

**En attendant le boson de Higgs,
ou
une hypothèse pour se passer de la matière noire**



1^{ère} PARTIE - PRÉSENTATION DE L'HYPOTHÈSE

[\(lien de retour vers le plan du texte complet de présentation de l'hypothèse\)](#)

[\(lien vers la 2ème partie\)](#)

[\(lien vers la 3ème partie\)](#)

1-1- une expérience de pensée :

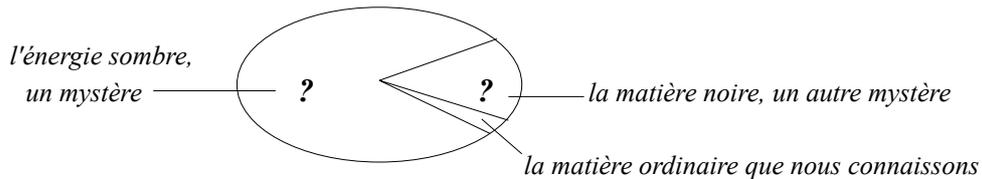
Les scientifiques sont généralement persuadés que la matière que nous connaissons ne forme qu'une très petite portion de la matière contenue dans l'univers : peut-être 5 %, peut-être 10 %, peut-être même 1 % seulement. Les proportions sont variées, mais l'idée reste la même : le comportement de l'univers ne pourrait pas s'expliquer par la seule existence de ce que nous appelons la matière et les rayonnements.

L'essentiel de l'univers, et cela dans une proportion de l'ordre de 70 %, serait en fait constitué d'une « énergie sombre » dont nous ne connaissons pas les propriétés. Tout ce que nous savons en dire est : « c'est un mystère ! ». Le reste, soit environ 25 % de l'univers, serait constitué d'une tout aussi mystérieuse « matière noire » dont nous ne savons rien dire non plus. On l'appelle « matière » car, comme la matière habituelle, elle serait sensible à la gravité et provoquerait, elle aussi, un effet de gravité. Elle est dite « noire » car, contrairement, cette fois, à la matière habituelle, elle ne donne pas lieu à des rayonnements. N'émettant pas de lumière, nous ne pouvons donc pas la voir et l'observer.

La matière habituelle, nous avons une idée de ce quoi elle est faite : elle est faite d'atomes, qui eux-mêmes se décomposent en protons et en neutrons, eux-mêmes se décomposant en quarks, et elle est aussi faite d'électrons. Du moins pour ce qui concerne les formes stables usuelles de la matière. Ces atomes peuvent se grouper en molécules, et ils interagissent entre eux selon les règles de l'électromagnétisme qui est à la source de leurs propriétés chimiques.

La matière noire, quant à elle, nous ne savons donc pas de quoi elle est faite, et l'étrange est qu'elle semble totalement insensible aux effets de l'électromagnétisme.

la composition de l'univers, telle que nous l'appréhendons actuellement



Si la matière ordinaire semble ne constituer que 5 % environ de l'univers, c'est notamment parce que, à l'échelle des grandes structures que sont les galaxies et les amas de galaxies, les effets dus à la gravité semblent bien trop importants pour être causés par la seule matière ordinaire qui s'y trouve.

L'hypothèse qui sera présentée se passe complètement de cette supposée énergie sombre et de cette supposée matière noire. Pourtant, elle n'est pas gênée par la disproportion qui a été observée entre matière et gravité, car cette disproportion est intrinsèquement intégrée à sa logique et qu'elle lui est donc, tout simplement, nécessaire.

On commencera par une expérience de pensée qui vise à montrer comment il importe de changer radicalement de point de vue si l'on veut sortir du cul-de-sac théorique où conduit le modèle standard de la théorie scientifique actuelle.

Pour cette expérience de penser, il faut accepter de partager la conviction que l'univers fonctionne de manière cohérente en ses divers aspects et aux diverses étapes de son évolution. Ce qui revient à dire qu'il faut accepter de croire que l'univers fonctionne selon quelques principes très généraux qui valent à tout moment et dans toutes ses situations.

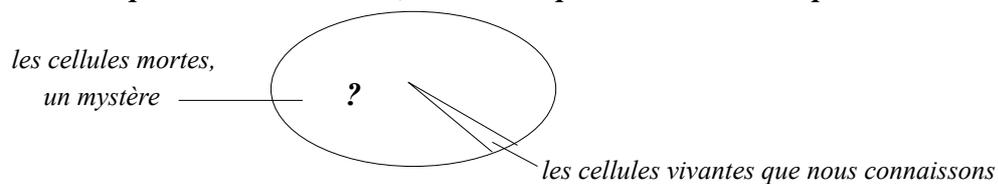
Cela peut sembler aller de soi, et revenir à enfoncer des portes déjà ouvertes depuis longtemps par la pensée scientifique. Pourtant, c'est le contraire qui est vrai, puisque ce principe n'est pas retenu par le « modèle standard » qui postule qu'il existe un moment reculé dans l'évolution de l'univers - le Big Bang - au-delà duquel les « lois scientifiques actuelles ne fonctionnent plus », et qui accepte aussi l'idée que le fonctionnement quantique des particules d'échelle infinitésimale serait spécifique et considère qu'il est tout à fait étranger au fonctionnement de la matière à plus grande échelle. Par exemple, les lois de la causalité strictement déterministe qui valent pour la physique à notre échelle ne vaudraient pas pour le fonctionnement des particules quantiques, qui, elles, seraient régies par les lois du hasard statistique.

À la différence de la pensée standard, admettons donc un moment qu'il existe des principes généraux de fonctionnement et d'évolution que l'on pourrait retrouver à l'œuvre en toute circonstance et en tout temps de l'univers, même avant l'époque qualifiée de Big-Bang, et aussi bien à l'échelle infinitésimale qu'à l'échelle de notre monde courant. Cela admis, supposons maintenant que les seules choses que l'humanité pourrait voir seraient les cellules vivantes et, de façon plus générale, les manifestations de la vie.

Malgré cette vision quelque peu limitée, au fur et à mesure du développement scientifique, nous aurions découvert les secrets du fonctionnement des cellules vivantes : le fait que certaines possèdent un noyau distinct du cytoplasme, ce que contiennent les noyaux des cellules et ce que contiennent les cytoplasmes, la façon dont les cellules se divisent et se répliquent, la façon dont elles s'échangent les protéines, la façon dont elles stockent et utilisent l'énergie sous forme d'ATP, la façon dont certaines s'assemblent en organismes vivants multicellulaires pour faire des plantes, des champignons ou des animaux, et pour nous faire, nous-mêmes, en l'occurrence. Et puis, après d'enthousiasmants moments de découvertes majeures laissant croire que l'on serait bientôt sur le point de « tout comprendre », finalement serait venu un moment où les scientifiques auraient buté sur une anomalie majeure.

Bizarre, auraient-ils fini par convenir : nous ne parvenons à expliquer le comportement des cellules vivantes que si nous supposons qu'elles ne constituent qu'une petite fraction de l'univers : peut-être 5 %, peut-être 10 %. Certains disent, même, que la matière vivante constituerait moins de 1 % de l'univers. Alors les scientifiques en seraient venus à supposer que l'univers est constitué pour l'essentiel d'une substance inconnue et mystérieuse dont nous ne savons rien et qu'ils auraient, bien évidemment, appelé les « cellules mortes ». « Cellules », puisque, par certains aspects, cette substance semble se comporter comme les cellules vivantes. « Mortes », parce que, par d'autres aspects, elle ne semble agitée d'aucune vie, ne semble jamais se répliquer par division, et parce que ses différentes parties semblent incapables de s'assembler d'elles-mêmes à plusieurs pour former des organismes multicellulaires vivants.

la composition de l'univers, si nous ne pouvons observer que les cellules vivantes



En raisonnant de cette façon, nous n'aurions pas été complètement à côté de la plaque.

En effet, nous aurions eu l'intuition que, à côté de la matière vivante, il existe des minéraux, des métaux, de l'eau, des gaz, etc. Cela aurait été un grand pas que de faire la supposition de cette matière inerte puisque, effectivement, la matière vivante ne peut pas fonctionner sans ce substrat de la matière inerte.

Mais on aurait aussi manqué l'essentiel en raisonnant en termes de « cellules mortes » radicalement différentes des cellules vivantes. On aurait d'abord manqué de comprendre que la matière vivante et la matière inerte ne sont pas des choses totalement étrangères l'une pour l'autre, mais, au contraire, qu'elles sont fondamentalement constituées des « mêmes choses », à savoir d'atomes et de molécules.

Et l'on aurait ensuite manqué un second aspect, bien plus fondamental : que la matière inerte précède la matière vivante dans l'évolution de l'univers, qu'il y a d'abord eu les atomes et les molécules, et qu'il a en ensuite fallu une énorme durée d'évolution de l'univers pour que ces atomes et ces molécules génèrent les minéraux, les métaux, l'eau et les gaz que nous connaissons maintenant, puis que ce n'est que dans une étape encore postérieure, extrêmement longue elle aussi, que les atomes et les molécules de la matière morte se sont organisés, dans une toute petite proportion, d'ailleurs, en matière vivante.

la réalité que nous aurions manquée en raisonnant de la façon précédente



L'hypothèse que l'on va faire consistera à supposer que la notion de matière noire résulte d'un aveuglement similaire à celui qui nous ferait supposer l'existence de cellules mortes si nous ne pouvions observer que les cellules vivantes, et elle propose de rectifier l'erreur de raisonnement selon le même principe : tout comme la matière vivante n'est pas faite d'une substance totalement étrangère à la matière morte, ce que l'on appelle la matière noire ne serait pas une substance totalement étrangère à la matière normale. Et tout comme ce n'est pas en restant à l'échelle des cellules vivantes, mais en descendant à une échelle infiniment plus petite, que l'on trouve le niveau des atomes et des molécules qui correspond à cette substance commune, c'est en descendant à une échelle infiniment plus petite que celle que nous considérons usuellement, c'est-à-dire à une échelle infiniment plus petite que celle des quarks qui composent les noyaux des atomes, qu'il faut descendre pour espérer trouver la substance commune à la matière ordinaire et à ce que nous appelons, pour l'instant et faute de mieux, la matière noire.

Surtout, de la même façon que la matière inerte faite d'atomes et de molécules est l'ancêtre de la matière vivante, il nous faudra considérer que cette substance dont l'échelle de dimension est infiniment plus petite que celle des quarks serait « l'ancêtre » de la matière ordinaire. Pour cette raison, et à titre purement provisoire, on se proposera donc d'appeler « pré-matière » ce que l'on désigne habituellement comme étant de la matière noire.

Et puisqu'il faut poursuivre l'analogie dans toute ses conséquences, on est inévitablement amené à en déduire une autre proposition tout aussi essentielle : puisque cette pré-matière réagit à la gravité, c'est que la gravité régnait déjà à cette époque reculée de l'univers qui ne connaissait pas encore la matière, mais seulement la pré-matière. Cela de la même façon, par exemple, que l'électromagnétisme existe depuis qu'il y a des atomes de matière morte, donc bien avant qu'il n'y ait des cellules vivantes pour réagir à l'électromagnétisme. Toujours de la même façon, mais en symétrique cette fois, on peut aussi déduire que, puisque la pré-matière ne réagit pas à l'électromagnétisme, c'est que l'électromagnétisme est apparu après la gravité dans l'évolution de l'univers, et seulement lorsque la matière a commencé à exister. La base de cette analogie, cette fois, est que les atomes ne connaissent pas, par exemple, les mécanismes de duplication. Ces mécanismes ne sont apparus qu'avec les cellules vivantes, et ils n'ont pas été accordés, par rétroaction, aux organisations qui existaient avant que n'existent les cellules vivantes.

<i>un stade de l'univers</i>	→	<i>un stade suivant de l'univers</i>
<i>les atomes, les molécules</i>	→	<i>puis la matière vivante</i>
<i>la force nucléaire, l'électromagnétisme, etc.</i>	→	<i>puis la division cellulaire, la réplication des protéine, etc.</i>

par analogie :

<i>un stade de l'univers</i>	<i>un stade suivant de l'univers</i>
<i>La pré-matière</i>	—————> <i>puis la matière</i>
<i>la gravité et la validité de théorie de la relativité générale</i>	—————> <i>puis l'électromagnétisme et la validité de la théorie quantique</i>

Si la matière ordinaire répond à la gravité, ce ne serait donc pas pour des raisons qui lui sont propres, mais seulement parce qu'elle est faite de pré-matière qui fonctionne, elle, selon les règles de la gravité. De la même façon, exactement, que les cellules vivantes sont sensibles aux réactions chimiques du seul fait qu'elles sont constituées de molécules qui sont sensibles aux réactions chimiques.

Et tout comme le fonctionnement propre aux atomes n'a rien à voir avec la division cellulaire ou la duplication des protéines qui sont des modes de fonctionnement propres aux cellules vivantes apparues bien plus tard que les atomes et qui ne concernent que la petite fraction des atomes incorporée dans des cellules vivantes, le fonctionnement de la pré-matière n'aurait rien à voir avec l'électromagnétisme qui serait apparu après elle et qui ne concernerait donc que la très petite fraction de pré-matière incorporée dans la matière.

Enfin, on constatera que la matière vivante, lorsqu'elle est apparue, n'a pas supprimé la matière inerte. Tout au contraire, on sait bien que la matière vivante « vit » précisément en s'appuyant sur l'existence simultanée d'une quantité infiniment plus importante de matière restée inerte et qui ne s'est aucunement incorporée dans de la matière vivante. De la même manière, on doit donc considérer que l'apparition de la matière n'a pas provoqué la disparition de la pré-matière, laquelle doit donc être à la fois quelque part « dans » la matière et « ailleurs » que dans la matière, ce qui implique que la pré-matière forme toujours une composante infiniment plus importante de l'univers que celle qui s'est transformée en matière.

1-2- présentation de la méthode :

On admet généralement que l'univers n'a pas toujours été sous sa forme actuelle, qu'il est le fruit d'une très très longue évolution. Pour les scientifiques, il est acquis, par exemple, que les atomes n'ont pas toujours existé, que les galaxies n'ont pas toujours existé, que la vie organique n'a pas toujours existé, et que les plantes et les animaux n'ont pas toujours existé. Ici, on partira également de ce postulat, et l'enjeu essentiel de l'hypothèse proposée sera de remonter une étape encore plus loin dans le passé de l'univers. Cela afin de comprendre comment pouvait être l'univers avant qu'il ne soit peuplé d'atomes, et afin de comprendre comment il s'y est pris pour se transformer de telle sorte qu'il a pu devenir un univers peuplé d'atomes.

On sait donc sur quoi doit déboucher l'évolution que l'on va chercher à deviner : les atomes qui constituent la matière, leur mode de fonctionnement quantique, et tout ce qui va avec, de la déformation de l'espace-temps par la matière aux photons et aux rayonnements électromagnétiques. On connaît le résultat de l'évolution, il nous manque l'état précédent et le type de modification qui a permis de passer d'un état à l'autre.

En fait, ce qu'il importe de déterminer, ce n'est pas directement le stade antérieur de l'univers, mais c'est le principe qu'il a pu suivre pour se transformer et finalement parvenir à son état actuel. Une fois trouvé ce principe, le stade antérieur pourra être deviné par tâtonnements, recherchant comment devait être la situation initiale pour que, en y appliquant ce principe de transformation, on puisse aboutir à cet état actuel que l'on connaît.

Quel est donc le principe de la transformation qui a abouti aux atomes ?

À nouveau, il faut avoir, chevillée à l'esprit, la conviction que l'univers fonctionne partout et de tout temps de manière cohérente et similaire. Ce qui suppose, toutefois, que l'on pense son fonctionnement en termes suffisamment abstraits pour qu'ils puissent être utilisés en toutes ses circonstances. Si l'on pense de façon trop concrète, par exemple en se référant aux lois de l'électromagnétisme, bien évidemment on est obligé de conclure que de telles lois n'avaient pas de sens avant l'apparition des atomes et de leurs charges électriques, de telle sorte qu'elles ne peuvent nous servir à rien pour comprendre comment il se fait qu'il existe des atomes.

Si l'on pense, par contre, en termes plus abstraits, en se référant, par exemple, à des principes aussi généraux que « rien ne se crée, tout se transforme », on peut penser des situations et des états très différents de l'univers tout en y voyant à l'œuvre des mécanismes similaires.

Ce principe abstrait auquel on aura recours a été développé ailleurs sur ce site (lien vers « [les 4 stades successifs de toute complexité](#) »). On pourra consulter ces développements pour une présentation détaillée de ce principe, mais on le décrira suffisamment ici pour qu'il ne soit pas indispensable de s'y reporter.

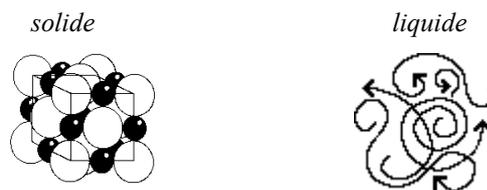
Ce principe est que, s'il est poussé à se transformer à cause d'une énergie de plus en plus forte qu'il doit encaisser et à laquelle il doit donc s'adapter, tout phénomène de l'univers évolue en se complexifiant de telle sorte que sa complexité passera par 4 stades caractéristiques et successifs qui s'engendreront nécessairement l'un l'autre.

Ces quatre stades sont, dans l'ordre :

- **d'abord, le stade des points séparés**, ainsi dénommé parce qu'un phénomène nouveau qui émerge commence par générer des réalités isolées, séparées, indépendantes les unes des autres, ainsi que le sont des points séparés.

Si l'on considère, par exemple, un ensemble d'atomes formant un corps solide dans lequel ils sont tous fermement attachés les uns aux autres, la fusion de ce solide correspondra à l'émergence de ce type de phénomène. La fusion, en effet, consiste à permettre aux atomes de se séparer les uns des autres et de se déplacer comme autant d'entités isolées et indépendantes les unes des autres, ce qu'ils ne pouvaient pas faire dans leur état solide précédent.

Certes, à l'état liquide, les atomes sont encore quelque peu adhérents les uns des autres, et ils ne sont pas aussi autonomes qu'ils ne le sont à l'état gazeux, mais leur séparation et leur indépendance sont suffisantes pour que l'on puisse considérer qu'ils vont, dès lors, se comporter d'une façon qui leur était tout à fait inconnue à l'état solide. Dans le liquide, en effet, chaque atome vagabonde selon un mouvement brownien erratique qui lui est propre, alors qu'un tel mouvement autonome n'avait pas de sens dans le solide, lorsque les atomes étaient solidement attachés ensemble par des liaisons chimiques qui les pressaient les uns contre les autres et lorsqu'ils s'obligeaient ainsi mutuellement à la fixité.



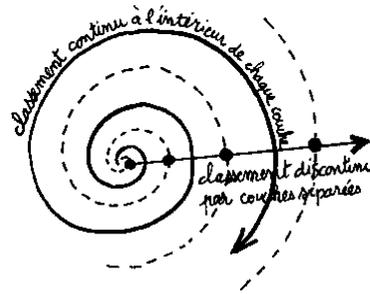
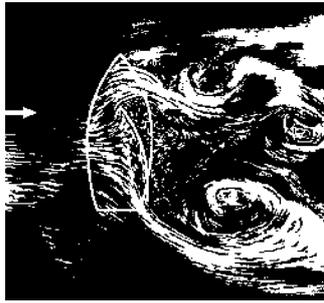
Dans un liquide, les atomes ou les molécules sont comme des points séparés qui peuvent se mouvoir librement les uns par rapport aux autres, tandis que, dans un solide, ils sont attachés les uns aux autres, butés en position fixe les uns contre les autres

- **ensuite, le stade du classement**, ainsi dénommé parce que les « points séparés » qui ont émergé précédemment vont maintenant devoir se ranger les uns par rapport aux autres. À ce nouveau stade, ils ne fonctionneront plus comme autant de points séparés « libres » de bouger les uns par rapport aux autres, mais comme des points séparés contraints de se classer les uns par rapport aux autres et qui n'auront pas le même comportement selon leur situation dans ce classement.

L'exemple le plus simple d'un tel classement est celui du classement par ordre de vitesses : les uns vont plus vite que les autres, ce qui les conduit à se ranger séparément des moins rapides. Reprenons notre solide, maintenant devenu liquide depuis le stade de sa fusion. Si on lui applique localement un surcroît d'énergie, par exemple en élevant localement sa température, donc son agitation interne, cela va générer en lui une ségrégation des molécules qui vont se classer en couches laminaires distinctes, aux vitesses moyennes différentes, et qui sembleront glisser les unes sur les autres. C'est ce qui se passe, par exemple, lorsque le bout incandescent d'une cigarette fait monter une colonne d'air chaud qui glisse dans l'air ambiant, emportant avec elle la fumée de la combustion. Si l'écart global de vitesse est suffisamment fort, alors de telles couches laminaires vont s'enrouler et vont former ensemble un tourbillon en spirale, ainsi qu'on le voit fréquemment dans l'eau, par exemple lorsque la pile d'un pont freine localement la vitesse d'écoulement d'un fleuve.

Dans un liquide, mais aussi dans un gaz, en fait dans tout fluide, cette organisation en spirale correspond à l'aboutissement ultime du stade du classement. Le classement s'y effectue en effet selon deux directions croisées : si l'on suit une même couche laminaire tout au long de son déroulé en spirale, alors on trouvera que la vitesse moyenne des molécules augmente ou diminue régulièrement, tandis que, si l'on s'écarte radialement du centre du tourbillon, on sautera d'une couche à l'autre en constatant, chaque fois, des changements brusques de vitesse.

Classement continu des vitesses, donc, dans le sens des spirales, classement par sauts discontinus dans le sens croisé.



écoulement cisailé puis en spirale derrière une voile de bateau trop bordée
[d'après photo d'Eric Twiname, extraite du "Nouveau Cours de navigation des Glénans" aux éditions du Seuil]

- **le stade encore suivant, celui de l'organisation**, correspond au fait que le phénomène va être maintenant contraint de se classer simultanément selon deux classements distincts.

Dans l'exemple précédent, celui du tourbillon en spirale, on avait déjà envisagé deux classements distincts, l'un régulier et l'autre progressant par sauts brusques de vitesse, mais ces classements n'étaient pas véritablement simultanés, puisqu'ils opéraient selon deux directions croisées, et donc indépendantes l'une de l'autre. Puisque les deux classements se combinaient en agissant selon des directions différentes, ils étaient complémentaires, mais ils ne s'additionnaient pas, ils n'étaient pas contraints de cohabiter dans une même direction tout en réussissant à ne pas se nier ou à ne pas se détruire mutuellement.

Pour obtenir un double classement simultanément, le « truc » consiste à générer une organisation hiérarchique. Opérant sur une échelle distincte de celle de l'autre, chaque classement pourra ainsi opérer sans gêner le second, même s'il s'exerce dans la même direction. Si l'on revient à l'exemple du fluide que l'on avait forcé à s'agencer en tourbillons spiralants, et si on lui impose maintenant d'encaisser un différentiel de vitesse encore plus important, alors il finira par s'organiser en tourbillons hiérarchiques, de petits tourbillons tournant dans de plus grands. Ainsi, l'image suivante montre un grand tourbillonnement en train de s'enfermer dans la coquille qui se forme en bas à gauche de l'image, laquelle comporte à son intérieur deux plus petits tourbillonnements qui tournent en sens inverses l'un de l'autre. Cette différence de sens est traduite par leurs couleurs différentes, jaune pour celui de droite, bleu pour celui de gauche. On peut d'ailleurs remarquer que l'un de ces tourbillonnements, le bleu, est lui-même fait de deux plus petits tourbillons distincts et accolés qui, cette fois, tournent ensemble dans le même sens.

Donc, les deux noyaux tourbillonnants inclus dans le plus grand tourbillonnement vont en sens inverses, et, par ailleurs, on peut se douter que les molécules qui tourbillonnent près du centre de chacun des noyaux vont beaucoup plus vite que celles qui sont au loin et qui sont à peine incorporées dans le tourbillon. Deux classements simultanés se superposent donc dans cette organisation : il y a le classement selon les vitesses « absolues » qui correspond au fonctionnement propre des petits tourbillons (plus vite au centre, moins vite à la périphérie), et il y a le classement selon le sens dans lequel s'exercent ces vitesses et dont on ne peut voir qu'ils sont contraires que si l'on raisonne à l'échelle du plus grand tourbillonnement, celui qui englobe les plus petits.



*Deux classements simultanés des vitesses mais qui s'exercent à des échelles différentes :
des vitesses en ordre croissant de l'intérieur vers l'extérieur
si l'on raisonne à l'échelle de ce qui se passe dans les petits tourbillonnements,
et des vitesses de sens contraires (jaune pour un sens, bleu pour l'autre sens)
si l'on raisonne à l'échelle du plus grand tourbillonnement qui les rassemble*

image utilisée : détail du champ de vorticité dans une simulation numérique de tourbillons dans un sillage bidimensionnel lointain
[d'après un cliché Y. Fouillet (Grenoble), extrait de "La Turbulence" de Marcel Lesieur aux Presses Universitaires de Grenoble]

- **le dernier stade, enfin, est celui du nœud**, car la fonction de ce dernier stade de complexité est de rendre ind faissable la complexité acquise grâce à l'évolution des stades précédents, c'est-à-dire, d'une façon ou d'une autre, de la nouer pour qu'elle puisse résister définitivement dans le temps, même si des dynamiques encore plus violentes viennent à lui être imposées.

Fondamentalement, ce stade-là ne va rien créer de nouveau par rapport au précédent, tout au plus va-t-il, et cela dans le premier temps de son action, forcer l'organisation hiérarchique générée au stade précédent à se refermer sur elle-même. Son « truc » à elle, ce ne sont pas les relations de classement ou les relations de hiérarchie. Elle, c'est la statistique : elle va prendre les organisations continues dont elle a hérité des stades précédents, et elle va les transformer en des organisations qui n'auront plus aucune réalité continue tangible dans l'espace mais passeront désormais leur temps à s'éparpiller puis à se reconstruire de façon seulement statistique. Alors, parce qu'elles fonctionneront en se brisant d'elles-mêmes continuellement en milliards de fragments et en se reconstruisant, dans le même mouvement, d'une façon purement et seulement statistique, rien désormais ne pourra les briser davantage qu'elles ne le font elles-mêmes à elles-mêmes, et plus rien ne sera donc, pour elle, une cause de destruction.

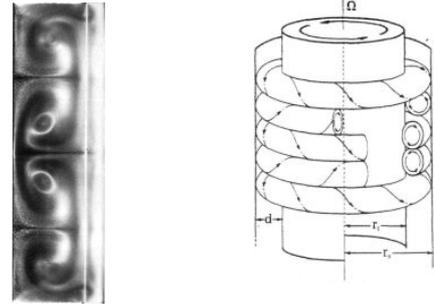
Si l'on prend un peu de recul sur l'ensemble de l'évolution de la complexité que l'on vient d'envisager, on pourra observer que, pendant ses trois premiers stades, la complexité s'est d'abord progressivement développée dans les trois dimensions de l'espace, générant progressivement des formations qui sont de plus en plus capables de résister dans l'espace, puis que, à ce quatrième stade, c'est maintenant à la résistance dans la dimension du temps que la complexité apporte une solution.

Si l'on en revient aux tourbillons fluides et que l'on augmente davantage encore le différentiel de vitesse au sein d'un fluide, on pourra aussi trouver à illustrer ce dernier stade de la complexité. Cette fois, c'est l'expérience usuelle dite de Couette-Taylor qui nous servira d'illustration. Cette expérience consiste à enfermer un liquide entre les parois de deux cylindres concentriques dont l'un est mis en rotation de plus en plus rapide.

Presque au début de l'expérience, des paires de rouleaux qui tournent en sens inverse se forment dans le liquide. Elles sont alors l'équivalent des paires de tourbillons tournant en sens inverse que l'on avait considérées au stade précédent, celui de l'organisation.

À gauche, vue en coupe des paires de rouleaux qui se forment dans l'expérience de Couette-Taylor. Elle montre l'analogie qu'il y a, à ce stade, avec la hiérarchie des tourbillons de l'image précédente qui illustre le stade de l'organisation.

À droite, une vue schématique d'ensemble des paires de rouleaux horizontaux



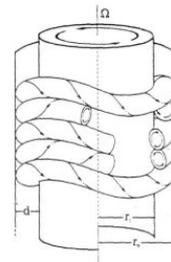
Source de l'image de gauche : *The Nature of Chaos* - Edited by Tom Mullin - Oxford Science Publications - 1993
 Source de l'image de droite : site de Richard M. Lueptow (http://www.mech.northwestern.edu/fac/lueptow/TC_Rich_new.html)

On est donc encore ici au stade de complexité précédent, celui de l'organisation. Sauf, toutefois, par un aspect qui aura son importance dans la suite de l'expérience : au stade précédent, les tourbillons étaient libres d'interagir avec le fluide alentour d'eux, tandis que, désormais, ils sont totalement confinés dans un volume qui les contraint à ne plus se déformer que sur eux-mêmes.

Lorsqu'on l'augmente la vitesse de rotation, les rouleaux se mettent d'abord à onduler en cadence, tout en restant toujours parfaitement continus. Comme les anneaux tourbillonnants tournent en boucle autour de l'appareil, et puisque, ainsi qu'on vient de le souligner, l'ensemble du fluide est forcé à se déformer sur lui-même, il se forme un nombre entier d'ondulations qui se répètent de façon périodique.

Le stade des rouleaux ondulant de façon périodique

Source de l'image : site de Richard M. Lueptow (http://www.mech.northwestern.edu/fac/lueptow/TC_Rich_new.html)



Si l'on augmente encore la vitesse, tous les rouleaux ne parviendront plus à rester continus : certains vont disparaître puis réapparaître quelque temps plus tard, d'autres vont devoir se briser pour se croiser. Selon la vitesse, et même selon la façon dont la vitesse va croître, des formes de tourbillons très compliquées pourront se former. Toutefois, une constante demeurera : à intervalles réguliers, la même configuration, ou quasiment la même configuration se reformera, ce qui vaut à se régime d'être qualifié de quasi-périodique.

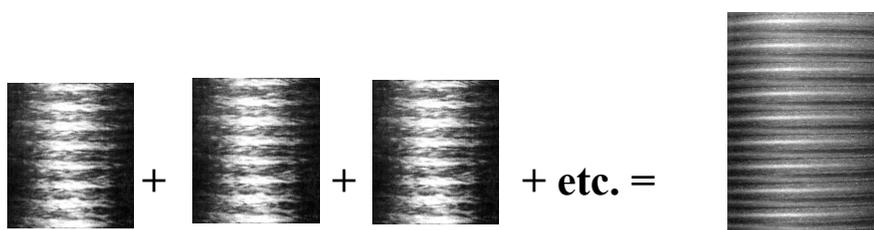
Si maintenant on analyse le flux, on s'apercevra que, en fait, une deuxième fréquence est née en lui, s'ajoutant à la fréquence des ondulations périodiques qui étaient apparues à moindre vitesse. Là encore, on peut estimer que c'est le fait que le fluide est forcé à se déformer sur lui-même qui est sous-jacent à l'apparition de cette seconde fréquence.

Le stade des rouleaux modulés qui se croisent ou qui disparaissent puis réapparaissent de façon quasi-périodique

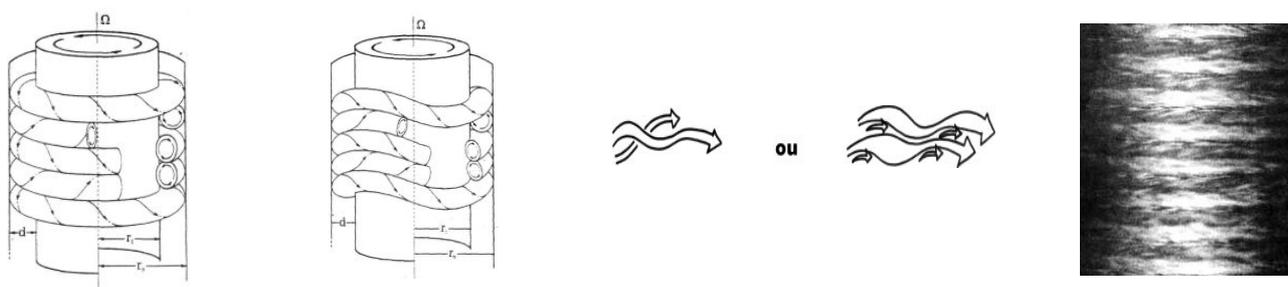


Si l'on augmente la vitesse au-delà d'un certain seuil, une dernière évolution se produira encore. Cette fois, aucune périodicité ne sera plus perceptible, car le flux sera devenu complètement chaotique et les rouleaux auront perdu toute continuité, étant en permanence déchirés et redéchirés en parcelles fluides circulant comme au hasard dans tout le volume. Très étonnamment, cependant, malgré cette irrégularité complète dans le détail du flux, celui-ci reprendra globalement l'allure des rouleaux horizontaux qui s'étaient formés au début de l'expérience. À ce début, toutefois, les rouleaux avaient une forme très régulière, et ils étaient formés par le déplacement continu en spirale des mêmes parcelles fluides. Maintenant, ils n'apparaissent plus que de façon quelque peu « floue », et ils ne sont que le résultat statistique du déplacement chaotique et comme purement hasardeux des parcelles fluides qui ne sont plus aucunement continues mais s'agitent de façon désordonnée et en tous les sens, sans jamais suivre la forme même des rouleaux.

Si, à intervalles réguliers, on prend des photographies des rouleaux, la superposition de ces photographies montrera, en moyenne statistique, la parfaite reconstruction des rouleaux horizontaux.



Une fois ces rouleaux statistiques formés, désormais rien ne change plus lorsque l'on augmente encore la vitesse, la forme des rouleaux horizontaux étant ainsi devenue comme indéfaisable. En fait, les rouleaux finiront tout de même par se défaire si l'on augmente la vitesse de façon très importante, mais on peut penser que, alors, des phénomènes parasites, tels que l'effet des bords haut et bas du cylindre, polluent les conditions de l'expérience.



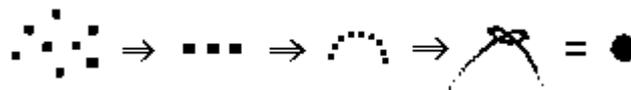
Au début de l'expérience de Couette-Taylor, les parcelles fluides tournent en spiralant de façon régulière, générant des rouleaux horizontaux par paires qui tournent en sens inverses (croquis de gauche).

À plus grande vitesse, les rouleaux se mettent d'abord à onduler périodiquement (croquis suivant), puis ils sont amenés à s'entrecroiser ou à disparaître et réapparaître selon des évolutions très complexes mais qui se répètent de façon quasi-périodique (les deux croquis de principe encore suivant).

À la fin de l'expérience (photographie de droite), lorsque le cylindre qui entraîne le liquide tourne à très forte vitesse, les rouleaux horizontaux se reforment puis persistent indéfiniment. Toutefois, ils ne sont plus générés, comme au début, par la rotation régulière et continue du fluide, mais par le mouvement chaotique et comme purement hasardeux des parcelles fluides qui s'agitent en tous sens et qui passent à l'occasion d'un rouleau à l'autre. La forme parfaite des rouleaux n'est désormais obtenue que si l'on superpose des photographies prises à divers intervalles de temps, ce qui signifie que leur forme n'a plus de réalité que statistique.

[source des deux premiers dessins à gauche de la page précédente, représentant les rouleaux encore continus :
le site de Richard M. Lueptow (http://www.mech.northwestern.edu/fac/lueptow/TC_Rich_new.html)
source de la photographie de la phase chaotique :
le site http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_8.htm]

- **pour finir, on peut considérer que les nœuds qui se referment à l'issue d'un cycle de complexité fonctionnent comme des points durs tassés les uns contre les autres**, points durs qui pourront ensuite être « libérés » à l'occasion d'un nouveau « stade des points séparés ». Tout comme les atomes d'un solide libérés par la fusion peuvent être ensuite engagés dans des tourbillons de plus en plus complexes, ces nouvelles entités autonomes pourront s'engager dans des organisations de plus en plus complexes qui passeront par les mêmes stades « du classement », « de l'organisation » puis « du nœud ». Chacun de ces cycles apportera dans l'univers un mode de fonctionnement plus complexe encore que ses précédents, les atomes finissant ainsi par se grouper pour générer ensemble des cellules vivantes, celles-ci se complexifiant à leur tour en organismes multicellulaires, lesquels finiront par donner les êtres vivants autonomes que sont, par exemple, les animaux.



Un résumé schématique de l'évolution en quatre stades qui va de l'apparition de réalités nouvelles qui ont d'abord les propriétés de points séparés, des points qui se classent ensuite entre eux d'une certaine façon (dans cet exemple, dans un certain ordre de succession sur une droite), puis qui s'organisent entre eux selon deux classements simultanés (dans cet exemple, la droite s'est transformée en courbe par un classement des points simultanément selon la largeur et selon la profondeur), puis qui nouent leur organisation pour la rendre indéfaisable, le nœud qu'ils forment devenant alors l'un des points durs sur lesquels pourra se construire un nouveau niveau de complexité encore plus élevé

On se doute que c'est cette décomposition en étapes de complexité successives que l'on vient de proposer qui sera essayée, dans les chapitres suivants, pour tenter de deviner quels ont pu être les quatre stades qui ont précédé la naissance des atomes, et qui ont précisément forcé leur naissance, « tassés les uns contre les autres ».

Et l'on aura aussi noté que le caractère statistique des rouleaux formés au stade ultime de l'évolution des tourbillons contient la promesse de trouver la clef du comportement statistique des atomes à l'échelle quantique. Bien entendu, on y reviendra le moment venu.

1-3- une première approche de l'hypothèse :

La méthode que l'on vient d'esquisser ne s'apparente donc pas à la méthode scientifique habituelle qui consiste à rechercher un ensemble d'équations ou de relations mathématiques fonctionnant de façon similaire dans des situations différentes et à des moments différents de l'évolution de l'univers.

Elle n'en propose pas moins un processus décomposé en étapes précises et repérables, étapes qui sont à la fois suffisamment concrètes pour que leur réalité puisse être testée, et suffisamment abstraites pour qu'elles puissent correspondre à diverses situations.

Avec le passage de l'état solide à l'état liquide, puis avec le passage par les tourbillons de plus en plus énergiques culminant en tourbillons purement statistiques, on a montré l'exemple d'une situation physique réelle évoluant selon une série d'étapes caractéristiques et s'engendrant l'une l'autre.

La première hypothèse que l'on fait est que cette cascade d'étapes ne serait pas spéciale à cet exemple particulier, mais qu'elle serait typique de la façon dont évolue tout phénomène physique.

La seconde hypothèse, et ce sera celle-là que, par la suite, on dénommera « l'hypothèse », est que ce mode d'évolution permettrait aussi de décrire les étapes qui ont précédé la naissance des atomes dans l'univers et, plus généralement, les étapes qui ont précédé la naissance de la matière et des différentes forces qui régissent son fonctionnement.

Avant de présenter en détail chacune de ces étapes de la naissance de la matière, on les présente maintenant de façon sommaire et intuitive, cela afin d'en donner un aperçu global et d'en faire comprendre la logique.

On connaît donc le point d'arrivée, la formation des atomes. On ignore ce qu'il y avait avant, mais l'on dispose d'un principe de métamorphose qui, en quatre stades successifs, doit déboucher sur cette formation des atomes.

Le stade de départ, celui qu'il faut tenter de deviner, nous avons suggéré qu'il devait fonctionner selon le principe d'un « stade de points séparés », et le stade d'arrivée, celui donc des atomes, nous l'avons qualifié de « stade du nœud ».

De ce quatrième stade, nous avons dit qu'il n'apportait rien de plus que le troisième, et qu'il se contentait de donner une réalité seulement statistique aux organisations formées à ce troisième stade. On peut donc négliger momentanément ce quatrième stade : les atomes, mis à part le caractère statistique qu'ils vont acquérir au quatrième stade, doivent se former au troisième, celui de l'organisation.

Si l'on néglige le quatrième stade en lui-même, il faut toutefois se souvenir que, pour qu'il puisse transformer en atomes purement statistiques les atomes qui se seront organisés au troisième stade, il faut que le matériau dont sont faits les atomes soit suffisamment « émiettable » et « éparpillable » pour qu'il puisse se disloquer en parcelles infiniment petites qui seront en perpétuelle recombinaison statistique. Cela impose une contrainte très forte sur ce qui constitue les atomes : si l'hypothèse que l'on formule est correcte, on ne peut pas imaginer que les atomes sont faits de quelques « briques élémentaires ». Il faut plutôt les imaginer comme des dynamiques qui regroupent des multitudes innombrables de parcelles infiniment petites qui se déplacent à toute allure.

C'est la première conclusion à laquelle l'hypothèse nous oblige à convenir, et son importance amène à la répéter : les atomes ne seraient pas insécables, ce qui est pourtant leur définition étymologique, ni même seulement décomposables en quelques particules elles-mêmes insécables, les quarks, mais ils seraient des dynamiques renfermant en elles des particules en quantité innombrable et, partant, de taille infiniment plus petite que celle des atomes. Il y aurait donc infiniment plus petit que l'infiniment petit de l'échelle des atomes.

On vient d'évoquer la notion de « quarks ».

On sait, effectivement, que le noyau de l'atome le plus élémentaire, celui d'hydrogène léger, est un proton qui est fait de trois quarks.

Si l'on se souvient de l'organisation hiérarchique de tourbillons fluides obtenue au troisième stade de l'exemple que l'on a pris, on peut alors imaginer que le noyau d'un atome d'hydrogène serait quelque chose comme l'équivalent de cette organisation, et que chacun de ses quarks serait l'équivalent de l'un des tourbillons de petite échelle contenus dans le grand tourbillon que serait ce noyau. Cela s'accorde d'ailleurs bien avec ce que l'on sait des quarks : on ne parvient pas les isoler. Les scientifiques appellent ce phénomène : le « mystère du confinement des quarks ». Dans un tourbillon hiérarchique liquide non plus, on ne peut pas « sortir » l'un de ses tourbillons élémentaires sans faire s'effondrer la dynamique qui les tient ensemble : les tourbillons élémentaires sont confinés dans le grand tourbillon qu'ils forment ensemble, et personne, pourtant, ne croit utile de dire qu'il y a là un problème théorique central et un quelconque « mystère du confinement des tourbillons ».



image utilisée : détail du champ de vorticité dans une simulation numérique de tourbillons dans un sillage bidimensionnel lointain
[d'après un cliché Y. Fouillet (Grenoble), extrait de "La Turbulence" de Marcel Lesieur aux Presses Universitaires de Grenoble]

Ainsi, nous avons quelque peu avancé dans l'utilisation de l'hypothèse : nous devons penser que le noyau atomique le plus simple est une sorte de tourbillon qui combine en lui trois tourbillons dénommés quarks, lesquels quarks sont nécessairement des dynamiques formées d'une multitude innombrable de parcelles infiniment plus petites qu'eux et en mouvement extrêmement rapide.

Pour former de telles dynamiques, nous avons donc besoin de parcelles infiniment petites et capables de se mouvoir librement les unes par rapport aux autres. Il est temps de sauter jusqu'au premier stade de notre modèle d'évolution en quatre stades, puisque l'exemple du fluide nous a montré que c'est à ce premier stade que doivent se former de telles parcelles, ou du moins qu'elles doivent s'isoler les unes des autres et commencer à se déplacer librement les unes par rapport aux autres.

On en vient donc à imaginer ce qui a pu se passer au premier stade, celui du point.

Que sait-on de lui ? On sait que, du moins en principe, il est constitué de réalités qui se sont formées à l'issue du cycle précédent et qui se présentent comme autant de points durs s'appuyant tous les uns contre les autres. On sait aussi que, à l'issue de ce stade, il va y avoir des réalités qui vont se déplacer librement les unes par rapport aux autres.

Ici, il faut faire preuve d'un peu d'initiative pour utiliser la méthode de raisonnement par analogie que l'on a proposée. En effet, si l'on dit que, tout comme dans le passage de l'état solide à l'état liquide, ce sont nécessairement les mêmes réalités qui sont butées les unes contre les autres au début du stade du point puis qui se déplacent librement à la fin de ce même stade, alors on considère que l'évolution de l'univers n'est qu'un éternel recommencement de toujours la même chose, seulement à des échelles de plus en plus grandes. Ce n'est pas ce que l'on cherche ici à proposer, puisque l'on cherche au contraire à suggérer que l'évolution de l'univers procède par cycles qui sont semblables mais qui, chacun, apporte une nouveauté et un niveau de complexité plus élevé que le précédent. « Semblable » ne veut pas dire « identique », mais veut dire que, par certains aspects, les choses se

déroulent toujours de la même façon, tandis que, par d'autres aspects, des différences interviennent. Si l'on veut que le cycle qui voit se former les atomes soit « à la fois identique et différent » du cycle qui fait se transformer un solide en liquide puis en liquide tourbillonnant, il faut que cette différence soit en germe dès le départ du cycle, et cela ne peut provenir que de différences de propriétés intrinsèques entre les « réalités ponctuelles butées les uns contre les autres » qui se trouvent au début de chacun des deux cycles.

Puisque l'on suppose donc qu'au moins une propriété va être acquise à la fin du cycle de formation des atomes qui n'existait pas à son début, on se demande quelle peut bien être cette propriété ? L'hypothèse que l'on fait est que la propriété que possèdent les atomes et que ne possédaient pas les réalités qui existaient au début du cycle de leur formation est la possibilité de se déplacer les uns par rapport aux autres.

Pour le « stade du point » correspondant au cycle de formation des atomes, cela implique donc que « les réalités qui se butent les unes contre les autres » au début de ce stade ne doivent pas être les mêmes que celles qui se déplacent librement les unes par rapport aux autres à la fin de ce stade. Pourtant, comme nous sommes apôtres de la formule « rien ne se crée, tout se transforme », on ne peut pas imaginer la génération spontanée de réalités complètement nouvelles entre le début et la fin de ce stade, des réalités qui ne viendraient pas, de quelque façon, de la transformation des réalités qui étaient déjà là au départ.

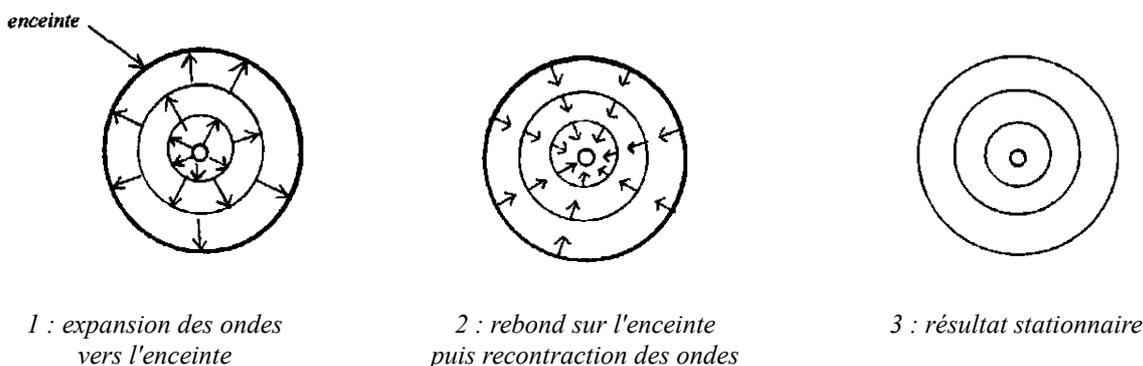
Quelle est donc la solution ?

Elle n'est pas compliquée : il est tout simplement proposé que les réalités qui existent au début du cycle restent définitivement butées les unes contre les autres, qu'elles restent donc définitivement sur place, mais que, tout en restant sur place, elles se déforment, et que ce sont leurs déformations qui vont se mettre à se déplacer et à voyager de plus en plus librement à l'occasion du premier stade de ce cycle. Ce qui implique que ce sont ces déformations qui, après avoir acquis la propriété de se déplacer de façon indépendante, vont ensuite progressivement se classer, puis s'organiser en tourbillonnements qui feront les quarks, lesquels s'organiseront ensuite de façon hiérarchique pour former les noyaux atomiques.

On en vient donc, maintenant, à imaginer quelles peuvent être ces réalités « fixes, butées les unes contre les autres, et capables de s'envoyer mutuellement des déformations ».

Ce que l'on propose d'imaginer est que, à ce stade de son évolution, l'univers est alors rempli d'ondes concentriques stationnaires se butant les unes contre les autres. Ce serait cela l'état de l'univers au départ du cycle de formation de la matière.

En laboratoire, des ondes stationnaires sont des ondes qui rebondissent sur leur enceinte de telle sorte qu'elles reviennent toujours au même endroit. Elles fonctionnent bien comme des ondes, c'est-à-dire qu'elles voyagent bien comme des ondes. Mais, comme la dimension de leur enceinte est un multiple entier de leur longueur d'onde, en rebondissant sur cette enceinte elles remettent toujours exactement « les pieds dans leurs propres pas ». Comme elles reviennent toujours au même endroit, finalement, rien ne bouge, et c'est pourquoi l'on parle d'ondes stationnaires.



À la différence d'un laboratoire, dans l'univers, il n'y aurait pas d'une part l'enceinte et d'autre part les ondes, mais ce serait les ondes elles-mêmes qui, les unes pour les autres, feraient fonction d'enceinte. Chaque onde rebondirait sur ses voisines, et l'ensemble formerait une structure d'ondes stationnaires rebondissant les unes sur les autres, toutes pulsant de façon parfaitement synchronisée dans la totalité de l'univers.

Tout à l'heure, on proposera un schéma un peu plus complexe pour le mode de fonctionnement et de rebond de ces ondes dont on imagine qu'elles peuplaient l'univers avant la naissance de la matière. Mais, d'abord, se pose la question de savoir de quoi ces ondes peuvent être faites ?

Dans l'air, une onde sonore est une déformation élastique de l'air. Sur l'eau, une onde est une déformation élastique de la surface de l'eau. Qu'est-ce donc qui se déforme de façon élastique dans l'espace pour y générer des ondes ?

Puisque nous en sommes au début du cycle d'évolution qui va finir par donner naissance à la matière, par définition la matière n'existe pas encore, et ce ne peut donc pas être une quelconque matière qui se déforme, même ténue, comme le fameux éther dont l'existence avait été proposée à la fin du XIX^{ème} siècle pour expliquer la propagation des ondes électromagnétiques.

On a dit que ces ondes emplissaient tout l'espace, et l'on doit par ailleurs convenir qu'elles ne sont pas faites de matière. Elles sont donc d'une nature qui nous est inconnue, et dont nous ne pouvons rien dire. On peut seulement proposer de les définir de façon abstraite, par exemple en disant qu'elles ne sont faites que de « plein » qui pulse dans « le vide ». Ma préférence serait plutôt de se référer à l'insoluble question du « pourquoi existe-t-il quelque chose plutôt que rien ? », et à la tout aussi insoluble question du « qu'y avait-il avant qu'il n'existe quelque chose ? ». Dans cette optique, on pourrait alors tout simplement considérer ces ondes comme du « quelque chose » qui pulserait dans « le rien », ou « de l'existence » qui pulserait dans « le néant d'avant l'existence ». Ainsi, il n'y aurait pas eu rien d'abord, puis quelque chose ensuite, mais il existerait, au moins depuis cette période lointaine de l'univers, une pulsation permanente et jamais terminée du quelque chose vibrant dans le rien, du quelque chose qui s'obstine à exister contre le rien, et du néant qui s'obstine à se poursuivre malgré le « il existe ».

Plus prosaïquement, ces ondes qui occupent et structurent tout l'espace sans être faites d'aucune matière, on les appellera ici « des ondes d'espace ».

Dorénavant, lorsque l'on parlera de l'espace, on n'en parlera donc pas comme d'un vide inerte dans lequel circulent sans aucune résistance la matière et les rayonnements, mais on en parlera comme d'une structure formée par la pulsation d'ondes concentriques stationnaires qui rebondissent les unes contre les autres de façon parfaitement synchronisée et de façon parfaitement équilibrée.

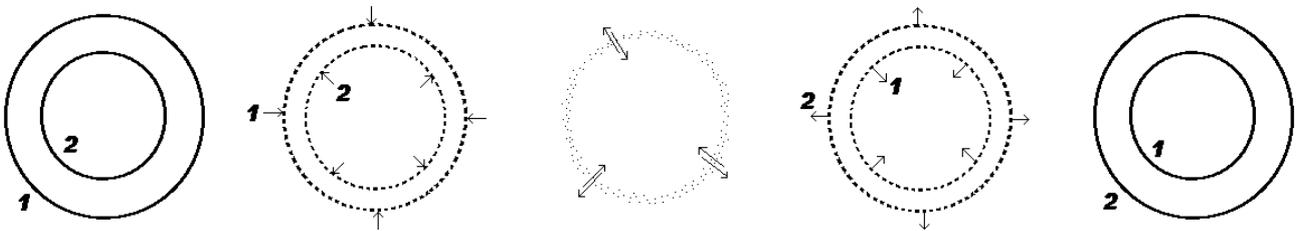
On en vient maintenant à la complexité un peu plus grande que l'on va prêter aux ondes d'espace par rapport aux ondes stationnaires usuelles, telles que celles que l'on peut former dans une enceinte de laboratoire.

Car les ondes d'espace ne seraient pas absolument stationnaires, c'est-à-dire stationnaires au sens de « fixes », mais elles le seraient au sens où elles ne quittent pas la zone de leur pulsation. Cette pulsation, quant à elle, correspondrait à un va-et-vient entre deux positions extrêmes, réciproquement concentriques, et qui seraient donc fixes dans l'espace.

En addition, il faut supposer que chaque onde ne pulserait pas seule entre ses deux positions concentriques extrêmes, mais qu'elle partagerait le même emplacement et le même parcours d'allers-retours avec une onde jumelée effectuant la même pulsation en déphasage complet : quand l'une s'agrandit, l'autre se contracte, et inversement.

Comment ces deux ondes jumelles font-elles pour se croiser ?

Pour cela, il ne faut pas imaginer que ces ondes seraient constituées d'une substance continue. Il faut plutôt les imaginer décomposables en une poussière de quelque chose, et, puisque l'on a proposé plus haut d'appeler leur substance « des vibrations de l'existence dans le rien », on peut les concevoir, dans le même esprit, comme faites d'une poussière « d'endroits d'existence ». Cette poussière d'existence s'agglomérerait progressivement pendant la deuxième moitié du temps que dure la phase d'expansion ou de contraction de chacune des ondes d'espaces jumelées, rebondirait sur ses voisines reconstituées exactement au même moment, puis elle se désagrégerait progressivement dès le début de son rebond pour atteindre un état complètement disloqué à mi-parcours, au moment précisément où elle croise son onde jumelle alors disloquée de la même façon. Après leur croisement, les deux ondes recommenceraient à regrouper leur substance éparse, et elles se reconstruiraient à nouveau juste-à-temps pour rebondir sur les ondes voisines, reconstruites, elles aussi, au même instant.



Principe de la dislocation puis de la recombinaison progressive de deux ondes jumelles d'espace, permettant leur croisement mutuel et leur rebond sur les ondes voisines semblables

Ce croisement des ondes permettrait que, sitôt reconstruite, chaque onde trouverait toujours une onde voisine pour buter contre elle la totalité de sa surface et lui permettant ainsi de rebondir de façon parfaitement égale sur toute sa périphérie : à la fin de son expansion (cas des ondes 1 sur le croquis ci-dessous) elle rebondit ponctuellement sur les ondes voisines (elles aussi repérées 1) qui s'expansent en phase avec elle, mais aussi, et par toute sa surface, sur les ondes qui sont un cran plus grandes et qui sont alors juste au moment de leur contraction maximale (cas des ondes repérées 2). À la fin de sa contraction, les rôles sont inversés.

Emboîtés l'un dans l'autre, et simultanément emboîtés, chacun, dans un plus grand et dans un plus petit que lui, à l'exemple des poupées russes, ces couples d'ondes jumelles formeraient donc tous ensemble des trains d'ondes jumelles pavant l'espace, chacun de ces trains étant centré sur une zone distincte, et tous ces centres de pulsation étant régulièrement répartis selon les trois directions de l'espace

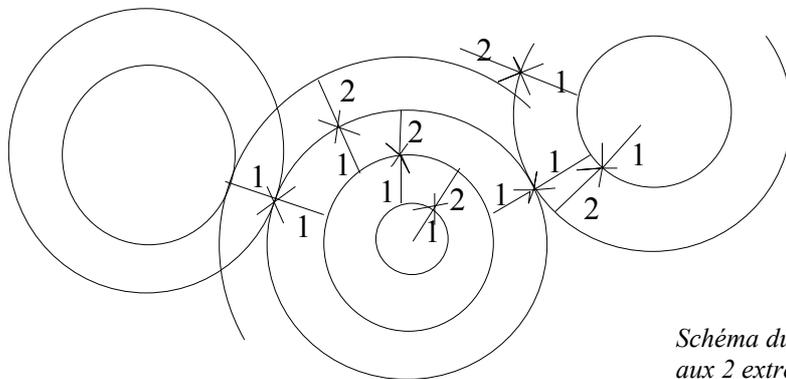
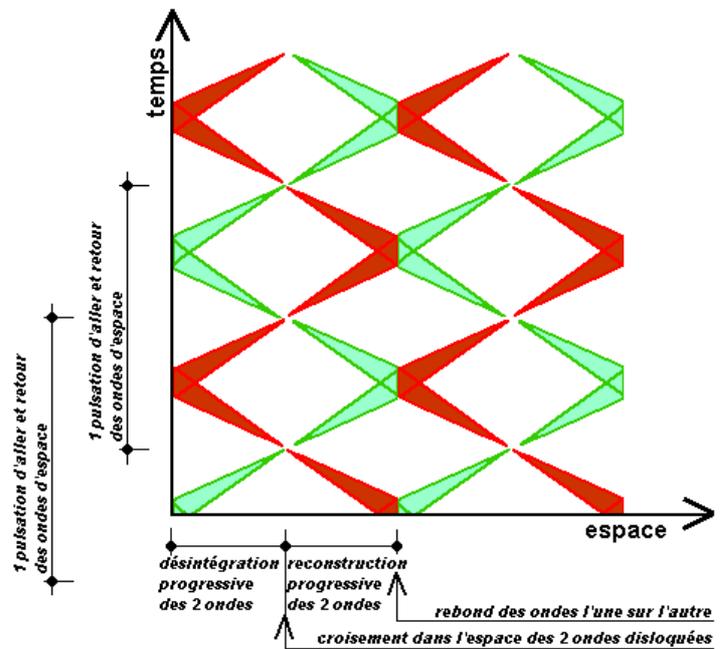


Schéma du rebond mutuel des ondes jumelles, aux 2 extrémités de leurs perpétuels trajets d'allers et retours

Schéma du principe de croisement dans l'espace et de rebond l'une sur l'autre de deux séries d'ondes jumelles, l'une représentée en rouge et l'autre représentée en vert clair



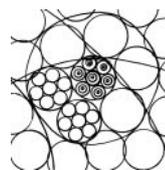
Avec ces couples d'ondes jumelles pulsant sur place et s'équilibrant grâce à leurs rebonds synchronisés sur tous les couples semblables d'ondes situés à l'entour, on a maintenant ce qu'il nous faut pour constituer un « stade des points séparés » à même de démarrer un cycle de complexité. En effet, ces couples sont chacun centrés en un point qui reste fixe, et, tout comme les atomes dans un réseau cristallin, ils s'appuient tous les uns sur les autres et ils s'équilibrent en se butant les uns contre les autres.

On fait donc l'hypothèse que, avant que n'apparaisse la matière, l'univers était peuplé de couples d'ondes stationnaires pulsant l'une dans l'autre, à contre-temps l'une de l'autre et se croisant périodiquement, tous ces couples rebondissant de façon équilibrée les uns sur les autres et s'emboîtant les uns dans les autres, chaque couple venant buter contre un couple juste plus petit que lui et contre un couple juste plus grand que lui.

Rien n'oblige à supposer que ces ondes existent depuis l'origine même de l'univers.

Au contraire, la logique du raisonnement utilisé implique de supposer que ces ondes stationnaires sont elles-mêmes le résultat d'un cycle au moins d'évolution encore précédent. Cela implique qu'elles ont acquies, elles aussi, une réalité purement statistique à l'issue de leur cycle de formation, mais cela implique également qu'elles ont acquies préalablement la propriété d'être organisées de façon hiérarchique. Il ne faut donc pas imaginer les divers trains d'ondes jumelles comme autant de pulsations autonomes les unes des autres, seulement se croisant et se butant mutuellement, mais il faut aussi considérer qu'ils construisent ensemble une hiérarchie complète de couples d'ondes stationnaires de toutes tailles, depuis l'échelle la plus infinitésimale jusqu'à la taille entière de l'univers, toutes pulsant emboîtées les unes dans les autres, et chacune rebondissant sur les ondes de taille similaire situées tout autour d'elle.

Schéma de la hiérarchie des ondes stationnaires concentriques, rebondissant sans fin les unes sur les autres, et que l'on suppose remplir toutes les échelles de l'univers au début du cycle qui a vu la naissance de la matière.



Pour garder la lisibilité de l'image, sauf dans le centre on n'a pas représenté toutes les ondes emboîtées les unes dans les autres, seulement celles qui correspondent à la hiérarchie d'échelles

On a parlé de « la taille entière de l'univers ».

Effectivement, pour que l'hypothèse fonctionne, il faut que les ondes de plus grande taille puissent aussi rebondir sur une enceinte, et celle-ci ne peut être que la limite même de l'univers. Ceci implique que l'univers soit de taille finie, mais n'oblige pas à ce que sa taille soit figée et définitive.

Au contraire, puisque l'on imagine que les ondes qui le peuplent ne se sont formées et synchronisées que progressivement, il faut imaginer que le volume d'univers occupé par ces ondes n'a cessé de s'agrandir au fur et à mesure de la réussite de leur synchronisation dans un volume toujours plus grand. À un instant donné, la limite de l'univers correspondrait donc seulement à la taille maximale atteinte par la synchronisation du rebond réciproque des ondes qui le peuplent, et comme cette synchronisation ne cesse de s'étendre à davantage de volume, on imagine donc que l'univers est en constant agrandissement, agrandissement qui se poursuivrait aujourd'hui encore.

On peut supposer que la synchronisation parfaite des ondes d'espace s'est d'abord trouvée en certaines zones de l'univers, lesquelles se sont ensuite étendues progressivement, augmentant ainsi sans cesse la taille des zones d'espace gagnées par une pulsation parfaitement synchronisée et équilibrée d'ondes rebondissant à la perfection les unes sur les autres, sur une infinité d'échelles, de la plus infinitésimale à la plus grande.

Si l'on suppose que l'univers a un centre, c'est-à-dire, si l'on suppose qu'il y aurait eu un lieu privilégié unique où la synchronisation des ondes d'espace se serait trouvée en premier et d'où elle se serait ensuite répandue dans toutes les directions, alors il n'y a plus rien à dire : on ne voit aucune raison pour que quelque chose stoppe ou perturbe cet agrandissement toujours impeccable de l'espace ainsi synchronisé depuis une graine initiale amplifiant sans cesse le volume de son influence. Dans une telle hypothèse, l'évolution de la complexité de l'univers se serait arrêtée là. Il s'agrandirait sans arrêt, certes, mais sans aucune ride, sans aucun défaut. Sans aucune raison, pour tout dire, de se complexifier davantage.

Mais on peut aussi proposer une autre alternative qui lui donnera une bonne raison de se complexifier, une alternative bien plus crédible, d'ailleurs, puisqu'elle correspond bien mieux à ce que l'on observe généralement lorsqu'un phénomène physique quelconque franchit un « changement de phase ». Cette alternative est que, en fait, la synchronisation de la pulsation de l'espace se serait trouvée simultanément, ou presque simultanément, en des endroits de l'espace très éloignés les uns des autres, et ce serait à partir de ces graines multiples et dispersées qu'elle se serait ensuite progressivement étalée et répandue.

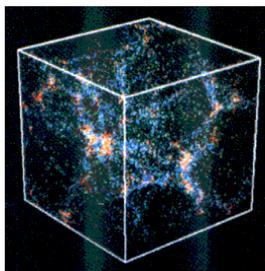
Dans ce cas, nécessairement, ce sont les échelles les plus grandes des ondes d'espace qui auront le plus tardé à trouver la pulsation qu'il faut pour s'accorder à la fois à la pulsation des ondes de plus petite taille déjà synchronisées et à la pulsation des ondes de dimension voisine à la leur venue des autres régions de l'univers. D'autant qu'il y aura probablement eu un léger décalage initial entre ces pulsations germées depuis des lieux éloignés de l'univers. Probablement même, faut-il envisager que la synchronisation trouvée en certaines zones se sera effondrée du fait de son incapacité à s'accorder au rythme différent et plus puissant venu de régions de l'univers ayant déjà trouvé une synchronisation dans un plus grand volume, et plus capables, pour cette raison, d'imposer leur propre rythme au reste de l'univers. Il faut donc envisager qu'il a fallu du temps, et probablement beaucoup de temps, pour que les nécessaires ajustements réciproques finissent par se trouver dans tout l'univers, et pour que commence à palpiter simultanément et sur toutes ses échelles, une même et unique pulsation.

Pendant un temps, donc, au moins pour ce qui concerne les ondes d'espace des plus grandes échelles, une parfaite coordination de leurs rebonds réciproques a tardé à se trouver.

Peut-être, même, à l'âge actuel de l'univers, cette coordination parfaite n'a-t-elle pas encore réussi à émerger ?

À une certaine échelle, trop grande pour être atteinte par le bon rythme de pulsation qui s'est trouvé « plus bas » dans l'univers, il est par conséquent resté du raté, du mal coordonné, du mal synchronisé, et l'hypothèse qui est ici présentée n'est rien d'autre, fondamentalement, qu'une tentative d'expliquer comment de ces ratés, de ce mal synchronisé, nous serions finalement le produit, le résultat.

Quelle est l'échelle que la synchronisation des ondes d'espace n'aurait pas réussi à franchir ? Eh bien, il s'agirait tout simplement de l'échelle des immenses bulles dont nous savons qu'elles séparent les concentrations de galaxies. À grande échelle, en effet, l'univers actuel est un peu comme une éponge, ou comme un gruyère avec d'immenses trous et très peu de fromage pour en marquer les parois. On sait que ces parois, autour des immenses bulles vides de l'univers, sont formées par des « murs », des « feuillettes » et des « filaments » en lesquels se rassemblent les amas de galaxies.



Cette simulation modélise la distribution des galaxies dans un cube de 260 millions d'années-lumière de côté. La répartition des galaxies suggère une structure en forme d'éponge, avec une concentration sur des murs ou des parois englobants de vastes espaces vides.

Les parois de ces bulles vides seraient, dans notre hypothèse, la plus grande échelle où la parfaite synchronisation des ondes d'espace aurait réussi à se trouver

[Document "Sciences et Avenir"]

Si cette supposition est correcte, la structure de l'univers à grande échelle, telle que nous la connaissons maintenant, faite d'immenses bulles vides entourées d'un semis de milliards de milliards de minuscules galaxies, cette structure, donc, ne serait pas le résultat de l'effet de la matière et de son auto-organisation sous l'effet de la gravité, mais elle serait une donnée qui existait déjà avant même que n'existe la matière.

Rappelons que la théorie standard actuelle n'est pas à l'aise avec cette question des grandes structures de l'univers, dont elle suppose qu'elles seraient le résultat de la condensation progressive de grands rassemblements de matière par l'effet de la gravité, et alors qu'elle doit convenir que ces grandes structures n'ont pas disposé de suffisamment de temps pour s'agglomérer ainsi depuis le début de l'univers. C'est là une des raisons pour laquelle cette théorie standard en vient à supposer l'existence d'une matière noire invisible et inconnue, largement prépondérante en quantité sur la matière ordinaire, car c'est l'effet gravitationnel de cette matière mystérieuse qui aurait déclenché et accéléré la condensation des grandes structures dans lesquelles se répartissent maintenant les amas de galaxies.

Notre hypothèse nous amène donc au scénario inverse : ce ne serait pas la matière qui aurait généré les grandes structures de l'univers en s'agglomérant sous l'effet de la gravité, car ces grandes structures auraient préexisté à la matière, et la matière serait née sur les parois des grandes bulles vides de l'univers pour la simple raison que c'est sur les frontières ou sur les rencontres entre ces bulles que la synchronisation des ondes d'espace aurait tardé à se trouver, y générant des « ratés » dans le fonctionnement des ondes d'espace, et ce sont ces ratés qui, ensuite, et par étapes successives, seraient devenus la matière.

La question se pose donc maintenant de savoir de quoi étaient faits ces ratés du fonctionnement des ondes d'espace, et comment ils ont pu devenir ce que nous appelons la matière ?

On a suggéré que, à une certaine échelle de l'univers, les ondes d'espace ne parvenaient pas à équilibrer parfaitement leurs rebonds mutuels, mais l'on suppose aussi que ces ondes n'en restent pas moins toujours des ondes stationnaires, car leurs rebonds de tous côtés et sur toute une infinité d'échelles plus petites seraient suffisamment coordonnés pour cela. Seulement, de petits décalages vont s'introduire, des contretemps, et ces décalages vont nécessairement se traduire par des plis qui déformeront un peu la surface des ondes d'espace concernées.

Il faut donc imaginer que, à un moment de l'univers, autour de grandes bulles uniformes dans lequel les ondes d'espace pulsent en cadence parfaitement synchronisées, il existe tout un feuilletage d'ondes périphériques dont la seule particularité est tout d'abord d'être quelque peu ridées, plissées.

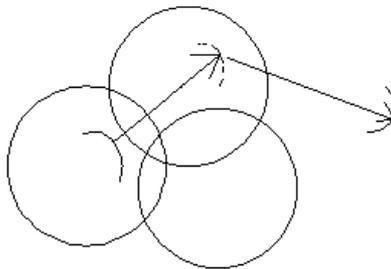
Même imparfaitement synchronisées, toutefois, ces ondes périphériques n'en vivent pas moins leur brave vie de couples d'ondes jumelées stationnaires. Et leur vie c'est de pulser continuellement et de retrouver, dès que possible, une pulsation stable, régulière, équilibrée. Si donc des plis viennent à les déformer et à gêner leur fonctionnement, la tendance de ces ondes sera de profiter de chacune de leurs pulsations pour éjecter ces plis afin de rétablir leur forme sphérique au plus vite et au mieux.

Que vont devenir ces plis chassés par les ondes afin de rétablir au mieux leur sphéricité parfaite ?

Puisque leur cause n'aura pas disparu, ils ne vont pas disparaître, et si une onde les chasse, nécessairement sa voisine devra les récupérer. Laquelle, à son tour, s'empressera de s'en débarrasser en les refilant à l'une de ses voisines.

Et c'est ainsi que, inexorablement, les plis qui déforment les ondes d'espace sont condamnés à toujours circuler d'une onde à l'autre. Si l'on suppose que les ondes pulsent à la vitesse qui sera, lorsqu'elle existera, celle de la lumière, alors leurs plis voyageront à la vitesse de la lumière.

*Un pli qui déforme
une onde d'espace
est nécessairement
expulsé vers une
autre, qui l'expulse
à son tour vers une
autre onde, et ainsi
de suite*



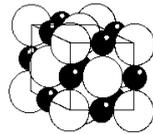
Il ne sera pas expliqué dès maintenant comment ces plis voyageurs vont progressivement se transformer en matière, puisque toute la deuxième partie sera consacrée à suivre pas-à-pas leur métamorphose, et cela en 16 étapes distinctes successives.

Contentons-nous, pour le moment, de faire le bilan des ingrédients utiles pour initier un cycle de complexification de l'univers :

- il nous fallait trouver des réalités qui butent en tous sens les unes contre les autres : les couples d'ondes d'espace stationnaires pulsent en s'équilibrant de cette façon ;
- et il nous fallait des réalités qui puissent s'émietter et circuler en tous sens les unes par rapport aux autres : ce rôle pourra donc être joué par les plis déformant les ondes d'espaces et qui vont courir sans arrêt d'une onde à l'autre.

Dans le cas du cycle que l'on a donné en exemple et qui va de l'état solide aux tourbillons liquides statistiques, c'étaient les mêmes réalités, c'est-à-dire les atomes qui, au stade « du point » se butaient d'abord en tous sens les uns contre les autres, puis qui se mettaient à se mouvoir de plus en plus librement les uns par rapport aux autres, puis qui passeront, finalement, de l'état solide à l'état liquide.

Dans l'état solide, les atomes se butent les uns contre les autres



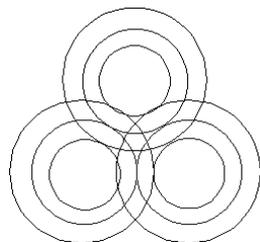
puis ils se déplacent librement les uns par rapport aux autres pour donner l'état liquide



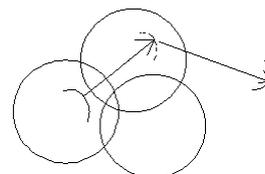
Les cycles de complexité de l'univers se ressemblent, c'est du moins l'un des fondements de l'hypothèse proposée ici, mais, comme on l'a déjà dit, ils doivent aussi être un peu différents les uns des autres pour que l'univers ne fonctionne pas selon le principe de l'éternel retour et pour qu'il se complexifie progressivement.

Au stade du cycle de complexité qui va former la matière, on suppose donc que ce ne peut pas encore être les mêmes réalités qui se butent d'abord les unes contre les autres, puis qui se mettent à se mouvoir les unes par rapport aux autres. Pour que cela puisse advenir, il faut d'abord que se forme un fond stable de l'espace par rapport auquel le mouvement des atomes pourra avoir un sens. On suppose donc que, au stade de la matière, le fond stable de ses mouvements relatif existe déjà, qu'il est fait de la pulsation synchronisée des ondes d'espace, et que si celles-ci ne peuvent se déplacer, c'est précisément parce que l'évolution précédente de l'univers les a figées en ondes stationnaires, astreintes à n'accomplir éternellement que le court battement de pulsation qu'elles se partagent en couples d'ondes jumelées. Ce sont leurs déformations qui vont être les premières réalités à voyager dans l'espace, et celui-ci va dès lors devenir le repère stable et fixe par rapport auquel la réalité du déplacement pourra exister, se repérer.

Les ondes d'espaces sont stationnaires grâce à leurs rebonds équilibrés les unes sur les autres, ce qui construit le fond stable et régulier de l'espace, et même de l'espace-temps puisque les ondes pulsent sur place au fil du temps



Dans le cycle de complexité qui va des ondes d'espace aux atomes, ce sont les déformations de ces ondes d'espace, les plis qui les affectent, qui vont se mettre à se déplacer librement les uns par rapport aux autres



1-4- sur la cause de la gravité et sur la nature de l'énergie du vide :

On vient de suggérer que les ondes d'espace sont déformées par des plis, et on s'apprête à montrer comment ces plis se sont organisés pour devenir ce que nous appelons matière.

Einstein, dans le cadre de la relativité générale, avait posé que la présence de matière déforme l'espace-temps, le courbant vers elle et générant ainsi l'effet de gravité. Son hypothèse est maintenant bien confirmée par les faits, mais il n'a jamais donné d'explication physique à la façon dont la matière parvient, ainsi, à courber l'espace-temps.

L'hypothèse que l'on propose remplirait ce manque, puisqu'elle revient ni plus ni moins à dire que : oui, lorsqu'il y a de la matière quelque part, l'espace est effectivement déformé, puisque, précisément, une particule de matière ne serait rien d'autre qu'une concentration de déformations de l'espace. Si donc il y a de la matière quelque part, alors, très nécessairement, il y aura un nœud de déformations d'espace à son endroit.

Il reste toutefois trois aspects à compléter pour retrouver la formule d'Einstein.

Le premier est que l'on doit considérer l'espace-temps et pas seulement l'espace. Le second est qu'il faut expliquer pourquoi la déformation que l'on envisage implique spécifiquement un effet de gravité, c'est-à-dire à un effet d'attraction vers les zones qui le génèrent, effet que subissent, d'ailleurs, aussi bien les particules qui provoquent un tel effet de gravité que les photons de lumière qui n'en provoquent apparemment pas. Enfin, il faut expliquer pourquoi cette attraction prend la forme d'un effet d'accélération.

On commence par le second aspect.

Il implique de faire une nouvelle hypothèse concernant les propriétés des ondes d'espace.

Dans leur état normal, et l'on pourrait dire optimal, on a déjà supposé que les ondes d'espace pulsent sur place en parfait état sphérique. On fait maintenant une hypothèse supplémentaire, celle que la surface d'une onde est constante, c'est-à-dire qu'elle ne peut pas globalement gonfler ou s'étirer, ni même rétrécir.

Dans une telle circonstance, si une déformation vient à rider la surface de l'onde, il s'ensuivra nécessairement que le volume global de l'onde va se contracter pour encaisser la présence de ce pli, car ce pli va localement agrandir sa surface et devra donc être compensé par une réduction globale du reste de sa surface. Et plus le pli sera important, ou plus les plis seront nombreux, plus l'onde devra se recroqueviller sur elle-même pour que sa surface globale ne soit pas modifiée par les élongations locales engendrées par ces plis.



Pour garder une surface constante lorsqu'elle est déformée, une forme sphérique doit nécessairement rétrécir le volume global qu'elle occupe

Il suffit donc d'envisager que les déformations subies par une onde d'espace se font à surface constante pour en déduire que, lorsqu'elle est plissée, nécessairement cette onde se creuse, se comprime globalement. Du fait que toutes les ondes s'appuient les unes contre les autres, toute déformation de l'une se communiquera à ses voisines et les fera se comprimer à leur tour, puis elle se communiquera, de la même façon, aux voisines de leurs voisines, puisqu'elles se recalent toutes les unes sur les autres. Et tout cela se produira à la vitesse de leur pulsation, c'est-à-dire à la vitesse de la lumière, puisque l'on a supposé que c'était là, la vitesse de leur vibration.

Accessoirement, on comprend aussi pourquoi la gravité ne peut pas être négative : aucune déformation d'onde à surface d'onde constante ne peut engendrer une augmentation de son volume global.

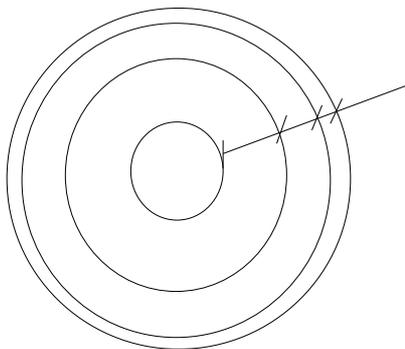
Les deux autres aspects de la formule d'Einstein vont maintenant s'éclairer ensemble.

On vient de rappeler que les ondes d'espace pulsent en rebondissant les unes sur les autres, et que, lorsqu'une onde déformée se recroqueville, toutes les ondes qui pulsent avec elles doivent simultanément se tasser. Ce que l'on va supposer est que cette interdépendance d'équilibrage des ondes et de leurs volumes respectifs implique que, dans un même train d'ondes affecté par un recroquevillement de gravité, toutes les ondes vont perdre le même volume moyen, ou, tout du moins, approximativement le même volume moyen.

En conséquence de cet équilibrage mutuel, comme le rayon et donc la surface des ondes concernées diminuent lorsque l'on se rapproche de la particule de matière qui occasionne l'effet de gravité, et comme un même volume de recroquevillement divisé par une surface d'onde qui se réduit implique une épaisseur de rétractation d'autant plus grande que l'onde est petite, les ondes vont plus s'écarter les unes des autres auprès de la matière qui les déforme qu'elles ne le feront loin d'elle. Comme une déformation qui voyage sur les ondes d'espace se moque de la distance géométrique réelle qu'elle parcourt et qu'elle n'est concernée que par le nombre des vibrations qui la séparent d'un endroit à l'autre et qui la propulsent d'un endroit à l'autre, plus elle sera proche d'une matière, plus elle franchira une plus grande distance en un même nombre de vibrations, et donc en une même durée de temps, puisque la distance qui sépare chaque onde ne cessera d'augmenter.

On vient de décrire là un effet d'accélération, effet que l'on peut aussi bien envisager à l'envers : si l'on raisonne maintenant en termes de distance constante parcourue dans l'espace par une unité de temps, selon l'importance de la gravité, c'est le temps qui semblera alors s'écouler à des vitesses différentes, car une même distance sera parcourue en un temps plus court lorsqu'on sera proche de la matière que lorsqu'on en sera éloigné. Ainsi donc, les notions d'espace et de temps ne peuvent être saisies indépendamment l'une de l'autre, dès lors que l'on suppose que les ondes d'espace vibrent selon un rythme constant, mais que l'amplitude de leurs battements est augmentée lorsqu'elles sont déformées par la présence de matière.

On reviendra plus complètement sur ce point dans un chapitre spécialement consacré à la gravité Newtonienne et à la relativité générale (*chapitre 3-6-1*), où l'on expliquera notamment pourquoi on ne parle que d'une réduction de volume « approximativement » égale pour toutes les ondes.



la cause de l'accélération gravitaire :

les plus des ondes génèrent une réduction de volume qui est du même ordre de grandeur pour toutes les ondes, ce qui les écarte d'autant plus l'une de l'autre que leur taille est plus petite, car cette réduction de volume est divisée par une surface d'onde plus petite.

Pendant une même durée de temps, un même nombre de battements fera donc franchir un espace d'autant plus grand que l'on est près de la cause qui génère l'effet de gravité

On vient de voir que l'hypothèse proposée permet d'expliquer la cause de la déformation de l'espace-temps par la matière. Pour la même raison, elle permet aussi de se débarrasser de la mystérieuse et inobservable matière noire.

Car il n'y a pas besoin d'imaginer une mystérieuse matière de substitution pour expliquer un excès de gravité dans une zone de l'espace que la quantité de matière normale est apparemment insuffisante à expliquer. Pour générer de la gravité, il suffit en effet que les ondes d'espace soient déformées, et l'on a vu que de telles déformations pouvaient se produire même en absence de matière, par le seul fait d'un défaut dans la synchronisation des ondes d'espace.

Puisque l'on a précisément supposé que c'était dans des zones encore mal synchronisées, et donc encombrées de déformations, que naîtrait la matière, et puisque l'on supposera, plus loin, que seule une partie de ces déformations s'est finalement transformées en matière, il s'ensuit très normalement que l'on devra toujours trouver une surabondance « inexplicable » de gravité à l'emplacement des grands amas de galaxie. Inexplicable, si on la calcule seulement en rapport avec la quantité de matière qui y est présente, mais parfaitement logique si l'on tient aussi compte de l'encombrement de l'espace par les plis de déformation dont la majeure partie ne s'est pas incorporée dans de la matière.

Quant à la mystérieuse énergie sombre et à sa mystérieuse prépondérance dans l'univers, notre hypothèse considère tout simplement que c'est l'énergie avec laquelle pulsent les ondes d'espace. Parfois, les scientifiques utilisent l'expression « énergie du vide », notamment pour expliquer d'où sortent les paires de particules-antiparticules qui semblent, littéralement, sortir du vide. La pulsation des ondes d'espace propose donc une consistance physique, une source physique, à cette mystérieuse énergie qui remplirait l'espace.

Pour finir, un point qui a son importance : si l'hypothèse que l'on vient de formuler est correcte, il s'ensuit que l'effet de gravité existait avant même que ne commence le processus d'évolution de l'univers qui va donner naissance à la matière, et qu'il a régné en maître tant que les ondes d'espace n'ont pas trouvé à se synchroniser quelque peu, et donc à commencer à occuper, chacune, un volume constant.

Si la gravité relève d'un comportement de l'espace qui précède les comportements propres à la matière, si elle relève d'un niveau de fonctionnement de l'univers qui ne connaissait donc rien de l'électromagnétisme, alors il n'y aurait pas à s'étonner que les scientifiques échouent à exprimer la gravité de la même façon qu'ils expriment les lois de l'électromagnétisme. Tout simplement, il serait aussi vain d'exprimer la gravité comme on exprime l'électromagnétisme, qu'il est vain d'expliquer le comportement sexuel ou parental des espèces vivantes animales avec le même type de formules mathématiques que celles qui sont utilisées par la mécanique newtonienne. Quand on traite de la gravité et quand on traite l'électromagnétisme, on ne traiterait pas du même niveau de fonctionnement de l'univers, on ne traiterait pas du même monde, du même type d'objets, et il apparaît donc normal d'user d'une approche complètement spécifique pour traiter chacune de ces situations.

Dernière mise à jour de ce texte, le 10 janvier 2010

suite : [2^{ème} partie de l'hypothèse](#)
(les 16 étapes du cycle de formation de la matière)

[\(lien de retour vers le plan du texte complet de présentation de l'hypothèse\)](#)

[\(lien vers la 3ème partie de l'hypothèse\)](#)