

**Le document proposé est à considérer comme un document de travail
apportant des informations et connaissances pour permettre des échanges
interdisciplinaires fructueux avec les académiciens de l'AMIC.**

En encadre des complements

Equilibre déséquilibre Ordre chaos

*Le non équilibre est la voie la plus extraordinaire que la nature ait inventée pour
coordonner les phénomènes , pour rendre les phénomènes complexes possibles.*

Jean Rostand

Propos liminaires

Dialogique entre équilibre déséquilibre chaos et ordo

I la notion d'équilibre appliquée à des systèmes physiques

II l'évolution de la pensée scientifique du déterminisme à l'aléatoire, du certain au probable

III du vide cosmique originel à la conscience : une suite d'équilibres- déséquilibres dans un environnement chaotique....

La notion d'équilibre en physique

La tendance à l'équilibre est une propriété fondamentale des systèmes physiques : tout objet laissé assez longtemps à lui-même atteindra toujours l'équilibre. Dans sa version la plus simple, l'équilibre implique que l'objet d'intérêt possède la même mesure d'un paramètre considéré (Ex : force, température, pression) que celui de son environnement.

Selon le domaine de la physique on distingue différentes expressions de l'équilibre :

-Équilibre hydrostatique, situation d'un fluide au repos, où le poids équilibre la pression.

-Équilibre électrostatique. Un conducteur électrique en équilibre électrostatique n'est parcouru par aucun courant. Cela signifie que toutes les charges électriques libres internes au conducteur sont « immobiles ».

-Equilibre thermique : lorsque deux corps de températures différentes entrent en contact, ils échangent de l'énergie thermique de sorte que leurs températures respectives s'égalisent. On notera que le sens du transfert se fait toujours du corps chaud vers le corps froid.

-Equilibre thermodynamique : un système est en équilibre thermodynamique quand il est à la fois en équilibre thermique, mécanique et chimique. Son état local est déterminé par les valeurs de ses paramètres intensifs, comme la pression ou la température.

-Equilibre nucléaire : état d'équilibre entre la production d'un radioélément par une réaction nucléaire et sa propre disparition par désintégration nucléaire.

Nous nous attachons à la notion d'équilibre appliquée à des systèmes.

Un système est une entité formée d'un assemblage, selon une structure interne (une organisation), de composants qui sont reliés entre eux par un système de relations inter composants. L'ensemble des éléments qui constitue le système doit être défini précisément afin de préciser ce qui est dans le système et ce qui est à l'extérieur du système (principe du tiers exclu : S ou non-S). L'entité système possède un degré de complexité plus grand que ses parties, autrement dit ses propriétés ne sont pas réductibles à celles de ses composants.

L'équilibre d'un système représente un état du système qui correspond à un minimum de la fonction d'énergie pour le paramètre considéré. Le système est au repos lorsque le milieu environnant et le système n'échange pas d'énergie : l'équilibre est alors dit statique. Un système fermé est en équilibre thermodynamique quand les réactions qui s'y produisent le font à des taux tels que la composition du mélange ne varie pas avec le temps. Des réactions se produisent, mais les variations de la composition du système ne sont pas observables.

Nous allons plus particulièrement nous intéresser aux systèmes dynamiques et à leurs propriétés qui se manifestent dans le comportement évolutif du système. A la définition d'un système on adjoint une loi d'évolution $F(x)$, c'est-à-dire une règle qui donnera l'état du système à l'instant t et $t + dt$. On distingue les systèmes dynamiques discrets définis par une itération successive d'une fonction et les systèmes dynamiques continus définis par une équation différentielle. Dans les phénomènes *proches* de l'équilibre la dynamique est linéaire, et pour des systèmes loin de l'équilibre (système complexe) la dynamique est non-linéaire.

La nature de l'évolution d'un système dynamique peut être considérée comme positive lorsque le système va évoluer vers une plus grande intégration ou comme négative lorsqu'il tend vers une désintégration. L'évolution positive entraîne des modifications de structures avec un renforcement des relations de structure inter composants qui entraînent l'apparition de fonctions nouvelles selon un processus appelé « auto organisation ». Le système est stable s'il oscille autour d'un équilibre (ex le pendule).

L'étude des systèmes dynamiques a pour objet de décrire les transformations (changements) dans le temps et l'espace de l'état des systèmes en fonction des causes de ces changements dans la mesure où ces causes sont justement les interactions entre les objets du système (causes internes). Les mathématiques sont utilisées pour décrire l'évolution de systèmes dynamiques en fonction du temps. Pour résoudre mathématiquement un système dynamique il faut retracer l'évolution de chaque variable en fonction du temps par des opérations d'intégration des équations différentielles. Lorsque les valeurs des variables n'évoluent plus, le système a atteint un équilibre (pendule arrivé en bout de course). Mais cette situation d'équilibre peut être une apparence car toutes les transformations peuvent se compenser (*comme baignoire qui se remplit à la même vitesse qu'elle se vide et dont le volume d'eau reste constant*). On parle alors d'état stationnaire.

Ainsi, l'équilibre d'un système dynamique n'est pas un point fixe atteint par le système mais une série d'états que parcourt le système pour conserver des caractéristiques globales tout en changeant sans cesse. L'équilibre est dynamique quand la quantité d'énergie cédée par le système au milieu ambiant est égale à la quantité d'énergie cédée par le milieu au système. Il s'agit ici d'avoir un point de vue selon l'échelle de la description. A l'échelle microscopique les parties du système se modifient mais les caractéristiques moyennes ou globales se conservent à l'échelle macroscopique. L'équilibre global est le résultat de l'agitation (apport

d'énergie), de la variation qui produit la conservation, du désordre qui produit l'ordre. On observe que certains systèmes dynamiques connaissent des changements spontanés qualitatifs brutaux (non linéarité des lois d'évolution) et sont donc imprévisibles. Un déséquilibre permanent sur le plan énergétique entraînera de nouvelles structures. (Ex les tourbillons). Le système va développer une activité de compensation pour réagir à chaque perturbation et revenir à un état d'équilibre, l'équilibre est mobile.

Cela signifie que, derrière l'apparente stabilité, il y a des instabilités, autour de l'équilibre il y a des déséquilibres, derrière l'ordre il y a des désordres.

La notion d'énergie a été évoquée et il paraît utile de la définir dans le contexte de ce chapitre.

L'énergie est une des 3 grandeurs physiques qui définissent l'état d'un système thermodynamique (température, pression, énergie interne). L'énergie quantifie la capacité d'un système à effectuer des transformations, elle possède une propriété fondamentale : elle ne peut être ni créée ni détruite, elle se conserve (principe de conservation de l'énergie) mais elle se dégrade. Lors de toute transformation le bilan énergie est toujours équilibré. L'usage de ce mot dans le langage courant de la production d'énergie et de la consommation d'énergie est donc impropre.

En physique l'énergie comme nous l'avons vu pour les différents types d'équilibre peut revêtir plusieurs aspects : l'énergie nucléaire qui est l'énergie originelle car toutes les autres formes en découlent : l'énergie thermique, l'énergie chimique, l'énergie mécanique, l'énergie gravitationnelle, l'énergie électrique, l'énergie chimique.

L'unité de mesure de l'énergie est le Joule.

En physique des particules on utilise également l'e/V (électron/ volt) comme unité.

Pour mesurer la dégradation de l'énergie, les physiciens utilisent une quantité dont l'usage hors du contexte de la physique la rend mystérieuse : l'entropie. Pour la physique elle représente la 4ème grandeur caractérisant un système thermodynamique. **Contrairement à l'énergie, l'entropie ne se conserve pas.** Dans un système isolé, elle augmente toujours au cours de la transformation.

La notion d'entropie a été établie par Clausius en 1865, à partir du deuxième principe de la thermodynamique de Sadi Carnot. Le terme a été formé par Clausius par analogie avec « énergie » et à partir d'un terme grec signifiant « transformation ».

Il proposa la relation :

$$\Delta Q = T \Delta S$$

S est un grandeur d'état extensive (additive) appelée entropie, son accroissement s'exprime en Joule par degré K (J/K).

Dans toute transformation d'un système fermé :

$$\Delta S = \Delta_i S + \Delta_e S$$

Δ_i lié aux variations interne et $\Delta_e S = \sum dQ/T$ somme de tous les échanges de chaleur.

Clausius démontre que le rapport $\sum dQ/T$ est inférieur ou égal à la variation de l'entropie S.

Toute transformation d'un système thermodynamique s'effectue avec augmentation de l'entropie globale incluant l'entropie du système et du milieu extérieur : il y a création d'entropie.

L'entropie caractérise l'aptitude de l'énergie contenue dans un système à fournir du travail. Plus cette grandeur est élevée, plus l'énergie est dispersée et de ce fait moins utilisable pour produire des effets mécaniques. Lorsqu'un système thermodynamique est isolé sans échange de chaleur possible avec le milieu extérieur, il évolue vers le niveau maximum d'entropie et tend vers un état d'équilibre définitif (2^e principe) alors que son énergie interne reste conservée (1^{er} principe). Une valeur nulle de l'entropie est définie pour toute substance observée à la température du zéro absolu (-273°C) conforme au 3^e principe de la thermodynamique.

Evolution de la pensée scientifique

A) De la prédictibilité déterministe à l'imprévisibilité du chaos

Le déterminisme scientifique est un postulat qui régit l'évolution dans le temps d'une situation sous l'effet des lois de la nature conformément au postulat de causalité et à la règle de stabilité. Il prédit qu'une situation évoluera certainement sous l'action d'une loi naturelle, il n'affirme pas la possibilité de reconstituer mentalement le passé.

Newton (1643-1727) avec le principe de l'attraction universelle illustre le déterminisme qui a permis de grandes découvertes en prédisant des positions d'objets célestes par le calcul. Il fut le premier à comprendre que les processus d'évolution de l'Univers pouvaient être décrits par des équations différentielles.

Il entreprit de formuler les trajectoires des planètes en ne prenant en compte que le soleil et une seule planète pour en calculer l'orbite, négligeant ainsi les interactions des autres planètes entre elles. Le paradigme du monde de Newton est le mouvement périodique.

Petit rappel sur équation différentielles

Une équation différentielle est une équation entre une fonction et ses dérivées. Elles apparaissent à partir du 18^e siècle en même temps que le calcul différentiel, souvent dans le cadre de problèmes de géométrie, de mécanique ou de physique mathématique. Au début, les mathématiciens s'attachaient à résoudre ces équations, c'est-à-dire à développer des méthodes pour déterminer des solutions qui apparaissent la plupart du temps sous la forme de séries entières, de séries trigonométriques ou de fonctions spéciales.

Le mathématicien Laplace (1749-1824) a pour sa part, donné une formulation devenu célèbre du déterminisme scientifique :

« Nous devons envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui, pour un instant donné connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent ; Si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, elle embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome ; Rien ne serait incertain pour elle et l'avenir comme le passé serait présents à ses yeux ».

Essai philosophique sur les probabilités (1814).

Mais, malheureusement aucune intelligence n'a jamais écrit les équations différentielles de ce rêve !

Le mathématicien Henri Poincaré (1854-1912), professeur de mathématique et de physique à la Sorbonne, par ses recherches apporta une nuance au déterminisme Newtonien. Il a été le premier à réaliser que, à défaut de pouvoir résoudre explicitement la plupart des équations différentielles, on pouvait s'intéresser d'une part à l'existence de **solutions** et d'autre part aux propriétés de ces solutions (de nombreux mathématiciens se sont ensuite engagés sur cette voie). Il s'agit "d'étudier les fonctions définies par équations différentielles en elles-mêmes et sans chercher à les ramener à des fonctions plus simples". Dans un mémoire¹ il proposa la résolution des équations différentielles complexes par une approche qualitative qui consiste à une étude géométrique des courbes définies par les fonctions solutions plutôt qu'une étude quantitative qui consiste à calculer numériquement les valeurs de ces fonctions.

Principe de résolution géométrique (analytique).

L'état d'un système dynamique est décrit par un ensemble de quantités dépendantes d'une variable (Ex le temps noté t) : $X_1(t), X_2(t), X_3(t) \dots X_n(t)$. Plutôt que d'étudier séparément ces n variables, on représente le système par un point unique dans un espace à n dimensions chaque variable définie un axe et l'ensemble des axes définit un espace de phase à n dimensions. Quand le temps t évolue, les évolutions du système sont représentées par des points qui décrivent des courbes dans l'espace des phases, ces courbes sont les **orbites** de l'équation différentielle. L'espace des phases permet de transformer des nombres en image, les orbites sont des représentations géométriques des trajectoires d'un système dynamique dans l'espace des phases (cartographie des possibilités).

Commentaires sur les exemples du pendule

Dans ses réflexions sur la stabilité des orbites des planètes et sur l'avenir du système solaire, il démontra lors d'un concours de mathématique à Stockholm en 1889, qu'un système formé d'au moins trois corps (Terre, Lune, Soleil) en interaction gravitationnelle dont le mouvement est régi par une loi déterministe peut donner selon les variations des conditions initiales lieu à des effets aléatoires cad à **l'imprévisible et au non-défini**. Il consigne cette démonstration dans un traité intitulé « *Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique* ». Certes, la loi d'évolution est déterministe (la loi newtonienne de la gravitation) mais il définit une nouvelle notion fondamentale : « **la sensibilité critique aux conditions initiales** » qui rend impossible toute prédiction précise !

Une cause très petite, qui nous échappe, détermine un effet considérable que nous ne pouvons pas ne pas voir, et alors nous disons que cet effet est dû au hasard. Si nous connaissions exactement les lois de la nature et la situation de l'univers à l'instant initial, nous pourrions prédire exactement la situation de ce même univers à un instant ultérieur. Mais, los même que les lois naturelles n'auraient plus de secret pour nous, nous ne pourrions connaître la situation initiale qu'approximativement.

Henri Poincaré, Science et Méthode, Flammarion, 1908

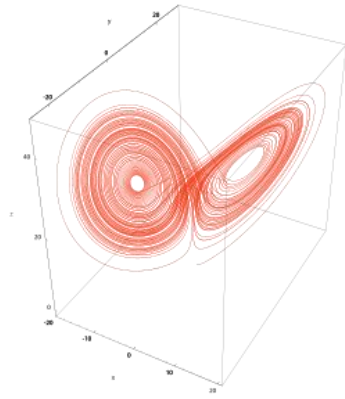
¹ Mémoire sur les courbes définies par une équation différentielle le Journal de mathématiques pures et appliquées 3 série, tome 7 (1881), p. 375-422.

« Pourquoi les météorologistes ont-ils tant de peine à prédire le temps avec quelque certitude ? Pourquoi les chutes de pluie, les tempêtes elles-mêmes nous semblent-elles arriver au hasard, de sorte que bien des gens trouvent tout naturel de prier pour avoir la pluie ou le beau temps, alors qu'ils jugeraient ridicule de demander une éclipse par une prière ? Nous voyons que les grandes perturbations se produisent généralement dans les régions où l'atmosphère est en équilibre instable. Les météorologistes voient bien que cet équilibre est instable, qu'un cyclone va naître quelque part ; mais où, ils sont hors d'état de le dire ; un dixième de degré en plus ou en moins en un point quelconque, le cyclone éclate ici et non pas là, et il étend ses ravages sur des contrées qu'il aurait épargnées. Si on avait connu ce dixième de degré, on aurait pu le savoir d'avance, mais les observations n'étaient ni assez serrées, ni assez précises, et c'est pour cela que tout semble dû à l'intervention du hasard. Ici encore nous retrouvons le même contraste entre une cause minime, inappréciable pour l'observateur, et des effets considérables, qui sont quelquefois d'épouvantables désastres. »

Henri Poincaré, Science et Méthode, Flammarion, 1908

L'incertitude fait son entrée dans la science et entame les certitudes du déterminisme de Laplace. Cette notion de « *sensibilité critique aux conditions initiales* » donnera naissance plus tard à la « **théorie du chaos** ». A noter que le chaos n'est pas aussi chaotique que l'usage le laisse entendre ; un système chaotique est défini par des équations déterministes mais ses évolutions sont imprédictibles. La sensibilité aux conditions initiales crée un lien paradoxal entre déterminisme et imprévisibilité. Cette théorie concrétisera la critique du déterminisme scientifique, les systèmes chaotiques dont il n'est pas envisageable de prédire leurs évolutions rompent la sacrosainte chaîne causale ; la science devient incertaine gouvernée par des lois des aléas (hasard), il se pourrait qu'il y ait de l'équilibre dans le déséquilibre, de l'organisation dans la désorganisation ! Il faut noter que le corps scientifique de l'époque ne s'intéressa pas à cette théorie trop en avance sur les idées. La théorie du chaos fut mise à l'écart.

Cette théorie fut reprise en 1961 par le météorologue américain Edward Lorenz (1917-2008) qui travaillait sur les prévisions météorologiques au MIT. Lorenz va simplifier les équations différentielles des modèles de description de l'atmosphère utilisés pour les prédictions du temps, grâce à un modèle « jouet » fondé sur l'approche géométrique de la résolution des équations différentielles de Poincaré. Ce modèle caractérise une position de l'atmosphère par seulement 3 variables (x, y, z) avec par exemple x mouvement de convection, y différence de température entre courant ascendant et descendant, z écart de température vertical. Un point de l'espace de phase tridimensionnel représente un état des variables de l'atmosphère à un temps donné. Ses variables d'états décrivant sa dynamique dans l'espace des points par des points repères de l'espace des phases. Si on représente graphiquement ces valeurs en trois dimensions des trajectoires du point « état de l'atmosphère », elles convergent pour former une figure en forme de papillon. Quelles que soient les valeurs autour de ces valeurs initiales, les séries de résultats semblent « attirer » vers les mêmes boucles. Dans cet espace, le système décrit une, de multiples voire d'innombrables orbites. Ces boucles ont été nommées « **attracteurs de Lorenz** ». L'attracteur de Lorenz est une figure qui occupe une zone de l'espace des phases et peut être considéré comme une combinaison d'orbites périodiques instables.



Attracteur de Lorenz

En 1972, Edward Lorenz, fit sa fameuse conférence intitulée : "*Le battement des ailes d'un papillon du Brésil peut-il déclencher une tornade au Texas ?*".

L'histoire raconte qu'un jour de 1961, il voulut refaire un de ses calculs pour le vérifier mais, pressé d'aller se faire un café, il se contenta d'entrer en machine les données avec 3 décimales à la place des six décimales qu'il utilisait couramment. A sa grande surprise, l'infime variation des données initiales avait entraîné une grande divergence des résultats sur les prévisions météo : au bout d'un certain temps ce n'était plus une tempête au pôle Nord qui s'annonçait, mais une grande sécheresse dans le Sud !

C'est cette hypersensibilité aux conditions initiales qui lui inspira le titre de sa conférence et qui marqua les esprits. L'effet papillon était né : « *même si nous connaissons toutes les lois d'évolution d'un système, notre capacité à en prévoir l'évolution est limitée par la précision de nos mesures initiales* ».

Un autre résultat moins commenté mais beaucoup plus intéressant. Sur deux trajectoires avec des conditions initiales différentes, il obtenait des résultats qui divergeaient totalement au bout d'un certain nombre d'itérations. Mais il constata avec étonnement que les deux séries avaient statistiquement la même distribution de résultats

Lorenz avançait l'idée « *qu'au fil des années les petites perturbations ne modifient pas la fréquence d'apparition des événements tels que les ouragans : la seule chose qu'ils peuvent faire, c'est de modifier l'ordre dans lequel ces événements se produisent.* »

L'effet papillon veut qu'une perturbation minime telle qu'un battement d'aile d'un papillon puisse par des amplifications exponentielles déclencher un cyclone. Cet effet montre que la prédiction à long terme est un non-sens car il n'est pas possible de contrôler toutes les perturbations pouvant exister au niveau de nombreux sous système et de leur environnement. Mais la deuxième révélation de Lorenz veut qu'une indépendance statistique aux conditions initiales des trajectoires au bout d'un certain temps celles-ci convergent vers un attracteur. Derrière le chaos, perce l'invariance !

Dans le langage courant les mots hasard, aléatoire et chaos sont utilisés avec le même sens mais il y a une réelle différence entre hasard et chaos La notion de chaos est souvent associée au désordre et à la confusion. Le scientifique comprend le chaos non pas comme une absence d'ordre mais plutôt comme une notion d'imprévisibilité.

En 1971, les travaux du physicien français David Ruelle (Institut des hautes études scientifiques de Bures-sur-Yvette, Essonne) et du mathématicien hollandais Floris Takens une nouvelle certitude démontrent que des systèmes chaotiques peuvent n'être gouvernés que par un ou quelques paramètres peu nombreux : le caractère chaotique d'un phénomène n'est pas forcément lié à l'existence d'un très grand nombre de facteurs intervenant simultanément. Ils créent le terme « **d'attracteur étrange** » pour caractériser les attracteurs créés à la suite de bifurcation d'un système. Ces attracteurs sont aujourd'hui défini comme des structures fractales grâce à la géométrie de Mandelbrot. La géométrie fractale se situe entre la géométrie Euclidienne (triangles, cercles, rectangles) et les formes complexes de la nature (montagnes, cotes, nuages etc...).

L'astronome français Jacques Laskar et son équipe du Bureau des longitudes ont pu démontrer en 1989 que les planètes internes du système solaire (Mercure, Mars, Vénus et la Terre) ont un mouvement chaotique à l'échelle de la centaine de millions d'années. Ils précisent en 2011 que l'on peut calculer son état pendant 50 millions d'années, mais que prédire les trajectoires des planètes au-delà de 60 millions d'années est illusoire.

Un attracteur étrange signe un système hypersensible aux perturbations qui erre parmi ses milliards de points fixes, il illustre le chaos des systèmes loin de l'équilibre. La forme de l'attracteur permet de caractériser les systèmes dynamiques :

-système déterministe : système modélisable par des équations différentielles.

L'attracteur est un point, le système s'effondre vers lui chaque fois qu'on l'en écarte. Ce point représente l'équilibre du système.

L'attracteur est une courbe fermée, le système parcourt des trajectoires selon une certaine période, il est attiré vers un régime stable et il est insensible aux perturbations

-système chaotique : système dont le comportement est à la fois déterministe et aléatoire. Ses orbites dans un premier temps sont très erratiques mais au bout d'une plus longue observation elles semblent attirées par une forme géométrique et ne repassent jamais deux fois par le même point et ne se croisent pas. (Théorème Poincaré Bendixon).

-système aléatoire : le système évolue au hasard, ses transformations (ses mouvements) ne sont pas régies par des équations, pas de prévisions possibles sur son état futur.

B) Du certain au probable

Dans la seconde moitié du XIX siècle les physiciens ont admis la structure atomique de la matière et la mécanique statistique est née. Celle-ci s'intéresse aux états d'équilibre ou proche de l'équilibre des systèmes au niveau moléculaire, elle complète la thermodynamique. La constitution moléculaire de la matière permet de représenter un gaz comme un ensemble de petites particules qui suivent des trajectoires et subissent des collisions entre elles et contre les parois du contenant. Ces trajectoires sont parfaitement déterminées et prévisibles par les lois de Newton. Mais le nombre gigantesque des molécules dans toute masse de gaz à notre échelle empêche de mener de tels calculs. On a donc recours à une théorisation statistique, dans laquelle on s'intéresse non au sort individuel de chaque molécule, mais à leur mouvement moyen et on déduit ainsi le comportement le plus probable.

Le mouvement brownien décrit en 1827 par le botaniste Robert Brown en observant des mouvements de particules à l'intérieur de grains de pollen est une description mathématique du mouvement aléatoire d'une « grosse » particule immergée dans un fluide et qui n'est soumise à aucune autre interaction que des chocs avec les « petites » molécules du fluide environnant. Il en résulte un mouvement très irrégulier de la grosse particule.

La description physique la plus élémentaire du phénomène est la suivante :

-Entre deux chocs, la grosse particule se déplace en ligne droite avec une vitesse constante.

-La grosse particule est accélérée lorsqu'elle rencontre une molécule de fluide ou une paroi.

Ce mouvement permet de décrire avec succès le comportement thermodynamique des gaz (théorie cinétique des gaz), ainsi que le phénomène de diffusion.

Boltzmann² un des pères de la mécanique statistique, publie en 1877 un mémoire dans lequel il propose une nouvelle interprétation de l'entropie, basée sur un raisonnement probabiliste. L'idée essentielle de Boltzmann est que l'évolution thermodynamique d'un système vers l'équilibre correspond au passage d'un état initial à un autre état statistiquement plus probable. Or un état donné, observable à l'échelle macroscopique, peut être réalisé par un grand nombre de configurations microscopiques, indiscernables à notre échelle. Boltzmann postule que tous les micro-états possibles menant à un macro-état donné sont équiprobables. Pour un système isolé, il propose une définition statistique de l'entropie par une équation reliant l'entropie et le niveau de désordre :

$$S = k \log W^3$$

On note W le nombre d'états microscopiques ou nombre de configurations, W est une mesure quantitative du désordre atomique due à l'agitation thermique et au mélange « au hasard » des atomes et molécules. Le nombre k est appelé constante de Boltzmann, l'unité de l'entropie S est le Joule/T.

Tout apport de chaleur augmente la confusion et l'agitation thermique ce qui a pour effet d'augmenter l'entropie. Ici s'exprime simplement la tendance naturelle des « choses » à se rapprocher de l'état de désordre.

Lançons en l'air un livre de 693 feuillets, il y a plus de chance que les feuilles se trouvent en désordre que dans l'ordre ! (101878 possibilités de désordre pour une seule possibilité d'ordre !).

La tendance des systèmes à évoluer vers les états de plus haute entropie est conforme au 2ème principe de la thermodynamique. L'entropie maximale d'un système isolé est atteinte quand le système est à l'équilibre thermique, il se trouve dans un de ses micro-états qui sont équiprobables. Nous pouvons percevoir le sens de la loi de Boltzmann par le bon sens : un système est en permanence soumis à des perturbations externes imprévisibles (ou peu probables) pour lesquelles il doit réagir (principe action \Leftrightarrow réaction). Le système a plus de chance d'évoluer vers l'une des configurations de plus haute entropie car se sont les plus probables.

L'expression « degré de désordre du système » introduite par Boltzmann introduit une ambiguïté car l'entropie peut être considérée comme une mesure de l'homogénéité du système observé. L'entropie d'un système thermique est maximale quand la température est identique en tout point (équilibre thermique). De même, si on verse un liquide colorant dans un verre

² Boltzmann (1844-1906) physicien et philosophe autrichien.

³ Formule qui figure sur sa pierre tombale à Vienne

d'eau, l'entropie du système coloré sera maximale quand, à la suite du mélange, la couleur du contenu sera devenue uniforme. Tout système isolé, siège d'une agitation aléatoire, tend spontanément à s'homogénéiser de manière irréversible ce qui intuitivement semble contraire à une augmentation du désordre.

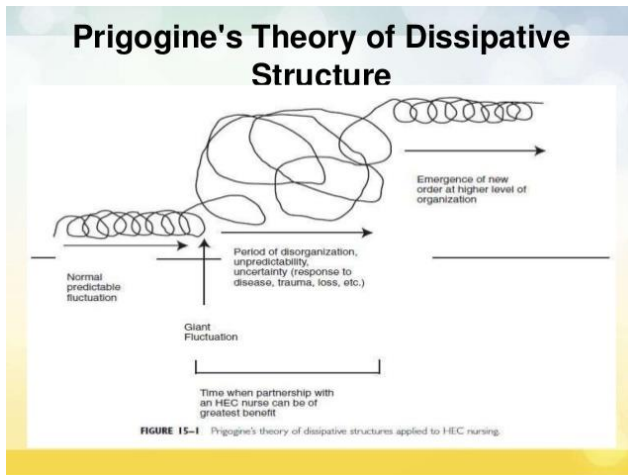
Prigogine s'est intéressé aux phénomènes thermodynamiques qui interviennent loin de l'équilibre qui peuvent jouer un rôle organisateur. Il fut récompensé pour ses recherches par le prix Nobel de chimie en 1977 pour ses contributions à la « **thermodynamique du non équilibre** ». En 1995, dans son ouvrage, « *La fin des certitudes* », il ouvre une nouvelle voie pour la science moderne, une science où le déterminisme n'est plus le dogme absolu.

« La certitude n'a jamais fait partie de notre vie. Je ne sais ce que sera demain. Pourquoi penser que la certitude est la condition même de la science ? La science traditionnelle identifiait raison et certitude, ignorance et probabilité. Il n'en est plus ainsi aujourd'hui. »

« S'éloigner de l'équilibre réserve des surprises » ... « il est impossible de prolonger ce que l'on a appris de l'équilibre, on découvre ainsi de nouvelles situations, parfois plus organisées qu'à l'équilibre. Cela se produit en des points particuliers, qui correspondent à des changements de phase de non équilibre, ce que l'on appelle des points de bifurcation ».

Ilya Prigogine propose en 1969 la notion de « **structure dissipative** » pour désigner le comportement de systèmes ouverts loin de l'équilibre thermodynamique traversés par des flux de matière et d'énergie, ils absorbent de l'énergie et ils créent de l'entropie. Lorsqu'on observe des systèmes, entraînés loin de l'équilibre thermique par une succession d'évènements (Exemple : l'eau en ébullition), peut apparaître lors d'une transition de phase en certains points particuliers appelés « **points de bifurcation** » un nouvel état du système. Ce nouvel état est le produit de processus de restructuration et d'organisation spontanées au sein de ces systèmes, il s'est stabilisé en consommant de l'énergie en provenance de son environnement. Le non équilibre aboutit à une nouvelle cohérence, un nouvel état avec des propriétés nouvelles. Une petite perturbation aléatoire peut prendre des proportions gigantesques qui amène une autre forme d'équilibre : **l'équilibre par fluctuation**. Le système subit une « **brisure spontanée de symétrie** » spatiale avec une structure de nature chaotique. On note également l'irréversibilité du système dans le temps donc une brisure de symétrie temporelle.

Structure dissipative : Cet assemblage de termes contradictoires où structure suggère l'ordre et dissipation évoque plutôt le désordre (gaspillage) révèle le caractère inattendu de la découverte. En effet, le second principe de la thermodynamique est associé au processus de dégradation de l'énergie et de production d'entropie qui fait évoluer le système irréversiblement vers un état d'équilibre identifié comme l'état de désordre maximal. La découverte des structures dissipatives signifie que l'irréversibilité, loin de l'équilibre, peut jouer un rôle constructif et devenir source d'ordre.



L'exemple des cellules de convection de Bénard en est une illustration

Exemple : les cellules de convection de Bénard

On chauffe un récipient contenant un liquide visqueux à base d'huile à l'aide de 2 plaques parallèles qui servent de surface d'échange thermique. Quand on chauffe les 2 plaques, le système évolue vers un équilibre thermique. Si on augmente la température de la plaque inférieure, il se crée un flux d'énergie entre le bas du liquide et le haut du liquide. Au bout d'un moment apparaissent des cellules de convection (des petits mouvements de liquide bien séparés).

On observe un désordre qui s'accroît. Puis loin de l'équilibre un ordre par fluctuation va apparaître, des milliards de molécule vont vibrer à l'unisson puis vont s'auto organiser formant un réseau de macro cellules stables de formes hexagonales contenant plusieurs milliard de molécules.



Plaque froide



Plaque chaude

Une structure dissipative est quelque chose qui existe et ne se maintient que s'il y a un apport constant d'énergie. Les galaxies, les étoiles, les plantes, les animaux peuvent être considérés comme des structures dissipatives La Terre est une double structure dissipative à la fois géothermique et solaire. Les structures dissipatives tendent à maximiser le flux d'énergie qui les traverse.

Prenons un exemple.

Éclairé par le soleil, la Terre reçoit plus d'énergie à l'Équateur qu'aux Pôles, parce qu'à l'Équateur, le soleil passe très près du zénith, tandis qu'aux pôles il reste toujours bas sur l'horizon. Cela entraîne l'apparition de mouvements atmosphériques. L'atmosphère transporte la chaleur de l'Équateur vers les Pôles. C'est ce qu'étudie la météorologie : des cyclones et des anticyclones se forment. Ces mouvements atmosphériques tendent à égaliser la température entre l'Équateur et les pôles. Ainsi en se développant, ces mouvements font disparaître la cause qui les a créés. Ils vont donc s'arrêter. Mais, lorsqu'ils s'arrêtent, les différentes températures réapparaissent. C'est une boucle de réaction négative. Ils vont donc repartir. On observe ainsi des oscillations ayant un caractère purement aléatoire. D'une manière générale, les mouvements atmosphériques maintiennent l'atmosphère au voisinage d'un état dit critique pour lequel la dissipation de l'énergie est maximale. Les structures dissipatives s'auto organisent de façon à être constamment au voisinage d'un état critique de dissipation maximale de l'énergie. Les phénomènes d'auto organisation sont des processus de dynamique non linéaire.

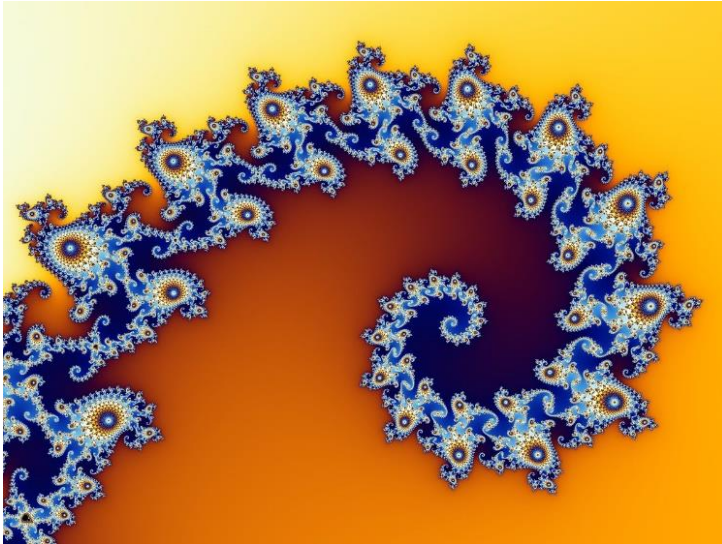
La mécanique statistique permet de définir les propriétés des bifurcations en dynamique non linéaire.

On distingue trois propriétés fondamentales.

- A) tout phénomène d'auto-organisation est déclenché par une fluctuation aléatoire.
- B) la fluctuation est amplifiée et crée des contraintes. Les physiciens parlent de *rupture de symétrie*. Certaines molécules organiques sont différentes de leurs images dans un miroir comme la main droite l'est de la main gauche.
- C) apparition de la mémorisation d'information. Cela implique que l'évolution contient un caractère imprévisible car une évolution prévisible n'apporte pas d'information selon la théorie de l'information de Shannon Claude dans "*A Mathematical Theory of Communication*" publié en Juillet 1948.

Dans la majorité des situations, par un effet domino chaque bifurcation entraîne une autre et on observe une suite de bifurcations : une arborescence **fractale**⁴. Une propriété des structures fractales est d'être invariante par changement d'échelle. Elles ont le même aspect vu à l'œil nu, à la loupe ou au microscope. Ce processus d'auto-organisation est une caractéristique des transitions de phase en physique : le passage de l'état solide à l'état liquide, de l'état gazeux à l'état liquide ou de l'état gazeux à l'état plasma.

⁴ Un flocon de neige est un bon exemple d'arborescence fractale.



En mécanique statistique on peut dire que l'équilibre d'un système est une conséquence de son niveau d'ordre. Quand le milieu est à l'équilibre au niveau macroscopique, mais très désordonné au niveau microscopique, les effets locaux s'inhibent entre eux et on peut écrire des relations causales au niveau global.

Par cette approche **l'équilibre est dynamique**, il devient d'autant plus stable qu'il est plus mobile ! A un maximum d'équilibre correspond un maximum d'action, donc d'énergie consommée.

Aujourd'hui le domaine du chaos, se caractérise par un brouillage généralisé des frontières traditionnelles : entre ordre et désordre, entre aléatoire et non-aléatoire, entre déterminisme et non déterminisme, entre microscopique et macroscopique, entre équilibre et déséquilibre. Il paraît utile à ce point d'évoquer le concept d'émergence en regard du phénomène d'auto-organisation.

Le concept d'émergence

Au XVIIIème siècle, Maupertuis soulève la question de l'émergence dans son « Système de la Nature », essai sur la formation des corps organisés.

« Une attraction uniforme et aveugle, répandue dans toutes les parties de la matière, ne saurait servir à expliquer comment ces parties s'arrangent pour former le corps dont l'organisation est la plus simple. Si toutes ont la même tendance, la même force pour s'unir les unes aux autres, pourquoi celles-ci forment-elles l'œil, pourquoi celles-ci l'oreille ? Pourquoi ce merveilleux arrangement ? Et pourquoi ne s'unissent-elles pas toutes pêle-mêle ? ».

« Jamais on n'expliquera la formation d'un corps organisé par les seules propriétés physiques de la matière ».

De façon générale, on parle d'un phénomène d'émergence quand on trouve un niveau d'organisation à une échelle supérieure qui présente une certaine *nouveauté*, ou qui ne peut pas être prédit à partir des règles qui gouvernent le niveau sous-jacent. Voici quelques exemples typiques de processus émergents :

La liquidité d'un fluide à partir de l'interaction de ses molécules, la cristallisation à partir de certains arrangements d'atomes ou la formation des symétries d'un flocon de neige à partir de la condensation des petites gouttes d'eau ou encore le comportement économique global d'un marché financier à partir des actions des agents individuels ou l'organisation d'une ville à partir des comportements individuels de ses habitants.

Quelques propriétés générales sur les phénomènes émergents permettent de compléter notre propos sur les systèmes dynamiques.

1) L'émergence est un phénomène qui apparaît typiquement dans des systèmes complexes et auto-organisationnels.

2) Une propriété émergente surgit de l'interaction des éléments d'un ensemble ou réseau, dont aucun des éléments n'a cette propriété, et maintient une certaine autonomie par rapport au niveau sous-jacent.

3) L'émergence apparaît spontanément de la dynamique du système. Il n'existe pas un agent qui contrôle l'organisation de manière individuelle.

4) La dynamique locale fait émerger une propriété globale du système, et il apparaît que cette propriété globale a une influence sur la dynamique locale.

III Du vide à la conscience.

Dans cette partie nous allons envisager l'évolution de l'humanité en mettant en abîme les caractéristiques des systèmes dynamiques que nous avons évoquées et les phases de l'évolution de l'univers. Nous distinguerons 4 phases principales :

Le vide des premiers instants du Big Bang, l'apparition de la matière à partir du vide, l'émergence de la matière vivante à partir de la matière inerte et l'émergence de la conscience à partir de la matière vivante.

(Il serait intéressant de développer un axe de réflexion sur l'émergence de la pensée sur naturelle à partir de la conscience !!! je compte sur vos contributions)).

Nous pouvons considérer toutes ces étapes comme des transitions de phases engendrées par des déséquilibres provoqués par le franchissement de seuils qui font apparaître de nouvelles propriétés.

Au début des années 1920, Samuel Alexander et Lloyd Morgan bâtirent une théorie connue sous le nom "d'évolutionnisme émergent". Le monde se développerait à partir de ses éléments de base en faisant apparaître des configurations de plus en plus complexes. Lors de cette croissance et lorsque la complexité franchit certains seuils, des propriétés réellement nouvelles apparaissent. Ce processus conduit à des niveaux d'organisation hiérarchiques successifs. Selon Alexander, quatre niveaux principaux sont à distinguer dans l'évolution de l'univers : tout d'abord, l'apparition de la matière à partir de l'espace-temps, puis l'émergence de la vie à partir des configurations complexes de la matière, puis celle de la conscience à partir des processus biologiques et enfin, l'émergence du divin à partir de la conscience.

Le vide

Il n'est pas question dans le propos de ce document de revenir sur la longue histoire du vide rempli par ses nombreux avatars philosophiques et scientifiques. On retiendra synthétiquement 3 étapes principales : le vide de la mécanique classique, le vide de la mécanique relativiste et le vide de la mécanique quantique.

Sur le plan du macro monde, nous savons que trouver un espace vide sans matière même aux confins des galaxies est délicat même si dans ces zones on ne trouve que quelques particules par m³. On peut par une expérience de pensée, imaginer une « boîte » dans laquelle toutes les particules de matière ont été extraites par une super pompe à vide, le vide obtenu est le vide classique, sans matière ! Pour la physique des rayonnements (ex : l'électromagnétisme) les physiciens ont imaginé une substance comme support pour la propagation des ondes : différentes formes d'éther ont alors peuplé le vide. Le principe de la relativité et la découverte de la constante de la vitesse de la lumière ont rendu inutile la notion d'éther comme milieu permettant aux ondes de se déplacer.

Le micro monde apporte une autre voie pour envisager le vide, plutôt que d'envisager les confins de l'univers pour trouver du quasi-vide nous pouvons porter notre recherche vers l'infiniment petit. Depuis que Rutherford a découvert la structure de l'atome, de forme sphérique avec un diamètre de l'ordre de 10⁻¹⁰ m (il varie selon les atomes), il est constitué d'un noyau qui concentre plus de 99,9 % de la masse et des électrons qui se distribuent sur des niveaux d'énergie selon des nuages de probabilités qui sont de 10 000 à 100 000 fois plus étendu que le noyau lui-même. Un atome est donc environ 10⁵(100 000) fois plus grande que

son noyau (si le noyau était un ballon de foot de 20 cm de diamètre, l'atome correspondant serait une sphère de 20 km !).

Force est de constater que l'ensemble de la matière 10^{80} atomes nous révèle au niveau subatomique un monde vide !

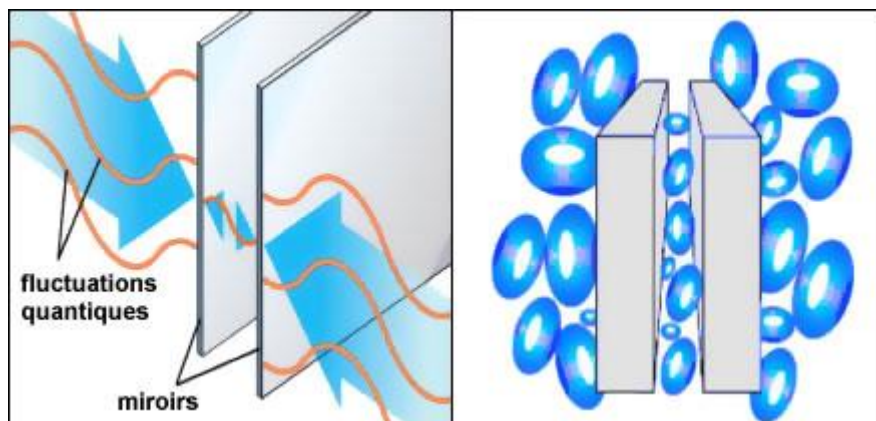
L'effet Casimir a démontré expérimentalement l'existence du vide quantique.

En 1948, le physicien Hendrik Casimir postule l'existence d'un effet d'attraction entre deux plaques parallèles conductrices (deux miroirs par exemple). Pour cela, il démontre, grâce à la théorie quantique des champs, que les fluctuations quantiques du vide exercent une pression de radiation (pression exercée sur une surface par un rayonnement électromagnétique) sur l'extérieur des deux plaques qui tendent ainsi à se rapprocher.

Les plaques sont ainsi attirées sous l'effet d'une force, baptisée « force de Casimir », inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare. Plus précisément, ce sont les fluctuations quantiques du champ électromagnétique qui sont à l'œuvre dans ce phénomène. Les fluctuations correspondent à des particules virtuelles. Entre les deux plaques conductrices, seuls les photons dont la longueur d'onde est inférieure à la distance séparant les deux plaques peuvent exister. Dès lors, la somme des photons virtuels entre les deux plaques est nécessairement inférieure à la somme des photons virtuels à l'extérieur des plaques (qui, eux, n'ont aucune contrainte de longueur d'onde pour exister). Les photons virtuels extérieurs étant plus nombreux, ils exercent une pression de radiation externe supérieure à la pression interne, créant ainsi une force rapprochant les deux plaques.

Si L est la distance entre les 2 plaques, $L = n \lambda$ (λ longueur d'onde d'un photon)

La densité d'énergie du vide entre les 2 plaques est fonction du nombre de photons, plus elles sont proches moins il y a de photons qui peuvent exister entre les 2 plaques, plus la portion de vide étudiée est petite plus la dynamique énergétique est intense.

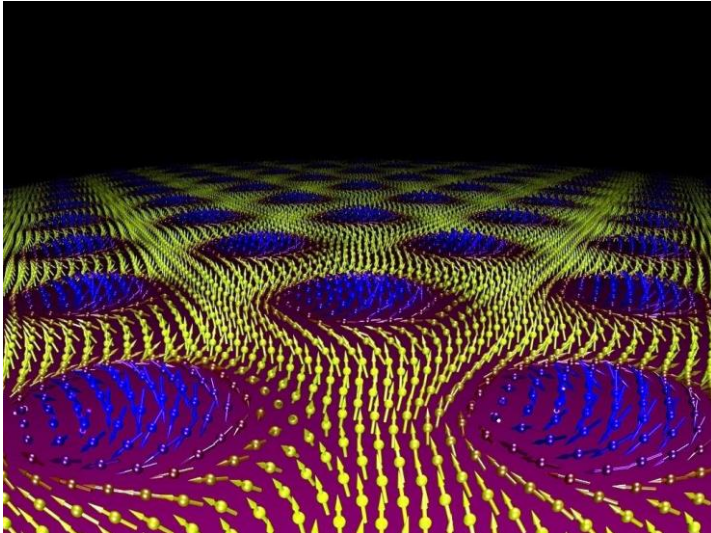


Pour décrire le micro monde les physiciens utilisent la mécanique quantique. En mécanique quantique la dualité onde-corpuscule introduite par Faraday a progressivement disparu au profit de fonctions d'ondes probabilistes (équation de Schrödinger) et de la notion de champ. Le modèle standard qui décrit l'ensemble des particules est fondé sur une **théorie quantique de champ relativiste**. La notion de champ, rend plus difficile les représentations mentales car aucun de nos sens n'a la capacité de les percevoir directement, seul leurs effets sont perceptibles à l'aide de mesures. Dans le monde quantique toutes les particules et leur

interaction sont des quantas qui **émergent de vibrations dans un champ** (Ex : les photons sont les quanta du champ électromagnétique).

*Les particules (élémentaires et composites) et les 3 types d'interactions fondamentales : électromagnétique, nucléaire forte et faible sont aujourd'hui décrites par le « **modèle standard de la physique des particules** ». Les interactions entre les particules se manifestent non pas par des contacts entre les particules mais via des particules messagères. Dans la théorie quantique des champs (QFT) les particules messagères sont décrites en termes d'échange de particules virtuelles (les bosons de jauge).*

Des champs existent en tout point de l'espace, des fluctuations locales et discrètes produisent des états excités qui varient autour d'un niveau fondamental. En tout point on peut attribuer une quantité physique représentée par un opérateur mathématique (tenseur, vecteur, scalaire) que l'on peut quantifier. Tout est vibration, aucun point de l'espace n'est immobile. Les champs quantiques sont des systèmes dynamiques « *effervescents* » qui échangent de l'énergie par couplage.



Les représentations dont nous disposons sont des abstractions mathématiques représentées par des vecteurs dans un espace géométrique de Hilbert et les équations de Dirac.

Toute particule peut changer de nature (Ex : neutron-> proton + e⁻ +antineutrino+ 782 keV) ce qui signifie qu'un champ a gagné de l'énergie et un autre en a perdu (loi de conservation de l'énergie), des invariants quantiques (spin, parité, quantité de mouvement...) sont conservés lors de ce processus de transformation. Le vide quantique est défini par l'état d'énergie le plus bas. Le principe d'indétermination d'Heisenberg, étendue au temps et à l'énergie, fournit une formule qui permet d'apprécier la valeur moyenne de l'énergie du vide présente en tout point de l'espace qui fluctue en permanence autour d'une valeur moyenne non nulle :

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2^5 .$$

⁵ Le symbole « Δ » désigne la variation d'énergie et l'intervalle de temps. Le symbole « \hbar » désigne la constante de Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ j/s) réduite – $\hbar/2\pi$

Cette inégalité montre que l'énergie d'un système est inversement proportionnelle à la durée de la mesure effectuée. Ainsi pendant un laps de temps très court, de l'énergie est « empruntée » puis « restituée » au vide, durant ce laps de temps la loi de conservation de l'énergie est violée. Durant cet intervalle de temps très court l'incertitude sur l'énergie $\Delta E \geq \hbar/2t$ peut atteindre un seuil pour satisfaire la relation $E = mc^2$ et ainsi créer une particule à partir du vide quantique, ce mécanisme est appelé « **fluctuation quantique du vide** ». Afin de respecter le principe de symétrie C (conservation de la charge électrique) les particules apparaissent par paire « particule-antiparticule » (Ex : positron-électron) qui s'annihilent en se rencontrant. La durée de vie de ces couples est tellement faible qu'ils ne peuvent être observés et mesurés, ils sont donc qualifiés de **particules virtuelles**. A noter que plus la masse d'une particule est élevée, plus sa durée de vie est courte. *Il est important de noter que les particules virtuelles ne sont pas moins « réelles » que les particules classiques ; les deux proviennent d'excitations de champs quantiques, mais, dans le cas des particules virtuelles, cette excitation est de plus courte durée. Sur le plan mathématique elles sont indiscernables.*

Ce principe théorique est vérifié à la fois dans les collisionneurs de particules et dans les observations cosmologiques du confins de l'univers observable. Lorsqu'un électron et un positon lancés à pleine vitesse dans les collisionneurs se rencontrent, ils produisent une gerbe de traces représentant différents types de particules et de l'énergie due à la puissance de la collision. Cette énergie est fournie au vide et permet de passer le seuil énergétique nécessaire pour passer de l'état virtuel à l'état réel ce qui crée de vraies particules matérielles qui sortent du vide et apparaissent quelques "instants" sur les écrans d'ordinateurs. Ainsi, les particules virtuelles et réelles de matière baignent dans ces champs effervescents en émettant des quantas d'énergie.

Si nous regardons un champ de hadrons, nous voyons des particules virtuelles, gluons et 3 quarks qui s'agitent, apparaissant et disparaissant dans l'espace vide. Si nous regardons un champ porté par la force nucléaire faible, nous voyons des bosons W et Z. Si nous regardons un champ électromagnétique nous voyons des photons, et si nous pouvions regarder un champ gravitationnel nous verrions des gravitons, mais la gravité est une force très faible, et les rares gravitons sont difficiles à voir (non observé à ce jour). Dans un collisionneur, lorsqu'un électron et un positron se rencontrent, ils s'annihilent et transfèrent leur énergie au fourmillement du vide, cette énergie crée de vraies particules matérielles qui sortent du vide et apparaissent quelques "instants" sur les écrans d'ordinateurs. Un champ est donc un système vibratoire (oscillateur harmonique) qui possède une longueur d'onde et la formule $E = h \nu$ de Max Planck (1858 – 1947), fournit l'énergie d'un champ⁶. Ce couple de valeurs, énergie et fréquence, caractérise le champ en chaque point de l'espace. Chaque point de l'espace permet l'émergence ou l'annihilation de particules.

Avec ces quelques éléments de base embarquons nous pour le voyage.

Du vide à la matière

Citons Gilles Cohen Tannoudji in « *La matière Espace-Temps* »

⁶ E est l'énergie d'un mouvement, h est la constante de Planck et ν la fréquence.

« Des transitions de phase s'accompagnant de brisures de symétrie ont différencié les particules et leurs interactions, et produit le germe de toute la variété des structures actuellement présentes dans l'univers ».

Comme nous l'avons vu plus haut, une transition de phase est provoquée par un déséquilibre qui produit un changement d'état structurel qualitatif à grande échelle (Ex de la matière : gazeux, liquide, solide, plasma). L'importance des transitions de phases provient du fait qu'un corps peut être sans cesse entre deux et ou plusieurs phases. Les changements d'état créés par ces transitions de phase entraînent une « **brisure spontanée de symétrie** » avec une libération d'énergie.

La notion de symétrie est présente dans le corps humain, les figures géométriques et les cristaux. En mathématique, une symétrie est définie comme une transformation qui laisse inchangées les objets (exemple, un cube reste identique à lui-même lorsqu'on le déplace ou qu'on le regarde dans un miroir). Pour toute symétrie il existe une grandeur privilégiée qui reste constante au cours du mouvement. A noter que pour la physique des particules on complète les symétries mathématiques par les symétries CPT (charge, parité, temps). En cosmologie les symétries permettent de démontrer les lois de conservation. Les particules élémentaires du modèle standard et les interactions naissent de ces déséquilibres.

L'histoire du Big Bang révèle une succession de "changements d'états" du cosmos dus à des transitions de phases. Le cosmos ne serait pas aussi harmonieux qu'on le dit ! Une succession de brisures spontanées de symétries détruisant son équilibre à plusieurs reprises à mesure qu'il s'étend et se refroidit.

Dans les premiers instants, l'univers (espace de 10^{-35} m, la masse volumique 10^{+94} Kg/m³ et la température 10^{28} Kelvin) ne contient que « l'énergie du vide », aucune trace de matière. Des conditions chaotiques agitent l'espace-temps et provoquent d'importantes fluctuations quantiques qui modifient la structure de l'univers primitif. Des particules-antiparticules virtuelles surgissaient un bref instant du vide et y retournaient aussitôt selon l'indétermination d'Heisenberg vu plus haut. Une symétrie parfaite règne, toutes les interactions et toutes les particules sont mêlées dans un champ unique : « champ de Higgs de grande unification ».

Puis à 10^{-43} s survient une transition de phase avec une première brisure de symétrie qui entraîne l'apparition de la force de gravitation qui devient autonome à côté d'une force électro nucléaire (union des interactions électromagnétiques et nucléaires fortes et faibles) .

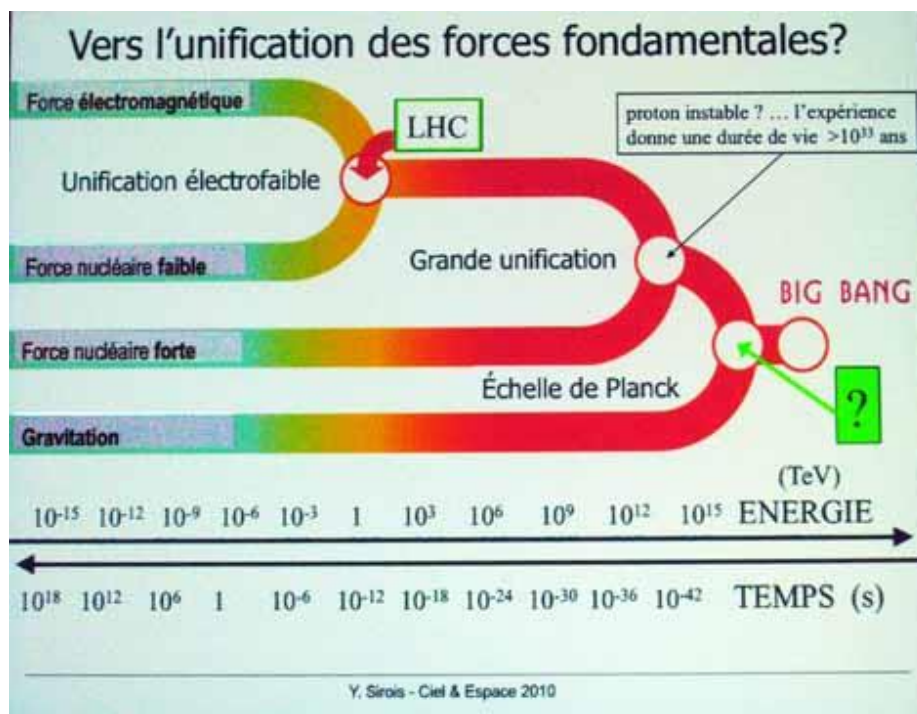
A 10^{-35} s, se produit une fulgurante transition de phase période dite « inflationnaire⁷ » qui engendre une deuxième brisure de symétrie qui sépare la force électro nucléaire unifiée des premiers instants en une force nucléaire forte et une force électrofaible, ce qui a pour effet de libérer une grande quantité d'énergie due à un important déséquilibre thermique. Cette transition de phase va provoquer une brutale expansion de toutes les dimensions d'un facteur 10^{50} , en une durée de 10^{-35} secondes. L'énergie libérée par la brisure de symétrie va être captée par les couples particule-antiparticule virtuelles (*des quarks et hyperons- baryon IQ+*) et selon la loi d'équivalence énergie-> matière - **E=mc²** vont persister et entrer dans le monde réel. Les particules virtuelles ont été matérialisées grâce à ce brutal apport énergétique du au déséquilibre thermique et le changement de pression du à la modification volumique ($PV= k/T$). Mais la particularité de ce phénomène de transformation de particules virtuelles en particules réelles est qu'il ne respecte pas la symétrie numéraire (des quarks), on

⁷ L'inflation est une théorie proposée par le physicien Alan Guth en 1979

compte seulement un milliard d'antiparticules pour un milliard et une particule. Ce déséquilibre en faveur des particules par rapport aux antiparticule produit l'apparition de la matière (fermions) et de la lumière (photons) dans le vide quantique originel. Les particules qui composeront le noyau atomique (protons et neutrons) et les électrons résultent de ce phénomène de création/annihilation de particules éphémères dites « virtuelles ».

A 10^{-12} seconde, période dite : « **baryogénèse** » la température a chuté, elle est de l'ordre 10^{15} degrés K (un million de milliards), ce qui a pour effet de découpler la force électrofaible en 2 forces : la force électromagnétique et la force nucléaire faible. (*Glashow, Weinberg et Salam obtiendront le prix Nobel en 1979 en retrouvant la symétrie fondamentale permettant de réunir les forces électromagnétique et nucléaire faible*). La force de gravitation et les 3 forces du modèle standard sont maintenant distinctes.

Les quarks « survivants » compte tenu de la baisse de température vont réagir à la force nucléaire forte et s'assembler selon un mécanisme appelé « **confinement des quarks** » pour former les mésons et les baryons (protons et neutrons). Il est également admis qu'à la fin de cette période se manifeste le mécanisme de Higgs conférant leur masse aux particules existantes. Hypothèse confirmée par la découverte du boson de Higgs⁸ au LHC de Genève en 2012.



Trois minutes environ après le big bang, phase de **nucléosynthèse primordiale**, à une température voisine du milliard de kelvins des conditions favorables ont permis à des nucléons isolés de s'unir pour donner naissance à de petits assemblage, les premiers noyaux atomiques simples. En effet les photons n'ont plus assez d'énergie pour casser les liaisons nucléaires fortes des noyaux. Apparaissent ainsi les noyaux d'atomes tels ceux de deutérium (1 P+1N), d'hélium-3 (2P + 1N), Hélium -4 (2P+2N) et hydrogène (1P). D'autres assemblages plus complexes tentent de se constituer mais ils sont instables et disparaissent. L'Univers est

⁸ Boson Higgs : Existence postulée en 1964, découvert grâce au LHC du Cern . Prix Nobel attribué à Englert, Higgs en 2013.

alors composé essentiellement de noyau d'hélium-4 et d'hydrogène. Ces proportions sont confirmées par des observations des galaxies très lointaines et donc très anciennes. La densité de matière non-relativistes (les noyaux) et celle des rayonnements relativistes (photons) sont égaux. Certaines théories placent ici les origines de la matière sombre ?

La cosmologie moderne précise que pour obtenir un Univers fait uniquement de matière, il a fallu satisfaire trois conditions⁹ lors de la baryogénèse :

- l'univers n'est pas en état d'équilibre thermodynamique, .
- des brisures spontanées de symétrie CPT

Les travaux des 3 Nobels Japonais de physique 2008 ont permis d'expliquer la brisure spontanée de symétrie matière-antimatière.

« Nous sommes tous des enfants de la brisure de symétrie » ont affirmé les membres du comité Nobel.

- la non-conservation du nombre baryonique¹⁰.

..... et 380 000 ans plus tard, la température 3000 K, ne permet plus au rayonnement photonique de briser les liaisons électron-proton (force nucléaire faible). Les noyaux se combinent avec les électrons pour former les premiers atomes d'hydrogène ou d'hélium (mécanisme de recombinaison). Le rayonnement photonique se découple de la matière et les photons peuvent se propager et la lumière fut !

L'univers est devenu transparent pour la lumière.

Ce rayonnement fossile *est aujourd'hui mesuré à 2,7 K* ! Si l'on considère que la température des 3 000 K a été divisée par 1000 car l'univers depuis cette période selon les calculs a grandi dans les mêmes proportions.

La nucléosynthèse stellaire va jouer un rôle majeur dans la création des éléments chimiques. Les premières étoiles massives sont le siège d'une succession de réactions nucléaires de plus en plus complexes qui aboutissent à tous les éléments plus légers que le fer, par exemple le magnésium, le silicium ou le soufre. Mais ces étoiles ne se contentent pas de produire des éléments lourds, elles se chargent aussi de les distribuer lors de leur explosion finale en supernova, lorsque l'enveloppe riche en éléments nouveaux est déchirée et expulsée vers l'espace interstellaire. Génération après génération, les étoiles massives enrichissent peu à peu l'Univers en éléments lourds, lui permettant de développer une chimie complexe et lui donnent l'opportunité de créer la vie, notamment le Carbone.

⁹ 1967 physicien Russe Andrei Sakharov

¹⁰ le nombre baryonique est un nombre quantique, qui est égale au tiers de la différence entre le nombre de quarks et le nombre d'anti-quarks)

Laissons le temps passé, et reprenons quelques dix milliards d'années après le BB. Dans une galaxie appelée la voie lactée une nouvelle étoile s'est allumée notre soleil et dans l'amas de poussière tournoyante, des planètes et des étoiles ont vu le jour selon une mécanique bien rodée dirigée par la force de gravitation. Au début de la vie d'une étoile se trouve un nuage de gaz (principalement de l'hydrogène), qui va commencer à se contracter ce qui a pour effet d'augmenter la température. Au-dessus de 10 millions de kelvins les noyaux d'hydrogène vont fusionner. L'énergie libérée va contrebalancer l'effet de la gravité, et l'étoile atteint un premier équilibre. Les poussières s'agglomèrent et finissent par aboutir à un volume sphérique du fait de la rotation, cette rotation a pour effet de faire augmenter la température vers le centre et des éléments se combinent pour former des atomes. Les atomes les plus lourds (Ex le fer) sont attirés vers le centre et les plus légers vers l'extérieur, une partie va être éjectée vers l'espace et une autre restera et constituera l'atmosphère.

Au bout d'1 milliard d'année pour ce qui va devenir la Terre, la baisse de température va permettre la solidification, la liquéfaction et la gazéification : un deuxième équilibre est atteint. Mais cet équilibre est instable car les désintégrations atomiques produisent de l'énergie de rayonnements. L'atmosphère est alors occupée par le CO₂, ce qui entraîne un effet de serre qui augmente la chaleur en bloquant le rayonnement. L'eau issue de la liquéfaction de la glace absorbe le CO₂, l'effet de serre diminue, la température baisse et un nouvel équilibre s'établit (3 milliards d'années). La Terre se compose d'un noyau en fusion, d'un manteau en matière liquide, d'une écorce en matière solide d'une hydrosphère d'eau-liquide et d'une atmosphère de gaz. Ce théâtre est prêt pour l'effet papillon de Lorenz où chaque événement le plus minime aura des répercussions sur l'ensemble.

De la matière inerte à la matière vivante

« Les découvertes en physique au cours des dernières décennies nous ont conduits à accorder une grande importance au concept de symétrie brisée. L'évolution de l'univers depuis sa naissance est envisagée comme une succession de brisures de symétries. Lorsqu'il surgit du Big Bang, l'univers est symétrique et sans structure. Au fur et à mesure qu'il refroidit, il brise une symétrie après l'autre, et autorise ainsi l'apparition d'une structure de plus en plus différenciée. Le phénomène de la vie lui-même prend naturellement sa place dans ce tableau ». ..

Georges Lochak dans « La géométrisation de la physique.

La vie est due à un déséquilibre thermique entraînant une brisure de symétrie.

Du vide quantique fluctuant en permanence avec des créations annihilations de particules-antiparticules virtuelles ont surgi les briques de matière grâce à des déséquilibres successifs qui ont entraîné des brisures spontanées de symétrie. La matière inerte est au niveau microscopique un véritable système dynamique en permanente transformation parfois brutale. Cette matière inerte est la troisième étape de notre existence potentielle. La seconde comme nous l'avons évoqué plus haut est le vide quantique ou « virtuel ». *La première pourrait être le virtuel de virtuel du vide quantique ?*

Chaque étape est auto organisée par rapport à la précédente et n'élimine ni ne remplace la précédente. Le vide quantique est un processus d'auto-organisation de l'espace-temps primitif, la matière un processus d'auto-organisation du vide.

Il nous faut encore se rappeler quelques principes chimiques élémentaires. Dans le milieu primitif on trouve des atomes H - , O = , N ≡ (NH₃ ammoniaque) et C 4 (CH₄ méthane) etc. Un atome possède une caractéristique appelée valence¹¹ qui définit la potentialité de lien d'un atome avec d'autres.

Dès 1924, Alexandre Oparin¹² suggéra que les molécules organiques réduites utilisées par les premiers systèmes vivants furent fabriquées dans le milieu primitif à partir de méthane, CH₄, une forme réduite du carbone.

L'hypothèse d'Oparin se trouva confortée trente ans plus tard par l'expérience remarquable de Stanley Mille¹³ qui obtint quatre acides aminés protéiques en soumettant un mélange gazeux de méthane, d'hydrogène, d'ammoniac et d'eau à des décharges électriques qui provoquent un brutal et puissant déséquilibre thermique. Il identifia également l'acide cyanhydrique (HCN) et le formaldéhyde (HCHO), deux constituants qui permettent d'accéder à la plupart des molécules élémentaires du vivant contemporain dans des conditions simples. Progressivement, selon l'énergie disponible vont se former des molécules de plus en plus complexes, puis l'ARN, les protéines et enfin l'ADN.

L'ARN n'a pas disparu pour laisser place à l'ADN, plus moderne. Il a été utilisé pour de multiples usages comme la transcription de l'ADN à l'extérieur de la cellule (ARN messenger). Mais il est certain qu'au départ, lorsque l'ADN n'existait pas, c'est l'ARN qui fonctionnait à l'intérieur de la cellule et produisait les protéines. De même, la matière n'a pas fait disparaître le vide ni la matière vivante n'a fait disparaître la matière inerte...

Il faut noter ici le magnifique ouvrage de Schrödinger publié en 1944 « *Qu'est-ce que la vie ?* » dans lequel il propose que les caractères héréditaires soient portés par un « *solide aperiodique* », c'est-à-dire un objet à structure filamenteuse régulière, mais irrégulière à plus petite échelle (la structure en double hélice de l'ADN n'était pas encore découverte).

La biologie moléculaire a permis d'établir que tous les êtres vivants partagent les mêmes grosses molécules porteuses d'information (ADN, ARN et protéines), et le même code génétique pour transférer l'information entre ces molécules. Cette unité du monde vivant conduit à l'hypothèse d'une origine commune, un ancêtre possédant toutes ces caractéristiques qui a été baptisé Luca (acronyme de l'expression anglaise Last Universal Common Ancestor).

A l'aide des données de la génétique comparée basée sur les séquençages d'organismes appartenant aux trois grands domaines du vivant (archées, bactéries, eucaryotes), Luca, qui vivait il y a plus de 3 milliards d'années, n'est pas la première cellule apparue sur notre planète. En effet, la génomique comparée a montré l'existence de molécules communes à tous les êtres vivants et donc aussi à Luca : il s'agit de 3 molécules d'ARN et de 34 protéines présentes dans le ribosome.

¹¹ La valence d'un atome est la capacité de liaison de cet atome avec l'hydrogène soit le nombre d'atomes d'hydrogène maximal avec lequel un atome peut se lier. L'atome d'hydrogène possède toujours 1 seul crochet. Pour les atomes courants, cette règle peut être étendue aux autres atomes que l'hydrogène et donc donner le nombre de "crochets" que possède un atome pour se lier à d'autres et former des molécules.

¹² Alexander Oparin 1894-1980 biochimiste soviétique Théorie de l'origine de la vie basée sur une chimie organique probiotique.

¹³ Stanley Miller 1930-2007 biologiste américain

Aucune de ces étapes n'est simple et sans questions, sans débats, sans contestation. Comme dans bien des domaines des sciences, notre connaissance sur l'origine de la vie n'est qu'une frontière de notre ignorance du moment, l'avenir nous permettra de faire reculer notre ignorance et favoriser la compréhension (n'ayons *pas peur des espaces infinis* !)

Pour résumer notons les points communs :

- les acides aminés sont issus d'un processus d'auto-organisation de composants de la matière.
- l'ARN, d'un processus d'auto-organisation des acides aminés,
- chacune de ces évolutions est due à une rupture de symétrie.
- dans chaque étape, il s'agit d'émergence à partir de structures dissipatives issues du non-équilibre.
- enfin notons le dernier point commun, il s'agit à chaque fois de structures hiérarchiques interactives entre les différents niveaux d'auto-organisation. Cela signifie que, sans cesse, de la matière repasse au vide et, sans cesse, de la matière vivante repasse à la matière inerte, sans cesse les acides aminés reproduisent de l'ARN et, sans cesse, de l'ARN se redécompose. La complexité de chaque niveau provient des rétroactions de destruction. Construction et déconstruction sont des mécanismes permanents et rétroactifs entre les niveaux d'organisation. De là naît l'ordre, le désordre et leur lien dialectique.

Ensuite laissons les mécanismes Darwiniens intervenir....

Il apparaît donc aujourd'hui que la nature, à toutes les échelles, est formée de systèmes dynamiques dissipatifs et non d'objets statiques, fondées sur une agitation et tirant leur énergie du désordre, du non équilibre. Ces structures, espèces de membranes entourant des entités, étant les seuils entre des désordres à plusieurs niveaux. Les désordres sont eux-mêmes le produit du combat permanent des forces contradictoires, des tendances opposées qui l'emportent ou s'inhibent mutuellement alternativement. Les constantes ne sont rien d'autre que les seuils entre deux désordres.

A noter que des recherches viennent d'être initialisées pour analyser la véritable constance des constantes de notre monde !!! et si les constantes étaient inconstantes dans le temps longs.

Il faut noter ici l'hypothèse révolutionnaire de Jeremy England, professeur au MIT qui se démarque des hypothèses les plus populaires sur l'origine de la vie qui évoquent une soupe primordiale, un coup de foudre ou tout simplement une chance colossale. Au lieu de cela, il pense que l'origine et l'évolution ultérieure de la vie découlent simplement des lois fondamentales de la nature et qu'elles n'ont rien de surprenant.

Du point de vue de la physique, il existe une différence essentielle entre les êtres vivants et les amas d'atomes de carbone inanimés. Les premiers ont tendance à beaucoup mieux capturer l'énergie de leur environnement et dissiper cette énergie sous forme de chaleur. England a dérivé une formule mathématique afin d'expliquer cette capacité. La formule, basée sur des lois de physique établies, indique que quand un groupe d'atomes est entraîné par une source d'énergie externe (comme le soleil ou des carburants chimiques) et entouré par un bain de chaleur (comme l'océan ou l'atmosphère), il se restructure progressivement afin de dissiper de

plus en plus d'énergie. Cela pourrait signifier que dans certaines conditions, la matière acquiert inexorablement l'attribut physique associé à la vie.

Au cœur de sa théorie, England s'appuie sur le deuxième principe de la thermodynamique, l'énergie tend à se disperser au cours du temps et augmente l'entropie. Ainsi, des particules qui se déplacent et interagissent ont tendance à adopter des configurations dans lesquelles l'énergie est répartie. Finalement, le système arrive à un état d'entropie maximale appelée « équilibre thermodynamique » dont l'énergie est répartie uniformément. Bien que l'entropie augmente au fil du temps dans un système « fermé », un système « ouvert » peut maintenir son entropie basse en augmentant grandement l'entropie de ses environs. Une plante, par exemple, absorbe la lumière solaire extrêmement énergétique, l'utilise pour construire des sucres, et éjecte la lumière infrarouge, une forme beaucoup moins concentrée d'énergie. L'entropie globale de l'univers augmente lors de la photosynthèse qui dissipe la lumière du Soleil alors même que la plante elle-même empêche sa décomposition en maintenant une structure interne ordonnée. L'auto-réplication (ou la reproduction, en termes biologiques) est un processus qui entraîne l'évolution de la vie sur Terre, est un mécanisme par lequel un système pourrait dissiper une quantité croissante d'énergie au fil du temps. « *Une bonne façon de dissiper plus est de faire plus de copies de vous-même* », explique-t-il.

De la matière vivante à la conscience de l'être

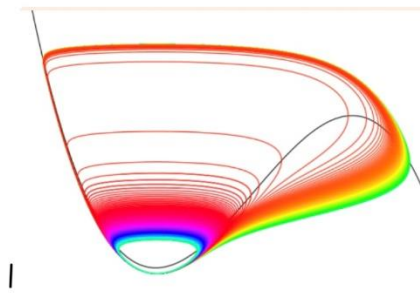
Les capacités d'évolution et d'auto organisation du vivant en général et du cerveau en particulier sont propices à produire de l'émergence.

Le concept d'auto organisation revêt une importance considérable : des cellules en groupe gèrent elles-mêmes leur fonctionnement et même leur existence, en dehors de toute programmation, comme le font les « structures dissipatives » évoquées plus haut. Nous pouvons ainsi imaginer qu'un système biologique se comporte comme un système dynamique avec une loi d'évolution non linéaire permettant des marges de liberté (loterie génétique) et de créativité (adaptabilité épigénétique). Ces capacités sont variables d'une espèce à l'autre et contribuent à la survie de l'espèce. Le processus d'émergence qui permet l'apparition, au cours de l'évolution, d'un organe nouveau ou d'un caractère nouveau laisse supposer que ces nouvelles structures correspondant à des besoins nouveaux ont assuré la survie de l'espèce.

Que peut-on dire sur l'émergence de la conscience ?

Il y a consensus pour affirmer que la conscience n'est pas un organe, ni une faculté mais un produit du système neuronal. Les neurosciences nous montrent que le fonctionnement de notre cerveau physique suit les lois de la science, notamment la conservation de l'énergie dans les mécanismes des neurotransmetteurs (neurones=>synapse) et que ces mécanismes relèvent de la mécanique quantique. Nous sommes constitués de milliards d'éléments aux interactions complexes, et pour prédire tel acte en réaction à tels stimuli il faudrait donc connaître avec précision l'état initial de chaque composant à un temps donné => cette complexité rend impossible à l'aide d'une loi (d'un programme !) de prévoir précisément le comportement d'un individu qui relève de l'aléatoire. On peut parler d'un mode dit « **déterminisme stochastique** » !!!!

Le principal composant du système nerveux est le neurone. Le neurone est lui-même un système dynamique, il est modélisable par un ensemble de variables qui décrit un état et d'une loi qui permet de connaître l'évolution des états de ces variables dans le temps. Le modèle du système neurone est représenté par 4 variables (gradient électrochimique de la membrane et probabilités des états des canaux ioniques (V, n, h, m) qui permettront d'obtenir un espace de phase quadridimensionnel avec des portraits de phase caractéristiques.



attracteur du neurone

Si on considère un neurone qui n'est soumis à aucun stimulus, le potentiel de la membrane est le potentiel de repos. D'un point de vue dynamique, les variables restent dans le même état : on a donc un point d'équilibre.

Si lorsque qu'on le soumet à un stimulus le potentiel revient au potentiel de repos, on dit que l'équilibre est stable. Sur le portrait de phase, on voit que les trajectoires reviennent toujours en ce point, ce point représente un attracteur.

Si au contraire, il ne revient pas, on a un équilibre instable. Les pics de potentiels s'enchainent : la trajectoire est contenue dans un cycle limite : ça représente une orbite, le phénomène ne s'arrête pas. Le neurone passera d'un état à un autre. Ce changement est une bifurcation. C'est ce qui se passe si l'on soumet le modèle à des stimulus fréquents, il passe de son état d'équilibre à un cycle. Il a été constaté que quel que soit le nombre de stimuli, il apparait uniquement quatre types de bifurcations. On conclut donc que ce n'est pas le stimulus qui va jouer dans la manière dont le neurone va répondre mais les bifurcations. Nous avons toutes les caractéristiques des systèmes dynamiques qui permettent loin de l'équilibre de voir apparaître des phénomènes émergents qui donneront progressivement les liaisons nécessaires pour la conscience. La neurobiologie distingue deux grandes étapes dans la construction évolutive de la conscience : la conscience primaire et la conscience supérieure.

La conscience primaire fonctionne essentiellement sur le mode inconscient (à ne pas confondre avec l'inconscient Freudien !). Elle est présente parmi les espèces disposant d'un système nerveux central est capable d'intégrer un nombre suffisant de signaux internes ou externes provenant des capteurs sensoriels et traitées par les modules correspondant du cerveau. Elle permet au corps de distinguer ce qui appartient au sujet (au corps du sujet) et ce qui relève de l'extérieur (Ex les vaisseaux sanguins qui sont devant la rétine sont éliminés !). Cette conscience naît de boucles permanentes entre les aires de mémorisation et les aires de perceptions qui reçoivent les stimuli. Le produit de cette intégration, émerge au niveau du cerveau associatif (noyau dynamique), et commande en retour un certain nombre de systèmes neuro-moteurs effecteurs lesquels déterminent à tout instant le comportement global (de l'animal). La conscience primaire probablement est apparue lors de la transition entre les reptiles et les mammifères. Des arrangements particuliers de neurones sont venus compléter le système en s'organisant en circuit "réentrant " entre les aires concernées d'une mémoire dite de mémoire de catégorie et de valeur. Cette mémoire concourt à créer des cartes mentales qui constituent la conscience primaire. Cette conscience n'est pas capable de traiter des idées de soi dans un mode social, ni de n'importe quel concept du futur, ou du passé.

Cependant, les être qui en sont dotés ont une mémoire à long terme et il est très important de comprendre la valeur d'une telle acquisition pour une créature vivante.

Imaginons dans une jungle un animal entendant un certain son, une lumière qui change, le vent qui change de direction et que l'animal se mette à courir. Un physicien pourrait dire qu'il n'existe aucun lien causal entre ces signaux, mais si, dans les éléments cruciaux de l'histoire

*de cet animal ce que cette combinaison signifiait était la **présence d'un prédateur**, l'animal cherche à fuir le danger. Il a pu exister des animaux dépourvus de ses circuits de réentrance, créateur de scènes, ils ont pu survivre mais ils avaient beaucoup moins de chances en termes d'aptitude sélective.*

Les mécanismes construisant la conscience primaire ont donc un rôle d'identification et de protection de l'intégrité du sujet, tant au regard des agressions internes (homéostasie pour rétablir les constantes vitales), que des agressions externes. Mais ils font sans doute davantage par exemple produire des messages globaux, sous forme de « *conscience d'être conscient* » méritant ainsi d'être présentés comme des précurseurs d'un autre niveau de conscience.

La conscience supérieure (*supérieure car spatialement au-dessus*), apparaît un peu plus tard, dans l'évolution, un nouvel ensemble de circuits a dû se développer progressivement dans les aires de cerveau concernée avec des circuits ré entrants qui ont permis à des animaux comme par exemple les primates supérieurs d'acquérir des capacités sémantiques pour se référer à un lexique si ce n'est même à une syntaxe. Cette émergence de la conscience supérieure est concomitante à l'acquisition du langage symbolique en créant de nouvelles boucles dans le processus allant de la mémoire aux perceptions. Ce niveau supérieur de conscience dote l'individu du **concept de soi** et des notions **de futur – passé**. Antonio Damasio¹⁴ évoque le « **soi-bibliographique** », produit par le cortex cérébral qui confère aux animaux supérieurs la capacité de garder en mémoire les expériences passées, mais aussi pour les plus évolués, d'anticiper l'avenir. Ce niveau est particulièrement développé chez les humains qui possèdent la fois la syntaxe, la sémantique et la phonologie. Du fait des mutations génétiques (aléas), l'organisme produit de nouvelles hypothèses sur son environnement, dont certaines se révéleront « vraies », en ce sens qu'elles amélioreront son adaptation, et d'autres « fausses », en ce sens qu'elles entraîneront sa disparition.

Ainsi, la conscience a émergé dans l'évolution de l'espèce humaine comme une nécessité pour survivre dans son environnement !

Parmi les primates, l'homme a développé les domaines de la conceptualisation et de l'abstraction. Bien sur l'héritage génétique et celui de l'épigénèse, ont largement contribué à cette construction, mais l'on ne peut rejeter l'apport de l'auto organisation qui rend compte de la créativité. Le cerveau humain, du fait de son extraordinaire richesse, est le seul cerveau de la série animale capable de concilier à ce niveau le changement par l'auto organisation (la plasticité cérébrale) et la répétition par les instructions génétiques qui lui permettent d'assurer sa stabilité et sa survie.

Pour conclure

« Equilibre- déséquilibre », « ordo -chaos », « déterminisme- aléatoire » sont souvent des notions présentées en opposition. Les premiers étant en général connotés positivement (du bien) et leur contraire négativement (le mal). Ses sens ont été créés par la créature « homme » petite entité de l'univers avec une conscience qui reste formatée par un « géocentrisme anthropique », un homme auto-centré doté d'un « Sens » hypothétique. Il reste des étapes dans l'évolution pour admettre une vue plus modeste de type héliocentrique l'homme « poussière d'étoile » ...peut-être les post humains qui remplaceront les Homo Sapiens? Le soleil explosera dans 4 milliards d'année, il reste du temps !!!.

¹⁴ Antonio DAMASIO « *l'autre moi-même* » 09/2010

J'ai essayé dans cette présentation de mettre ces notions en perspective pour créer une dialogique que j'espère enrichissante propre à déséquilibrer les certitudes et ainsi ouvrir nos esprits interdisciplinaires.