

Unicité et répétition

Wiebo Van Toledo

([...] onder het gewelf van een dubbele rij beuken [...])

Er zit groen in dat gewelf. Je breekt je het hoofd over de tere effecten van dat groen op het daglicht. Je hebt dit al eens beschreven, en je wilt je niet herhalen. Het moet steeds anders, steeds beter. Dat geldt voor alles. Alleen voor de natuur geldt dat niet. De natuur kent geen vooruitgang. Zij herhaalt zich schaamteloos. Elk jaar hetzelfde groen aan de beuken, steeds dezelfde vogelzang, dezelfde paddentrek, dezelfde schattige jonge eendjes. De natuur is een eindeloos zelfcitaat [1].

(Koos van Zomeren)

([...] sous la voûte d'une double colonne de hêtres [...])

Il y a du vert dans cette voûte. On se creuse la tête sur les effets tendres de ce vert sur la lumière du jour. Je l'ai déjà décrit, et je ne vais pas le répéter. Faut toujours autrement, toujours mieux. Cela vaut pour tout. Pour tout, mais pas pour la Nature. La Nature ne connaît pas de progrès. Elle se répète sans vergogne. Chaque année la même verdure aux hêtres, toujours le même chant des oiseaux, le même passage des crapauds, les mêmes petits canards mignons. La Nature est une auto-citation sans fin.

(traduit du néerlandais par l'auteur)

Une des grandes constantes de l'existence est ce qu'on pourrait nommer l'insistance avec laquelle la vie recherche une *forme* et persiste dans cette forme une fois celle-ci établie. Qu'il s'agisse d'un organisme individuel, d'une espèce animale ou végétale, d'un écosystème ou encore d'une société, le seul et unique but de l'existence est de maintenir, d'exprimer, faire vivre et faire valoir cette forme aussi longtemps que possible. Dans cet article, nous proposons une discussion sur la stratégie par excellence que la vie utilise pour assouvir ce désir cardinal. Cette stratégie que le poète dénonce en reprochant à la nature de s'en servir sans vergogne est bien sûr la *répétition* [1].

Nous la retrouvons, par exemple, dans la construction d'une forme [2] qui tend vers une complexité toujours croissante en réutilisant le connu ou l'inné et l'acquis dans un contexte variable. Nous la retrouvons aussi dans l'organisation d'une forme qui s'apparente à un réseau où les connexions favorisées sont régulièrement ravivées par la routine et par l'habitude. Si aucune feuille n'est identique à une autre, si chaque feuille est unique, c'est paradoxalement grâce à la répétition stricte d'un principe de construction qui, utilisée dans un contexte variable, donne lieu à la similitude et non à l'uniformité, malgré les observations du poète. Par la suite, il sera important que le lecteur garde bien à l'esprit que la notion de «forme» et, en particulier, celle de «vie» constituent des principes qui, à ce titre, peuvent invariablement désigner des entités biologiques tout comme des entités sociales telles qu'un organisme individuel, une société, une civilisation, voire des entités abstraites comme une pensée ou encore une idée.

La répétition, la reproduction, la réplique, le recyclage, le renouveau, tous autant qu'ils sont, constituent les éléments d'une stratégie, celle choisie par la vie pour affronter le bruit — c'est-à-dire le mouvement sans relâche provenant des parties constituantes d'une forme ainsi que provenant de l'extérieur — qui altère et finit par élimi-

ner l'information précieuse inscrite dans une forme éphémère. La vie doit se recycler régulièrement afin que l'information stockée dans l'ADN, par exemple, ou sur n'importe quel autre support similaire soit réparée et ainsi conservée. Cette constatation est valable à tous les niveaux de l'existence. Pour l'ADN, un temps de recyclage trop long serait fatal, car un excès de mutations ou des dégâts trop importants rendraient la molécule inutilisable. À notre échelle, nous pouvons citer la répétition de l'acte de réflexion nécessaire pour conserver nos idées qui n'ont pas encore été inscrites sur papier ou encore la répétition dont se sert le musicien pour conserver l'habileté de son savoir-faire et la mémoire de son répertoire.

Pourtant nous connaissons tous au fond de nous ce sentiment étrange de mélancolie; la mélancolie de la vie qui s'exprime à travers le pressentiment que toute structure est vouée à disparaître. Ainsi, la forme est vouée à la même fin dont elle est en définitive le produit, car c'est grâce au sacrifice de certaines de ses parties constituantes, de certaines possibilités aussi, qu'une forme qui se connaît et se reconnaît elle-même, une forme ou une structure unique, a pu voir le jour.

Il relève de son unicité même que toute structure, toute forme veut se «maintenir en forme», mais, autre paradoxe, elle s'use irrémédiablement. Ainsi, dans ce monde peuplé de formes, les parties constituantes de chacune d'elles finiront un jour ou l'autre par tomber dans l'Oubli. Or, c'est justement par la répétition, l'habitude et la routine, ces grands principes constructeurs de formes uniques, que les formes s'altèrent et s'évanouissent.

La répétition: le chemin vers une existence unique

1 La répétition comme stratégie de construction

On peut dire qu'à l'échelle des constituants de base de la cellule, le processus de la vie, depuis son apparition, consiste à conserver et à amplifier l'information codée et «auto-répétitive» ou «auto-répétée» dans les gènes [3]. C'est la quintessence même de la vie. Cependant, ce qui s'impose en premier dans le processus de la vie, c'est d'abord le phénomène de la *réplication*. Une stratégie qui est devenue un but en soi et dont dépend tout le reste. L'auteur d'un récent article [4] ne voit pas le *métabolisme** comme le moteur qui a déclenché le processus de la vie, mais comme un processus qui se serait adapté pour assurer la réplication. Toujours selon cet article, les molécules «répétitives» telles que l'ADN qui ont acquis un métabolisme seraient plus à même de surmonter les forces thermodynamiques auxquelles elles doivent faire face pour aboutir à des formes toujours plus complexes à partir d'une auto-organisation rudimentaire. On est tenté alors d'identifier le phénomène de la vie avec celle de l'auto-réplication, alors qu'en vérité il ne s'agit là que d'une stratégie dans le but de conserver une forme donnée.

C'est justement l'idée de *fonction* qui fait la différence entre la biologie et les autres sciences naturelles [5]. Dans le processus de la vie, les organismes biologiques ont pour fonction de se reproduire ou, plus précisément, de reproduire l'information codée dans l'ADN. C'est pourquoi, il est indispensable de disposer de fonctions afin de pouvoir assurer au moins la survie de l'organisme jusqu'à l'âge de la reproduction.

En ce qui concerne le rapport entre les fonctions et la forme, tout en admettant que dans un organisme individuel la forme et la fonction se rejoignent, on peut faire une analyse de la forme dans ses aspects répétitifs et préciser que l'information et la définition des

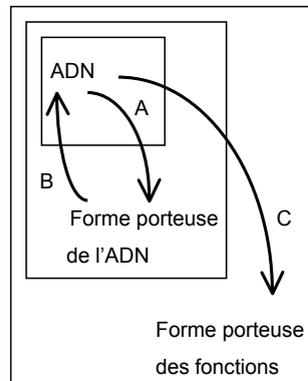


FIGURE 1

ANALYSE DES FORMES DE BASE ET LES VOIES UTILISÉES PAR LA RÉPÉTITION

fonctions sont assurées par la reproduction de

1. La forme porteuse de l'information codée (ADN).
2. La forme porteuse de l'ADN (en premier les chromosomes).
3. La forme permettant le déroulement des fonctions (principalement les protéines).

La figure 1 représente ces trois formes de base et leurs relations internes (A, B et C) définissant clairement les voies empruntées par la répétition.

En parcourant les chemins de la répétition, la vie répète toujours les mêmes unités de construction. Dans l'optique d'une complexité toujours croissante, nous retrouvons, à un niveau inférieur, l'existence des quatre nucléotides A (pour l'adénine), C (pour la cytosine), T (pour la thymine) et G (pour la guanine), qui constituent la base immuable de l'ADN et codent pour les vingt acides aminés formant la majorité des protéines. Nous retrouvons aussi des segments d'ADN dits ultra conservés — on parle de séquence *homologue** — chez presque toutes les espèces vertébrées [6], ou encore certaines protéines qui émergent

dans presque tous les organismes. Tous ces exemples concernent des unités de construction qui ne varient pratiquement pas au cours de l'évolution. Apparemment, la vie n'a pas les ressources, en termes d'énergie, ou le temps nécessaires pour refaire les solutions déjà trouvées afin de réaliser les fonctions essentielles.

C'est ainsi que nous définissons l'unité de la vie. Il n'y a pas d'autre vie à côté de la vie que nous connaissons — basée sur les quatre bases ATCG — et dont nous sommes nous-mêmes un produit. À partir de ces éléments récurrents, tous les organismes représentent le point culminant et éphémère d'une chaîne ininterrompue et ils n'ont pas d'autre choix que d'être un maillon de plus. La répétition en soi ne se présente pas comme une décision ou un libre choix, mais plutôt comme une contrainte, même si l'instant précis où du processus de la répétition, suivant les chemins A, B ou C de la figure 1, relève d'un choix ou d'une décision au niveau de l'organisme individuel. Le reste n'est que la répétition de ce choix initial ou encore ce qu'on pourrait appeler «le rituel de la répétition».

Si la vie dans sa forme originelle, identifiée à la molécule d'ADN, saurait en principe parfaitement se maintenir en symbiose avec les bactéries et de plus s'étendre dans tous les types d'environnements, restant ainsi conforme au but même de la vie, on peut se demander pourquoi l'on trouve des degrés de complexité différents dans les systèmes biologiques. La réponse doit certainement comprendre l'incapacité de se reproduire de façon parfaitement fiable, l'incapacité de conserver à 100 % ce qui a été acquis. Cette incapacité a ouvert la voie à la spéciation. L'explosion cambrienne a été rendue possible, d'un côté par l'émergence des premiers carnivores dotés de nouveaux organes tels que les yeux qui leur ont donné un avantage instantané, et de l'autre par des mécanismes de défense [7]. La réponse doit également inclure le fait que des systèmes à l'état critique dont le

contenu énergétique est singulier par rapport à leur environnement peuvent réagir à un stimulus imprévu en déclenchant un développement qui va dans une nouvelle direction, y compris la mise sur pied de mécanismes de contrôle. Plus de complexité implique un organe de contrôle plus important ou, en d'autres termes, un complexe de formes plus aigu. Par la complexité des fonctions, la forme porteuse des fonctions s'organise dans une structure modulaire sur plusieurs niveaux (figure 2). Dans les systèmes biologiques, on trouve cette organisation en modules quasi autonomes au niveau des protéines et des métabolites dont les fonctions se distinguent d'un module à l'autre. Les fonctions plus avancées sont réalisées en regroupant des modules dans le but d'atteindre un plus haut degré de complexité et de stabilité [5].

Par exemple au niveau de l'ADN, le contrôle se fait en laissant à l'écart dans l'*ARN messenger** (ARNm) les séquences inutiles et peut-être même nocives. De même qu'au niveau de la cellule elle-même, les ARN messagers corrompus sont dégradés par des protéines spécialisées appelées *protéasomes**. Du point de vue de l'environnement extracellulaire, les cellules et les protéines avoisinantes vont déterminer le sort d'une cellule particulière confinée dans cet environnement [8]. Avec une structure modulaire, plusieurs couches d'environnement qui s'interpénètrent tout en conservant une indépendance et une autonomie les unes par rapport aux autres sont créées: c'est autant de niveaux où l'information nécessite d'être sauvegardée contre les forces environnementales. Cette tâche est facilitée par l'isolation d'une protéine et de ses effets dans l'enceinte de son module, limitant par là les conséquences négatives d'une mutation [5].

Dans l'aspect modulaire, on retrouve la notion de répétition à travers la fonction — fidèle en ce sens à l'unité de la vie —, car ce sont toujours les mêmes structures qui sont réalisées, mais à chaque

fois dans un contexte et à des échelles de grandeurs différents. La répétition aide à maintenir en place les fonctions essentielles et, en même temps, elle permet la variation et donc la stabilité et l'adaptation. D'une part, le flux d'information provenant de l'extérieur pénètre chaque niveau modulaire du système et, d'autre part, le flux intérieur s'écoule de façon bidirectionnelle entre les différents niveaux (figure 2) [5]. De fait, l'information externe au système rencontre l'information interne stockée dans les modules respectifs et provoque par là un flux matériel et informationnel qui est relâché pour traverser le maximum de modules, jusqu'aux confins de l'organisme individuel. Ainsi, par exemple, les signaux qu'une cellule reçoit de l'environnement peuvent déterminer, à travers un flux qui va de droite à gauche sur la figure 2, quels gènes seront exprimés et, par conséquent, à travers un flux qui va dans la sens contraire, quelles protéines seront synthétisées à un moment précis dans l'espace et dans le temps pour adapter les fonctions, ou influencer le taux de mutations et la structure moléculaire des protéines [5]. À l'échelle humaine, on aspire à la possibilité d'intervenir sur le génome — se trouvant à l'extrême gauche sur la figure 2 — à partir de l'extrême

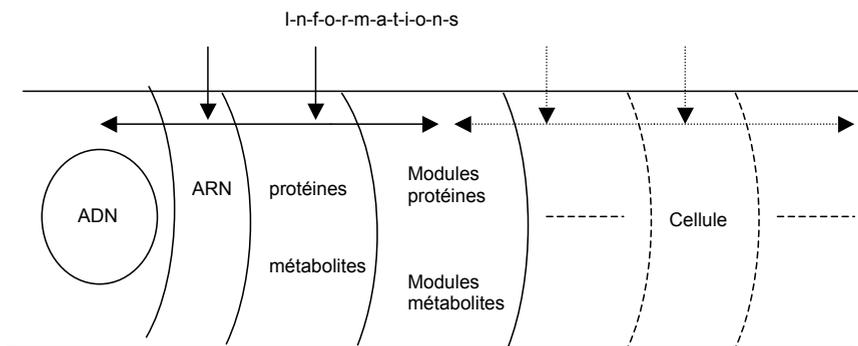


FIGURE 2
REPRÉSENTATION DES NIVEAUX MODULAIRES AVEC LES FLUX D'INFORMATION
BIDIRECTIONNELS

droite, toujours sur la figure 2, pour changer l'expression des gènes de façon contrôlée et offrir ainsi des remèdes contre des maladies en utilisant la technique de *l'ARN interférence** (ARNi) [9].

Ainsi l'Univers se fait connaître à lui-même en «transperçant» tous les niveaux. L'explosion cambrienne qui a ouvert les yeux à la vie pour s'observer elle-même n'est qu'un exemple. Combien de niveaux existent encore, situés hors de la capacité de l'Univers à s'observer, et qui attendent le moment de l'«éclair révélateur»? C'est peut-être dans ce sens que nous pouvons interpréter une possible direction du déploiement de la vie ou une «convergence évolutionnaire»: vers une observation et une connaissance toujours plus complète de l'Univers.

2 La répétition comme stratégie d'organisation

L'organisation de la forme se caractérise par son aspect spatial ou structurel dans son étendue et par son aspect temporel dans son devenir, son être et sa disparition. Dans le domaine de la vie, qu'elle soit biologique ou non, une structure ou un système spatio-temporel est construit par un ensemble de formes ou d'entités qui communiquent entre elles et constituent ainsi un réseau interdépendant, si bien que les caractéristiques de ce système dépassent la somme des caractéristiques des composants pris séparément. Le réseau pris comme unité de l'organisation est omniprésent, du module fonctionnel de la cellule au World Wide Web (www). Les entités constitutives ou *nœuds* dans un réseau global représentent les ressources ou, le cas échéant, les consommateurs d'énergie ou d'information. Le réseau est aussi caractérisé par les chemins qui relient les nœuds pour transporter l'énergie — donc la masse — et l'information, provoquant ainsi des flux énergétiques et informationnels, essentiels à la préservation d'un système vivant. Ainsi, on peut considérer une forme comme un champ énergétique à la fois vibrant, mais aussi figé dans des cadres

précis. Pour décrire cette organisation, la littérature a développé un vocabulaire adapté qui inclut des termes comme «amplification», «stabilité» [5], «isolation» [5], «redondance» [10], «flux internes et externes» [10], «distribution des flux» [10] ou encore «cohérence» et «tolérance» [11, 12]. Dans les réseaux, la répétition se traduit par une probabilité élevée de trouver un même type d'interaction avec les mêmes voisins.

Dans le déroulement des fonctions, le réseau comme unité de base de l'organisation joue un rôle essentiel, vu le fait que ce sont justement les interactions entre les protéines ou métabolites sur un niveau modulaire qui définissent une fonction. Dans un tel réseau faisant partie du *protéome** [12] ou du *métabolome** [10, 13], les protéines et les métabolites représentent les nœuds en interactions.

Comme il a été montré pour plusieurs types d'organismes, les systèmes auto-organisés à l'état critique se caractérisent par l'émergence spontanée d'un réseau de connexions non homogènes, si bien que la probabilité $P(k)$ de trouver des protéines ou des métabolites dans un ensemble de protéines et de métabolites interagissant avec k autres protéines et métabolites suit une loi en puissance de type $k^{-\gamma}$ (figure 3a), impliquant ainsi des connexions préférentielles. Le cas du métabolome représente effectivement une situation où le flux entre certains métabolites est beaucoup plus important qu'entre d'autres et il en va de même pour les protéines. Dans la littérature, un tel réseau est connu sous le nom de «scale-free» (indépendant de l'échelle) [14]. Une propriété intrinsèque des réseaux «scale-free» est leur grande tolérance aux erreurs. Ainsi, la perte d'une certaine protéine, suite à la mutation d'un gène par exemple, ne provoque des effets toxiques que dans le cas rare où cette protéine est liée avec beaucoup d'autres protéines (station fréquemment déservie ou «hub») [12]. Une telle dépendance entre les connexions dans un réseau est

le produit d'une sélection. On voit alors que le flux le plus important réagit surtout par rapport à un changement dans l'environnement, contrastant avec les flux moins importants qui restent stables ou ceux qui sont déclenchés tout court. Ainsi, l'optimisation d'un système à un autre environnement se fait plus légèrement avec l'adaptation d'un seul flux. Toujours fidèle à la répétition, les «hubs» les plus importants dans le protéome s'avèrent communs pour une large gamme d'espèces. Une explication possible est le fait que les éléments qui sont là depuis l'origine ont plus de possibilités de rester importants [14] de par la Mémoire même du système.

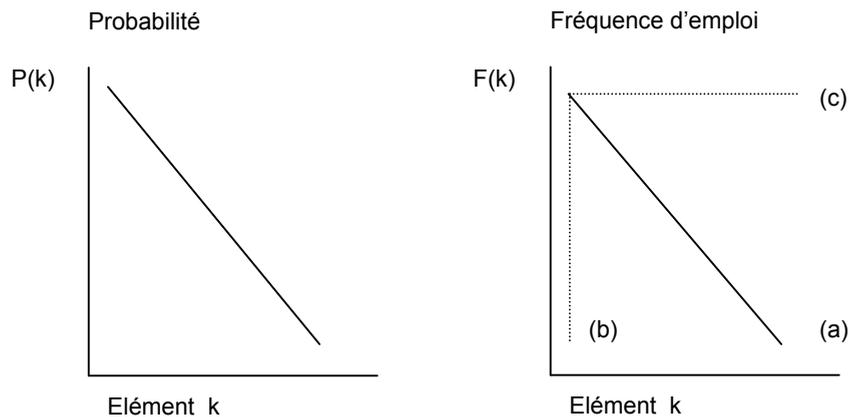


FIGURE 3

LA HIÉRARCHIE DANS LES RÉSEAUX «SCALE-FREE» (3A) [12] ET DANS LES SYSTÈMES SPÉCIALISÉS DANS LE TRANSPORT D'INFORMATIONS (3B) [15]

Ce même mécanisme d'optimisation se trouve aussi à la base des systèmes spécialisés dans le transport d'informations comme la langue écrite et parlée, tant humaine qu'animale [15]. Reconnaître des signaux (mots, sifflements, lettres) comme appartenant à un système potentiellement porteur de significations, sans en connaître le contenu, revient à déterminer la diversité hiérarchique de leurs connexions — hiérarchie qui suit une loi en puissance —, ainsi qu'à prévoir

l'apparition de certains signaux. La distribution des flux s'avère donc plus importante que la forme même des nœuds. La figure 3b représente la fréquence $F(k)$ avec laquelle un certain élément k appartenant à un ensemble de symboles est trouvé dans une séquence. La pente $g=-1$ (a) représente les langues ainsi que la communication des dauphins (Loi de Zipf). Les cas (b) et (c) n'ont respectivement pas de contenu informationnel parce qu'ils sont des répétitions d'un seul élément ou une séquence sans hiérarchie. Sans la diversité hiérarchique, il n'y a, apparemment, pas de possibilités de transmettre de l'information. La diversité hiérarchique est la manifestation tangible des efforts que les systèmes biologiques mettent en œuvre pour survivre.

Ces exemples permettent de conclure que la diversité hiérarchique à travers les connexions favorisées est un principe essentiel à la survie d'un système unique capable de se reconnaître. Et le protéome et le métabolome ne font pas exception, vu la non homogénéité de leurs flux. À chaque instant, le vide ou l'absence de contemporanéité de toutes les solutions possibles pour un système permet de transmettre l'information. La conservation de la vie dépend alors d'une multitude suffisamment vaste pour qu'elle permette de maintenir la diversité hiérarchique par des variations suffisamment significatives. L'information contenue dans le réseau a besoin de différences et ces petites différences sont gonflées de façon exponentielle et spontanée, comme le montre une étude sur le vrai mérite des pilotes dans la Première Guerre mondiale et leur célébrité posthume mesurable par des hits sur le Web [16]. On trouve que les vraies différences de mérite sont renforcées exponentiellement.

Dans un système, la distribution non homogène des flux apparaît alors comme une caractéristique qui s'arrange automatiquement et de manière répétitive dans chaque organisme individuel, et qui est ainsi le résultat d'un choix qui s'effectue au niveau de chaque organisme

individuel. Ainsi, le recopiage exact ou *clonage* de la distribution des flux ne semble pas nécessaire. La répétition d'un principe, plutôt que la répétition exacte, offre la meilleure solution pour être compétitif. Ainsi, la vie est un système qui se répète sans pour autant s'épuiser.

3 L'amplification et l'unicité

Ainsi, pour résumer ce qui vient d'être dit, un système abandonné à lui-même choisit un ou plusieurs référentiels qui, peu à peu, deviennent de plus en plus importants. Ce phénomène qui favorise certains chemins et en écarte d'autres est appelé *amplification différentielle* (figure 4).



FIGURE 4

L'AMPLIFICATION DIFFÉRENTIELLE

Bien sûr, l'amplification primordiale de la vie repose sur le choix des quatre bases ACTG qui constituent l'ADN. Quand une telle organisation prend forme et se consolide, elle se renforce en même temps de façon exponentielle et devient ritualisée. Le rituel est tout d'abord là pour tuer l'indécision et tous les éléments individuels qui sont perçus comme stochastiques et aléatoires. Par exemple, l'apparition d'une langue orale est une solidification ou une cristallisation de tous les sons que nos bouches peuvent émettre. De même qu'une langue écrite est le résultat de certains choix sémantiques faits antérieurement et figés par l'écriture. Les différences à l'égard de l'orthographe sont perçues comme moins importantes, comme de petits éléments stochastiques et pour cette raison tolérables dans le système en question. Dans l'exemple de la langue, on perd de

l'information parce que les alternatives sont mortes ou vouées à l'oubli. En revanche, on «gagne une forme» parce que l'organisation interne en structure rend possible l'harmonisation entre une multitude d'éléments qui peuvent être désormais groupés dans un système. Par une quantité cohérente va naître une qualité unique. La structuration de cette quantité aide à capter l'information. Ainsi, pour «voir clair», le contraste est nécessaire à chaque instant, soit l'alternance entre le vide ou l'oubli et le remplissage ou le souvenir d'une solution.

Augmenter l'efficacité des processus essentiels pour préserver la vie grâce aux transports d'énergie et d'information est une solution pour diminuer le bruit provenant de l'intérieur et pour rendre le système moins vulnérable au bruit provenant de l'extérieur. C'est seulement au cours du processus d'amplification, quand la communication entre certains composants du réseau s'amplifie et se met en place, qu'un système arrive à cette stabilité. Tout comme un écosystème achevé est capable de refouler des intrus [17], un système établi est capable de refouler le nouveau afin de conserver sa forme.

Par la répétition des flux, en suivant les chemins préférés, une structure reconnaissable s'installe. Le système se rend unique vers l'intérieur par la reconnaissance mutuelle ou la cohésion. Ainsi, par la répétition, et seulement par elle, une stabilité et une certaine isolation vis-à-vis de l'environnement se développent. Le système peut se rendre ainsi unique envers l'extérieur. Il n'y a pas d'unicité sans forme stable. Il n'y a pas d'unicité sans cohésion. Cet aspect dual de l'unicité est représenté par la figure 5.

À chaque niveau, en partant des gènes jusqu'à l'organisme individuel, les réseaux ont leur propre unicité. Cependant, tous les composants ne contribuent pas de manière uniforme à l'unicité. Par exemple, les «hubs» ou «gares» de triage les plus importants dans le protéome s'avèrent communs pour une large gamme d'espèces. De

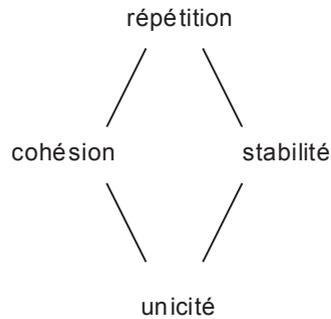


FIGURE 5

L'ASPECT DUAL DE L'UNICITÉ

manière similaire, on montre que la topologie globale du métabolome pourrait être identique à tous les organismes. L'unité de la vie réside alors dans ces formes communes. L'unicité, en revanche, réside dans la forme et la fonction locales des nœuds les plus spéciaux, au niveau de l'individu, et qui s'avèrent moins importants pour la survie.

L'être humain, en tant qu'organisme individuel, a développé son propre réseau autour de lui et a su acquérir sa propre signification au-delà de son aspect de simple porteur d'information génétique [3]. Beaucoup plus que les autres animaux, il est porteur d'une autre information, celle des expériences accumulées du monde, codées dans le cerveau ou ailleurs dans son corps. À l'égard de cette information, nous pouvons analyser les formes impliquées dans la conservation de cette information, de la même manière que pour l'information génétique (figure 1).

L'être humain a développé un sentiment de lui-même sur base de ses expériences, un sentiment qui n'est rien d'autre que l'unicité vécue à l'intérieur. L'être humain connaît la notion d'unicité pour autant qu'il n'aperçoit pas le changement avec le temps; ce qui interdit d'identifier l'unicité avec les formes instables. L'unicité aperçue est étroitement liée à la forme stable.

Aussi la façon de percevoir le monde à travers les cinq sens et à travers ses modules fonctionnels s'avère totalement unique pour un individu. Il n'y a pas deux individus qui respirent les odeurs de la même façon. Une perte graduelle des gènes olfactifs chez l'espèce entière s'avère sélective sur le plan individuel. La perte en termes d'informations sur l'environnement est alors hautement individuelle et ne peut que contribuer à notre unicité dans le sens d'une individualité objective [18]. Par les différences dans l'expérience, il n'y a pas deux personnes qui ont le même cerveau [19]. L'être individuel est unique, déjà par sa voix, ses empreintes digitales, par son iris ou encore par son odeur [20]. L'unicité est totale, c'est-à-dire un regard suffisamment détaillé dans n'importe quelle région ou niveau révèle inmanquablement une différence entre deux individus.

4 L'unicité des principes de construction et d'organisation

Nous pouvons discerner au moins trois principes qui sont à la base de toute construction et toute organisation des formes. Tout d'abord, toute forme de vie, toute répétition se passe dans les limites très étroites imposées par la valeur des constantes universelles. D'après le principe anthropique [21], on pourrait conclure à une unité très stricte qui interdirait de façon absolue l'existence en dehors de ces limites. Dans les limites des constantes universelles, chaque système suit le principe d'une auto-organisation qui se maximalise par une optimisation, en d'autres termes par la répétition d'une solution approximativement optimale. Chaque surplus d'énergie se traduit par une construction similaire, mais transposée dans une autre échelle de grandeur, l'ensemble étant caractérisée par une dimension fractale [22]. L'aspect fractal est propre à tous les systèmes auto-organisés, ultra-interactifs et à tous les phénomènes critiques [23]. Par exemple, la surface interactive des canaux de transport dans

les réseaux métaboliques comme les artères ou les nervures d'une feuille ne se mesure pas selon la géométrie euclidienne, mais selon la géométrie fractale. Des études sur les taux métaboliques [24, 25, 26] ont montré qu'il n'existe qu'une seule solution pour optimiser le transport d'énergie et de masse dans les formes complexes. Par la géométrie fractale, les flux d'énergie et de masse, jusqu'à la durée de vie des organismes individuels dépendent tous de la masse corporelle M et variant comme M^α où $\alpha=1/4$ ou $3/4$.

Les systèmes vivants sont aussi caractérisés par une autre constante unique qui résulte d'un principe d'organisation: le *diamètre du réseau*. Le diamètre du réseau, défini comme le degré de connectivité entre les nœuds, soit le chemin le plus court entre deux composants et moyenné sur l'ensemble de toutes les paires, est constant pour tous les organismes indépendamment de leur complexité (nombre de nœuds) [27]. Dans le métabolome de *Escherichia Coli**, par exemple, le réseau métabolique tant au niveau des métabolites individuels [13 figure 2a] que dans son ensemble [13 figure 1] est similaire. A fortiori, on trouve que le diamètre du réseau est identique pour tous les systèmes biologiques indépendamment de leur complexité et donc du nombre de leurs nœuds. Cela implique qu'avec un nombre croissant des nœuds, leur connectivité augmente [27].

L'unité des formes biologiques complexes est reflétée, outre par les quatre nucléotides de base qui constituent l'ADN, par ces principes de construction et d'organisation. Leur répétition immuable est comme la Mémoire qui «transpire» dans l'espace à remplir.

La répétition: le chemin de la disparition

5 La fin du système

C'est pour nous une évidence que chaque système cesse un jour son existence. Bon nombre d'auteurs se sont déjà penchés sur le déclin

des civilisations et ont avancé un amalgame de causes [28]. D'autres, en revanche, se sont plutôt intéressés à la mort des organismes individuels comme résultant du processus de vieillissement naturel [29]. Dans cette deuxième partie, nous analyserons aussi bien la raison d'être de la mort des organismes individuels que celle des sociétés, et ceci sur la base du raisonnement exposé ci-dessus, tout en réservant une position centrale à la répétition. Nous passerons ensuite en revue plusieurs scénarios qui peuvent contribuer à la fin d'un système biologique ou non et parmi lesquels on trouvera l'inefficacité du recopiage de l'information, le «drift» ou la «dérive» des systèmes, la répétition excessive d'un chemin et la perte de la hiérarchie causale. Tous ces scénarios ont comme point commun le fait qu'ils entrent en jeu lors d'une amplification excessive ou *contraction*. Ce point sera discuté, avec ses conséquences pour la société humaine, à la fin de cette deuxième partie.

5.1 L'impossibilité du recopiage exacte

La durée de vie d'un système est déterminée par un principe fondamental: la limite de l'efficacité du processus de recopiage de l'information. L'information ne se laisse pas recopier indéfiniment sans aucune perte et cette perte touche tout autant des domaines de peu d'importance comme la couleur exacte d'une voiture obtenue lors d'un processus chimique que des domaines essentiels (du moins pour la vie) tels que l'information génétique. Tandis que dans l'industrie automobile, on ne peut préserver la couleur exacte d'une voiture que grâce à des efforts quasi continus, donc grâce à un important investissement énergétique, la conservation de l'information génétique repose sur un autre principe: la longueur variable des extrémités des chromosomes qu'on appelle les *télomères**. Chaque fois que les chromosomes se dédoublent, juste avant la division cellulaire

ou la *mytose**, les télomères deviennent un peu plus courts. C'est une solution élégante pour tenir compte de l'inefficacité du recopiage de l'information: la vie sacrifie la partie la moins essentielle pour protéger le reste de la séquence génomique. Sans cette mesure de prévoyance, le système serait assujéti à un «drift» ou une dérive imprévisible. Une fois cette couche protectrice disparue, la stabilité génétique ne peut plus être garantie. Dans certains cas, les télomères sont rallongées par l'intervention de la protéine télomérase grâce à un apport énergétique [30]. Un processus qui put conduire aussi à l'émergence de cellules cancéreuses.

Les recherches dans ce domaine ont mis à jour le fait que les animaux ayant des télomères plus longs jouissent d'une durée de vie plus importante que des animaux similaires ayant des télomères plus courts [31]. En modifiant le matériel génétique des vers pour produire une protéine qui rallonge les télomères à chaque division cellulaire, on observe une nette augmentation de leur longueur ainsi qu'une longévité accrue de l'organisme en question. Mais même cette méthode est soumise à la loi de l'inefficacité, car le gène implanté se perd peu à peu en fonction du nombre des générations suivantes [31].

En extrapolant à partir d'un organisme individuel à l'espèce entière, une théorie encore actuellement contestée soutient qu'en moyenne la longueur individuelle des télomères s'est progressivement raccourcie à chaque génération depuis l'apparition de l'espèce en question [32]. Compte tenu de l'ordre d'apparition des espèces sur terre, la théorie expliquerait pourquoi on trouve une telle différence dans la longueur des télomères entre les espèces. Leur extinction serait alors déterminée par une horloge interne, similaire pour les organismes individuels et pour les espèces, et qui repose sur le principe de l'inefficacité du recopiage.

5.2 La dérive d'un système

Au cours de son existence, un système finit tôt ou tard par atteindre les limites de sa validité et cela qu'il le veuille ou non. Ce mouvement prélude à la fin du système pour la simple et bonne raison qu'un réseau a sa propre localité — à distinguer de la localité de ses parties constituantes — qui définit en même temps les limites de sa validité qu'il doit respecter. Le réseau se maintient par des chemins ou solutions qui sont propres à cette même localité. Par le recopiage des solutions sans tenir compte du contexte, par la contrainte du bruit interne ou externe, le système explore ses limites et — compte tenu d'une certaine tolérance — va inmanquablement dépasser les limites de sa localité et donc de sa validité. Le développement d'un système est caractérisé par le rapport variable entre ses nœuds, les produits de son activité, ses chemins et son environnement ou contexte. Un changement d'un ou plusieurs de ces paramètres va «charger» le système qui finit par bouger. Quant aux produits, chaque action, aussi dans le métabolisme, laisse des traces parce que le système n'est pas idéal, n'étant que la meilleure approche possible. Les produits sont considérés comme des éléments aléatoires.

Le rôle du métabolisme énergétique est un exemple en biologie lorsque les mutations dans l'ADN mitochondrienne peuvent être responsables du vieillissement (*changement des nœuds*) [33], peut-être parce que la production des radicaux libres est négativement influencée (*changement du contenu des produits*) [34]. La théorie de la *pléotropie** avance que les produits néfastes des gènes, sélectionnés pour les avantages qu'ils offrent pendant la jeunesse, ne deviennent visibles que pendant l'âge plus avancé quand ils empoisonnent le système (*changement du rapport entre les chemins et les produits*) [35]. Dans cet exemple, on observe comment les solutions du passé sont répétées sans tenir compte des changements qui se sont produits dans l'environnement [36].

L'aviation donne un exemple en dehors de la biologie la manière dont un système peut bouger vers ses limites [37]. Un courant de la théorie des systèmes veut que les accidents représentent des cas normaux la plupart du temps, du moins dans les systèmes sous pression caractérisés par une compétition et par un manque de ressources. En cas d'accident, le système dans sa totalité fait une erreur et pas seulement ses composants (pilotes, etc...). Dans une telle approche, les erreurs ne sont pas vues comme les causes mais comme les symptômes du système. En plus, la probabilité pour qu'un accident se produise accroît avec le temps. Les systèmes dérivent lentement vers leur limite de sécurité. À chaque fois qu'une décision est prise ou un choix est fait, afin de répondre à une situation quelconque, les résultats de cette décision qui, en principe, se font sentir dans tout le réseau, s'accumulent avec tous les autres résultats pour donner un «drift» (*changement du contenu aléatoire*).

Comme nous l'avons mentionné dans la section précédente, l'étendue spatiale d'un système peut être caractérisée par une dimension fractale, la valeur qui définit le remplissage d'une surface ou d'un espace, dont le dessein est répété à des niveaux consécutifs situés à d'autres échelles de grandeur, tout en gardant un aspect similaire. Une dimension fractale élevée veut dire qu'une grande partie de l'espace disponible a été remplie avec des répétitions d'une même forme. Un système en développement qui s'organise a une valeur fractale qui varie [38]. Brown et Witschey rapportent d'avoir découvert une dimension fractale dans les ruines des villages Maya. Ils ont ensuite relié cette valeur à la stabilité de la société Maya à un temps donné. Ils ont découvert que la dimension fractale calculée atteint une valeur critique juste avant que la société ne se soit trouvée en crise. Il semblerait de fait que chaque système cherche alors les limites et subit des cycles de croissance et de fragmentation. Le mécanisme exact

n'étant pas encore connu, on peut déjà conclure qu'une dimension fractale élevée s'avère dangereuse, peut-être parce que l'efficacité du transport dépend de la fractalité. Surprenant aussi, dans le domaine de l'art, les études sur la dimension fractale des œuvres du peintre américain Jackson Pollock. Typiquement, les œuvres qu'il a détruites sont caractérisées par une dimension fractale très élevée [39].

5.3 La répétition du chemin

Dans tous les systèmes, qu'ils soient biologiques ou non, le chemin représente une solution pour relier les nœuds qui sont les ressources et les «sinks» ou puits dans un réseau. En principe, des chemins différents mais équivalents peuvent relier les mêmes nœuds. Idéalement, le chemin s'adapte à l'environnement ambiant de chaque endroit spatio-temporel situé entre deux nœuds qu'il relie et chaque chemin équivalent est unique par son approche particulière. En général, chaque endroit unique demande une solution unique.

Une solution pour contrer les maintes dérives d'un système que nous avons décrit dans la section précédente serait l'adaptation du chemin au contexte. En biologie, cette solution est réalisée par le métabolisme qui assure la survie. En effet, la notion de répétition dépend en partie de la situation: dans le cas de la reproduction rapide (chemins a et b sur la figure 1), le recopiage intégral est nécessaire, tandis que dans le cas de la survie ou de l'adaptation à un environnement variable, le recopiage du corps des fonctions (chemin c sur la figure 1) peut se faire avec une certaine liberté vis-à-vis des paramètres non essentiels. Alors, un équilibre entre une répétition stricte ou «rigide» et une répétition «flexible» s'impose comme essentiel pour la conservation de la vie de telle ou telle forme [5]. En nous référant à la section précédente, nous avons en effet constaté que la flexibilité n'est pas toujours possible, comme le montre l'exemple

de la pléotropie.

Dans le but de conserver la forme codée de l'ADN grâce à la répétition, c'est la répétition de la forme elle-même qui, tant bien que mal, est devenue le but en soi. Dans les sociétés humaines, on est arrivé au point où la répétition du chemin est considérée comme but. Cette situation conduit nécessairement à l'uniformité lorsque la forme commence à s'adapter au chemin valable. On nie alors l'unicité de la forme et du chemin. On ne peut pas conserver chemin et nœuds, c'est-à-dire la même solution dans un contexte variable tout en maintenant la même unicité. Comme nous l'avons vu dans la section consacrée à la dérive des systèmes, la répétition du chemin se montre néfaste quand elle est appliquée sans tenir compte de l'environnement, des nœuds ou du contenu aléatoire du réseau.

Pour reprendre un exemple précédent, le musicien ressent une préférence pour un chemin particulier parmi plusieurs, tous situés dans l'espace-temps, pour accomplir un certain geste ou mouvement, en oubliant les autres solutions. La répétition excessive d'un mouvement va tuer la sensibilité des nerfs et des muscles en question, jusqu'à détériorer la partie correspondante du cerveau [40]. La répétition d'un mouvement mécanique use la mécanique et tout ce qui va avec. La possibilité C sur la figure 7 représente le point de vue de Feldenkreis. Il pensait qu'il fallait exécuter un mouvement de dix manières différentes au moins pour éviter des dérangements dans l'appareil moteur [41].

Dans un autre registre: les sociétés industrielles répètent à l'excès la production de voitures. Les améliorations apportées d'un modèle à l'autre ne sont que des variations sur un thème. Un nouveau modèle est toujours le produit d'une répétition ou variation sur une forme de base; même s'il devient toujours plus rapide, plus puissant, plus économique ou plus léger, nous utilisons les mêmes solutions. Un acte

répété un milliard de fois dans un climat changeant va effectivement causer un bouchon. Le philosophe allemand Peter Sloterdijk dit de la course vers l'uniformité [42]:

«[...] was wir Globalisierung nennen ist möglicherweise die postmoderne Wiederholung des babylonischen Feblers und sie bedeutet, dass wir allesamt in einem neo-babylonischen Einheitsdelirium gefangen sind. Die Antwort darauf wäre, dass man sowohl die Weltentwürfe wie auch die Problemlösungen an die Vielheit der Orte zurückgibt.»

«[...] Ce que nous appelons la mondialisation est vraisemblablement la répétition post-moderne de l'erreur babylonienne, ce qui signifie que nous sommes tous piégés dans un délire d'uniformité néo-babylonienne. La solution serait de restituer les modèles du monde ainsi que les solutions à leurs problèmes face à la multiplicité des lieux.»

(traduit de l'allemand par l'auteur)

L'auteur en question attaque l'idée qu'un modèle unique est applicable à tous les systèmes possibles, indépendamment du lieu. Or, l'unicité requiert qu'un système unique correspondant à un lieu unique soit abordé par un chemin unique. Et c'est seulement ainsi que l'on arrive à une solution adaptée. Le fait de ne pas respecter cette loi montre déjà à quel point on ne comprend pas les différences. On confond principe, système, chemin et forme individuelle. Le modèle global crée ainsi l'aliénation de ceux sur qui ce modèle est appliqué, un dérangement vis-à-vis de leur propre culture. Il est question alors d'une double confusion babylonienne, qui ne peut mener qu'à une perte de l'information. Le maire de Tirana dit la même chose à l'égard des ses tentatives réussies pour raviver la vie dans les quartiers de la capitale albanaise. Avec succès, il a fait embellir les rues et les maisons pour améliorer le bien-être des habitants, mais il refuse d'exporter

cette solution dans une autre ville problématique, celle de Pristina au Kosovo. «Les solutions sont uniques» dit-il «et ne peuvent pas être appliquées à d'autres situations.»

La difficulté de se libérer des sentiers battus réside dans le fait que le chemin n'a qu'une validité locale. Nous ne pouvons pas connaître l'intégralité de notre chemin, ni si ce chemin est applicable à d'autres personnes. C'est notre chemin et il ne se montre que là où se trouvent nos pieds.

5.4 La perte de la hiérarchie causale

La Nature nous apprend que l'optimisation des flux énergétiques et informationnels est essentielle pour survivre. Une optimisation aveugle, au contraire, peut nous mener à des crises, comme la crise actuelle dans l'industrie alimentaire. Elle est reliée à la perte des distinctions, au flou des frontières dans la chaîne alimentaire. Nourrir les bovins avec des cadavres dépasse clairement les limites. Tandis que, autrefois, le consommateur connaissait l'animal, aujourd'hui l'image complète est perdue, sacrifiée pour une optimisation industrielle. En termes de réseau, la distance «verticale» (figure 6) s'est agrandie, ce qui veut dire que la causalité est graduellement perdue. À cela s'ajoute le fait que la distance «horizontale» s'est raccourcie, donnant lieu à un «mouvement aléatoire» plus important, vu que le mélange des éléments d'origine lointaine se retrouvent actuellement dans une plus grande proximité; par exemple lorsque l'on entend une œuvre de Brahms dans les toilettes de certains lieux publics, ou lorsqu'on monte un immense complexe pour passer les vacances en Turquie en recopiant le bâtiment du Kremlin, y compris la Place Rouge. Le processus décrit ci-dessus est facilité par une connectivité extrême. Par la vitesse de communication, tout devient plus proche, y compris les choses qui n'ont rien à faire l'une avec l'autre. Elles sont comme

des signaux sans contenu. On va attribuer automatiquement une fonction et un contenu à ces formes vides.

Ces deux phénomènes pris ensemble ont un potentiel dangereux. Non seulement le sens de la causalité se perd, mais par conséquent le sens du temps aussi. Les corps étrangers qui traînent sans être intégrés réduisent la cohérence du réseau et réduisent le souvenir du réseau. Ces deux phénomènes sont reliés à la disparition des bornes verticales (figure 6) — on ajoute n'importe quoi à l'alimentation — et à l'apparition des bornes horizontales — on ne sait plus d'où vient la nourriture.

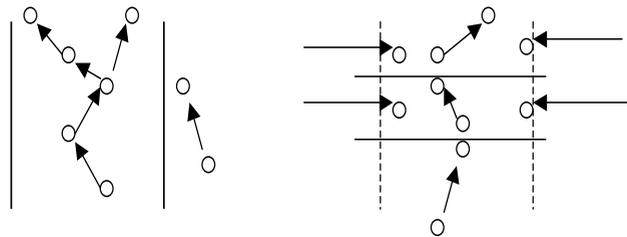


FIGURE 6

LA DISPARITION DES BORNES VERTICALES ET L'APPARITION DES BORNES HORIZONTALES

La situation rappelle celle du tas de sable. Au moment où le tas atteint une pente critique à force de rajouter du sable, le tas se réorganise avec des glissements. Est-ce que notre société est comparable par analogie au tas de sable, en assimilant la force adhésive entre les grains à notre compréhension de la causalité et l'adjonction de sable à l'insertion de corps étrangers dans le réseau? Dans le cas affirmatif, la fin d'un système peut ainsi être précipité par un manque de respect des différences et par la perte d'une hiérarchie causale.

5.5 Au-delà de la stabilité: contraction, isolation et la quête de la multitude

Nous avons vu que l'amplification différentielle dans un réseau

est un phénomène naturel, indispensable pour que le réseau obtienne une stabilité et, à partir de là, une certaine unicité. L'amplification n'empêche pas que le système amplifié garde toujours la possibilité de s'adapter à l'existence de plusieurs chemins qui sont moins importants à un moment donné, mais qui restent néanmoins disponibles. Tel est le cas, par exemple, avec le système métabolique. L'inhibition des fonctions mitochondriennes, par privation de nourriture, peut provoquer la recherche de chemins alternatifs capables de diminuer le taux de mortalité chez les personnes atteintes [43]. Cette situation de la présence des chemins alternatifs est représentée dans les figures 7a et 7a'.

Après l'amplification, nous introduisons la notion de «contraction» pour indiquer une amplification poussée à son extrême par la répétition d'un seul chemin au-delà de la flexibilité, en niant la potentialité d'autres chemins. Une telle situation est représentée dans les figures 7b et 7b'. Nous avançons l'idée que notre société dans sa globalité offre un exemple d'un réseau en voie de contraction. La contrainte de l'optimisation des flux matériels et informationnels, poussée à ses limites par une logique austère, a tendance à favoriser un seul chemin. Ainsi, dans notre société, selon la figure 7b, les membres (les nœuds dans la terminologie du réseau) doivent s'adapter à ce seul chemin, en migrant vers une niche de secours, afin de s'assurer leur quote-part de flux énergétiques et informationnels.

En Occident surtout, cette adaptation a été rendue possible par une valeur nettement réduite de la terre et de la manufacture, l'accent ayant été mis sur les valeurs mentales, non tangibles ou mesurables, ce qui permet une fluidité de la forme et de la fonction. À cela s'ajoute encore le fait que les êtres humains, en contraste avec les autres animaux, sont nés avec une capacité remarquable à se copier, et surtout à se copier avec exactitude. Cette adaptation nous a donné

un avantage évolutif plus rapide que l'évolution biologique elle-même dans des situations où l'environnement varie. Grâce à cette capacité, l'être humain est immédiatement prêt à s'adapter à un modèle ou à une personne qui a réussi [44]. La contraction se passe là où les gens se copient et se livrent en masse aux mêmes activités.

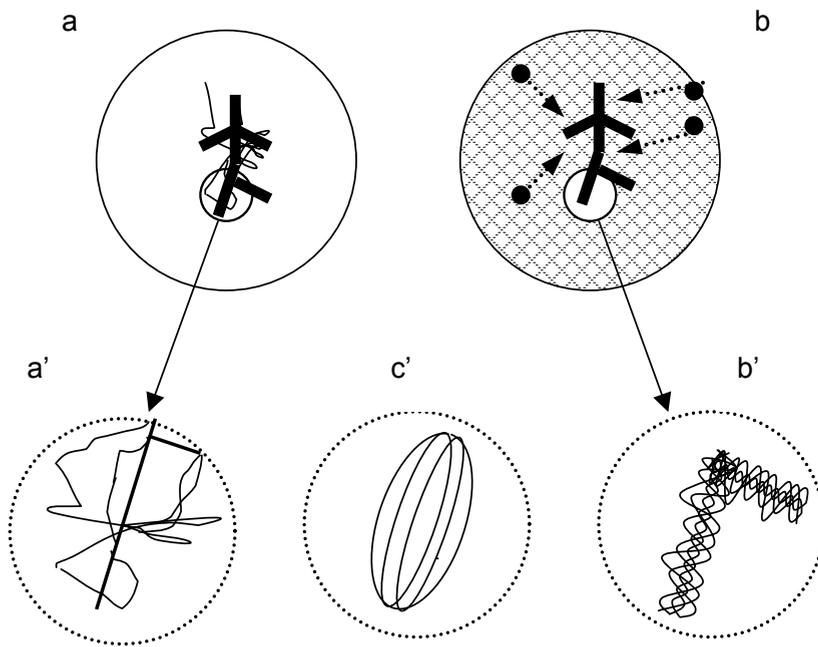


FIGURE 7

REPRÉSENTATION D'UN RÉSEAU AMPLIFIÉ (A ET A'), EN CONTRACTION (B ET B') ET SELON FELDENKRAIS (C')

La figure 8 propose un regard qualitatif sur les conséquences de ce processus au niveau de la fonction, de la forme et de leur aperçu.

La préférence extrême pour une seule solution ou un seul point de vue et la migration qui s'en suit est désormais facilitée par une connectivité élevée qui a partiellement aboli l'espace réel. Par la migration, le seul chemin se trouve alors rempli pour donner lieu à un réseau ultra-dense où une différenciation acharnée de fonctions

a lieu pour créer des niches dans cet espace réduit. Paradoxalement, cette différenciation, ressentie comme une ouverture vers un monde de nouvelles possibilités, émerge justement dans une situation de contraction. Ainsi, de nos jours, nous observons que les références répétitives au corps humain sont le sujet d'une amplification inouïe, menant à une aperception contractée et virtuelle qui favorise un nombre très réduit de *phénotypes**. Cette contraction va si loin que, selon des enquêtes internationales [45], 25 à 80 % des futurs parents seraient prêts à intervenir sur le génome de leurs enfants pour modifier leurs capacités physiques ou intellectuelles.

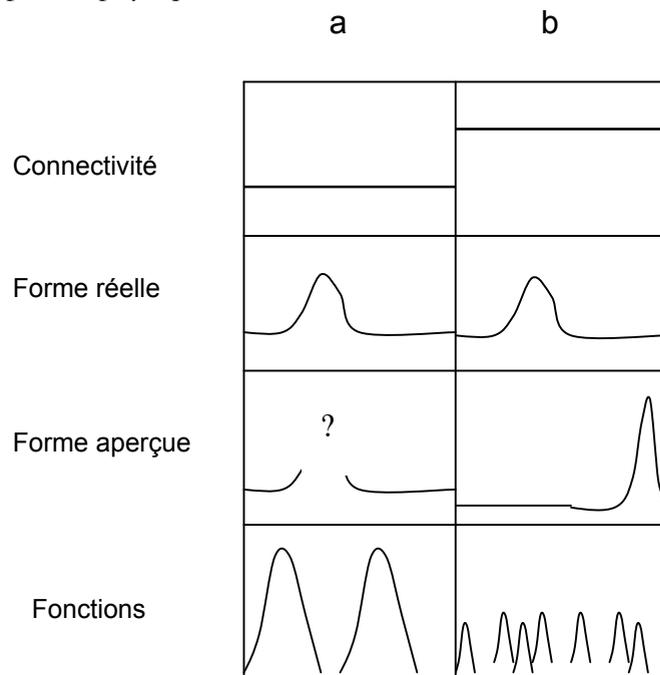


FIGURE 8
 REPRÉSENTATION DE CHANGEMENT DE PLUSIEURS PARAMÈTRES EN FONCTION
 D'UNE CONTRACTION CROISSANTE: CONNECTIVITÉ, FORME, FORME APERÇUE ET
 DISTRIBUTION DE FONCTIONS

Malgré le fait que, tout comme l'amplification, le phénomène de contraction est naturel — la contraction originale s'est initiée dans la

nuit des temps par le choix des quatre nucléotides de base ATCG qui, depuis, déterminent la vie —, les résultats dans un système beaucoup plus complexe qu'un ensemble de quatre molécules risquent d'être néfastes. En fait, on y retrouve tous les scénarios décrits auparavant, le recopiage, la dérive d'un système — par le bruit intérieur causé par la répétition des solutions et des formes exactes — et la perte de la conscience causale. Ces scénarios ont pour point commun qu'ils mènent à une perte d'information sur le réseau lui-même et sur son environnement, et à l'isolation face à l'information essentielle.

Les résultats immédiats de ce processus sont une fractalisation du réseau (figure 7b): le souvenir du réseau global diminue, tout comme le vide ou l'espace disponible, tandis que le bruit augmente par tous les produits de consommation qui n'ont pas de contenu informationnel. Effectivement, la création d'un réseau cohérent («searchable») dépend de l'uniformité de ses membres («nœuds»), leur connaissance du réseau n'ayant pas besoin d'être globale ou complet pour faire fonctionner le réseau [46]. Donc, l'uniformité et un manque de connaissances sont déjà inscrits dans la contraction comme résultat ultérieur. Dans un tel système, les membres sont progressivement définis par l'environnement. Par les publicités, la société exprime son besoin de susciter la consommation chez ses membres qui adoptent la seule fonction valable, celle de la connectabilité dans le réseau. La multiplication des produits de consommation devient de plus en plus facile parce que ces produits arrivent vides, sans obligation d'avoir une causalité ou un contenu contextuel. Par conséquent, la réplication de la forme exacte et extérieure peut devenir un but en soi et, pour reprendre l'exemple de l'alimentation, fait que tous les peuples vont manger la même chose, qu'ils supportent ou non cette nourriture, et que la quantité de nourriture produite dépassera largement les besoins, surtout en Occident.

Ces sources de bruit intérieur comme la surproduction nous accompagnent infailliblement, malgré les efforts de la société pour bannir les éléments stochastiques qui sont reconnus comme tels, tels que l'expérience de la mort ou les affres de la nature, en créant une réalité virtuelle et dans une tentative d'isoler le système de son contenu aléatoire. Pourtant les éléments bannis luttent contre leur écartement comme des bactéries devenues résistantes. Les virus d'ordinateurs qui émergent nous montrent le côté illusoire d'un monde sans bruit.

Une autre conséquence de la contraction est l'optimisation de l'isolement à l'égard de l'extérieur et aux éléments stochastiques de l'intérieur, sans pour autant les éliminer. Un exemple des conséquences néfastes de l'isolement est le cerveau humain quand il n'est plus capable de remplacer ses neurones perdus malgré la présence de cellules souches neuronales. On a proposé comme explication qu'il existe une résistance à accepter ce type de cellules dans un réseau neuronal établi, le résultat probablement d'une adaptation à garder des populations neuronales avec leur expérience accumulée durant une vie entière.

Dans un isolement optimisé, les éléments vraiment neufs sont méconnaissables parce que les structures figées excluent toutes les autres. Cependant, pour vivre, nos cerveaux ont besoin d'un flux d'impulsions toujours varié que notre société de divertissement fournit sous diverses formes. Il existe un gradient net vers les émotions et les impulsions qui stimulent le cerveau. Ce qui se traduit dans la pratique par la quête du gain maximal pour un investissement minimal, propre à la stratégie même de la vie.

Dans ce petit espace uniforme, les membres de la société essaient néanmoins de produire cette alternance d'impulsions qui est propre à l'information véritable, mais qui ne saura donner la même qualité que celle que nous procure la vie. Les nouveaux éléments

apparaissent comme des variations: c'est la quête de la multitude. En effet, en 2002, le volume des informations produites a atteint le chiffre de 5 milliards de Giga Octets, ou 800 Méga Octets par habitant de la planète [47]. Chercher la multitude revient en fait à chercher la hiérarchisation, l'expression du réseau qui s'affirme (cf. section 2).

Sans vide ou silence, l'information essentielle ne peut pas nous atteindre. Vu qu'un réseau est toujours une approximation pour tenter de récupérer la totalité de l'information essentielle provenant d'une source quelconque, la question se pose alors de combien cette approximation peut dévier d'une approximation optimisée pour une source variable, lorsque l'ancienne information n'est plus disponible. De cette réponse dépend le sort du réseau. Un système en contraction a moins de chance de capter une nouvelle information de l'extérieur parce qu'il a perdu de l'information à l'intérieur. Dans ce sens, la mort signifie l'incapacité de reconnaître et d'incorporer de l'information hautement qualitative, qui est toujours là, dans la société, à l'intérieur, mentalement aussi bien que corporellement, comme dans la Nature, à l'extérieur.

Références

- [1] Koos van Zomeren, «Malentendu à l'égard de la libération», paru dans le quotidien NRC Handelsblad (mai 1992).
- [2] Wiebo van Toledo, «Formes, Principes de la forme et sentiment de la forme», *Arkhai* **8** (septembre 2003), pp. 5–34.
- [3] Richard Dawkins, interview parue dans le quotidien NRC Handelsblad (8/9 mai 2004).
- [4] James Randerson, «Life began with a knack for copying», *New Scientist* (22 mai 2004), p. 15. À propos d'une idée de Addy Pross de l'université Ben-Gurion de Negev à Beer Sheva.
- [5] Leland H. Hartwell *et al.*, «From molecular to modular cell biology», *Nature* **402** (2 décembre 1999), pp. C47–C52.
- [6] Gill Bejerano *et al.*, «Ultraconserved elements in the human genome», *Science* **304** (28 mai 2004), pp. 1321–1325.
- [7] Ute Kehse, «Als das Leben die Vielfalt erfand», *Bild der Wissenschaft* **9** (2004), pp. 41–48.
- [8] Andrew E. Wurmser *et al.*, «Cellular Interactions in the stem cell niche», *Science* **304** (28 mai 2004), pp. 1253–1255.
- [9] Philip Cohen, «Gene off-switch puts us in charge», *New Scientist* (14 août 2004), p. 12.
- [10] Jason A. Papin *et al.*, «Metabolic pathways in the post-genome era», *Trends in biochemical Sciences* **28** (5 mai 2003), pp. 250–258.
- [11] Réka Albert, Hawoong Jeong et Albert Laszlo Barabasi, «Error and attack tolerance of complex networks», *Nature* **406** (27 juillet 2000), pp. 378–382.
- [12] H. Jeong *et al.*, «Lethality and centrality in protein Networks», *Nature* **411** (3 mai 2001), pp. 41–42.
- [13] E. Almaas *et al.*, «Global organization of metabolic fluxes in the bacterium *Escherichia Coli*», *Nature* **427** (26 février 2004), pp. 839–843.
- [14] Albert-Laszlo Barabasi et Eric Bonabeau, «Scale-free networks», *Scientific American* (mai 2003), pp. 50–59.
- [15] Steve Nadis, «Look who's talking», *New Scientist* (12 juillet 2003), pp. 36–39.
- [16] Mikhail V. Simkin et Vwani P. Roychowdhury, «Theory of Aces: Fame by chance or merit?», www.arxiv.org/abs/cond-mat/0310049.
- [17] T. A. Kennedy *et al.*, «Biodiversity as a barrier to ecological invasion», *Nature* **417** (6 juin 2002), pp. 636–638.
- [18] Richard Hollingham, «In the realm of your senses», *New Scientist* (31 janvier 2004), pp. 40–43.
- [19] Jean-Pierre Changeux, «Die Revolution in der Gehirnforschung», *Spektrum der Wissenschaft* (mars 2003), pp. 22–27.
- [20] Mark Fischetti, «Not two alike», *Scientific American* (mars 2003), pp. 74–75.
- [21] B. Carter, The «anthropic principle», *C. V. Vishveshwara*, Editions Cosmic Perspectives, Cambridge University Press, Cambridge, 1988, pp. 187–188.
- [22] Benoît B. Mandelbrot, *The fractal geometry of nature*, Freeman, New York, 1977.

- [23] Réka Albert, Hawoong Jeong et Albert-Laszlò Barabási, «Diameter of the World-Wide Web», *Nature* **401** (9 septembre 1999), pp. 130–131.
- [24] Geoffrey B. West, James H. Brown et Brian J. Enquist, «The fourth dimension of life: fractal geometry and allometric scaling of organisms», *Science* **284** (4 juin 1999), pp. 1677–1679.
- [25] Brian J. Enquist *et al.*, «Scaling metabolism from organisms to ecosystems», *Nature* **423** (5 juin 2003), pp. 639–642.
- [26] James H. Brown et Geoffrey B. West, «One rate to rule them all», *New Scientist* (1^{er} mai 2004), pp. 38–41.
- [27] H. Jeong *et al.*, «The large scale organization of metabolic networks», *Nature* **407** (5 octobre 2000), pp. 651–654.
- [28] C. C. Lamberg-Karlovsky, *The Rise and Fall of Civilizations: Modern Archaeological Approaches to Ancient Cultures*, Addison-Wesley, 1974.
- [29] Caleb Finch, *Longevity, Senescence and the genome*, University of Chicago Press, 1990.
- [30] Vicki Lundblad, «Taking the measure», *Nature* **423** (26 juin 2003), pp. 926–927.
- [31] «Lange Telomeren, langes Leben», *Neue Zürcher Zeitung* (13 mai 2004).
- [32] Kate Ravilious, «Chromosome clock ticks out our fate», *New Scientist* (10 avril 2004), p. 9.
- [33] George M. Martin et Lawrence A. Loeb, «Mice and Mitochondria», *Nature* **429** (27 mai 2004), pp. 357–358.
- [34] Philip Cohen, «Fast ageing reveals secrets of youth», *New Scientist* (29 mai 2004), p. 14.
- [35] Carl Zimmer, «Stretching the limits of evolutionary biology», *Science* **304** (28 mai 2004), pp. 1235–1236.
- [36] Simon Conway Morris, *Life's Solutions: Inevitable Humans in a Lovely Universe*, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
- [37] Marc Baumgartner, «Wenn komplexe Systeme zusammenbrechen», *Neue Zürcher Zeitung* (19 mai 2004).
- [38] Kate Ravilious, «Destined for destruction», *New Scientist* (10 janvier 2004), pp. 42–45; Clifford Brown et Walter Witschey, *Journal of Archaeological Science* **30** (2003), pp. 1619–1632; W. Cavanagh et R. R. Laxton, «The Rank-size Dimension and the History of Site Structure from Survey Data», *Quantitative Anthropology* **5**, pp. 327–358.
- [39] Richard P. Taylor, «Order in Pollock's chaos», *Scientific American* (décembre 2002), pp. 84–89.
- [40] *Science et Vie* (janvier 2004), p. 17.
- [41] Anne Marowski, «Wie die Feldenkreis-Methode funktioniert», *Neue Zürcher Zeitung* (6 mai 2004).
- [42] *3Sat Kulturzeit* (28 octobre 2003), www.3sat.de/kulturzeit/themen/52301/index.html.
- [43] Shino Nemoto et Toren Finkel, «Ageing and the mystery at Arles», *Nature* **429** (13 mai 2004), pp. 149–152.

- [44] Kate Douglas, «When you wish upon a star», *New Scientist* (16 août 2003), pp. 26–31.
- [45] La Recherche, «Vers l'humain génétiquement modifié» (juillet-août 2004), pp. 70–72.
- [46] Mark Buchanan, «Know thy neighbour», *New Scientist* (17 janvier 2004), pp. 32–35.
- [47] Pasko Rkic, «Immigration denied», *Nature* **427** (19 février 2004), pp. 685–686.

Lexique

ARN messenger (ARN_m)

Le transcrite de l'ADN utilisé dans la synthèse des protéines.

ARN interférence (ARN_i)

Mécanisme permettant à un ARN relativement court de se lier à un ARN_m pour le rendre inopérant.

Escherichia Coli

Terme latin qui désigne une bactérie fréquemment utilisée dans les expériences en biologie dans le but de comprendre le fonctionnement de la cellule.

Génotype

L'ensemble des caractères inscrits dans le génome, mais pas nécessairement réalisés au niveau de l'individu (opposé à phénotype).

Homologue

Se dit de protéines ou de gènes qui ont une partie de leur séquence en commun.

Métabolome

L'ensemble des éléments qui contribuent au métabolisme d'un organisme.

Métabolisme

L'ensemble des réactions physico-chimiques qui assurent la survie d'un organisme.

Mytose

Phase dans laquelle la cellule mère se divise en deux cellules filles.

Phénotype

L'ensemble des caractères réalisés au niveau de l'individu (opposé à génotype).

Pléotropie

Le fait qu'un même gène commande la réalisation de plusieurs caractères phénotypiques (opposé à polygénie).

Polygénie

Le fait qu'un même caractère est déterminé par plusieurs gènes.

Protéasome

Complexe protéique servant à dégrader les protéines non fonctionnelles.

Protéome

Le réseau d'interactions formé par l'ensemble des protéines.

Télomères

Séquence de nucléotides située à l'extrémité des chromosomes, constituée par la répétition d'un motif de base, et qui sert à limiter la division cellulaire.

L'auteur remercie Akos Dobay pour avoir relu et corrigé le présent article.