

L'évolution est dans les boucles

par **Gérard Donnadiou**

Vice-président de l'Association française de science des systèmes (AFSCET)

Président de l'Association française des Amis de Pierre Teilhard de Chardin

Professeur de sciences religieuses au Collège des Bernardins (Paris)

Ancien professeur associé à l'IAE de Paris (Université Panthéon-Sorbonne)

Avec la conférence inaugurale du professeur Christian de Duve, ce 8^{ème} Congrès européen de science des systèmes a débuté sous les heureux auspices de l'évolution du vivant. L'orateur nous a gratifié d'une magistrale histoire de la vie dans laquelle les inventions du vivant émergent toujours à partir de celles du passé qu'elles intègrent en les dépassant.

Ma conclusion va se situer dans la même perspective, mais en l'extrapolant en amont de l'apparition du vivant - c'est la cosmogénèse de l'univers depuis le big-bang il y a 13,7 milliards d'années - et en aval de la vie, depuis l'apparition avec l'*homo sapiens*, voici 150.000 ans, d'un nouvel état de la nature : l'**état pensant**. Ce dernier est à l'origine, comme nous allons le voir, d'un rebondissement de l'évolution vers l'hyper-complexité, rebondissement prenant appui sur des systèmes quasiment immatériels : les systèmes symboliques.

Comment se réalise le déroulement de ce gigantesque processus évolutif ? Sur quel mécanisme repose-t-il ? Sans prétendre qu'il s'agisse de l'explication unique et encore moins exhaustive, ma thèse va consister à montrer qu'**au cœur du processus se trouve la boucle**. Je fais là référence à Edgar Morin¹ : "*En deçà de la boucle, rien : non pas le néant, mais l'inconcevable et l'inconnaissable. En deçà de la boucle, pas d'essence, pas de substance, même pas de réel : le réel se produit à travers la boucle des interactions qui produisent de l'organisation*". En quelque sorte, l'évolution est à base de boucles, et même de boucles de boucles !

Mais qu'est-ce qu'une boucle ? Un itinéraire qui ramène au point de départ, nous dit le *Robert méthodique*, alors que le *Petit Larousse*, plus savant, précise qu'une boucle est "*une suite d'effets telle que le dernier réagit sur le premier*". Et là, le systémicien se retrouve en pays connu. Depuis la naissance de la cybernétique, il sait l'importance dans les systèmes artificiels comme dans les systèmes vivants de ces boucles de rétroaction dites négatives (stabilisatrices), positives (amplificatrices) ou ago-antagonistes² (c'est-à-dire pouvant changer de polarité sans que cela soit exactement prévisible).

Nous voilà alors embarqués dans la recherche de ces boucles qui structurent le réel, depuis la matière présumée inerte des systèmes physiques jusqu'aux systèmes vivants et pensants caractéristiques de l'humain.

1. Au commencement était la relation

1-1) Des premiers instants de l'Univers à l'expansion des galaxies

Selon le physicien Trinh Xuan Thuan³ : "*Un des développements les plus marquants des vingt dernières années est sans nul doute le mariage de la physique des particules avec la cosmologie. Notre vaste Univers est parti d'un état inimaginablement petit, chaud et dense, avec des températures et des énergies si extrêmes qu'elles ne pourront jamais être produites*

¹ Edgar MORIN, *La méthode, 1. La Nature de la Nature*, Seuil, 1977, p.381

² Concept introduit par Elie BERNARD-WEIL, son livre *Précis de Systémique Ago-Antagoniste : introduction aux stratégies bilatérales*, L'Interdisciplinaire, Limonest, 1988

³ TRINH XUAN THUAN, *Le chaos et l'harmonie*, Fayard, 1998, p. 315

sur Terre et n'existeront que dans l'imagination des hommes. La grande expérience a été faite une fois pour toutes il y a quinze milliards d'années et il nous revient maintenant de contempler cet univers et de reconstituer son histoire. L'infiniment petit a accouché de l'infiniment grand".

Comment cela s'est-il passé si l'on s'en tient au modèle standard de la naissance de notre Univers, connu sous le nom de **big-bang** et accepté par la plupart des astrophysiciens ? Au départ, un éclair d'énergie pure surgissant en un lieu où n'existent encore ni espace ni temps, un lieu vide de matière mais plein d'énergie. Au bout de quelques milliardièmes de seconde (temps de Planck), tandis que l'énergie primordiale se déploie dans un gigantesque processus d'expansion et de refroidissement, une condensation d'énergie en matière prend naissance sous la forme d'une **corpusculation**, donnant des particules matérielles de divers types (électrons, protons, neutrons, etc.) ainsi que du rayonnement quantifié sous forme de grains de lumière (photons, gluons). Avec les particules de matière, entités dénombrables et ponctualisables, vont apparaître l'espace et le temps : un espace dilaté par l'expansion, un temps entropique associé au refroidissement.

Ces particules élémentaires qui naissent du big-bang, peut-on les décrire et les analyser ? Et là, une surprise nous attend. Selon le "modèle standard" de la physique quantique tel que décrit par G. Cohen-Tannoudji et M. Spiro⁴, un nucléon, le proton par exemple qui constitue le noyau de l'atome d'hydrogène, paraît devoir se ramener à un simple agrégat de particules encore plus élémentaires : les quarks, comme indiqué dans la figure de gauche ci-après. Mais cette représentation ne donne qu'une très vague idée de l'interaction permanente qui existe entre les trois quarks composants, lesquels n'ont pas d'existence indépendante en dehors des liens qui les retiennent attachés les uns aux autres. Or ces liens sont eux-mêmes bien étranges, comme l'a souligné François Dubois⁵ à partir de la représentation de droite issue de calculs numériques de chromatographie quantique. La structure topologique du proton se présente sous forme d'une boucle quasi-continue traduisant la relation continue d'échange de photons entre les quarks. En quelque sorte, écrit l'auteur, "le proton serait d'abord caractérisé par ce bavardage permanent de photons entre quarks", ces photons qui sont des particules purement énergétiques, sans masse et sans charge électrique, présentes dès les premiers instants de l'univers.



Structure du proton
modèle composé de trois quarks
en interaction



Structure du proton en
chromatographie quantique
(ARt SCIENCE MEDIA, 1992)

Cette structure du corpuscule de matière (proton, neutron et plus largement nucléons) traduit l'équilibre dynamique de ce constituant fondamental de la matière. Nous en retiendrons

⁴ G. COHEN-TANNOUJJI, M. SPIRO, *La Matière-espace-temps; la logique des particules élémentaires*, Fayard, 1984

⁵ François DUBOIS, *L'intelligence est dans les boucles*, communication aux Journées d'Andé du 31/8/2007, AFSCET

que la matière, au sein de ses constituants stables les plus massifs (les nucléons) se présente sous forme de boucles et que ces boucles sont le résultat de la relation continue (l'échange permanent de photons) entre les composants de la matière (les quarks)⁶. Dans notre quête des composants ultimes de la matière, on ne trouve plus de matière au sens des matérialistes du 19^{ème} siècle, mais de "*l'énergie cristallisée*" et de la *relation* !

Une autre surprise nous attend encore concernant ces étranges particules élémentaires, qu'elles soient matérielles ou énergétiques. Contre le déterminisme de la science positiviste du 19^{ème} siècle, la physique quantique met en évidence, dans le comportement des particules élémentaires, une **indétermination** radicale, c'est-à-dire qui n'est pas l'expression de notre ignorance mais traduit la nature même du réel. Suivant la manière dont on cherche à les observer, ces particules élémentaires se présentent :

- soit sous forme de corpuscules dénombrables et ponctuellement localisables,
- soit sous forme d'ondes énergétiques (champ électromagnétique) occupant continûment tout l'espace,
- soit sous forme encore plus abstraite d'une fonction mathématique décrivant une simple probabilité de présence en un lieu et ayant ainsi valeur d'une information.

Pire encore, les particules élémentaires semblent garder le "souvenir" de leurs interactions passées et se comportent de manière liée lors d'observations ultérieures, faites pourtant en des lieux différents. Cette expérience, imaginée sous forme d'un paradoxe par Einstein, Podolsky et Rosen (d'où son nom d'EPR) pour démontrer les limites de la théorie quantique, a été effectivement réalisée en 1975 par le physicien français Alain Aspect. Contre la position d'Einstein, l'expérience valide en tous points la physique quantique, montrant la possibilité de ces surprenants états de la matière, dits états intriqués. Sur l'intrication, le prix Nobel français Claude Cohen-Tannoudji écrit : "*Les états intriqués décrivent des systèmes inséparables*". Quand deux entités physiques sont dans un état intriqué, deux photons par exemple, "*même s'ils sont très éloignés l'un de l'autre, on ne peut plus les considérer comme des entités séparées. Ils forment un Tout*".

1-2) L'étoffe de l'Univers n'est pas que matérielle

Tous ces phénomènes traduisent le caractère "étrange" du monde quantique. Selon la boutade du physicien Richard Feynman, "*les objets quantiques sont complètement dingues*". Et le physicien américain Lothar Schäfer observe : "*Les objets quantiques élémentaires sont actifs, leurs activités sont spontanées, et ils répondent aux principes mentaux (l'information, les ondes de probabilité, l'ordre d'états virtuels)*". Telle est bien la conclusion qui s'impose à la suite des observations précitées.

Matière et énergie sont les deux grandes catégories de la physique et de la chimie. La connaissance scientifique de la matière commence, au 18^{ème} siècle, avec les travaux de Lavoisier. Quant à celle de l'énergie, elle est le fleuron de la recherche des physiciens de la seconde moitié du 19^{ème} siècle avec les découvertes de la thermodynamique et de l'électromagnétisme. Et depuis la théorie de la relativité, au début du 20^{ème} siècle, nous savons que sous certaines conditions, matière et énergie sont transmutables l'une dans l'autre selon la relation $E = MC^2$. Cette *énergétique généralisée* a constitué et constitue encore pour beaucoup de scientifiques le modèle accompli de toute science.

Or, il est impossible, muni de cette seule grille d'analyse, de comprendre le fonctionnement des objets parmi les plus simples rencontrés en microphysique, comme nous venons de le voir. Suivant la manière dont on les observe, les particules élémentaires se

⁶ Cette représentation du nucléon n'a a priori rien de commun avec la "théorie des cordes" développée par les physiciens depuis ces vingt dernières années, laquelle se situe à un niveau encore plus infra-atomique. Notons cependant que dans cette théorie, ces cordes minuscules se présentent aussi comme des micro-boucles.

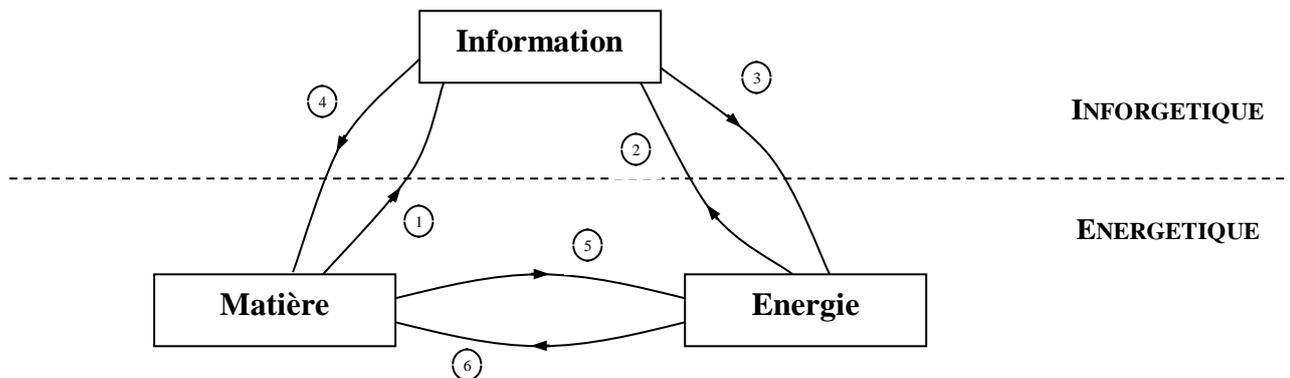
présentent en effet sous trois formes différentes (matière, énergie ou information) et elles gardent même le "souvenir" de leurs interactions passées (états intriqués), se comportant ensemble comme constituant un "Tout". Selon le physicien Bernard d'Espagnat⁷: "*L'assise ultime, ce n'est pas la matière, l'atome, les particules. C'est une structure mathématique, c'est un logos*". Ce jugement rejoint étrangement la formule paradoxale du mathématicien américain John Archibald Wheeler, pionnier de l'informatique :

IT FROM BIT⁸

que le philosophe Jean-Pierre Dupuy⁹ traduit par "*Au commencement était l'information*".

Ce rôle de l'information s'observe également dès les premiers niveaux d'organisation du vivant, avant de devenir massif et évident dans les organismes supérieurs. On le retrouve également dans les systèmes technologiques imaginés par les hommes, notamment dans les chaînes de régulation indispensables au fonctionnement de ces systèmes. Ainsi, au sein de tous les systèmes complexes, qu'ils soient vivants ou artificiels, les échanges de matière et d'énergie supposent toujours l'intervention d'un troisième terme : l'**information**.

Dans cette triade matière-énergie-information, l'information pour se manifester a besoin de s'inscrire dans la matière (**1** : information structure portée par exemple par l'ADN dans la cellule vivante) et de dépenser pour cela un peu d'énergie (**2** : énergie de commande). L'information peut alors contrôler un flux d'énergie important (**3** : énergie de puissance) et venir modeler la matière (**4** : information structure). Dans le même temps, des dissipations énergétiques et des transformations matérielles se produisent (**5** et **6**). Le systémicien Jean-Louis Le Moigne a proposé d'appeler **inforgettique** tout ce qui a trait aux interactions de l'énergie/matière avec l'information.



Pour sa part, l'épistémologue Edgar Morin a proposé de désigner par le terme de **trialectique** ce jeu complexe, articulante trois boucles entre matière, énergie et information. On peut voir dans ce jeu à trois, la forme la plus intime mais aussi la plus générale de l'étoffe de l'univers que nous allons retrouver à tous les niveaux de la complexification.

2. Un Univers qui se complexifie

Sans remettre en cause, au niveau de l'ensemble de l'Univers, le principe physique d'entropie selon lequel un système fermé ne peut qu'évoluer vers l'état d'homogénéité maximale (c'est-à-dire la disparition de toute forme d'ordre ou d'organisation), il existe dans

⁷ Bernard d'ESPAGNAT, Une réouverture des chemins du sens, dans l'ouvrage de Jean STAUNE, *Science et quête de sens*, Presses de la Renaissance, p.26

⁸ **Bit** : *binary digit*: unité élémentaire d'information dans le langage de l'informatique Ce qui est (*it*) découle (*from*) de l'information (*bit*)

⁹ Jean-Pierre DUPUY, Fabriquer de l'auto-organisation, *Teilhard Aujourd'hui* n°33, mars 2010, pp. 55-77

l'Univers, à un niveau local, des systèmes ouverts au sein desquels une diminution de l'entropie est possible, tout du moins pour un certain temps, car à long terme l'entropie reprendra ses droits. La planète Terre est un de ces systèmes ouverts et de même les différents assemblages matériels (systèmes chimiques puis systèmes vivants) auxquels elle a donné naissance au cours du grandiose phénomène de l'Evolution. Sur de tels systèmes, on observe alors une croissance ininterrompue d'ordre, l'apparition de formes de plus en plus complexes d'organisation : c'est le phénomène de complexification.

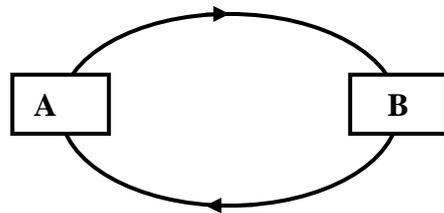
2-1) La complexité est dans les systèmes...et les systèmes reposent sur des boucles

Selon un adage bien connu des biologistes et des systémiciens, il n'existe pas de matière vivante, encore moins pensante, mais des systèmes vivants puis pensants. Cet adage n'entend pas nier la réalité de la vie, ni de la pensée et de la conscience. Il signifie bien au contraire que la vie et la pensée ne peuvent être expliquées par un processus de réduction analytique, selon le postulat matérialiste. Vie et pensée traduisent un **effet d'émergence** lié à la complexification à l'œuvre dans l'univers, depuis les particules élémentaires de la physique jusqu'aux constructions socio-culturelles les plus élaborées produites par les humains.

Le fonctionnement d'un système complexe repose sur l'existence, au plus intime de lui-même, de multiples **boucles de rétroaction**. Rappelons qu'il existe trois types de boucles de rétroaction :

- **les boucles positives** (ou explosives), sur lesquelles repose la *dynamique* du *changement*,
- **les boucles négatives** (ou stabilisatrices), sur lesquelles reposent *l'équilibre* et la *stabilité*,
- **les boucles ago-antagonistes**¹⁰, rencontrées dans les systèmes vivants et les systèmes sociaux et qui peuvent se montrer aussi bien positives que négatives, ceci sans que l'on puisse prévoir le moment de ce changement de polarité. De telles boucles sont à l'origine de phénomènes tout à fait contre-intuitifs et particulièrement difficiles à appréhender selon la logique habituelle.

L'existence de boucles de rétroaction rend difficile la distinction entre l'effet et la cause d'un phénomène au sein d'un système. C'est le fameux paradoxe de la poule et de l'œuf : l'effet rétroagit sur la cause qui devient effet et il est impossible de dire qui se trouve à l'origine! A donne B qui donne A qui donne B qui donne ...



On parle alors de **causalité circulaire**. Une des conséquences en est de rendre inattendu et imprévisible le comportement des systèmes complexes, de faciliter l'apparition de certaines réactions-réponses spontanées qui prennent la forme d'*effets pervers*. C'est pourquoi on ne doit jamais ouvrir ou couper une boucle de rétroaction. En systémique, ceci constitue l'erreur majeure et impardonnable. Une boucle doit toujours être étudiée dans sa globalité dynamique en refusant de disjoindre les pôles.

Généralisant cette notion de causalité circulaire à l'ensemble d'un système complexe composé d'une multitude de boucles de rétroaction, Edgar Morin en vient à parler de globalité récursive (ou principe de récursion) pour désigner cette étonnante propriété des systèmes

¹⁰ Concept introduit par Elie BERNARD-WEIL, son livre *Précis de Systémique Ago-Antagoniste : introduction aux stratégies bilatérales*, L'Interdisciplinaire, Limonest, 1988

complexes. Il écrit¹¹: "*Un processus récursif est un processus où les produits et les effets sont en même temps causes et producteurs de ce qui les produit*". Le système devient alors cause de son propre comportement, ce qui revient à le doter de buts, de projet, voire d'intentionnalité. A ce stade, on doit réintégrer le concept de finalité dans le discours scientifique, ce qui constitue un changement épistémologique de portée considérable.

2-2) Les niveaux d'organisation, le principe d'émergence et la complexification

Le fonctionnement d'un système repose sur l'existence, au plus intime de lui-même, de multiples *boucles de rétroaction*, certaines négatives, d'autres positives, d'autres encore ago-antagonistes. Articulées entre elles selon une logique de réseau, ces boucles combinent leurs actions pour maintenir à la fois la stabilité du système et l'adapter aux évolutions de son environnement. En cela consiste le processus de régulation.

Ce que l'on appelle **structure** du système n'est rien d'autre que la description du réseau de ces chaînes de régulation. Cette structure est généralement hiérarchisée selon plusieurs **niveaux d'organisation**, par exemple l'agencement des différents atomes au sein d'une macro-molécule; le rôle respectif du noyau, des mitochondries, des protéines dans le fonctionnement d'une cellule eucaryote; l'architecture des différents organes et leur mise en synergie chez un animal; l'étagement des différentes strates neurologiques dans le système nerveux central de l'*homo sapiens*; l'organigramme des fonctions dans une entreprise, etc.

A chaque niveau d'organisation peuvent apparaître des propriétés nouvelles et surprenantes qui de soi ne sont pas impliquées par les niveaux d'organisation inférieurs. C'est le **principe d'émergence**, autre manière de désigner la complexification à l'œuvre dans l'univers. Edgar Morin définit ce principe de la manière suivante¹²: "*On appelle émergences, les qualités ou propriétés d'un système qui présentent un caractère de nouveauté par rapport aux qualités ou propriétés des composants considérés ou agencés différemment dans un autre type de système*".

Cette observation est à l'origine d'une typologie des systèmes, fondée sur leur ordre supposé d'apparition dans le temps, qui est représentée par un graphe (donné en page suivante) qui se lit de bas en haut. Cette typologie a son origine dans les réflexions du grand jésuite paléanthropologue Pierre Teilhard de Chardin, lorsque dans les années 1930, il travaillait à la rédaction de son ouvrage "*Le Phénomène humain*". C'est ce qu'il appellera sa *Phénoménologie* à laquelle il donnera, dans un court essai¹³ rédigé quinze mois avant sa mort, une forme quasi-parfaite. Le graphe repris ici a été construit en tenant compte des données les plus récentes de la science. Il retrouve les points essentiels de la pensée de Teilhard, l'enrichissant de nouveaux aspects et validant ses grandes intuitions.

Le graphe retrouve d'abord, depuis le big-bang jusqu'à l'apparition de l'*homo sapiens*, le schéma évolutif décrit par Teilhard avec ses points critiques successifs :

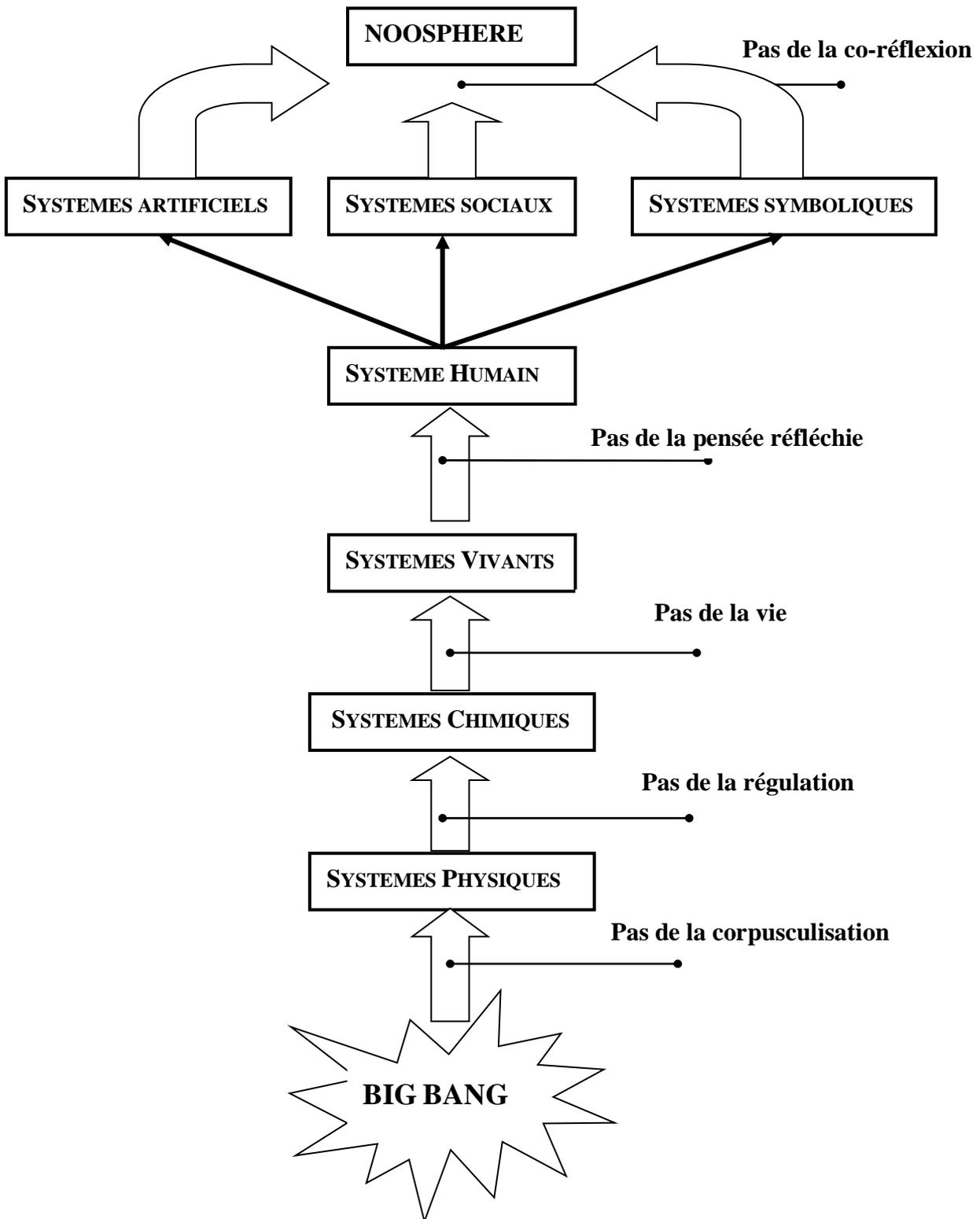
- le **pas de la corpusculisation** qui suit immédiatement le big-bang avec la formation des particules élémentaires puis des atomes,
- le **pas de la régulation** (que Teilhard n'a pas signalé) pour traduire le passage des systèmes physiques aux systèmes chimiques, lesquels voient la formation des molécules et l'apparition des mécanismes de catalyse avec les premières boucles de régulation,
- le **pas de la vie** qui voit l'apparition des premiers systèmes vivants puis leur adaptation aux divers environnements, leur diversification croissante et leur complexification,

¹¹ Edgar MORIN, *Introduction à la pensée complexe*, EME, 1991, pp. 99-100

¹² Idem, p.106

¹³ *Un sommaire de ma perspective phénoménologique du monde*. Cet essai se trouve dans le tome XI des Œuvres, *Les Directions de l'Avenir*

- le **pas de la conscience** ou **pensée réfléchie** sur lequel Teilhard s'attarde longuement. Il est lié à l'apparition de *l'homo sapiens* et s'accompagne de l'invention du langage humain, lequel rendra possible, comme nous allons le voir, l'existence des systèmes symboliques.



A partir du franchissement du pas de la pensée réfléchie, avec l'apparition de *l'homo sapiens*, l'évolution change de régime : de quasi exclusivement biologique, elle devient socioculturelle avec l'apparition de trois grands types de systèmes :

- les **systèmes sociaux** qui depuis les temps historiques, de la cité-Etat à l'Empire, ne cessent de grossir, prenant aujourd'hui des dimensions de plus en plus vastes à la taille même de la planète. Tant par le nombre des éléments englobés (les individus humains) que par la diversité et la richesse des relations entre ces éléments (avec le rôle clef joué par le langage verbal et écrit), les systèmes sociaux humains vont déborder très vite et de loin en complexité toutes les réalisations des sociétés animales.
- les **systèmes artificiels** dont l'invention de l'outil est la première manifestation. L'homme est un mammifère faiblement spécialisé au plan somatique. Chez lui, l'évolution a travaillé essentiellement sur le système nerveux central et non sur la recherche d'adaptation des autres organes. La puissance de pensée de son cerveau lui a alors permis d'inventer l'outil et il est devenu le "*spécialiste de la non spécialisation*", c'est-à-dire capable, grâce à des prothèses artificielles, d'explorer toutes les spécialisations animales sans s'emprisonner dans aucune. Il est même sorti de son milieu terrestre en inventant la capsule spatiale. Et il communique à des distances folles grâce à des réseaux électroniques couvrant toute la terre.
Désormais, l'outil a cédé la place à des systèmes artificiels, composés d'éléments matériels inertes soigneusement agencés entre eux, et dont la complexité commence à se rapprocher de celle du vivant. Mais ces systèmes artificiels sont toujours utilisés en symbiose avec l'homme lui-même; ce sont des systèmes homme/machine.
- les **systèmes symboliques** purement abstraits, immatériels, construits à partir du langage et qui s'échangent aujourd'hui sur Internet à la vitesse de la lumière. Ces systèmes symboliques sont d'ailleurs au cœur du phénomène de l'évolution humaine. Devenus divers et nombreux (puisqu'on peut y ranger la science, la philosophie, le droit, la littérature, l'art, etc.), ils s'identifiaient à l'origine à un noyau religieux composé de mythes, de rites et d'interdits. C'est pourquoi le grand spécialiste en sciences religieuses du 20^{ème} siècle, Mircea Eliade, a pu écrire : "*Toute l'humanité sort du religieux*".

De la mise en symbiose de ces trois types de systèmes résulte l'émergence d'une réalité nouvelle - la **noosphère** - correspondant pour Teilhard de Chardin au franchissement d'un "*second seuil de la réflexion*", collectif cette fois, le **pas de la co-réflexion**.

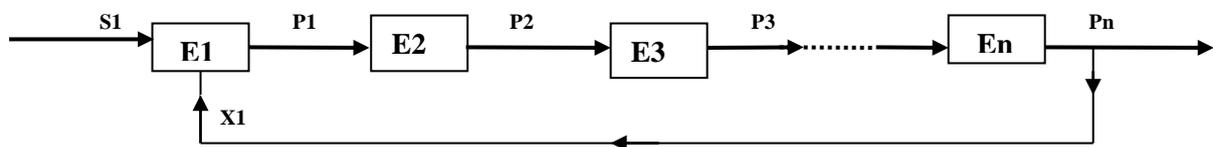
3. Le pas de la régulation

Nous voici au second seuil de complexité tel qu'il apparaît sur la Terre dès que le refroidissement de la planète va rendre possible la formation des systèmes chimiques, notamment ces macromolécules issues de la chimie du carbone et qui constitueront les premières briques de la vie. Les systèmes physiques étaient d'abord constitués de particules élémentaires apparues peu après le big bang au moment du pas de la corpusculisation. Nous avons décrit leur caractère "étrange" et l'impossibilité de les réduire aux lois trop simples du matérialisme positiviste. Avec la formation des galaxies et des étoiles, ces particules se sont assemblées pour donner des atomes, des plus légers comme l'hydrogène aux plus lourds comme l'uranium ; bref, tous les corps simples de la classification de Mendeliev. Ce sont ces atomes (poussière d'étoile comme dit Hubert Reeves) que l'on va retrouver sur les planètes au moment de leur formation. Et il faudra le long travail tellurique de la Terre pour qu'apparaisse les premières molécules et d'abord celle si simple, si commune et pourtant si extraordinaire que l'on appelle l'eau (OH₂).

Dans un premier temps, la formation des molécules à partir des atomes met en œuvre de simples processus électromagnétiques : mise en commun d'électrons par plusieurs atomes qui se trouvent alors reliés. Ceci se réalise au travers d'une réaction chimique qui paraît obéir à un déterminisme énergétique sans mystère. Mais à partir de molécules plus grosses, particulièrement les macromolécules hydrocarbonées de la chimie organique (les protéines

par exemple), le processus de combinaison chimique se complexifie et va mettre en évidence le rôle étrange d'un tiers corps chimique, le **catalyseur**, qui semble intervenir par sa seule présence sans être apparemment partie prenante dans la réaction elle-même. En réalité, le catalyseur intervient bien dans la réaction. Celle-ci se déroule en effet en plusieurs étapes et le catalyseur, consommé dans une première étape, se trouve intégralement reconstitué dans une étape suivante, tout se passant au final comme s'il n'était intervenu que par sa seule présence.

Or, un tel mécanisme fait sortir la réaction chimique de la classique relation de causalité linéaire pour l'ouvrir sur la boucle, puisque le catalyseur se trouve reconstitué en fin de cycle. Ceci est particulièrement visible dans les processus de catalyse enzymatique qui sont à la base de la chimie du vivant. Rappelons que la cellule vivante est une "société" de plusieurs dizaines de milliards de macromolécules dans laquelle se déroulent des phénomènes de régulation chimique d'une extraordinaire complexité. Dans cette "société", l'enzyme est une macromolécule de nature protéique (poids moléculaire de 10 000 à 100 000), capable de catalyser une réaction chimique spécifique, c'est-à-dire de fabriquer un produit à partir d'un substrat. La vitesse de réaction est modifiée par la présence d'un tiers produit (effecteur), lequel peut intervenir soit en augmentant la vitesse de réaction (activateur) soit en la diminuant (inhibiteur). Dans la cellule, les différentes réactions enzymatiques s'enchaînent les unes aux autres, les produits obtenus lors d'une réaction aval pouvant être effecteurs des réactions situées en amont, ce qui est le propre d'une boucle de rétroaction.



E : ENZYME (grosse molécule protéique)

S : SUBSTRAT

P : PRODUIT

X : EFFECTEUR modifiant la vitesse de réaction

ACTIVATEUR, rétroaction positive
(INDUCTION)

INHIBITEUR, rétroaction négative
(REPRESSION)

C'est de la combinaison des rétroactions positives (induction) et négatives (répression) que résultent à la fois la conservation de l'équilibre et le développement de la cellule.

4. Le pas de la vie et la biogénèse

Qu'est-ce qui caractérise le mieux un être vivant, sinon sa capacité à maintenir le plus longtemps possible sa structure et à la reproduire dans un environnement incertain. Tout système vivant se comporte comme si il était doté d'un projet, d'une finalité qui est **survivre et se reproduire**. D'où provient cette étrange propriété qui n'émerge véritablement qu'avec le franchissement du pas de la vie ?

Il semble bien que le chercheur français Pierre Vendryès¹⁴, avec son concept d'autonomie relatif aux organismes vivants, ait apporté la réponse. Mais pour pouvoir l'explicitier, puis l'extrapoler au pensant, il faut d'abord la mettre sous forme systémique.

4-1) L'autonomie dans le vivant

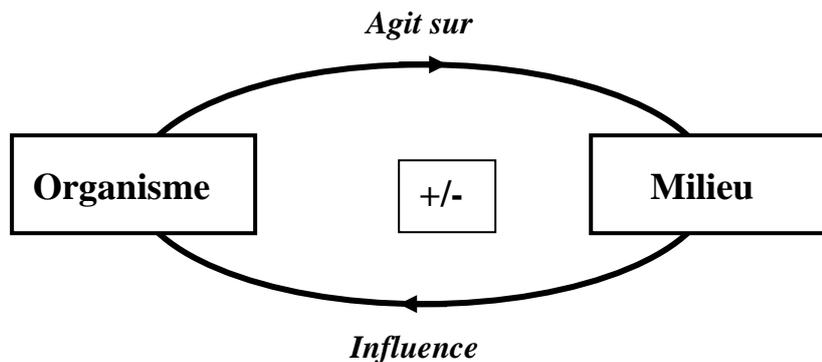
L'énoncé fondamental de Vendryès, *"L'organisme, en acquérant son autonomie par rapport à son milieu extérieur et à partir de lui, acquiert la possibilité d'entrer avec lui en*

¹⁴ Pierre VENDRYÈS, médecin et chercheur français (1908-1989). Il a jeté les bases d'une science fondamentale des êtres autonomes, allant de la cellule vivante jusqu'à l'organisme humain avec son libre arbitre.

relations aléatoires", signifie tout simplement que l'être vivant peut échapper partiellement au déterminisme de son milieu, cela en imaginant des réponses qui lui sont propres et de soi imprévisibles (*aléatoires*). Pierre Vendryès parle alors d'indéterminisme relationnel et cette propriété du vivant résulte pour lui :

- de la constitution par l'organisme de réserves de matière, d'énergie et d'information,
- de l'existence d'une "clôture organisationnelle" (la membrane cellulaire, l'exoderme d'un organisme vivant, etc.) qui sélectionne les échanges avec le milieu et ne subit pas passivement son influence.

Or, de telles caractéristiques du rapport organisme / milieu peuvent se représenter aisément au moyen d'une boucle de rétroaction ago-antagoniste. En traduisant le caractère interactif et aléatoire (grâce à sa bipolarité ou ago-antagonisme) du rapport de l'organisme à son milieu, cette boucle exprime parfaitement l'autonomie du vivant.



Si la boucle se réduit à la flèche du bas, on retrouve le déterminisme trivial des sciences physiques. En revanche, la réduction de la boucle à la flèche du haut traduirait l'existence d'un organisme tout puissant façonnant le milieu à sa convenance. En réalité, on se trouve toujours dans un mixte des deux, c'est-à-dire une interaction dynamique des deux pôles, la boucle pouvant fonctionner aussi bien sur un mode stabilisé (rétroaction négative) dans lequel organisme et milieu s'épaulent pour maintenir un équilibre stable, que sur un mode divergent (rétroaction positive) dans lequel organisme et milieu amplifient chacun de leur côté un changement. L'histoire de la vie n'est pas avare d'exemples de cette nature en faisant alterner de longues périodes de stabilité avec de soudaines phases de mutations.

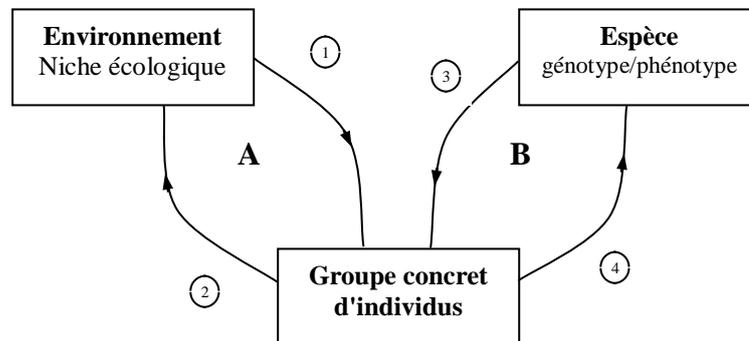
4-2) L'évolution du vivant

Depuis Darwin, le débat autour de l'évolution du vivant a donné lieu à d'innombrables travaux. Après avoir longtemps, dans la ligne explicative de Jacques Monod, valorisé le rôle de la **mutation** (*le hasard*) triée ensuite par la **sélection naturelle** (*la nécessité*), la recherche s'est orientée depuis quelques années vers d'autres paradigmes. Aujourd'hui, les choses apparaissent singulièrement plus complexes : de nombreux mécanismes susceptibles d'influer sur le processus évolutif ont été identifiés par les chercheurs. Citons, sans prétendre être complets : la dérive génétique et l'évolution par sauts de Stephen Jay Gould, la convergence évolutive des fonctions de Simon Conway Morris, l'interaction systémique environnement / espèce, la nouvelle théorie **évo-dévo** au point de rencontre de la biologie fonctionnelle et de l'embryologie, le rôle possible des apprentissages pour les animaux supérieurs, etc. Dans un de ses livres¹⁵, le biochimiste Christian de Duve, prix Nobel de médecine, a identifié pas moins de cinq mécanismes différents susceptibles d'intervenir dans l'évolution.

¹⁵ Christian de DUVE, *Singularités : jalons sur les chemins de la vie*, Odile Jacob, 2005

Le processus évolutif est donc très complexe et sait combiner la mutation/sélection de Darwin et l'adaptation à l'environnement procédant de "choix" faits par un groupe concret d'individus de même espèce. Et on peut concevoir que lorsqu'il s'agit d'espèces de plus en plus complexes et au psychisme de plus en plus riche, ces "choix" s'effectuent sur des plages d'autonomie de plus en plus larges.

Ce jeu à trois peut schématiquement être représenté de la manière suivante :



- (1) pression de sélection exercée par l'environnement
- (2) recherche d' "adaptation" du groupe en quête d'une bonne niche écologique
- (3) reproduction des individus sur la base des instructions codées du génome mais incluant les "erreurs" de réplication
- (4) sélection et conservation des caractères suivant l'aptitude à survivre au sein du groupe.

Le schéma se structure autour de deux grandes boucles de causalité circulaire, toutes deux potentiellement ago-antagonistes : la boucle éco-systémique d'adaptation **A** et la boucle darwinienne de mutation/sélection **B**. Le refus de donner la prééminence à l'une des deux boucles (contrairement au néo-darwinisme) ouvre la voie à la complexité et permet de penser l'évolution du vivant comme une **co-évolution**.

5. Le pas de la pensée réfléchie et l'anthropogénèse

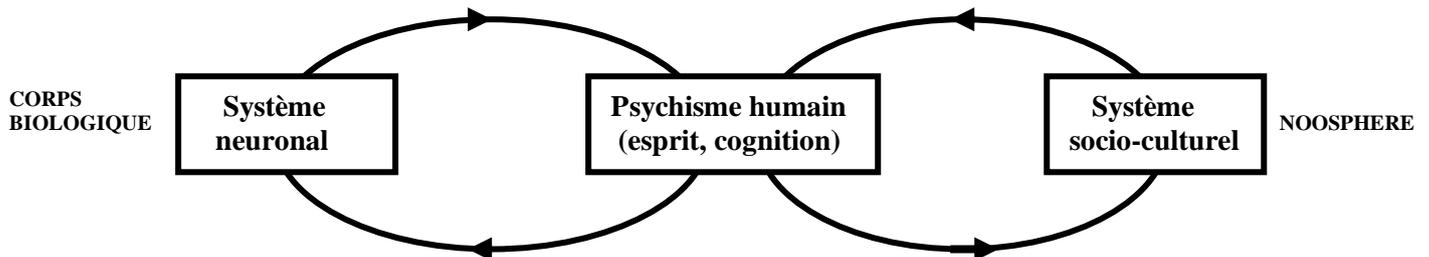
Qu'advient-il lorsque le vivant devient aussi pensant ? La partie se joue-t-elle au seul niveau du système nerveux central avec le gros cerveau humain aux cent milliards de neurones interconnectés et dont, ce que nous appelons le psychisme humain, est la manifestation socioculturelle visible ? S'agit-il d'une simple caractéristique secondaire dans l'évolution de la vie, comme la patte coureuse de l'équidé, ou bien d'une différence de nature, d'un saut dans un nouvel ordre de réalité ?

5-1) Qu'est-ce que la cognition ?

En faveur de la seconde réponse, citons la position d'une spécialiste des sciences cognitives, Evelyne Andreewsky¹⁶, pour qui la cognition, c'est-à-dire la pensée ou l'esprit, est une propriété émergeant non seulement de la biologie (le système neuronal), mais aussi du langage humain, lequel est une réalité de nature symbolique et culturelle. Elle écrit : "*L'esprit et la cognition constituent, par construction, un phénomène à la fois biologique, culturel et social, émergeant de l'intégration de toutes ces dimensions*". En représentation systémique, cela se traduit par la double boucle du schéma ci-après. Le psychisme humain est à la fois en interaction avec le système neuronal, enraciné dans le corps biologique (et par voie de

¹⁶Evelyne ANDREEWSKY, Cognition et langage, chapitre 3 (p.103-126) du livre collectif *Systémique et cognition*, Dunod, Paris, 1991

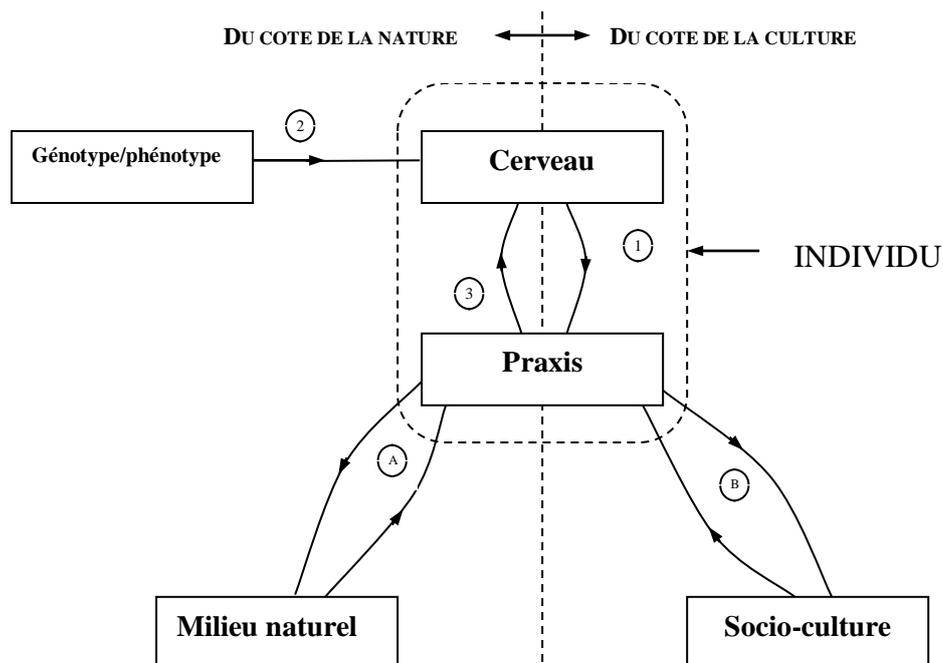
conséquence la biosphère), et avec le système socioculturel du groupe social d'appartenance, expression locale de la noosphère. Chacune de ces boucles est bien entendu ago-antagoniste.



L'autonomie de l'être humain, à la différence de l'animal, se caractériserait donc par une relation doublement aléatoire, car en dépendance de deux milieux distincts : la biosphère et la noosphère. N'est-ce pas l'articulation de ces deux boucles aléatoires qui se trouve à l'origine de ce que nous appelons libre-arbitre ou liberté ? Pierre Vendryès avait repéré cette particularité lorsqu'il disait que pour fonder une anthropologie, il fallait englober de façon cohérente à la fois la réalité matérielle et le "penser" (c'est-à-dire l'esprit, la cognition, les représentations mentales). Pour lui, il s'agissait de deux univers aux causalités différentes dont toute vraie théorie de l'homme devait montrer l'articulation¹⁷.

5-2) Le processus de l'hominisation

J'emprunterai à un livre déjà ancien d'Edgar Morin¹⁸ l'essentiel de l'analyse, laquelle reprend le schéma précédent tout en l'enrichissant de la dynamique de l'histoire humaine.



¹⁷ On observera que Pierre Vendryès retrouve là la théorie des trois mondes de l'épistémologue Karl POPPER : celui-ci distingue le monde des objets réels (le *premier monde*), le monde des états mentaux (le *deuxième monde*) et utilise l'expression "*troisième monde*" pour désigner les "*contenus objectifs de pensée*" (ou représentations) issus du système culturel.

¹⁸ Edgar MORIN, *Le paradigme perdu : la nature humaine*, Seuil, 1973, Paris, p.214-218

Les actions de chaque homme (*praxis* dans la terminologie de Morin) sont bien entendu commandées par le cerveau (flèche 1) lequel est initialement façonné en dépendance du génotype/phénotype (flèche 2 reprise de la boucle précédente). Mais le cerveau humain est une structure extraordinairement plastique qui ne cesse, sous l'effet de la *praxis* et jusqu'aux âges les plus avancés, de se doter de nouvelles connexions neuronales (flèche 3). Et cette *praxis* est en relation de circularité avec deux environnements : le milieu naturel (boucle A) repris de l'évolution du vivant, la socioculture (boucle B) qui est un milieu émergent propre à l'être humain et qui constitue à lui-seul un nouvel univers.

Pour Edgar Morin, ce schéma "*vaut pour comprendre, non seulement l'hominisation, mais tout ce qui est humain... Il signifie que tout comportement humain (praxis) est à la fois génétique/cérébral/social/culturel/éco-systémique... L'homme n'a pas une essence particulière qui serait seulement génétique ou seulement culturelle ;... sa nature est polycentrique, ... l'interrelation, l'interaction, l'interférence dans et par ce polycentrisme*". Et il ajoute que c'est parce que le jeu entre ces pôles est incertain et que "*rien ne permet de surmonter cette ambiguïté indécidable*" que la complexité peut apparaître... et sans doute avec elle ce que nous appelons la liberté.

Morin ajoute cependant qu'à partir de l'apparition de l'homo sapiens, c'est l'interaction avec la socioculture (boucle B) qui joue le rôle prépondérant dans l'évolution humaine, laquelle prend alors tout simplement le nom d'**histoire**.

6. La noosphère ou le pas de la co-réflexion

L'émergence de la pensée symbolique, à l'origine de la coupure anthropologique entre nature et culture, ouvre à l'homme un univers nouveau, celui de la socioculture avec ses riches productions dans l'ordre de la pensée (poésie, littérature, philosophie, arts) mais également dans l'ordre de l'organisation de la société (politique, droit, économie, etc.). Pour autant, cette ouverture ne dispense pas l'homme d'avoir à rechercher, comme tout animal, sa subsistance dans les ressources offertes par la nature. A l'époque des chasseurs/cueilleurs, cette recherche de nourriture pouvait sembler assez peu différente de celle d'un groupe de mammifères supérieurs. Mais au cours de l'histoire, ce rapport de l'homme à la nature va se colorer de socioculturel, les artefacts technologiques inventés par les hommes intervenant de plus en plus massivement dans ce rapport. L'homme se libère peu à peu d'une dépendance immédiate et directe à la nature en construisant une nature humanisée dont nos paysages ruraux, datant du néolithique, nous livrent encore aujourd'hui la trace.

6-1) La dynamique sociale

Le philosophe Michel Serres parle du mouvement de nos sociétés et de cette "*multiplicité spatio-temporelle en transformation...qu'on appelle l'histoire*" comme ce qu'il y a de "*plus fortement complexe*" dans le monde où nous vivons. Comment éclairer cette complexité et quels savoirs mettre en œuvre à cette fin ? Le débat n'est pas nouveau et opposait déjà, à la fin des années 1950, Fernand Braudel et Georges Gurvitch quant aux mérites respectifs de l'histoire et de la sociologie pour comprendre la vie des hommes en société. Fernand Braudel reprochait aux sociologues de privilégier le court terme au détriment de toute référence à la durée, et d'appauvrir ainsi leurs études d'une grande partie de la signification qu'elles pouvaient recevoir.

Le modèle de dynamique sociale que je vais maintenant présenter puise son origine dans l'étude du changement social dans les grandes entreprises¹⁹. C'est pourquoi, bien que de facture sociologique, il n'évacue pas l'histoire. De plus, par la généralité de ses concepts, il

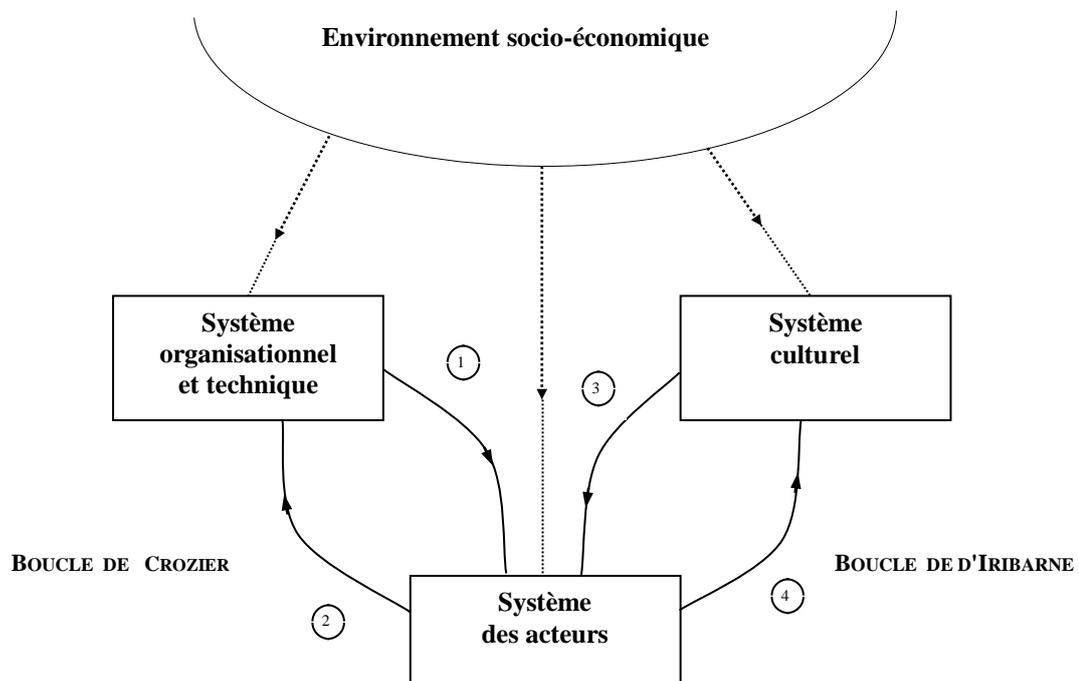
¹⁹ Gérard DONNADIEU, *Manager avec le social, l'Approche systémique appliquée à l'entreprise*, Aubin, 2010

déborde les limitations "managériales" de son cadre d'origine. On sait que dans l'histoire de la sociologie, deux grandes thèses ont été alternativement (ou simultanément) utilisées selon que l'on mettait l'accent sur les composants du système social (les acteurs) ou sur la société comme un tout. La première thèse, de facture analytique et qui domine la sociologie des organisations est qualifiée d'**interactionniste** et se réfère à Max Weber. Quant à la seconde, d'inspiration holistique et qui domine l'ethnologie, elle est qualifiée de **culturaliste** et se réfère à Emile Durkheim. Est-il possible de réconcilier ces deux thèses, en apparence totalement opposés ? Tel est l'enjeu du modèle visualisé par le schéma ci-après.

Le jeu social au sein d'une organisation (entreprise, administration, association,...) se présente comme l'articulation interactive de trois grandes entités :

- le système technique et organisationnel, formé pour l'essentiel d'éléments matériels et pour l'autre partie d'éléments symboliques formalisés (règles, normes, procédures, etc.)
- le système des acteurs à base d'êtres humains jouant soit seuls, soit en groupes constitués ou informels
- le système culturel composé de l'ensemble des représentations sociales des acteurs.

Ces trois systèmes sont sous la dépendance d'un environnement socio-économique technique qui leur est commun, conditionnement représenté par les flèches en trait pointillé.



Les acteurs sont à la fois **déterminés** (par les contraintes de l'organisation au sein de laquelle ils vivent et par leurs propres représentations culturelles) et **libres** (car ce double conditionnement laisse apparaître des marges de jeu où la liberté des acteurs peut se manifester). On peut affiner l'analyse en identifiant sur le schéma deux grandes boucles :

- **la boucle de Crozier** correspond à la thèse interactionniste, laquelle a été vulgarisée en France par le sociologue Michel Crozier. La flèche 1 exprime les **règles du jeu** c'est-à-dire les divers impératifs (standards, procédure, normes, définitions de poste,...) auxquels sont soumis les acteurs (salariés, collaborateurs, membres,...). Mais dans le même moment, ces acteurs conservent assez de liberté pour interpréter, détourner à leur profit, voire subvertir ces règles du jeu ; c'est le **jeu sur les règles** (flèche 2).
- **la boucle de d'Iribarne** correspond à la thèse culturaliste, popularisée en sociologie d'entreprise par Philippe d'Iribarne. La flèche 3 correspond au **conditionnement culturel** qui vient colorer les représentations que les acteurs se font de la réalité. Mais ces

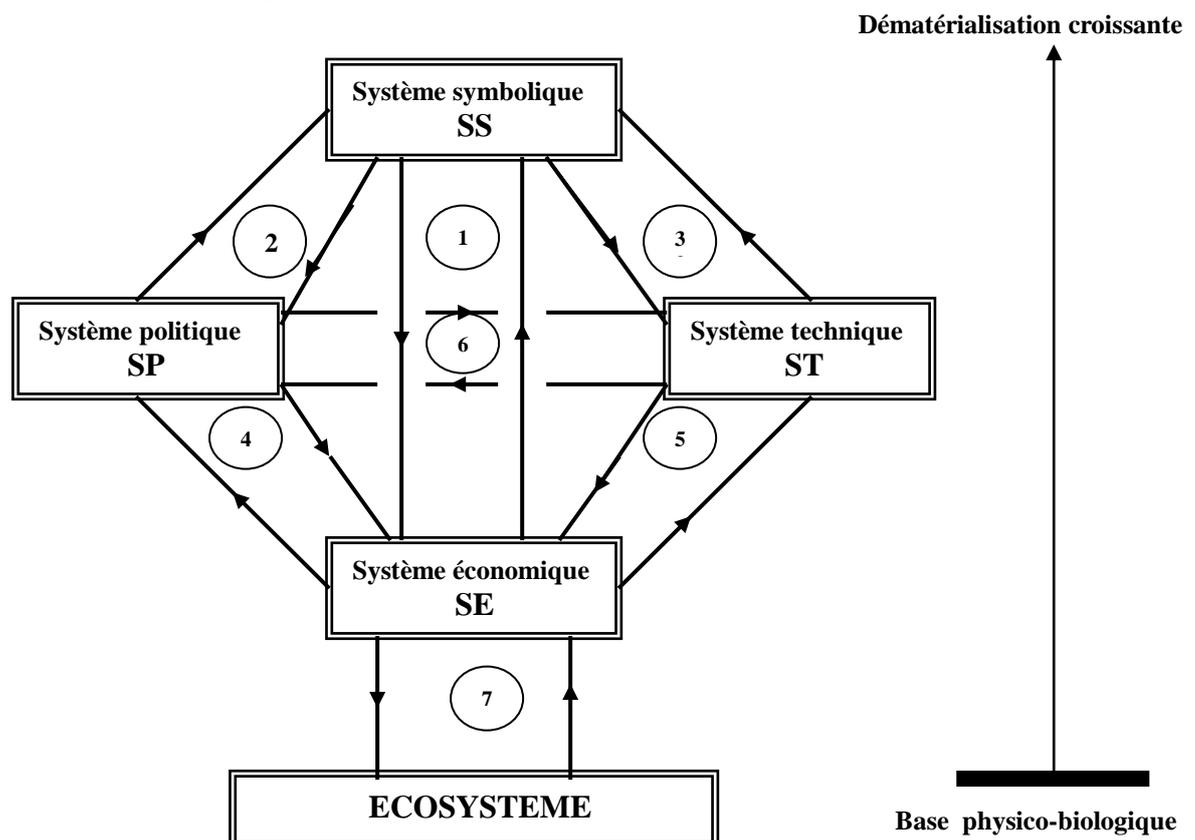
représentations ne sont pas immuables, elles se modifient au fil des nombreux ajustements et compromis que passent entre eux les acteurs pour asseoir leur vie en société. D'où en retour, un **façonnage de la culture** par les acteurs (flèche 4), façonnage qui est déterminant sur la longue durée.

Validé sur le cas particulier de l'évolution des organisations, le modèle semble pouvoir s'appliquer à l'ensemble des sociétés humaines. Il met bien en évidence le caractère à la fois déterminé et libre de la dynamique sociale. L'acteur est perçu comme tributaire d'un champ de contraintes qui vient limiter sa marge de jeu, mais il n'est jamais déterminé mécaniquement par ce champ et il dispose toujours d'une capacité d'initiative susceptible de faire émerger de la nouveauté.

6-2) Essai de modélisation de la noosphère

Le grand schéma de l'évolution donné en section 2 nous a permis de situer le moment présent de l'humanité comme celui de l'émergence d'une noosphère planétaire succédant aux embryons locaux de noosphère que furent les empires et les grandes nations. Il nous reste à explorer ce concept de noosphère à partir de la dynamique sociale qui vient d'être présentée et pour cela, construire un modèle intégrant au moyen de multiples boucles de rétroaction les différents constituants du système (aspect structural) ainsi que ses finalités et son ouverture à l'environnement (aspect fonctionnel).

Le modèle proposé ci-après sous forme graphique résulte de l'observation de sociétés déjà très avancées dans la voie du développement (pays développés et pays émergents). On y distingue clairement l'existence des quatre systèmes économique, politique, technique et symbolique. Les deux premiers peuvent être considérés comme une manière simplifiée, commode et utilisable de représenter les systèmes sociaux de la noosphère ; le système technique renvoie aux systèmes artificiels, même si ces derniers se trouvent également pour partie dans le système économique ; le système symbolique reprend, bien entendu, l'ensemble des systèmes symboliques particuliers constitutifs d'une culture.



On notera que le système économique (SE) a en charge d'assurer l'interface avec la nature (l'Ecosystème) afin de tirer de celle-ci les ressources nécessaires à la vie sociale (boucle 7). Pour ce faire, le système économique est tributaire (boucle 5) des savoirs techniques et des outils (le système technique ST) et également (boucle 4) du système sociopolitique (SP) qui lui alloue ses moyens humains (par exemple des salariés dans une société industrielle). Systèmes économique, politique et technique sont par ailleurs en interaction (boucles 1, 2 et 3) avec les représentations culturelles, c'est-à-dire le système symbolique (SS) dont la religion constitue originellement le cœur. A partir de la base physico-biologique dont fait partie l'écosystème, on observe une dématérialisation croissante de la noosphère plus on se rapproche du système symbolique, dématérialisation qui atteint son degré ultime au niveau de son noyau religieux.

7. Une montée vers l'Esprit ?

Quelle signification faut-il alors donner à ce gigantesque processus de l'évolution qui par une complexification croissante à base de matière, d'énergie et d'information, nous a conduit du big-bang à la noosphère ? Soyons clairs : la réponse n'est pas du domaine de la science, laquelle ne peut s'intéresser qu'à l'observable et au comment des phénomènes. Mais pour les hommes qui sont la flèche de l'arbre de la vie, qui pensent, qui réfléchissent et qui se trouvent aujourd'hui mis en demeure de poursuivre ou pas cette évolution au travers de la construction de la noosphère, il n'en va pas de même. Ils sont "embarqués" comme disait Pascal ; il leur faut s'engager dans cette co-création du monde ou la désert. Et pour décider de ce pari vital, ils n'ont que les ressources de leur sagesse philosophique ou religieuse.

Pour certains, le processus de l'évolution paraît présenter tellement de directions et tellement de facettes qu'on ne peut discerner clairement aucun axe. D'autres pensent que le sens de l'évolution dépend du hasard ou bien qu'il va vers une plus grande divergence. Teilhard considérait au contraire l'évolution comme étant de nature convergente, allant vers une unité sans cesse croissante et finalement orientée vers l'Esprit. Pour lui, l'évolution était bien plus "*qu'une théorie, un système ou une hypothèse*"; il la considérait comme "*une condition générale devant laquelle toutes les théories, toutes les hypothèses, tous les systèmes doivent s'incliner... L'évolution est une lumière qui éclaire tous les faits, une pente que doivent suivre toutes les courbes.*"²⁰ Ecrivant cela, il reliait l'évolution à sa foi chrétienne de religieux jésuite, ce qui explique sa recherche d'une nouvelle spiritualité aux dimensions du monde moderne, spiritualité centrée sur la tentative de faire converger les intuitions mystiques du christianisme concernant le rôle cosmique et universel du Christ avec l'évolution.

En adhérant à une telle vision, les hommes deviennent alors co-créateurs d'une transformation du monde qui de matérielle au départ devient de plus en plus spirituelle pour culminer dans un centre des centres que Teilhard nomme Point Oméga et dans lequel il reconnaissait la figure théologique du Christ Universel. Si on admet ce point de vue, ajoutait-il, "*la vie entière (y compris la mort) devient pour chacun de nous une découverte et conquête continues d'une divine et irrésistible Présence*".

Il est clair que de telles spéculations sortent totalement du champ de la science et il importe de bien souligner que l'on a franchi là la frontière qui sépare la science de la philosophie. Pour autant, il n'est pas interdit de philosopher, ce que fait l'homme depuis au moins trois mille ans (c'est même recommandé si l'on souhaite ne pas mourir idiot). L'intérêt de ces spéculations est alors de montrer comment un nouveau discours scientifique, ici celui de l'évolution, conduit à remodeler en profondeur une vision philosophique ou théologique, comme l'illustre admirablement l'œuvre de Teilhard de Chardin.

²⁰ P. TEILHARD DE CHARDIN, *Le Phénomène Humain*. Voir également 'Les fondements et le Fond de l'Idée d'Évolution' (1926), dans *La Vision du Passé* (Tome III), et 'Le rebondissement humain de l'Évolution' (1947) dans *L'Avenir de l'Homme* (Tome V).