Einstein le savait.

Mais les trous noirs ne rendent pas la Relativité générale fautive :
ils montrent qu'elle n'est probablement pas la théorie ultime.

D'ailleurs, certaines approches plus récentes suggèrent que la singularité pourrait ne pas
exister telle que la Relativité classique la décrit.

Selon certaines idées issues de la physique théorique moderne - notamment le principe
holographique - toute l'information contenue dans un trou noir pourrait être inscrite à sa
surface, sur l'horizon des événements.

Comme si la réalité tridimensionnelle était encodée sur une structure bidimensionnelle.

Autrement dit :

pas nécessairement un « point » central infiniment dense,

mais une limite où l'information pourrait être conservée sous une autre forme.

Cette idée sera développée plus loin.

Mais elle oblige déjà à élargir notre regard :

et si ce que nous appelons profondeur n'était qu'une projection ?

Les trous de ver : jusqu'où la Relativité peut-elle aller ?

Albert Einstein fit apparaître, dans le cadre mathématique de la Relativité générale, une
possibilité intéressante :

celle de ponts reliant deux régions éloignées de l'espace-temps.

Einstein se méfiait de la singularité infinie que faisaient apparaître certaines solutions de ses
équations.

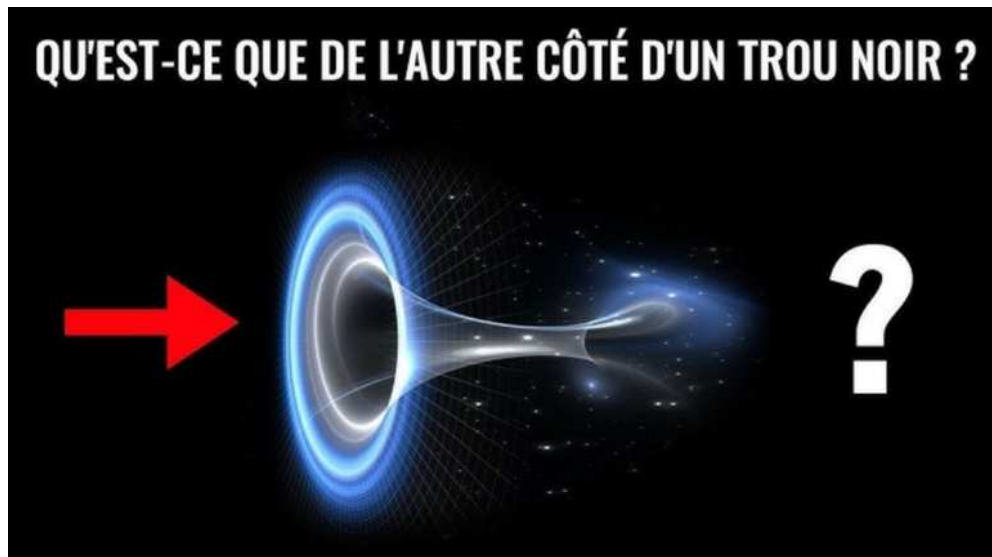
Il envisagea alors qu'au lieu d'un point où tout s'effondre,

la géométrie de l'espace-temps pourrait former un passage reliant deux régions différentes,
possibilité suggérée par ses équations,

sans pour autant garantir son existence physique.

La physique décrit des structures... sans toujours trancher le réel.

Aussi la question persiste :
Que se passe-t-il au fond d'un trou noir ?
Est-ce une impasse absolue ?
Ou bien pourrait-il exister un passage vers ailleurs... ou vers un autre temps ?

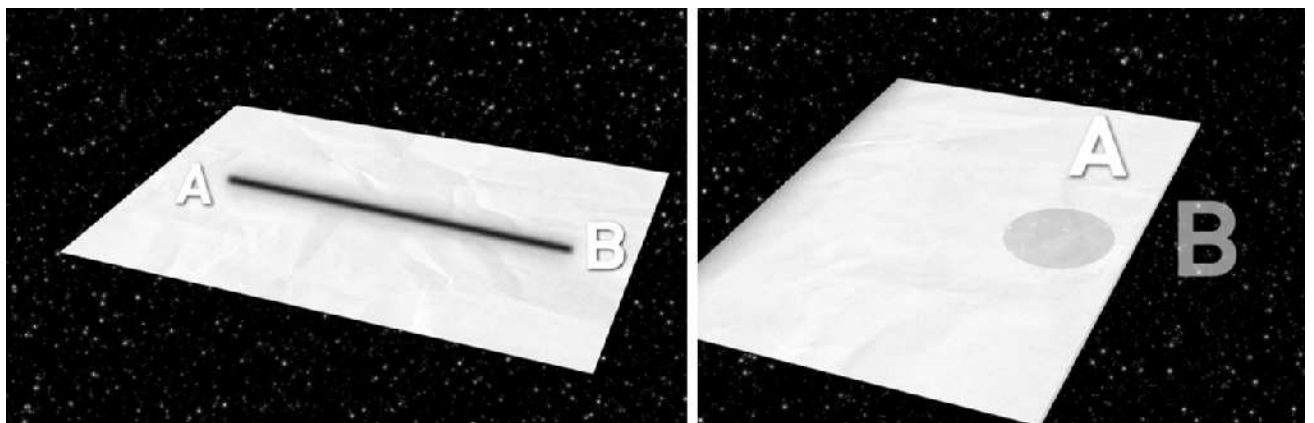


En 1935, avec le physicien Nathan Rosen, il étudie une solution particulière des équations : ce que l'on appellera plus tard le **pont d'Einstein-Rosen**.

L'idée est simple en apparence.

Pour l'imaginer, prenons une feuille de papier.
Deux points **A** et **B** semblent éloignés à la surface.

Mais si l'on plie la feuille pour rapprocher **A** de **B**, une simple perforation permettrait de passer directement de l'un à l'autre.

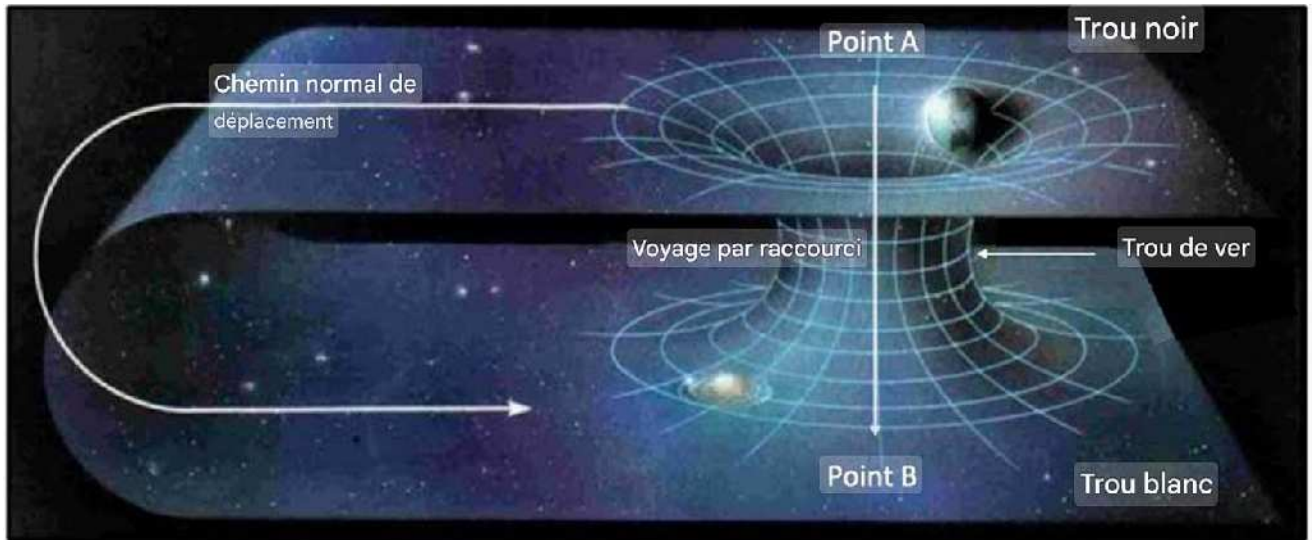


Un trou de ver fonctionnerait, en théorie, de cette manière.

Comme l'explique le physicien Kip Thorne :

**Un trou de ver n'est pas un raccourci qui permet d'aller plus vite que la lumière.
C'est un raccourci qui réduit la distance elle-même.**

Certaines solutions mathématiques suggèrent même une structure étrange :
un **trou noir** à l'entrée,
et un **trou blanc** à la sortie -
l'un absorberait la matière et la lumière, l'autre les expulserait.



Ces objets restent cependant **hautement hypothétiques**.
Rien ne prouve aujourd'hui que de tels passages puissent réellement exister dans l'univers.

Mais leur simple possibilité mathématique montre jusqu'où les équations de la Relativité peuvent nous conduire.

Une possibilité, pas une preuve

Il faut être clair :
aucun trou de ver n'a jamais été observé.

Plus encore, les solutions classiques présentent un problème majeur :
le pont d'Einstein-Rosen, tel qu'il apparaît dans les équations, serait **instable**.

Le passage existe brièvement dans la géométrie de l'espace-temps... mais il se referme presque immédiatement.

Autrement dit, le pont disparaît **avant que quoi que ce soit puisse le traverser**.

Même la lumière ne pourrait pas l'emprunter.

Dans sa forme classique, le pont d'Einstein-Rosen **n'est donc pas traversable**.

C'est pour cette raison que, pendant longtemps, les physiciens ont considéré les trous de ver comme une curiosité mathématique plutôt que comme un véritable moyen de voyager dans l'espace-temps.

Certaines recherches ultérieures ont montré qu'un trou de ver pourrait théoriquement rester ouvert - mais seulement à une condition très étrange :
il faudrait une forme particulière de matière possédant **une énergie négative**, parfois appelée *matière exotique*.

Or une telle matière n'a jamais été observée à grande échelle.

Les trous de ver ne sont donc pas une prédiction confirmée, mais une **possibilité mathématique permise par certaines solutions des équations de la Relativité générale.**

Faut-il y voir une simple curiosité théorique ?
Ou l'indice que la géométrie de l'espace-temps pourrait être plus souple que nous ne l'imaginons ?

Rappelons-nous que plusieurs idées issues des équations d'Einstein ont semblé irréalistes avant d'être confirmées - parfois un siècle plus tard.

Les trous de ver demeurent, pour l'instant, au stade d'hypothèse.
Mais ils témoignent d'une chose essentielle.

La Relativité ne décrit pas un univers rigide.
Elle décrit un univers dont la géométrie peut se plier, se courber...
et peut-être même former des passages à travers elle-même.

Comme l'avait pressenti Einstein :

**« L'espace n'est pas un simple décor dans lequel les choses se produisent ;
il possède lui-même une structure physique. »**

Certains travaux récents suggèrent même que ces ponts pourraient être liés à des phénomènes quantiques très profonds - une idée que nous explorerons plus loin.

Le temps : une énigme encore plus grande

Le temps demeure l'un des plus grands mystères de l'univers.

Pourquoi s'écoule-t-il dans une seule direction, alors que les lois fondamentales de la physique fonctionnent presque aussi bien à l'endroit qu'à l'envers ?
Pourquoi existe-t-il une « flèche du temps » si clairement orientée vers l'avenir ?

Cette flèche reste encore inexpiquée.

Einstein écrivait :

« La distinction entre le passé, le présent et le futur n'est qu'une illusion, aussi tenace soit-elle. »

Cette phrase ne signifie pas que le temps n'existe pas.
Elle suggère plutôt que la séparation nette que nous faisons entre passé, présent et futur pourrait ne pas être une propriété fondamentale de l'univers, mais une manière particulière dont notre « conscience » perçoit l'espace-temps.

Cette idée est profondément contre-intuitif pour tout être humain.
Car si elle est vraie, alors le temps tel que nous le percevons - cette succession continue d'instant - pourrait n'être qu'une manière particulière d'habiter l'espace-temps.

Le temps varie... mais pourquoi avance-t-il ?

La Relativité nous apprend déjà quelque chose de fondamental :

- plus on se déplace vite, plus le temps ralentit ;
- plus la gravité est importante, plus le temps ralentit.

Sur Terre

- notre vitesse est dérisoire comparée à celle de la lumière ;
- la gravité est stable ;

De ce fait, les effets relativistes sont extrêmement faibles.
Notre temps s'écoule donc à un rythme presque constant.

Mais cela n'explique pas sa direction.

La Relativité montre **comment le temps se comporte** : il peut se dilater
mais elle ne dit pas **pourquoi il possède une direction** - du passé vers le futur.
C'est ce que les physiciens appellent la flèche du temps.

La flèche du temps

La réponse semble venir d'ailleurs : de la thermodynamique*.
Sa deuxième loi affirme que l'entropie augmente.
C'est cette augmentation qui donne une direction au temps.

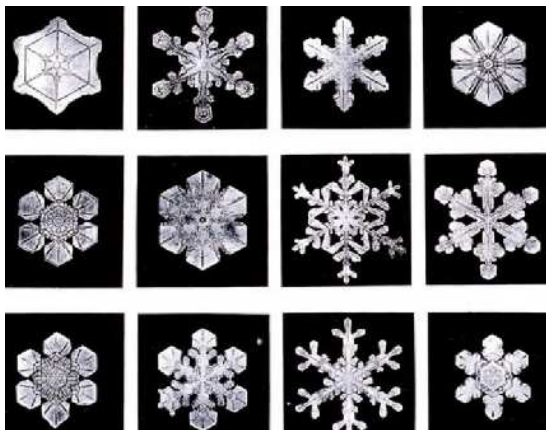
Autrement dit, le temps s'écoule dans le sens où l'énergie se disperse.
Nous appelons "passé" les états où l'entropie est faible,
et "futur" ceux où elle est plus élevée.

Mais l'entropie (le désordre) ne signifie pas un chaos visible.
Elle correspond au nombre de configurations **microscopiques** croissante d'un système,
invisibles à notre échelle.

Exemple :

Les cristaux de glace paraissent parfaitement ordonnés.

Pourtant, à l'échelle microscopique, ils correspondent à un nombre immense d'états possibles.



*Thermodynamique : Science de la physique traitant des relations entre les phénomènes thermiques et mécanique. Elle s'intéresse aux relations entre les composés et la quantité de chaleur que ces réactions mettent en jeu.

Localement, les molécules y sont plus organisées que dans l'eau liquide.
Mais cette organisation s'accompagne d'une **dispersion d'énergie** dans l'environnement.
Et c'est cette dispersion qui multiplie le nombre de configurations possibles.

Ainsi, l'ordre local peut émerger...
pendant que l'entropie globale augmente,
c'est-à-dire que les possibles augmentent.

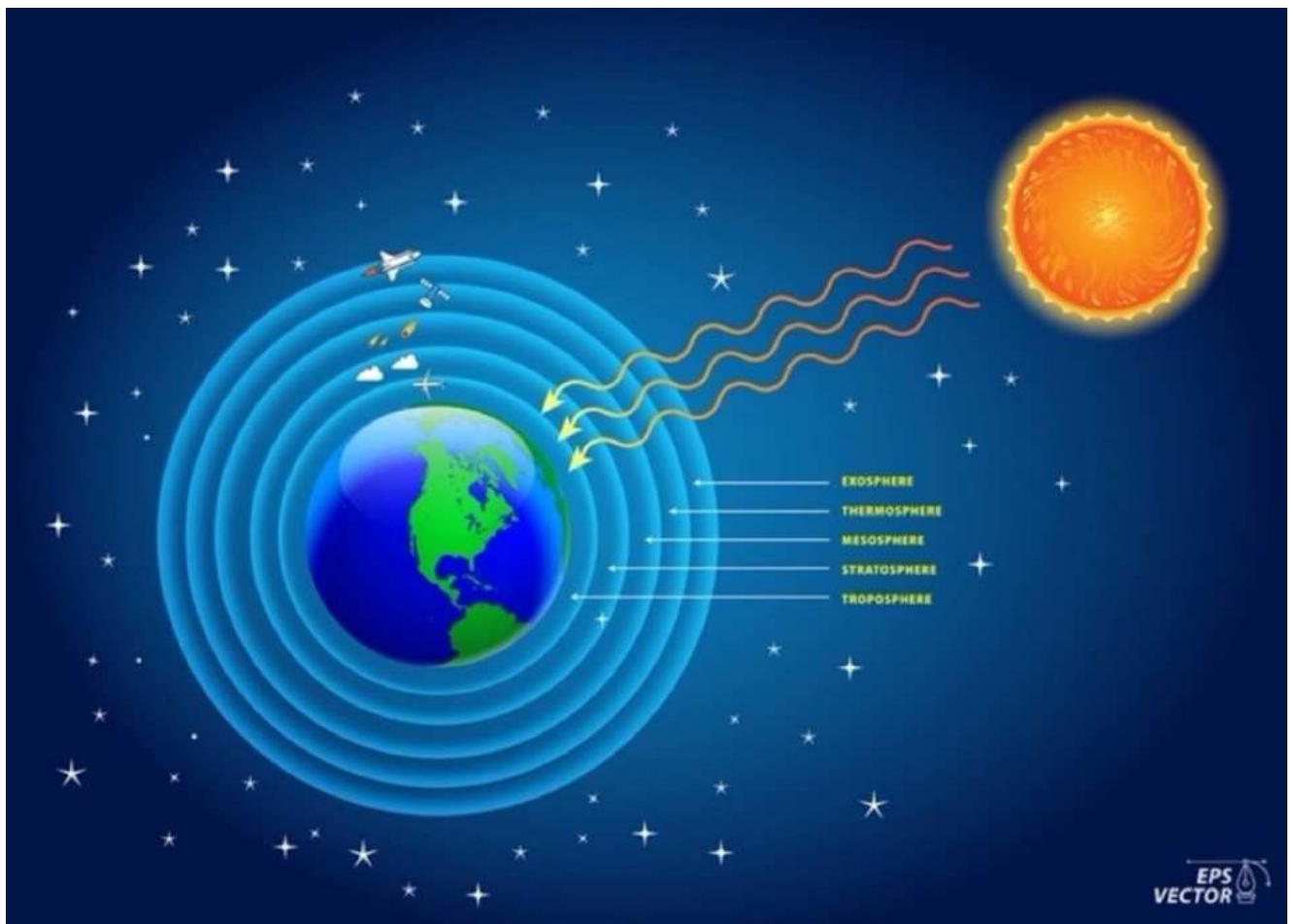
L'univers produit de la diversité à partir de transformations.
Mais cette diversité vient avant tout de la dispersion de l'énergie.

Plus l'énergie est dispersée,
plus il existe de façons différentes d'organiser la matière.

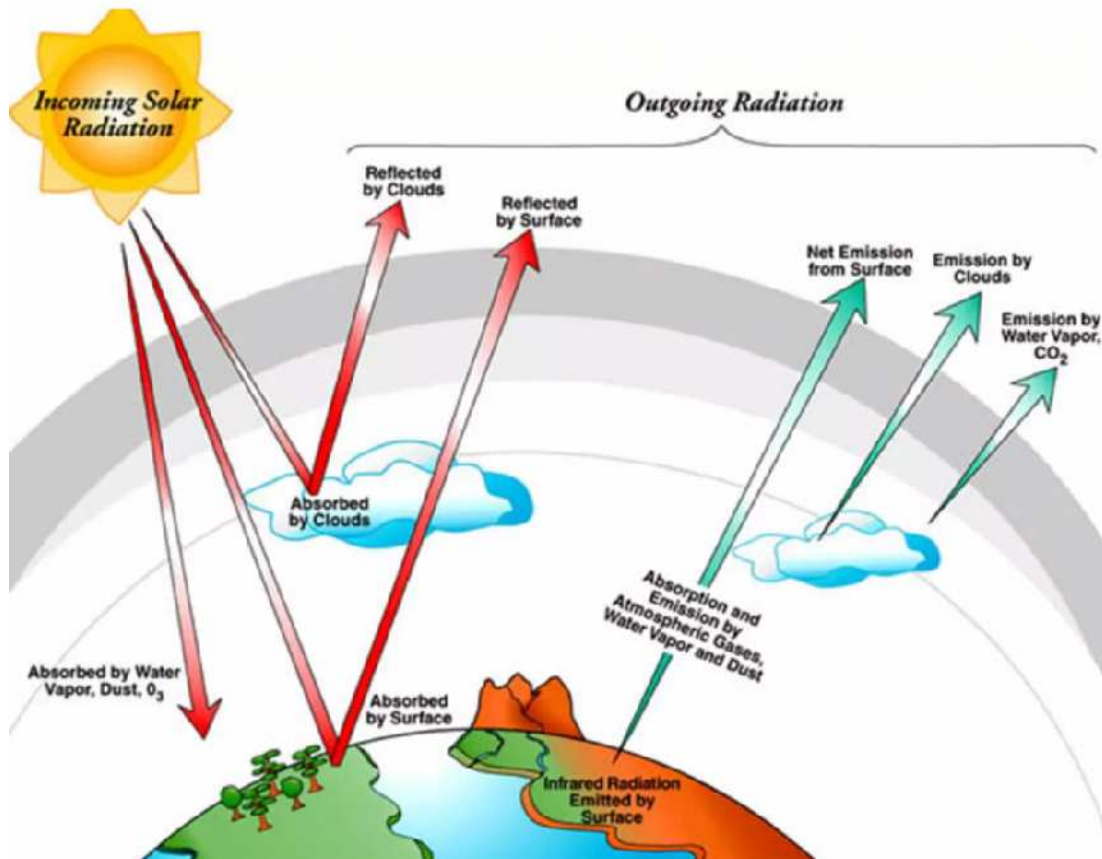
Et cette dispersion dépend directement de la température.
Une énergie chaude et concentrée
évolue naturellement vers une énergie plus froide et plus diffuse.

C'est ce qui se passe en permanence dans l'univers.

Une étoile concentre la matière,
mais elle rayonne de l'énergie vers l'espace.



La Terre reçoit une énergie très concentrée du Soleil...
Et elle la renvoie sous forme d'un rayonnement plus diffus vers l'espace froid :



Ce n'est pas la quantité d'énergie qui change, mais sa qualité, sa condensation.

Une énergie concentrée à haute température devient une énergie plus dispersée, plus diluée à basse température.

L'entropie globale augmente donc, même si l'ordre local peut encore émerger.

Les galaxies se forment.
 Les planètes s'organisent.
 La vie apparaît.

Mais pendant ce temps, l'énergie se disperse, la chaleur se diffuse, et l'irréversibilité progresse.

Une tasse cassée ne se recompose pas.
 La chaleur ne se reconcentre pas spontanément.

C'est cette transformation qui fixe la direction du temps.

L'univers est donc à la fois :

- structuré localement,
- irréversible globalement.

L'ordre peut apparaître localement,
mais seulement au prix d'une augmentation plus grande du désordre, d'une dispersion,
ailleurs.

La Terre n'est pas un système isolé.
Elle reçoit en permanence l'énergie du Soleil
et rejette de l'énergie vers l'espace.

Elle peut donc créer de l'ordre local
tout en augmentant l'entropie globale.

L'ordre n'est pas l'ennemi de l'entropie.

Pour simplifier à l'extrême :

**le temps va dans le sens
où l'énergie se diffuse
et où les possibilités augmentent.**

Ainsi, la flèche du temps est liée à l'augmentation de l'entropie.

Le futur correspond aux états
où le nombre de configurations possibles est plus grand que dans le passé.

Et pourtant...

Pourquoi cette dispersion de l'énergie
a-t-elle permis l'émergence de structures aussi organisées ?
Pourquoi tant d'ordre
dans un univers qui évolue vers toujours plus de possibilités ?

La thermodynamique nous donne une direction.
La Relativité, elle, interroge la structure du temps lui-même.

Et là, une autre question apparaît :
qu'est-ce que le présent que nous croyons vivre ?

Le présent : illusion ou simple découpage local de la réalité?

Nous avons vu que deux observateurs ne partagent pas nécessairement le même « présent ».
La Relativité bouleverse notre intuition :
le temps n'est pas un flux universel identique pour tous.

Rappelez-vous **la relativité de la simultanéité**.

Certains physiciens décrivent l'espace-temps comme une structure globale où tous les
événements existent déjà.

Un peu comme les images d'un film entièrement déroulé sur une pellicule.
Toutes les scènes sont là, simultanément.
Pourtant, le spectateur ne les découvre qu'une à une.

Et si notre conscience fonctionnait de la même manière ?
Comme si elle parcourait une structure déjà inscrite, image après image ?

Ce que nous appelons le « maintenant » ne serait alors qu'un point particulier, lié à notre position et à notre mouvement.

Si tous les instants existent d'une certaine manière, alors le « présent » ne serait pas une réalité absolue, mais la façon dont nous traversons la structure de l'espace-temps.

Le passé, le présent et le futur ne seraient pas séparés, mais simplement disposés différemment dans une géométrie que nous ne percevons pas encore.

Dans la vision relativiste, ce n'est pas le présent qui est fondamental, mais la structure de l'espace-temps.

C'est ce que suggère la relativité de la simultanéité :

- deux observateurs peuvent **ne pas partager le même présent**,
- mais ils appartiennent **au même espace-temps**.

Nous touchons ici à une limite.

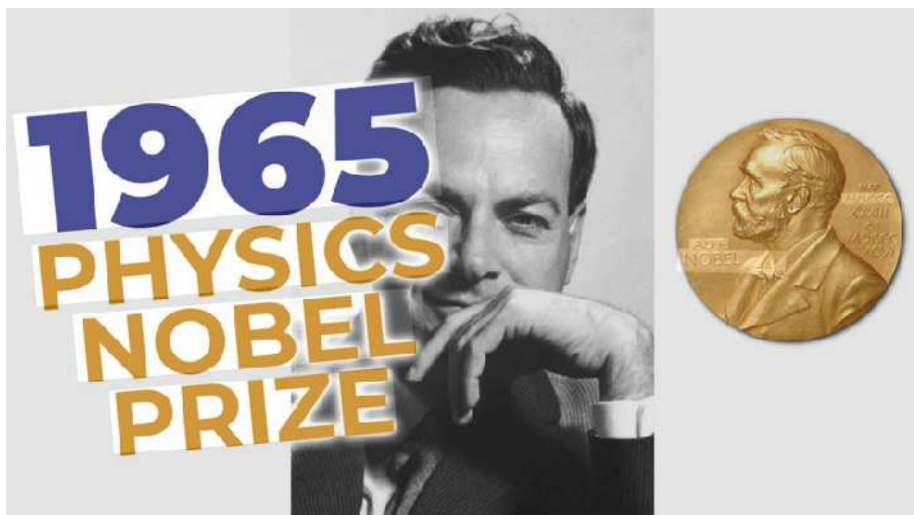
Les équations tiennent.

C'est notre vision qui vacille.

La frontière de la lumière

Richard Feynman le formulait simplement :

« Si vous atteignez la vitesse de la lumière, le temps ne s'écoule plus. »



Autrement dit, à mesure que la vitesse augmente, le temps propre ralentit. À la limite théorique de la vitesse de la lumière - limite qu'un objet matériel ne peut pas atteindre - le temps tend vers zéro.

D'une manière plus imagée :
plus un objet se déplace vite dans l'espace,
moins il progresse dans le temps.

La vitesse de la lumière étant constante,
ce sont l'espace et le temps qui s'ajustent.

$$\text{vitesse} = \frac{\text{distance parcourue}}{\text{temps écoulé}}$$

Si le temps dépend de la vitesse,
de la gravité,
de la position,
alors est-il vraiment cette flèche rigide que nous croyons vivre ?

Voyager à une vitesse proche de celle de la lumière ralentirait considérablement le temps pour le voyageur.
À son retour, il aurait moins vieilli que ceux restés immobiles.

Quant aux trous de ver, s'ils existaient, ils pourraient théoriquement relier non seulement deux points de l'espace, mais aussi deux instants différents.

Nous entrons ici dans le domaine des hypothèses.
Mais une chose est acquise :
le temps n'a plus le statut absolu que nous lui prêtons spontanément.

La flèche du temps - passé, présent, futur -
est-elle une propriété de l'univers ?
Ou la trace de notre position en son sein ?

Le cône de lumière

La Relativité restreinte permet de représenter cette idée de manière simple.
Les physiciens utilisent pour cela un schéma appelé cône de lumière.

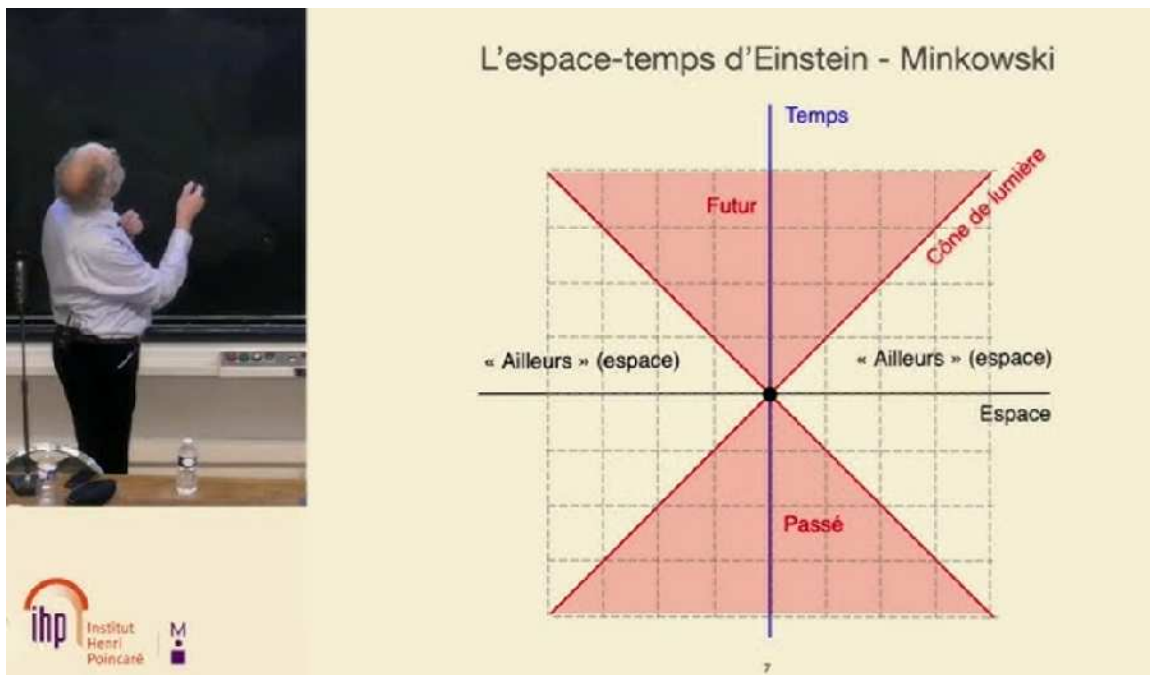


Diagramme du cône de lumière en Relativité restreinte (conférence universitaire, Paris, 2021)

Le point central représente un événement : ici et maintenant.
Les lignes obliques qui en partent correspondent à la trajectoire de la lumière.
Elles définissent une limite fondamentale : rien ne peut aller plus vite.

À l'intérieur de cette limite se trouvent tous les phénomènes qui peuvent être reliés à cet instant.

Les zones rouges représentent donc les régions de l'espace-temps accessibles sans dépasser la vitesse de la lumière.

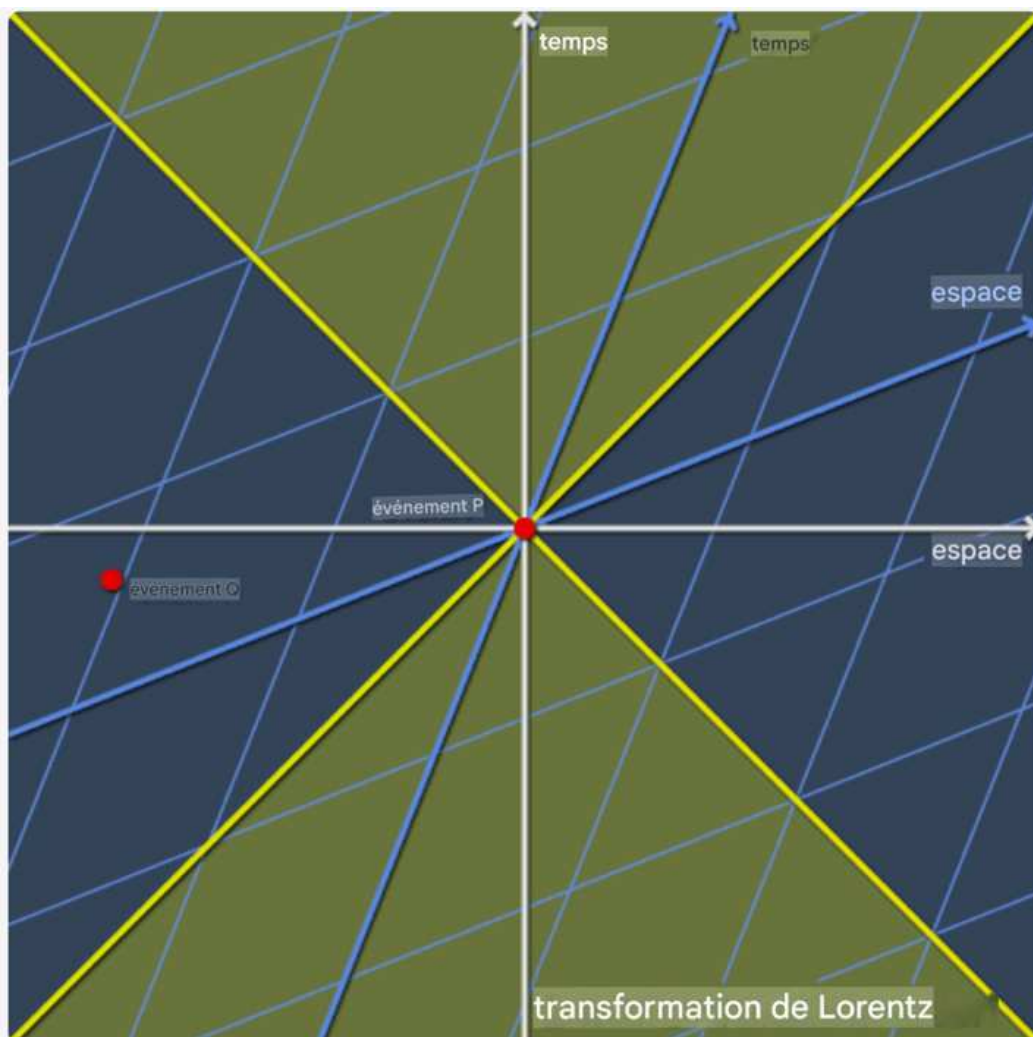
Au-dessus : ce qui peut en découler, le futur.
En dessous : ce qui a pu y conduire, le passé.

En dehors de cette zone, les événements sont trop éloignés.
Aucun signal, même lumineux, ne peut les relier à cet instant.
Ils ne peuvent donc ni influencer, ni être influencés par lui.

La lumière trace la frontière de ce qui peut nous atteindre...
et de ce que nous pouvons atteindre.

*La lumière ne transporte pas seulement l'information.
Elle définit les limites du possible.*

Une conséquence surprenante



Dans ce diagramme :

- les lignes jaunes représentent la trajectoire de la lumière
- les axes blancs représentent l'espace et le temps pour un point de vue immobile
- les axes bleus inclinés représentent l'espace et le temps pour un autre point de vue en mouvement

Un point essentiel apparaît alors :

les axes peuvent s'incliner selon le point de vue,
mais les lignes de la lumière conservent toujours la même structure de cône,
dans le futur comme dans le passé.

Deux présents différents

Regardez la ligne horizontale dans le diagramme.
Elle représente ce que nous appelons spontanément le présent :
tout ce qui se passe au même instant.

Mais en Relativité, cette ligne n'est pas universelle.

Deux points de vue peuvent attribuer des présents différents.

Lorsque le point de vue change dans l'espace-temps - par exemple en se déplaçant très vite -
les lignes (bleues) qui définissent les événements « simultanés » s'inclinent.

Autrement dit, ce que nous appelons « maintenant » dépend du point de vue adopté.

Un événement peut appartenir au futur pour un observateur,
et au présent pour un autre.
Et inversement.

C'est ce que l'on appelle **la relativité de la simultanéité**.

Il n'existe donc pas un présent universel valable pour tout l'univers.
Chaque observateur possède son propre découpage du temps.

Ce que cela suggère

Le passé, le présent et le futur ne sont peut-être pas trois réalités séparées.
Ils pourraient être différentes régions d'une même structure :
l'espace-temps.

Un fait apparaît alors :

la Relativité permet qu'un événement soit dans le futur pour l'un...
et dans le passé pour un autre.

Une propriété fondamentale

Malgré ces différences de point de vue, une chose reste identique pour tous :
le cône de lumière.

Sa forme ne change jamais.
Parce que la vitesse de la lumière est la même pour tous,
quel que soit leur mouvement.

Ce qui change, ce sont les axes utilisés pour décrire les événements.

Chaque observateur incline sa propre grille de lecture de l'espace-temps,
mais les cônes de lumière restent toujours des cônes.

On peut imaginer une feuille sur laquelle ces cônes sont dessinés.

Chaque point de vue peut faire tourner ou incliner sa grille sur la feuille.
Mais les cônes, eux, restent inchangés.

Cela signifie que la structure fondamentale de l'espace-temps
est délimitée par la lumière.

Autrement dit :
*la lumière ne se contente pas de révéler l'espace-temps -
elle en dessine la structure.*

Quand la gravité incline les cônes de lumière

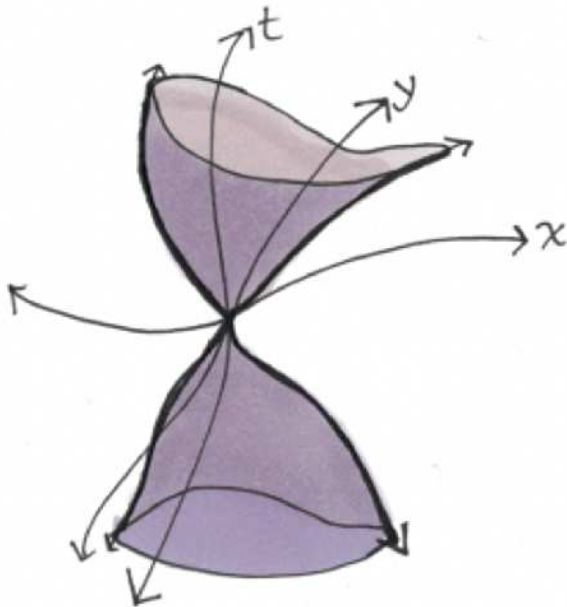
Dans la Relativité, chaque point de l'espace-temps possède **son cône de lumière**.
Il définit les directions possibles dans lesquelles un objet ou un signal peut se déplacer sans
dépasser la vitesse de la lumière.

Loin de toute masse importante, ces cônes restent droits et symétriques

Mais lorsqu'une masse est présente - une étoile, une planète - la gravité courbe l'espace-
temps.



Et lorsque l'espace-temps se courbe, les cônes de lumière **s'inclinent**.

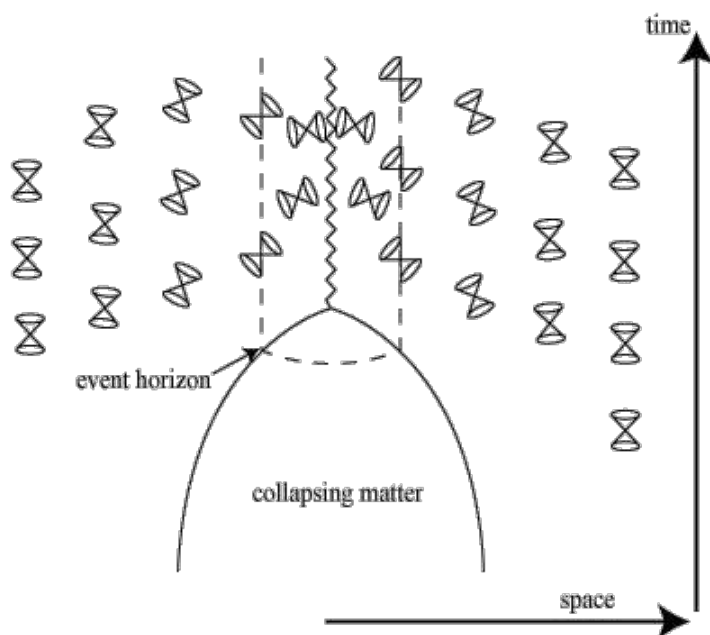


Le futur lui-même se déforme sous l'effet de la gravité.
Il n'est plus "ouvert" de la même manière :
il s'oriente vers l'objet massif.

La lumière peut encore s'échapper,
mais elle ne choisit déjà plus librement sa trajectoire.

Ce qui se passe près d'un trou noir

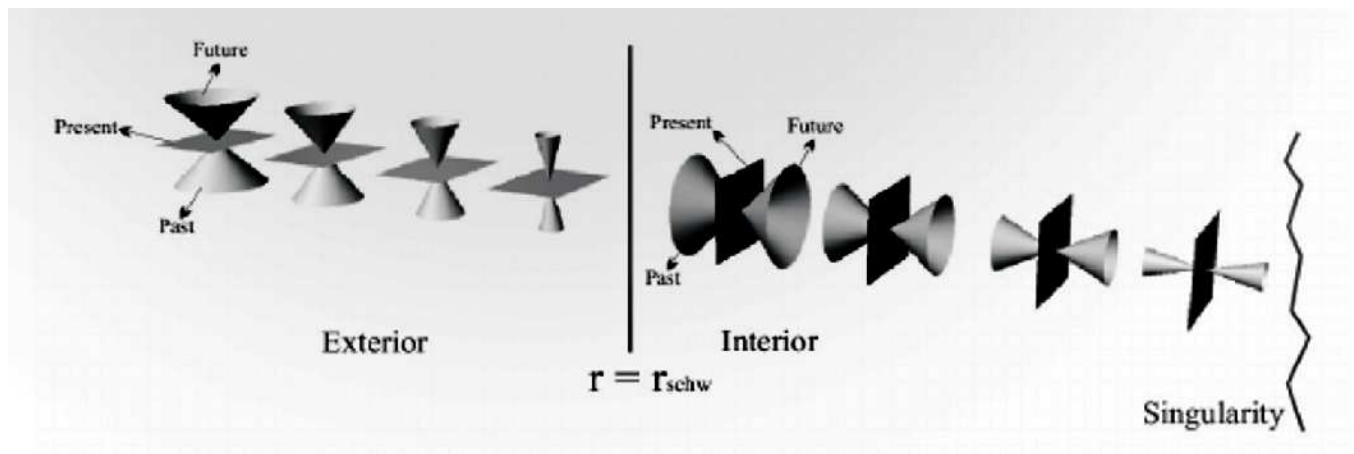
À mesure que l'on s'approche d'un trou noir, l'inclinaison des cônes de lumière devient de plus en plus forte.



Les cônes se penchent progressivement vers le trou noir.
Autrement dit, toutes les directions possibles du futur
s'orientent de plus en plus vers l'intérieur.

À l'horizon :

le cône est entièrement couché vers le centre.
Toutes les directions du futur pointent vers l'intérieur.
La lumière peut encore avancer -
mais il n'existe plus aucun chemin pour en sortir.



Un futur sans échappatoire

À l'intérieur du trou noir,
tous les cônes de lumière sont orientés vers la singularité.

Cela signifie que toutes les directions possibles du futur
conduisent vers le centre.

La gravité ne se contente plus d'être une force attractive,
elle façonne les chemins que les objets peuvent emprunter,
jusqu'à ne laisser qu'un seul futur possible : vers le centre.

Il ne s'agit donc plus d'une force à laquelle on pourrait résister.
Il n'existe tout simplement plus de direction permettant de s'en éloigner.

Aller vers la singularité
devient aussi inévitable
que d'aller vers le futur.

Si cette idée revient à plusieurs reprises, c'est pour en faire apparaître toute la portée.

Quand l'espace et le temps échangent leurs rôles

Dans notre vie quotidienne, nous avançons tous vers le futur.

Et nous pouvons choisir :

- d'aller vers le nord ou vers le sud,
- de nous déplacer ou de rester immobiles.

Mais nous ne pouvons pas choisir de ne pas avancer dans le temps.
Le futur arrive inévitablement.

Le temps est une direction unique.
L'espace, lui, offre plusieurs possibilités.

À l'intérieur d'un trou noir, cette situation s'inverse.

Toutes les directions possibles du futur
conduisent vers la singularité.

*Tomber vers le centre ne signifie plus avancer dans l'espace,
mais avancer dans le temps.*

La singularité n'est plus seulement un lieu :
elle devient une direction du futur dans l'espace-temps.

De la même manière que nous ne pouvons pas éviter d'aller vers demain,
rien ne peut éviter de se diriger vers la singularité.

À l'extérieur, plusieurs directions restent possibles.
À l'intérieur, il n'en reste plus qu'une.

Comme si la chute vers la singularité devenait
un futur inévitable.

Mais alors, que signifie ce futur ?

Est-il simplement ce qui va arriver ?
Un lieu vers lequel tout converge ?
Ou autre chose encore...
une finalité ?
Une structure plus profonde que nous ne percevons pas ?

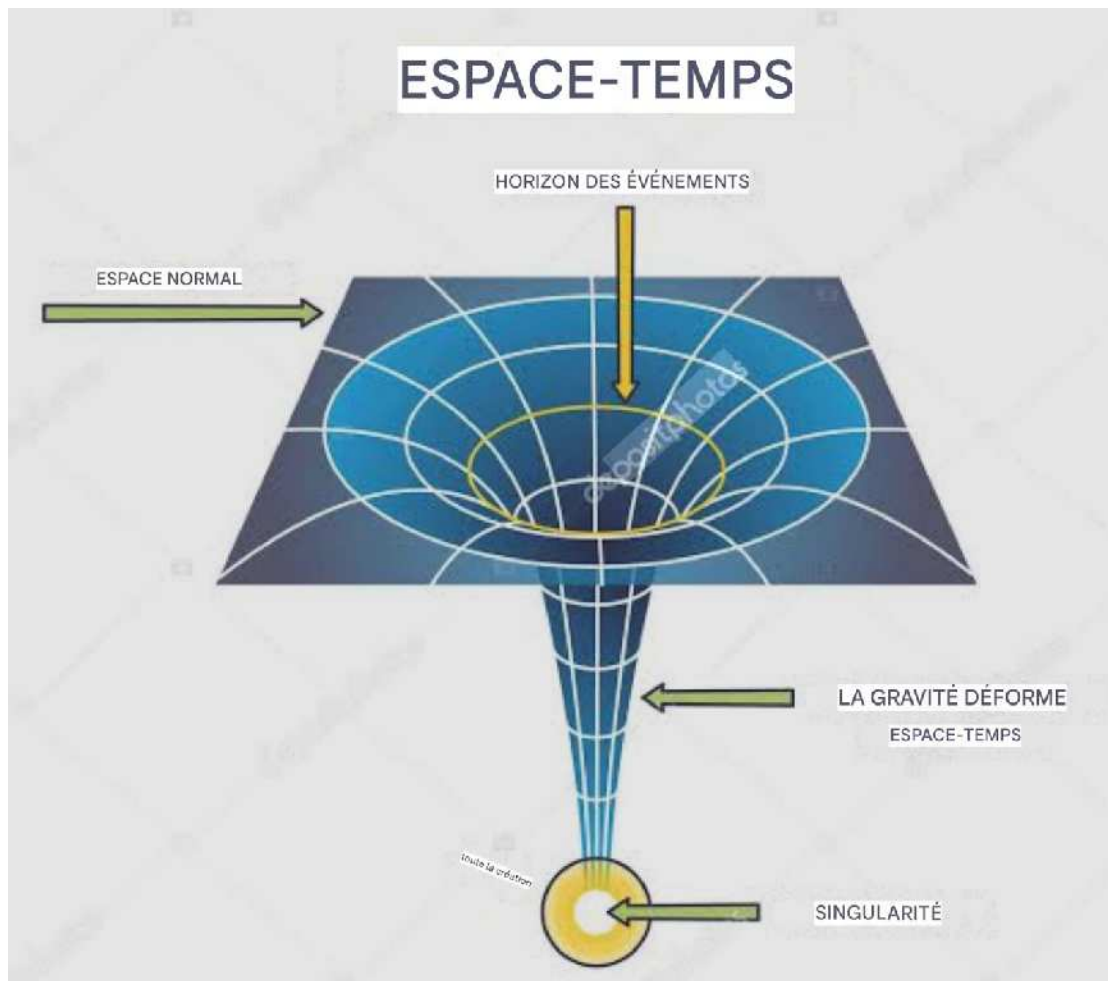
Si la gravité peut ainsi redéfinir direction et temps,
alors les trous noirs deviennent des laboratoires uniques
pour explorer les lois les plus profondes de l'univers.

L'horizon des événements : la frontière du futur

Si l'on prolonge cette déformation jusqu'à son extrême,
une limite apparaît.

Un point à partir duquel même la lumière ne peut plus s'échapper.

Cette frontière s'appelle l'horizon des événements.



Au-delà, toutes les directions possibles du futur sont orientées vers l'intérieur du trou noir. Aucune information, aucun signal, aucune lumière ne peut revenir vers l'extérieur.

L'horizon n'est pas une surface solide, mais une frontière inscrite dans la structure même de l'espace-temps. Pour un observateur extérieur, il marque la limite de ce qui peut encore être vu... et de ce qui disparaît à jamais.

Pour s'en faire une image simple, on peut imaginer un fleuve qui s'approche d'une chute d'eau.

Au début, le courant est faible. On peut encore choisir sa trajectoire, s'éloigner du bord, remonter légèrement.

Mais peu à peu, l'eau accélère. Sans même s'en rendre compte, on est déjà entraîné.

Puis vient un point invisible. On rame. On résiste. Mais rien n'y fait.

Le courant est devenu plus fort que toute volonté.

À partir de là,
ce n'est plus une question de force...
mais de direction.

La chute n'est plus un danger possible.
Elle est devenue le seul futur.

Et pourtant, pour celui qui est emporté,
rien ne change immédiatement.

Le corps suit simplement le courant.
Le temps semble continuer de s'écouler.
Les pensées, elles aussi, poursuivent leur cours.

Mais ce futur, en réalité,
n'est plus ouvert.

Il n'y a plus d'alternative.
Plus de bifurcation possible.

Ce que nous appelons habituellement « avancer dans le temps »
prend ici un sens différent.

Ce n'est plus seulement vivre un instant après l'autre.
C'est être porté dans une direction unique,
déjà inscrite dans la structure même du réel.

*Avancer dans le temps,
ce n'est peut-être pas aller quelque part...
mais perdre peu à peu les autres directions.*

La jolie histoire du mot « horizon » :

Les physiciens n'ont pas choisi ce mot par hasard.
Ils l'ont emprunté à une expérience familière : l'horizon terrestre.

Quand on regarde la mer ou un désert très plat,
on distingue une ligne au loin.
Cette ligne est l'horizon.

Ce qui se trouve au-delà existe toujours, bien sûr,
mais il échappe à notre regard.
Ce qui franchit cette ligne disparaît simplement de notre champ d'observation.

Dans un trou noir, l'idée est similaire.

L'horizon des événements est la frontière au-delà de laquelle
les événements ne peuvent plus être observés depuis l'extérieur.

Ce n'est pas un mur.
Rien de particulier ne se produit localement au moment où l'on franchit cette limite.

Mais une fois cette frontière dépassée,
aucun signal ne peut revenir vers l'extérieur.

Les événements qui s'y produisent deviennent alors
définitivement invisibles pour le reste de l'univers.

C'est pour cette raison que les physiciens ont choisi le mot horizon.

Ainsi, les trous noirs ne sont pas seulement des objets mystérieux de l'univers.
Ils constituent l'une des prédictions les plus fascinantes de la Relativité générale,
aujourd'hui confirmée par de nombreuses observations.

Ces objets extrêmes vont révéler une surprise
que même Einstein n'avait pas anticipée.

Mais, avant d'aller plus loin,
prenons le temps de conclure ce chapitre sur la Relativité.

Conclusion : La Relativité

La Relativité n'est plus seulement une théorie.
Elle est devenue une carte du réel.

Au fil des décennies, toutes les observations ont confirmé la remarquable justesse de la
Relativité d'Einstein.

Chaque phénomène évoqué -
les mirages gravitationnels,
le temps qui se dilate,
l'espace qui se contracte,
les satellites qui corrigent leur marche,
Mercure qui dévie,
les trous noirs qui déforment l'univers,
les ondes gravitationnelles qui font frémir le cosmos -
raconte la même histoire.

L'univers n'est plus un décor immobile.

Einstein n'a pas seulement décrit la gravitation.
Il a révélé un univers dynamique, un champ où matière, espace et temps ne sont plus des
catégories distinctes,
mais les expressions d'une même réalité.

La Relativité n'est pas une idée abstraite.
Elle est devenue la langue dans laquelle l'espace et le temps se laissent décrire.

La Relativité renverse notre intuition la plus ancienne.
Nous pensions habiter dans l'espace et évoluer dans le temps.
Cette manière de voir ne résiste plus à l'expérience.

Si l'espace-temps peut ralentir, accélérer, se dilater ou se contracter selon la vitesse et la
gravité,
alors notre réel n'est pas figé.

Le réel est ouvert.

Ouvert à la physique qui le décrit,
ouvert à la philosophie qui l'interroge,
ouvert à la conscience qui tente d'y trouver sa place.

L'héritage d'Einstein n'est pas seulement scientifique :
il est une invitation à imaginer autrement.

En ce sens, la Relativité n'est pas seulement une théorie qui fonctionne.
Elle est une invitation à repenser ce que nous appelons « l'univers »
et, peut-être, aussi ce que nous appelons « être ».

À ce stade, je ressens le besoin de m'arrêter.
De sortir un instant du cadre théorique.

Après des années à tenter de comprendre le pourquoi et le comment,
après avoir mis en parallèle - plutôt que de les isoler - la physique, la biologie,
l'astrophysique, l'informatique...
je ne peux m'empêcher d'interroger nos certitudes sur la vie, la mort, la nature et les liens.

Chaque observation, chaque expérience, chaque preuve accumulée semble dire quelque chose
de plus profond
que de simples corrélations mathématiques :

notre réalité est faite de relations, de transformations, de mouvements.

Et au cœur de tout cela, une chose revient sans cesse :
la lumière.

C'est elle qui relie les événements,
qui fixe les limites du possible,
qui fixe la valeur du temps et de l'espace,
qui dessine les cônes de l'espace-temps,
qui nous apporte l'information...
et qui, en même temps, nous en cache une partie.

Après toutes ces recherches, quelque chose se construit en moi.
Pas une croyance.
Pas une certitude.
Mais une intuition qui prend forme, peu à peu.
Elle ne vient pas d'un besoin de croire,
ni d'un regard mystique.

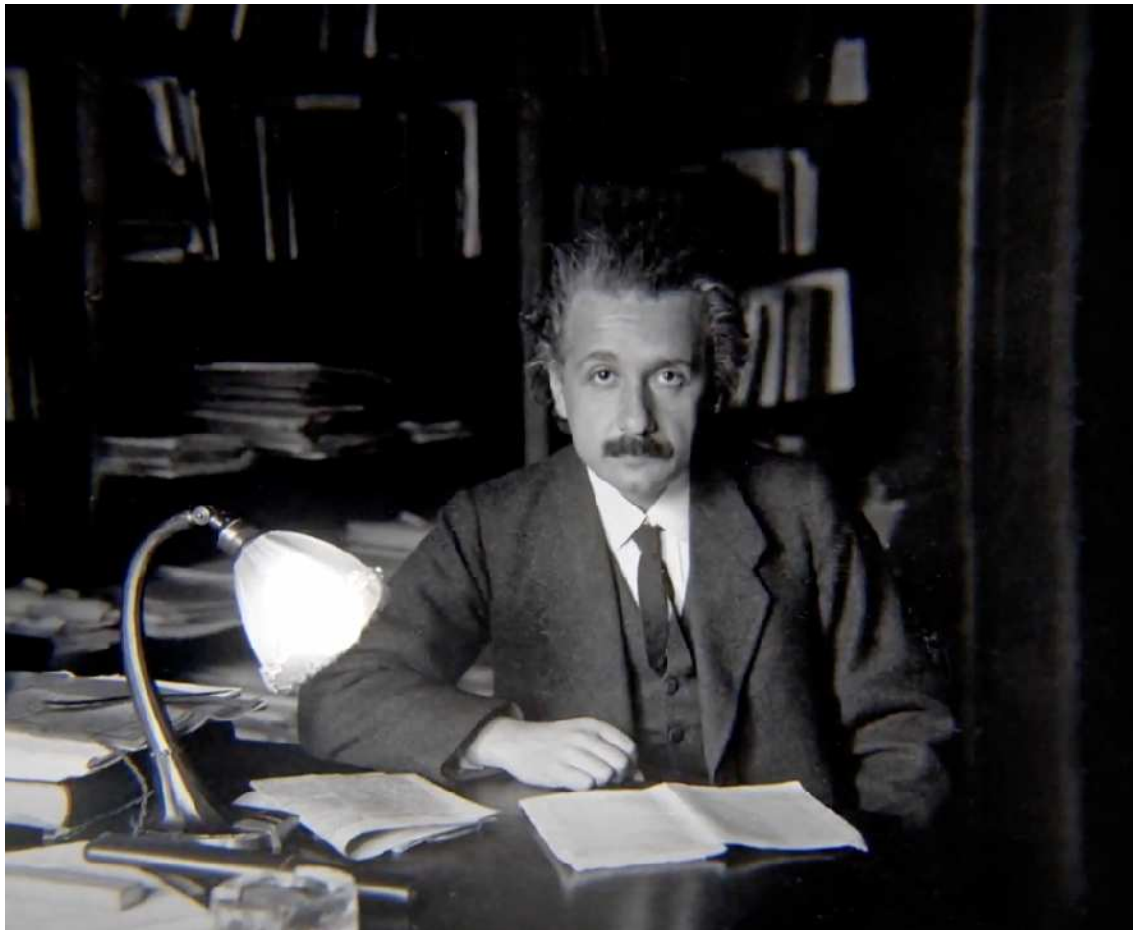
Elle naît de ce que la science, dans toutes les disciplines, met au jour,
en recoupant, en reliant.
Pas seulement en astrophysique.
Mais dans la biologie.
Dans la nature.
Dans l'évolution du vivant.
Dans ces structures qui se répètent, du plus petit au plus grand,
qui fonctionnent avec quelques lois, parfois même semblables.
Dans cette intelligence discrète à l'œuvre partout.
Dans cette capacité à organiser, à mémoriser, à transformer, à rendre beau.

Dans cet ADN,
qui ressemble de plus en plus à une forme de langage,
une base d'information
qui traverse et structure tout le vivant.

Et je m'étonne.

Je m'étonne que tout cela,
mis bout à bout,
ne nous pousse pas davantage
à questionner notre vision du réel...
et de la vie,
Est-ce la peur d'être aussitôt considéré comme irrationnel ?

Cette carte de l'univers, aussi puissante soit-elle,
atteint ici une frontière.
Les équations d'Einstein décrivent avec une précision remarquable les phénomènes que nous observons.



Mais là où la courbure devient extrême,
là où le temps vacille,
là où l'horizon semble refermer le monde,
notre compréhension s'arrête.

Les trous noirs, nés de la Relativité, ne se contentent pas de déformer l'espace-temps.
Ils révèlent une autre propriété inattendue.
Ils semblent posséder une forme d'entropie.

Autrement dit,
ils pourraient obéir à des lois qui rappellent celles de la thermodynamique.

Mais cela...
nous allons le découvrir la prochaine fois.

Une cohérence qui interroge

C'est à cet endroit que les questions changent de nature,
et dépassent ce que la science seule peut décrire,
pour devenir une intuition au croisement des sciences et de la philosophie.

Dans notre expérience quotidienne, le temps semble s'écouler de manière régulière.
Nous avançons d'un instant au suivant, comme si le présent se renouvelait en permanence.
Cette impression repose sur une idée implicite :
celle d'un présent unique, partagé par tous.

Pourtant, nous l'avons vu, la Relativité vient profondément modifier cette intuition.
Selon le mouvement et la gravité, ce qui est "présent" pour un observateur
ne l'est pas nécessairement pour un autre.

Autrement dit,
il n'existe pas un seul présent universel,
mais une multitude de présents possibles.

Revenons à cette analogie en la développant :
l'espace-temps pourrait être envisagé comme un film entièrement déroulé.
Toutes les scènes y sont déjà présentes,
mais ne se donnent à voir qu'une à la fois.

Plus on se déplace vite dans l'espace, plus le temps ralentit pour l'observateur.
Ce n'est pas que les images défilent plus vite,
mais que l'on avance différemment dans la pellicule.

De même, en présence d'une forte gravité,
le temps s'écoule plus lentement.

Comme si, dans certaines régions de l'univers,
le passage d'une image à la suivante devenait plus lent.

Le film, lui, ne change pas.
Seule la manière de le parcourir varie.

Un peu comme en Relativité, où ce que l'on gagne en déplacement dans l'espace
se fait au détriment du temps vécu.

Selon la manière dont on traverse la "pellicule",
l'expérience peut alors sembler plus détaillée...

ou, au contraire, plus globale, comme si plusieurs instants étaient appréhendés ensemble, sans être vécus un à un.

Ce qui nous paraît être un déroulement uniforme dépend, en réalité, du point de vue depuis lequel il est vécu.

Autrement dit,
ce n'est peut-être pas le temps lui-même qui change,
mais la manière dont nous le traversons.

À ce stade, une autre question peut apparaître.
Si tout est déjà inscrit dans ce "film",
si chaque instant existe déjà quelque part dans l'espace-temps, alors que devient cette autre vision du réel : **la physique quantique** ?

À une autre échelle,
elle suggère que certaines propriétés ne sont pas définies avant d'être observées,
que plusieurs états peuvent coexister, tant qu'aucun choix n'a été fait,
et que l'observation correspond à ce moment où une possibilité prend forme parmi d'autres -
une idée que nous approfondirons dans le prochain chapitre.

A cette autre échelle, la réalité ne paraît plus entièrement fixée à l'avance.
Elle semble conserver une part d'indétermination,
comme si plusieurs possibilités coexistaient
avant de se manifester.

Alors deux conceptions du réel semblent cohabiter.

Mais peut-être décrivent-elles simplement deux situations différentes,
liées à la présence d'un observateur
et au fait qu'un choix ait été fait... ou non.

D'un côté,
ce qui a déjà été observé,
ce qui a déjà fait l'objet d'un choix,
appartient **au passé**
et se trouve désormais inscrit dans la structure.

De l'autre,
ce qui n'a pas encore été observé,
ce qui n'a pas encore été choisi,
appartient **au futur**
et reste ouvert à plusieurs possibilités.

Dans cette perspective,
la **Relativité**, en montrant que le temps dépend du mouvement et de la gravité,
et qu'il n'existe pas de présent universel commun à tous,
décrit un espace-temps dans lequel les événements ne sont pas vécus de la même manière
selon l'observateur,
comme s'ils existaient déjà dans une structure globale que chacun parcourt à sa façon.

Tandis que la **physique quantique**
montre cette part encore ouverte du réel,

où plusieurs possibilités existent
avant qu'une seule ne prenne forme.

Ces deux visions décriraient alors
non pas deux réalités opposées,
mais deux aspects du même réel :
ce qui a été observé et fixé – le passé
et ce qui reste à l'être - le futur

Comme si le "film" existait bien dans son ensemble,
mais que certaines scènes
ne prenaient forme qu'au moment où elles sont vécues.

Comme si la structure globale était présente,
mais que le détail, lui, restait ouvert.

Comme si le réel était à la fois inscrit...
et en train de se préciser.

Dans cette perspective,
nous ne serions ni de simples spectateurs d'un scénario immuable,
ni des créateurs absolus du réel.

Mais plutôt des participants
à une réalité où quelque chose est déjà là,
sans que tout soit entièrement fixé.

Peut-être que cette cohérence,
entre un passé inscrit et un futur encore indéterminé,
éclaire autrement la question de la flèche du temps.

Comme si cette direction que nous percevons - du passé vers le futur -
correspondait simplement au passage
de ce qui a déjà été observé et fixé
vers ce qui ne l'est pas encore.

Le réel combinerait alors, plutôt qu'il n'opposerait,
nos deux modèles théoriques.

Ici s'installe le doute.

Une réflexion.

Un "Pourquoi pas ?"

Quand le temps ne s'écoule plus

Si cette manière de comprendre le réel est juste,
une corrélation pourrait se dessiner.

Que se passe-t-il lorsque notre manière habituelle de traverser le temps change ?

Certains phénomènes semblent précisément aller dans ce sens.

Des personnes ayant vécu une expérience de mort imminente (EMI) décrivent une perception du temps profondément différente.

Il ne s'agit plus d'une succession d'instant, mais d'un accès global.

Des fragments du passé,
des situations présentes,
parfois même des événements encore à venir,
semblent se donner dans un même mouvement.

Comme si notre manière de parcourir cette "pellicule" changeait.

Comme si le déroulement habituel n'avait plus vraiment de sens.
Comme si le temps ne s'écoulait plus...
mais se présentait.

Ce point est troublant.

Car, en Relativité,
le temps dépend de la vitesse et de la gravité.

Plus un objet se rapproche de la vitesse de la lumière,
plus le temps ralentit pour lui.

Or, de nombreux témoignages d'EMI évoquent
une impression de déplacement extrêmement rapide,
notamment dans ce qui est souvent décrit comme un "tunnel".

Alors une question simple peut être posée :

cette perception différente du temps
pourrait-elle être liée
à une modification extrême de la manière dont il est traversé ?

Non plus instant après instant,
non plus image après image,
mais de façon globale.

Le temps ne serait alors pas seulement ce qui s'écoule,
mais la manière dont nous accédons à l'information.

Une information inscrite plus profondément que dans notre mémoire.

Elle apparaît dans toutes les structures du vivant.

Dans l'ADN, par exemple,
où une information d'une complexité remarquable est inscrite,
transmise, organisée.

Son fonctionnement est aujourd'hui, en grande partie, compris.
Mais son origine reste profondément inexpliquée.

Comment une structure aussi complexe a-t-elle pu apparaître ?

Comme si, à différentes échelles,
quelque chose enregistrerait, conservait, reliait, transformait.

Et si le lien entre ces différentes formes d'information
passait, d'une certaine manière, par la lumière ?

Il ne s'agit pas d'une explication.

Mais d'un rapprochement.

Une manière d'interroger ce que nous appelons le temps...

Dans cette perspective,
la mémoire ne serait plus seulement individuelle.

Elle ne serait pas limitée au cerveau,
ni même au vivant.

Elle pourrait être inscrite
dans les structures du réel.

Les témoignages d'EMI évoquent souvent
une forme de compréhension immédiate :
une question surgit,
et la réponse est déjà là.

Non pas construite,
mais donnée.

Comme si, l'espace d'un instant,
l'accès à l'information
ne passait plus par le cerveau,
ni même par l'individu,

mais donnait accès à une forme de compréhension immédiate,
comme si rien ne semblait inconnu :
l'univers,
les autres, leurs pensées,
les sciences,
comme une impression d'accès à une connaissance totale.

Une idée peut alors être envisagée.

*Le réel ne serait pas entièrement fixé,
mais pas totalement ouvert non plus.*

Comme un chemin possible,
dont les grandes lignes seraient déjà tracées,
tandis que d'autres resteraient à expérimenter,
à vivre, à choisir.

Non pas comme un scénario imposé,
mais comme une forme de parcours à vivre.

C'est peut-être ce que suggèrent, d'une certaine manière,
de nombreux "expérienceurs",
lorsqu'ils rapportent cette idée,
souvent résumée par une phrase simple :

« Ton heure n'est pas encore venue.
Il te reste des choses à accomplir. »

Rien n'est affirmé ici.

Mais quelque chose mérite, peut-être, d'être exploré.

Les expériences de mort imminente, seulement esquissées ici,
seront approfondies plus loin dans un chapitre qui leur sera entièrement consacré.

Dans la prochaine publication, nous reviendrons à la physique, pour en poursuivre le chemin,
avec la suite logique de la Relativité :
la physique quantique.