

1

VIE ET VIE ARTIFICIELLE

«D'ici cinquante à cent ans, une nouvelle classe d'organismes va probablement émerger. Ces organismes seront artificiels dans le sens où ils auront été conçus à l'origine par des humains. Néanmoins, ils se reproduiront et évolueront vers quelque chose d'autre que leur forme initiale; ils seront «vivants» quelle que soit la définition raisonnable du terme. [...] L'arrivée de la vie artificielle sera l'événement historique le plus significatif depuis l'émergence de l'humanité¹.»

Ainsi, et selon certains, l'heure est proche où l'homme créera de nouvelles formes de vie. Est-ce vraiment possible? D'une manière générale, qu'est-ce que la vie artificielle? Mais aussi qu'est-ce que la vie? Ce chapitre introductif tentera d'apporter des éléments de réponse à ces questions.

1. FARMER J.D., D'A. BELIN A, 1992. - [II-13], p. 815.

Le *Lieh Tzu*, écrit en Chine vers le III^e siècle avant J.-C., raconte qu'on présenta un jour l'artificier Yen Shih au roi Mu¹. «Que sais-tu faire?» demanda le roi. «Tout ce que sa majesté pourra commander, mais j'ai déjà construit quelque chose que j'aimerais lui montrer.» Quand Yen Shih revint, le roi s'étonna: «Qui est cet homme qui t'accompagne?» «Ceci, majesté, je l'ai réalisé de mes mains, il sait chanter et agir.» Aux ordres de Yen Shih, l'homme se mit à chanter d'une belle voix, se déplaçant avec grâce. Tout ce que l'artificier demandait était réalisé à la perfection; il semblait impossible que ce ne fût pas un homme réel. Vers la fin de la démonstration, l'homme s'approcha d'une concubine dans une attitude équivoque. Voyant la colère du roi et craignant pour sa vie, l'artificier se précipita sur lui et le réduisit en pièces, prouvant qu'il s'agissait bien d'une machine. On put vérifier qu'il était fait de cuir, de bois et de colle, et que ces matériaux reproduisaient les principaux organes comme le foie ou l'estomac. Quand Yen Shih l'eut remonté, l'homme retrouva son apparence originelle. Le roi s'amusa alors à lui ôter le cœur, ce qui l'empêcha de parler, puis le foie, ce qui le rendit aveugle. Amusé et enchanté, le roi Mu déclara: «Est-il possible que l'habileté des hommes puisse égaler celle du grand Créateur de la Nature?»

Plus familier pour nous, vers le VI^e siècle avant J.-C., le dramaturge ESCHYLE présenta la légende de Prométhée où un être d'essence terrestre parvenait à égaler les dieux en donnant la vie à l'une de ses créations. Plus tard, au début de notre ère, OVIDE raconta la légende du sculpteur Pygmalion, tombé amoureux de la statue à laquelle il avait consacré tout son talent. Attendrie par cet amour, la déesse Vénus accepta de lui donner l'étincelle qui lui manquait; un être créé de main d'homme arriva ainsi à la vie. De son côté, la tradition juive a prétendu qu'il était possible pour le juste de donner la vie à une statue d'argile (Golem) en écrivant le mot «emet» (vérité) sur son front. Il suffisait alors d'effacer une lettre pour obtenir «met» (mort) et la réduire en poussière.

Pour la mythologie occidentale contemporaine, l'homme créé de main d'homme c'est d'abord le *Frankenstein*² de Mary SHELLEY (1818). Ce livre a eu une influence telle que l'on parle maintenant couramment du «complexe de Frankenstein» pour évoquer la propension de l'homme à déborder les limites que la nature lui aurait assignées.

L'homme est-il capable de créer la vie? Ces différentes légendes montrent l'universalité, mais aussi l'ancienneté de ce désir ou de ce fantasme. Pourtant, durant l'essentiel de l'histoire de l'humanité, la vie a été considérée comme le propre du divin. Phénomène incompris, voire incompréhensible car d'essence supérieure, son apparition ne pouvait s'expliquer par le simple

1. Cité dans MAZLISH B., 1995. - [II-26].

2. SHELLEY M., 1997. - [II-41].

jeu des lois naturelles; seul un être doté de pouvoirs «surnaturels» peut donner la vie.

Les hommes ont néanmoins toujours cherché à reproduire le vivant sous une forme ou une autre. Déjà, les prêtres égyptiens construisaient des statues qu'ils animaient secrètement, renforçant ainsi les croyances populaires dans le panthéon local. C'est grâce à la mécanique et l'horlogerie que l'on a pu réaliser les premiers êtres artificiels concrets, se mouvant automatiquement. On pense en particulier aux jacquemarts qui, dès le XII^e siècle, étaient chargés de marquer le passage du temps.

Plus tard, DESCARTES a affirmé que, fondamentalement, les organismes vivants et le corps humain peuvent s'interpréter en termes mécaniques, alors que l'esprit est d'une essence autre (dualisme):

«[ceux qui connaissent les automates] considéreront [le] corps comme une machine qui, ayant été faite des mains de Dieu, est incomparablement mieux ordonnée, et a en soi des mouvements plus admirables, qu'aucune de celles qui peuvent être inventées par les hommes [...] s'il y avait de telles machines qui eussent les organes et la figure d'un singe ou de quelque autre animal sans raison, nous n'aurions aucun moyen pour reconnaître qu'elles ne seraient pas en tout de même nature que ces animaux...¹»

Les automates², ces machines réalisées de mains d'homme qui se veulent copies du vivant, ont connu un succès grandissant à partir du XVII^e siècle. Les réalisations les plus impressionnantes datent du XVIII^e avec, en particulier, le grenoblois Jacques de VAUCANSON (1709-1782) et le suisse Pierre JACQUET-DROZ (1721-1790).

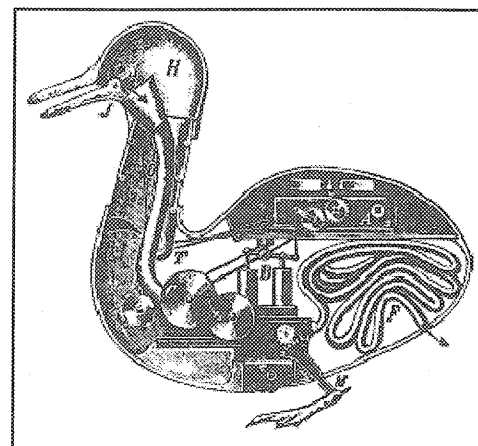
Fort de ses connaissances en anatomie et encouragé en cela par François QUESNAY³ (1694-1774), médecin de Louis XV, VAUCANSON a cherché à reproduire les mécanismes du vivant au sein d'automates. Le Canard digérant (figure 1.1), présenté en 1739, est la plus célèbre de ses réalisations. Il était capable d'ingérer les graines que l'on posait devant lui. Pendant qu'il se nourrissait, il se relevait de temps à autre en faisant mine de surveiller alentour ou bien il s'ébrouait, déployant des ailes d'un réalisme étonnant. Il «digérait» ensuite ses aliments avant de les excréter. VAUCANSON présenta également en 1738 le Joueur de flûte, androïde capable de jouer une dizaine de morceaux différents sur une flûte traversière. Des mécanismes complexes de gestion du souffle et des mouvements des doigts en faisaient un vrai

1. DESCARTES R., 1999. - [II-10], p. 69-70.

2. Il existe un magnifique site en français qui présente ces automates: www.automates-anciens.com. Philippe SAVOUS, qui gère ce site, a réalisé une vidéo remarquable sur les automates anciens: *Les androïdes de Jaquet-Droz*. Ce film a été sélectionné au XXV^e Festival international du film d'art et pédagogique à l'UNESCO (2001).

3. François QUESNAY est surtout célèbre en tant que fondateur de l'école économique dite «physiocratique». Par analogie avec la circulation sanguine, QUESNAY a proposé un «tableau économique» montrant la circulation de richesses dont l'origine était exclusivement agricole.

joueur et non une simple simulation. D'autres activités ont ensuite amené VAUCANSON à s'éloigner des automates, mais durant sa vie entière, il a souhaité construire des machines qui imitèrent au plus près l'ensemble des mécanismes du vivant. Déjà, il avait pour ambition la réalisation d'automates pouvant aider les médecins à comprendre le fonctionnement intime, mécanique, des êtres humains.



D'après CHAPUIS A., GÉLIS E., 1928. - [II-6].

Figure 1.1 Le canard de Vaucanson

Pierre JACQUET-DROZ est l'autre figure célèbre du XVIII^e siècle. Là encore, ses automates imitaient le vivant à la perfection. Le plus célèbre, la Musicienne, était capable de jouer différents morceaux sur un orgue. Son aptitude à suivre la partition des yeux, à simuler la respiration ou à saluer le public en ont fait l'un des plus beaux automates jamais construits. Certains des automates de JACQUET-DROZ n'étaient pas figés, il était possible en changeant les cames de leur faire exécuter des tâches différentes; ils étaient programmables.

La révolution scientifique du XX^e siècle a donné une nouvelle actualité au complexe de Frankenstein, à ce désir de créer la vie. En septembre 1987, à l'initiative de C. LANGTON, s'est tenue à Los Alamos aux États-Unis la première conférence internationale sur la vie artificielle. L'étude des méthodes d'élaboration de structures vivantes se voulait désormais un corpus scientifique à part entière. Cette ambition trouve son origine dans les progrès de la logique mathématique à partir des années trente qui ont permis la construction théorique, puis pratique, d'une *machine universelle*: l'ordinateur. Mais avant de présenter ces avancées scientifiques, nous devons, préalable essentiel, nous arrêter sur le concept même de vie.

QU'EST-CE QUE LA VIE?

Cette question, titre d'un ouvrage du grand physicien Erwin SCHRÖDINGER¹ (1887-1961), continue de soulever d'importants problèmes. À ce jour, on ne dispose toujours pas d'une définition incontestée de la vie. Ainsi, la biologie fait-elle partie de ces disciplines scientifiques qui ne parviennent pas à définir précisément leur objet. Pourtant, dès la première enfance, chacun est parfaitement capable de discerner l'inerte du vivant. Les définitions de la vie sont aussi variées que les auteurs qui s'y sont attachés. Un grand nombre d'entre elles reposent sur une liste de propriétés dont le rassemblement définirait les spécificités du vivant. D'autres, plus théoriques, s'appuient sur des propriétés parfois d'un haut niveau d'abstraction. Nous présenterons ici quelques-unes des approches de la vie qui ont eu le plus d'influence dans le domaine de la vie artificielle.

La vie: un ensemble de propriétés

La vie est un phénomène complexe, tellement complexe, tellement divers, que dans l'incapacité de cerner un invariant simple, on a souvent été obligé de la définir à partir d'un ensemble de propriétés. Ce type de définition énumérative, que l'on retrouve chez de nombreux auteurs, est essentiellement empirique. Elles reposent sur la simple observation de la nature et ne présupposent généralement aucun fondement théorique spécifique. Le résultat se veut imparfait ou incomplet, mais doté néanmoins d'une réelle efficacité opérationnelle.

Ainsi, selon J. MONOD², les êtres vivants se caractérisent-ils par trois propriétés fondamentales:

1. Ils sont des objets doués d'un projet, c'est la propriété dite de « téléonomie ».
2. Ils se caractérisent par l'autonomie du processus de morphogenèse, c'est-à-dire du processus de construction de la morphologie.
3. Ils sont capables de reproduction invariante: leurs descendants sont semblables à eux-mêmes.

Il en résulte que: « Le projet téléonomique essentiel [consiste] dans la transmission, d'une génération à l'autre, du contenu d'invariance caractéristique de l'espèce³. »

1. SCHRÖDINGER E., 1986. - [II-40]. L'édition originale date de 1944. SCHRÖDINGER est célèbre pour son équation éponyme, proposée en 1926, qui décrit la fonction d'onde (ψ) omniprésente en mécanique quantique.

2. MONOD J., 1970. - [II-28], plus particulièrement le chapitre I.

3. MONOD J., 1970. - [II-28], p. 30.

Cette liste se veut complète. Grâce notamment au concept de téléonomie, elle présenterait les éléments nécessaires et suffisants à la définition de la vie. Plus modestement, le grand biologiste Ernst MAYR a retenu de son côté huit caractéristiques qui différencient le vivant de l'inerte¹:

1. À tous les niveaux du vivant, les organismes sont dotés d'une organisation hautement complexe et adaptative.
2. Les organismes sont composés d'un ensemble unique de macromolécules.
3. Les phénomènes importants chez les êtres vivants sont qualitatifs plutôt que quantitatifs.
4. À tous les niveaux du vivant on retrouve des groupes très variables d'individus uniques.
5. Les organismes disposent d'un programme génétique qui leur permet de s'engager dans des activités téléonomiques.
6. On définit les classes d'êtres vivants par les liens avec un ancêtre commun.
7. Les organismes sont le produit de la sélection naturelle.
8. Les processus biologiques sont imprévisibles.

Une telle liste montre les particularités du vivant, mais ne renseigne pas sur leur origine. Des définitions plus lâches, mais d'une plus grande efficacité opérationnelle, ont été proposées. On doit la plus fameuse dans le domaine de la vie artificielle à J. D. FARMER et Alleta d'A. BELIN² qui ont retenu huit critères associés au vivant:

1. La vie est une structure, une organisation (*pattern*) s'inscrivant dans l'espace-temps plutôt qu'un objet matériel spécifique. Comme le montre le remplacement constant de nos cellules au cours de notre vie, c'est l'organisation sous-jacente qui compte et non les atomes spécifiques qui nous constituent à un moment donné.
2. Les êtres vivants sont capables d'autoreproduction. Si ce n'est pas le cas de certains organismes particuliers (les mulets par exemple), c'est au moins celui d'organismes qui leur sont directement liés (leurs parents).
3. Les organismes contiennent une représentation d'eux-mêmes. La biologie moléculaire a montré que tous les êtres vivants contiennent des molécules d'ADN qui les décrivent, leur génome.
4. Les êtres vivants sont dotés d'un métabolisme, c'est-à-dire qu'ils sont capables d'utiliser les ressources et l'énergie disponibles dans l'environnement pour les convertir et les intégrer dans l'organisation générale que constitue l'organisme.

1. MAYR E., 1982. - [II-25], cité par BEDAU M., 1996. - [II-1], p. 336.

2. FARMER J.D., d'A. BELIN A., 1992. - [II-13], p. 818.

ronnement pour les convertir et les intégrer dans l'organisation générale que constitue l'organisme.

5. Les êtres vivants sont capables d'interagir de manière utile avec leur environnement.
6. Les éléments qui constituent un organisme sont interdépendants, l'une des principales conséquences en est la capacité à mourir. Un rocher brisé en deux reste un rocher, un être vivant coupé en deux va disparaître en tant que tel¹.
7. Les organismes sont capables de maintenir une certaine stabilité face aux perturbations de leur environnement.
8. Les organismes sont capables d'évoluer. Cette propriété ne relève pas de l'individu, mais de la lignée, laquelle est une caractéristique importante des êtres vivants.

Cette liste ne se veut pas parfaite. Elle répond par exemple difficilement à la question du caractère vivant des virus ou des proto-organismes dont on suppose qu'ils ont été les précurseurs des formes de vie actuelles. Les auteurs considèrent en fait qu'il existe une continuité entre l'inerte et le vivant et qu'il est en conséquence possible d'envisager des formes quasi vivantes. Cette énumération est néanmoins d'une grande qualité: il est difficile d'ôter une propriété, mais aussi d'en trouver une qui ne découle pas des huit propositions. Elle est d'une manière générale assez exhaustive et d'une efficacité opérationnelle suffisante pour être largement retenue.

Approche thermodynamique de la vie

«Quel est le trait caractéristique de la vie? Quand dit-on qu'une portion de matière est vivante? Quand elle ne cesse de "faire quelque chose", de se mouvoir, d'échanger des matériaux avec le milieu environnant [...] Quand un système non vivant est isolé ou placé dans un milieu uniforme, tout mouvement cesse en général assez vite [...] C'est en évitant la décomposition rapide vers un état inerte "d'équilibre" qu'un organisme apparaît si énigmatique [...] Comment l'organisme vivant retarde-t-il la décadence? La réponse est évidente: en mangeant, respirant et (dans le cas des plantes) en assimilant. Le terme technique est "métabolisme"².»

Dès les années quarante, SCHRÖDINGER a ainsi insisté sur le déséquilibre thermodynamique permanent qui caractérise le vivant, ceci bien avant que l'on dispose d'une théorie capable de l'expliquer.

1. Certains animaux possèdent une organisation suffisamment décentralisée et de telles capacités de régénération qu'ils peuvent survivre à cette épreuve. Mieux encore, on sait par exemple qu'un ver de terre coupé en deux donne deux vers de terre (si l'un des deux morceaux n'est pas trop court). Certains échinodermes font montre de capacités encore plus impressionnantes.

2. SCHRÖDINGER E., 1986. - [II-40], p. 168-171.

La *thermodynamique* est au cœur de la physique contemporaine. Elle a été à l'origine de remises en cause essentielles. La science héritée des Lumières proposait une interprétation réversible des phénomènes physiques. Les équations de NEWTON, mais aussi celles de la relativité peuvent s'interpréter dans les deux sens, on peut aussi bien examiner le futur que le passé. Jusqu'à l'irruption de la thermodynamique au XIX^e siècle, cette réversibilité était considérée comme l'essence du réel.

La thermodynamique — science de l'utilisation de la chaleur et des échanges d'énergie — trouve son origine dans l'étude des machines à vapeur. Elle traite des phénomènes macroscopiques et pose deux principes fameux:

1. Le premier principe pose l'équivalence entre chaleur et travail et affirme que l'énergie d'un système isolé est constante. Il en résulte notamment que la quantité d'énergie dans l'univers n'a pas changé depuis son origine.
2. Le second principe brise la symétrie énoncée par le premier. Il pose qu'il n'est pas possible de transformer la totalité de la chaleur en travail. Plus précisément, il dit que l'entropie d'un système isolé ne peut pas décroître.

Par entropie, on entend ici une mesure du désordre d'un système donné. On peut illustrer cette tendance très simplement. En l'absence d'interventions spécifiques (c'est-à-dire de rangement), votre appartement tend à être de plus en plus désordonné. Ceci tient au fait que les configurations désordonnées sont beaucoup plus probables, parce que beaucoup plus nombreuses, que les configurations ordonnées. La configuration dans laquelle on trouve des livres aussi bien dans la bibliothèque que par terre ou sur le lit est plus probable (en l'absence de rangement) que celle où tous les livres sont précautionneusement classés dans la bibliothèque. C'est l'application de ce principe qui, par exemple, rend impossible le transfert spontané de chaleur d'un corps froid vers un corps chaud. Cette découverte qui forme maintenant l'un des piliers fondamentaux de la science, a amené VON HELMOLTZ (1821-1894) à déclarer: «L'Univers court à sa mort¹», la croissance de l'entropie, donc du désordre, amène l'univers vers un état où plus rien de structuré ou d'organisé ne pourra subsister. Au cours des années quarante, la théorie de l'information que l'on doit notamment à Claude SHANNON (1916-2001) a montré l'équivalence entre entropie et information. Le second principe conduit à une rupture de la réversibilité des phénomènes physiques: si les phénomènes réversibles se déroulent à entropie constante, les processus

1. Cité dans TRIN XUAN THUAN, 1998. - [II-46], p. 383.

irréversibles amènent un accroissement de l'entropie, on ne peut pas revenir en arrière. Il existe donc une *flèche du temps*:

«[L'irréversibilité] est à la base d'une foule de phénomènes [...] [qui] illustrent le rôle constructif fondamental de la flèche du temps. L'irréversibilité ne peut plus être identifiée à une simple apparence qui disparaîtrait si nous accédions à une connaissance parfaite. Elle est une condition essentielle de comportements cohérents dans des populations de milliards de milliards de molécules¹.»

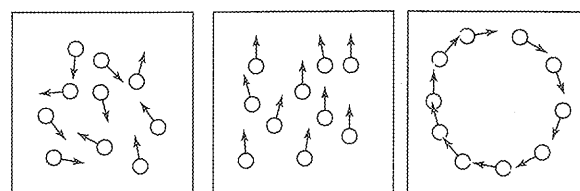
L'entropie doit croître, l'univers évolue vers un désordre croissant. Ces assertions sont maintenant au cœur de la physique, pourtant elles contredisent clairement l'observation. Les êtres vivants en particulier sont des structures hautement organisées, comment ont-elles pu apparaître et se développer malgré la contrainte de la croissance de l'entropie? C'est au prix Nobel de chimie Ilya PRIGOGINE (1917-) que l'on doit la réponse à cette question². PRIGOGINE s'est intéressé aux phénomènes thermodynamiques loin de l'équilibre. Il a montré que les interactions non linéaires qui s'y produisent sont susceptibles d'amplifier les fluctuations internes pour amener le système vers un nouvel état macroscopique stable, éventuellement plus structuré que l'état précédent. Examinons le cas célèbre des cellules de BÉNARD produites à partir d'une boîte remplie d'eau (figure 1.2). Au départ, les molécules d'eau se heurtent au hasard et on ne peut y distinguer aucune organisation; la masse d'eau est dans un état d'équilibre. Si l'on chauffe la boîte par le bas, les molécules s'orientent vers le haut dans des courants de convection verticaux désordonnés; on est alors dans des conditions proches de l'équilibre. Si l'on chauffe encore, c'est-à-dire si l'on augmente la différence de température entre le haut et le bas de la masse d'eau (gradient), on assiste à la constitution de tourbillons et de boucles convectives — les cellules de BÉNARD — qui ont un diamètre sensiblement égal à la hauteur d'eau et des sens de rotation opposés deux à deux. La matière semble donc s'organiser «spontanément» pour mieux évacuer la chaleur. L'apparition des boucles «[correspond] à un nouveau mode de transport de la chaleur; c'est un changement de phase qui a conduit à une structure de non-équilibre. Ces changements de phases se produisent à des points de bifurcation³ et généralement ces points brisent une symétrie du système. [...] Cette expérience est vieille d'un siècle; j'y ai lu un message: *le non-équilibre crée des structures*⁴».

1. PRIGOGINE I., 1996. - [II-35], p. 12.

2. PRIGOGINE I., STENGERS I., 1979. - [II-34].

3. On parle de bifurcations quand, dans un système d'équations, à une faible variation des paramètres correspond une transformation profonde des solutions. La théorie des bifurcations est massivement utilisée dans la théorie du chaos.

4. PRIGOGINE I. (DIR.), 2001. - [II-36], p. 18-19, italiques originales.



D'après PRIGOGINE I. (DIR.), 2001. - [II-36], p. 18.

Figure 1.2 Formation des boucles de BÉNARD

La possibilité existe donc d'un mouvement allant du désordre à l'ordre; d'un mouvement moléculaire aléatoire à une dynamique structurée. Un tel système doit être ouvert; il suppose un apport permanent d'énergie. Cette énergie est dissipée vers l'extérieur au cours du processus de structuration, aussi, à la réduction d'entropie interne au système correspond un accroissement plus que proportionnel de l'entropie de l'environnement. Selon PRIGOGINE, «la dissipation crée la complexité», une telle structure a ainsi été baptisée *structure dissipative*. Les structures dissipatives permettent de respecter la seconde loi tout en admettant l'émergence locale de structures complexes, donc à faible niveau d'entropie. Or, «c'est précisément ce qui est typique des systèmes vivants: ils ont la capacité de créer de l'ordre à partir du chaos simplement en étant assurés d'un accès à un flux d'énergie continu les traversant¹.» (figure 1.3).

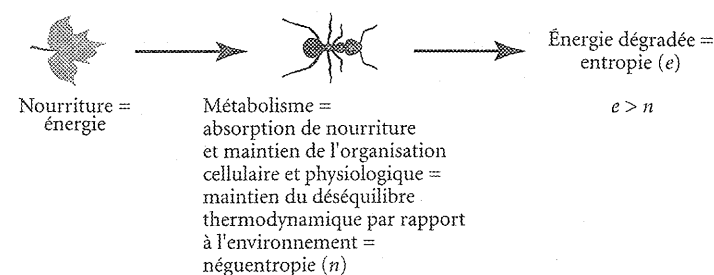


Figure 1.3 La vie comme structure dissipative

La vie peut donc s'interpréter comme structure dissipative:

«Selon une formule que j'aime répéter: la matière est aveugle à l'équilibre là où la flèche du temps ne se manifeste pas; mais lorsque celle-ci se manifeste, loin de l'équilibre, la matière commence à voir! Sans la cohérence des processus irréversibles de non-équilibre, l'apparition de la vie sur la Terre serait inconcevable².»

1. EMMECHE C., 1994. - [I-7], p. 36.

2. PRIGOGINE I., 1996. - [II-35], p. 12.

Cette propriété reste toutefois insuffisante pour définir la vie. Il existe dans la nature de nombreuses structures dissipatives qui ne relèvent en aucune manière de la vie comme les cellules de BÉNARD que nous venons d'évoquer.

Vie et autopoïèse

Pour les cognitivistes H. MATURANA et F. VARELA, la vie est d'abord une question d'organisation. C'est la spécificité de cette organisation qui la définit. Dans la cellule vivante, les mécanismes de construction de la membrane et des métabolites internes sont intimement liés; ils ne fonctionnent que l'un par rapport à l'autre, que l'un avec l'autre. C'est cette capacité de certains systèmes à se «produire eux-mêmes» (*autopoïèse*) dans une boucle autoréférente qui caractérise la vie. Malgré son élégance, cette définition est insuffisante et d'une efficacité opérationnelle problématique.

Le cognitiviste¹ chilien Humberto MATURANA s'est heurté au cours des années soixante au problème de la définition de la vie. Pour lui, l'analyse des processus cognitifs doit d'abord se fonder sur des critères biologiques; il y aurait une «non séparabilité du vivant et du cognitif», les cognitivistes doivent donc disposer d'une définition claire de la vie, cadre central de leurs recherches. Rejoint par l'un de ses étudiants, Francisco VARELA (1946-2001), les deux chercheurs ont proposé ce que l'on qualifie maintenant de définition autopoïétique de la vie.

Les auteurs partent de l'idée d'autonomie. Est autonome «ce qui se donne à soi-même sa propre loi». Cette propriété trouverait sa source dans la circularité ou l'*autoréférence*. L'exemple le plus connu de proposition autoréférente est le célèbre paradoxe d'ÉPIMÉNIDE: «Tous les Crétois sont des menteurs².» Sachant qu'ÉPIMÉNIDE est lui-même Crétois, deux possibilités s'offrent à nous:

- Il ment et dans ce cas les Crétois disent la vérité, ce qui n'est pas possible puisque lui-même est Crétois.
- Il dit la vérité, ce qui n'est pas possible puisqu'ÉPIMÉNIDE en tant que Crétois ne peut alors que mentir.

Bertrand RUSSEL (1872-1970) a proposé de même le paradoxe du barbier: «Si le barbier rase tous ceux qui ne se rasent pas eux-mêmes, qui rase le barbier?» Ces propositions bouclent sur elles-mêmes, si elles sont vraies alors elles sont fausses, mais dans ce dernier cas elles sont vraies, donc fausses, etc. De telles assertions produisent les oscillations suivantes³:

1. Les sciences cognitives ont pour objet l'étude du fonctionnement et des propriétés de l'esprit.

2. Qu'on peut réduire au simple «je mens».

3. VARELA F.J., 1989. - [II-51], p. 25.