



Jean - Pierre
AUBIN

**La mort du devin,
L'émergence du démiurge**

*essai sur La CONTINGENCE,
La viabilité et L'INERTIE des systèmes*

A PIERRE TABATONI et KARL SIGMUND,

à qui cet essai doit beaucoup,
avec affectueuse reconnaissance,

et à PIERRE-CYRIL AUBIN-FRANKOWSKA,

qui trouvera dans ces pages l'héritage
que je souhaite lui léguer.

Mais on ne remarque pas assez que la pensée dérange avant d'arranger, et même qu'elle dérange tout en arrangeant.

Simone Pétrement

LE DUALISME CHEZ PLATON, LES GNOSTIQUES ET LES MANICHÉENS

Les destins de la science et de la philosophie ne sont pas séparables. Leurs lois d'évolution semblent cependant s'opposer : en dépit de l'unité d'intention, les vues philosophiques divergent ; en dépit de la diversité des hypothèses et des voies d'approche, les vues scientifiques convergent.

Ferdinand Gonseth

LE PROBLÈME DU TEMPS

“Les hommes se tromperont toujours quand ils abandonneront l'expérience pour des systèmes enfantés par l'imagination. L'homme est un ouvrage de la nature, il existe dans la nature, il subit ses lois, il ne peut s'en affranchir, il ne peut, même par la pensée, en sortir.”

Paul Henri Thiry, baron d'Holbach

SYSTÈME DE LA NATURE

“J'ajoute que pour autant qu'Aristote est mon ami, la vérité est encore plus mon amie, comme il l'a lui-même dit à propos de Platon.”

Giulio Cesare Vanini

DE ADMIRANDIS NATURAE ARCANIS

Remerciements

Trop de personnes ont stimulé mes réflexions et éveillé ma curiosité pour qu'il me soit possible de les citer toutes.

Hélène Frankowska (qui, dès lors que l'on sort du domaine mathématique, ne partage pas nombre des vues exposées dans les pages qui suivent) est le co-auteur explicite et implicite de nos contributions à l'analyse multivoque et la théorie de la viabilité, tellement mêlées qu'il serait vain de discerner les influences réciproques.

J'ai une dette spéciale envers Jacques-Louis Lions et Laurent Schwartz qui m'ont formé à la recherche, dette que je ne pourrai jamais rembourser autrement qu'auprès des étudiants qui m'ont accordé leur confiance, ainsi qu'envers Pierre Tabatoni, qui m'a initié aux sciences économiques.

Je suis redevable à Karl Sigmund de nombreuses suggestions, même si, sur quelques points, nos idées ne sont pas semblables. Parmi ceux avec qui j'ai eu le plaisir de collaborer, Alain Bensoussan, Ivar Ekeland et Daniel Gabay ont eu à un moment ou un autre une influence sur mes idées.

Noël Bonneuil, Ham Brézis, Jean Cartelier, Michel Gillois, Paul-André Rosental, François Sigaut, Emmanuel Todd, Jacques Weber, Gérard Weisbuch et Marisa Zavaloni m'ont fait bénéficier de leurs encouragements, critiques et conseils. Qu'ils ne m'en veuillent pas si je ne les ai pas tous suivis.

Je remercie également Henri-Jean Aubin, Marie-Christine Aubin, Pierre Cardaliaguet, Nathalie Caroff, Luc Doyen, Anne Gorre, Philippe Lacoude, Jean-Claude et Juliette Mattioli, Laurent Najman, Marc Quincampoix, Patrick Saint-Pierre et Henri Siffre d'avoir relu et amélioré le manuscrit de ce livre à divers stades de sa rédaction.

En rédigeant ce livre, j'ai appris que Jean-Baptiste Duroselle nous a quitté le 12 Septembre 1992. Il ne sera plus parmi nous pour voir la version finale de cet ouvrage dont il a connu quelques versions préliminaires. Son livre *Tout empire périra* m'avait instantanément inspiré, et il avait su réserver le meilleur accueil aux métaphores mathématiques de ses idées. On trouvera un écho de ses vues pénétrantes dans ces pages. Je remercie également Luigi Crudo, directeur du Centro Studi Giulio Cesare Vanini de Taurisano des livres qu'il m'a offerts, des informations qu'il m'a procurées et du temps qu'il m'a consacré.

Naturellement, les auteurs des livres qui m'ont ouvert à leurs explications du monde

sont si nombreux que j'ai été injuste en ne citant au cours du texte que quelques références bibliographiques, qui ne sont pas dignes d'un ouvrage scientifique (mais ce n'en est pas un). En dehors du domaine de ma compétence, je n'ai jamais réussi à m'astreindre à rédiger des fiches bibliographiques au fur et à mesure de ces lectures destinées d'abord à mon plaisir, malgré de bonnes résolutions maintes fois renouvelées et aussitôt trahies. Le métier de professeur d'université, que des charges administratives de plus en plus nombreuses et de moins en moins productives empêchent de pratiquer comme il se devrait, ne m'en laissait pas le temps. J'ai pu trouver spontanément l'origine de certaines idées qui affleuraient ma conscience, mais les origines cryptomnésiques¹ qui ont trop longtemps transité dans mon subconscient ont perdu la trace de leur possible auteur. Ce sont celles, dit-on, qui sont les plus importantes. Car, pour reprendre une citation de Freud, "*lire est un épouvantable châtement infligé à tous ceux qui écrivent. En le subissant, on voit se dissiper tout ce qui vous appartient en propre*" ! car "*maudits soient ceux qui ont dit, avant nous, ce que nous venons de dire*", se lamentait déjà au IV^e siècle Aelius Donatus.

¹La *cryptomnésie*, terme inventé par le médecin et professeur de psychologie à l'université de Genève Théodore Flournoy (1854-1920), désigne la mémoire inconsciente, bien plus vaste que la mémoire consciente. Elle permet d'expliquer les cas de pseudo-plagiat littéraire, dont a été coupable parmi tant d'autres Nietzsche dans son Zarathoustra, d'après H.F. Ellenberger dans son chef-d'œuvre *Histoire de la découverte de l'inconscient*, Fayard, 1994.

Avant-propos

“Peut-être notre terre, peut-être l’humanité arriveront-elles à un but ignoré qu’elles se seront créé à elles-mêmes. Nulle main ne nous dirige, nul œil ne voit pour nous ; le gouvernail est brisé depuis longtemps, ou plutôt, il n’y en a jamais eu, il est à faire : c’est une grande tâche, et c’est notre tâche.”

Jean-Marie Guyau

ESQUISSE D’UNE MORALE SANS OBLIGATION NI SANCTION

Formés d’êtres vivants, nombre d’organismes biologiques, économiques, sociaux et culturels partagent des traits communs malgré la disparité de leurs éléments. On peut alors s’attendre à ce qu’ils partagent également quelques propriétés de leur mode d’évolution ainsi que leurs conséquences découvertes à ce jour. En divulguer certaines est le propos de cet essai.

Quelles sont donc ces caractéristiques, communes à tous ces organismes à partir d’un certain niveau d’abstraction, que je vais choisir ici comme prémisses de leur évolution ?

Un premier trait commun est le regroupement des variables descriptives en deux catégories qui jouent des rôles différents dans leur évolution, que je vais appeler pour les distinguer états et régulateurs².

²La justification de cette terminologie — qui pourrait être arbitraire — sera donnée au premier

Les états sont par exemple les phénotypes³ en biologie, les biens économiques en économie, les comportements des individus en sociologie, les états sensori-moteurs en sciences cognitives. Les états évoluent en fonction de régulons que sont par exemple les génotypes en biologie, les prix en économie, les codes culturels en sociologie et les concepts en sciences cognitives.

J'appellerai **macrosystème** un organisme dont les variables descriptives sont réparties en états et en régulons.

La différence réside en ceci : on connaît les acteurs qui agissent sur les états du macrosystème (métabolismes⁴ biochimiques, agents économiques, individus, penseurs respectivement), on ne connaît pas "ceux" qui régissent l'évolution des régulons.

Puisque les régulons évoluent eux aussi, la question se pose en effet de savoir qui régit leur évolution. C'est à cette question que je vais tenter de répondre dans cet ouvrage.

Nombreux sont pourtant les candidats imaginaires à prétendre à la fonction d'omniscient pilote de régulons : Dieux et divinités, diables et démons, créés à leurs images, mais en négatif, si nombreux qu'il est impossible de les citer tous (Abigor, Amon, Bélial, Belphégor, Belzébuth, ... pour ne citer que les premiers démons de l'annuaire judéo-chrétien), virils incubes et charmantes succubes, anges gardiens ou anges déchus, archanges, séraphins et chérubins, Eons, Archontes, astres, fortune, destin, devins, pythies, sybilles, auspices, augures, fées, lutins, génies, totems, fétiches, lares, mânes, pénates, Idées platoniciennes, Mercure des alchimistes et des hermétiques, feu le phlogistique⁵, Ether, élan vital bergsonien, talentueux Horloger de Paley, Marché, main

chapitre.

³Les mots phénotypes et génotypes furent inventés par W. Johansenn en 1909 dans le cadre de la génétique. Le premier désigne la partie de l'organisme sur laquelle portent les contraintes de l'environnement externe à l'organisme tandis que le second — appelé aussi **génome** — rassemble les gènes de l'organisme, ce qui auparavant était qualifié de **plasma germinatif**, et que l'on sait maintenant être formé de l'ADN des chromosomes.

⁴Le métabolisme — dont la racine grecque *metabole* signifie justement *changement* — est une suite éminemment complexe de lois biochimiques qui, en dernière analyse, exploite l'énergie solaire, directement à partir de la photosynthèse pour les plantes et quelques bactéries, indirectement en se nourrissant de plantes et d'animaux (quelques bactéries utilisent d'autres sources d'énergie à partir de la chimiosynthèse). C'est encore l'énergie solaire qui est exploitée lorsque l'on utilise les sources d'énergie organiques contemporaines telles le bois, ou fossiles dans le cas du charbon et du pétrole. La transformation des substances et de l'énergie est une caractéristique des organismes vivants qui organisent des cycles de matière "inerte" (abiotique) comme l'eau, l'azote, le carbone, etc. L'évolution lamarckienne est caractérisée par une **organisation de plus en plus complexe** des mécanismes métaboliques afin d'approprier et dompter l'évolution exogène des contraintes de viabilité fournies par l'environnement.

⁵substance fluide et volatile pour expliquer le feu introduite par le chimiste allemand Georg Stahl (1660-1734) et remise en cause par Lavoisier en 1772, qui exerçait déjà ses talents de révolutionnaire.

invisible d'Adam Smith, prophètes, providence, *Weltgeist* hegelien, sens de l'histoire, masses, âmes, esprits, monades, homunculus, libido freudienne, anima jungienne, hasard, ..., et j'en oublie bien d'autres. La liste est longue de ces devins peuplant le Pandémonium, capitale de l'enfer qu'imagina Milton, et loin d'être exhaustive. On ne bride pas la poésie et le lyrisme, l'invention féerique pour donner un sens à un monde qui en est tellement privé.

Quand on voit tant d'hommes parmi les plus intelligents et les plus profonds user de leur talent pour défendre tel ou tel de ces êtres imaginaires, on peut en conclure que leur affaire est bien mauvaise pour rechercher des avocats si talentueux.

Le cerveau humain, émerveillé de ses propres prouesses de créateur, ressent de fortes réticences à ne pas concevoir que l'évolution du monde soit elle aussi pilotée par des êtres conçus à sa propre image, en vue de buts mystérieux qu'il s'agit de discerner, supposés naturellement bénéfiques, sur une route semée d'embûches qui elles, ne sont que trop réelles. Nous ressemblant comme des frères idéaux, auxquels on ôte nos faiblesses et que l'on dote de dons qui nous font cruellement défaut, ces entités surnaturelles ne peuvent qu'être supposées rationnelles. Comme les parents qui reportent sur leurs enfants les missions qu'ils n'ont pu eux-même accomplir, les hommes confient à leurs enfants imaginaires les pouvoirs dont ils rêvent, se défaussant en quelque sorte de leur impuissance à agir eux-mêmes sur le monde. Même Voltaire avait des difficultés avec l'existence de tels auteurs : *“L'univers m'embarrasse, et je ne puis songer que cette horloge existe et n'ait point d'horloger”*, de sorte qu'il n'a rejoint ni Paul Henri Thiry, baron d'Holbach (auteur anonyme du *Système de la nature*⁶), ni Julien de la Mettrie (auteur de *L'homme-machine*) dans leur athéisme. La perfection d'un oeil était pour Paley l'argument majeur de l'existence d'un Maître Horloger. Qui sait, par exemple, si en identifiant de nos jours le “Marché” à un acteur — sinon à une divinité — on ne va pas, au delà d'une simple formule de rhétorique, observer à l'aide de verres déformants le fonctionnement complexe de la régulation économique ?

C'est de façon toute arbitraire que l'on choisira l'un de ces acteurs inventés par les hommes pour agir sur les régulons en fonction d'objectifs téléologiques — c'est-à-dire finalistes — le devin, comme leur seul représentant. Ce devin sera en quelque sorte

⁶qui écrivait à ce sujet : *“Que l'homme cesse donc de chercher hors du monde qu'il habite des êtres qui lui procurent un bonheur que la nature lui refuse : qu'il étudie cette nature, qu'il apprenne ses lois, qu'il contemple son énergie et la façon immuable dont elle agit ; qu'il applique ses découvertes à sa propre félicité, et qu'il se soumette en silence à des lois auxquelles rien ne peut le soustraire ; qu'il consente à ignorer les causes entourées pour lui d'un voile impénétrable ; qu'il subisse sans murmurer les arrêts d'une force universelle qui ne peut revenir sur ses pas, ou qui jamais ne peut s'écarter des règles que son essence lui impose.”*

le prototype de tous ces êtres imaginés par les hommes pour agir sur les régulateurs des systèmes qu'ils observent.

Contrairement aux acteurs gouvernant⁷ ou ayant barre sur l'évolution de systèmes proprement identifiés, observés, testés, personne n'a rencontré aucune de ces fantomatiques créatures imaginaires, même si par pure provocation certains le proclament péremptoirement. *Il n'y a rien de si beau que ce qui n'existe pas*, écrivait Jean-Jacques Rousseau, repris par Paul Valéry. Il est d'ailleurs futile et vain de tenter de démontrer que les fées n'existent pas.

Les disputes théologiques, idéologiques et philosophiques sur l'existence et la nature de ces devins sont d'autant plus intenses, violentes et trop souvent criminelles qu'aucune expérience ne permet de prouver leur existence. L'acharnement mis à les défendre est inversement proportionnel à leur caractère expérimental. On ne tue pas au nom de la science, mais on torture, massacre, brûle au nom des croyances. C'est peut-être parce que Galilée était plus scientifique que seuls ses ouvrages ont été brûlés alors que Giordano Bruno — qui eut la coupable audace de développer les conséquences métaphysiques des découvertes de Copernic sans le secours de mathématiques — fut brûlé vif à 52 ans le 17 Février 1600 sur le Campo dei Fiori pour huit propositions que Clément VIII avait décrétées hérétiques ! Comme l'a été le 9 Février 1619 sur la place du Salin, à Toulouse, à 34 ans, après avoir eu sa langue arrachée, Jules César Vanini, l'un de ces "libertins" que produisit l'Italie du XVII^e siècle, pour avoir déclaré trop tôt entre autres que l'homme descendait du singe.

L'inquisition ne se mêle pas de questions scientifiques et expérimentales, et les guépéistes traqueront le moindre soupçon de révisionnisme dans les cachots de la Loubianka, emprisonneront un Vavilov coupable de ne pas s'incliner devant les injonctions ignares d'un Lysenko.

Que de crimes commis pour traquer l'hérésie, **d'autant plus cruels que le coupable est proche de la vraie foi**, que le révisionnisme s'ajoute à l'hérésie, que les fantasmes sexuels se mêlent au prétendu sacré. Pauvre sorcière chère à la compassion de Jules Michelet ! Fallait-il que la première mathématicienne que l'Histoire a retenue, Hypathia, soit assassinée par le fanatisme tout neuf des Chrétiens prenant le pouvoir à Alexandrie.

⁷au sens étymologique du terme gouvernail, celui de **cybernétique**, néologisme créé en 1948 par Norbert Wiener dans son livre *Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine*, mais qui n'a malheureusement pas été consacré par l'usage, mais détourné dans le sens de cyberspace et cybernautes! Son objectif est l'étude des rétroactions, et pourrait maintenant être celui de la régulation et de l'adaptabilité des systèmes dans un cadre évolutif, celui que cet essai poursuit. Dans l'attente d'une véritable science de leurs comportements, les grands groupes humains et leurs organisations font partie ici des devins puisque l'on ignore pourquoi et comment ils décident et agissent.

Quels trésors d’arguties théologiques, quelles prouesses dialectiques ont été déployés pour justifier de si nombreux aveux de **culpabilité objective**. Moins est enraciné dans la perception du monde un imaginaire collectif, plus sévères et criminels sont les moyens de l’imposer, plus élaborés sont les prétextes inventés pour le justifier.

Mais alors, serait-il possible que ces devins n’existent pas ailleurs que dans notre imagination (la *maya*, l’*illusion* que les enseignements védiques tiennent pour être l’essence des phénomènes) qui, après tout, crée en quelque sorte la réalité ?

La mort du devin

A-t-on vraiment besoin de l’un de ces pilotes imaginés — d’un devin, pour choisir un prototype — guidant le système de concert avec ses véritables acteurs ?

C’est en justifiant mathématiquement une réponse négative à cette première question que va commencer cette histoire, où l’on va tenter de se passer de devins pour piloter les régulons des macrosystèmes.

Si l’on admet que les mécanismes d’évolution dépendent de régulons, il y a alors autant d’évolutions potentielles que de régulons disponibles. Il s’agit dès lors d’expliquer, sans invoquer de devins, rusant avec les Dieux et les forces qui régissent notre destin, comment à chaque instant est choisi un régulon, et par conséquent, comment est implantée une évolution particulière du macrosystème.

Mais alors, s’il n’y a plus de devins, il devient **impossible de prévoir et ensuite, de prédire l’évolution future** du système, laissant ainsi la place à un hasard que la science s’est donné pour mission de traquer, à une incertitude qu’il s’agira de réduire, sans naturellement pouvoir la supprimer à coup sûr, à une liberté d’évolution qu’il s’agira d’apprivoiser par la nécessité.

Mais la liberté des systèmes est une **liberté surveillée** par des **contraintes de viabilité**.

En effet, ces systèmes, en évoluant, modifient leur environnement, consommant des ressources rares, produisant des déchets. Car ces systèmes doivent constamment **s’adapter** à ce qui sera résumé ici sous le qualificatif de **contraintes de viabilité**, au risque de mourir, de disparaître en tant que tel lorsqu’elles sont violées.

“La vie, écrivait Claude Bernard en 1898, est le résultat du contact de l’organisme et du milieu, ... nous ne pouvons la comprendre avec l’organisme seul, pas plus qu’avec le milieu seul”.

Les systèmes vivants “luttent” pour rester en vie en maintenant leur **homéostasie**⁸,

⁸selon le terme proposé par le physiologiste américain Walter Cannon en 1915, qui permet à l’organisme de fonctionner en maintenant à leur niveau les diverses composantes du métabolisme

les systèmes économiques mobilisent leurs forces productives et leurs réseaux de distribution pour accroître l'ensemble des ressources disponibles, les groupes sociaux organisent leurs forces de police, leurs armées, leurs services diplomatiques pour garantir un niveau minimum de paix et de sécurité, les systèmes nerveux ne cessent de perfectionner leurs connaissances sans lesquelles les organismes qu'ils commandent ne pourraient plus s'adapter aux contraintes culturelles, etc. Les contraintes de viabilité restreignent ainsi les possibilités d'évolution des systèmes, et même, dans certains cas, excluent la possibilité d'évolutions viables.

L'adaptation à ces contraintes est un des traits communs à toutes les versions du darwinisme qui tentent d'expliquer l'évolution des espèces biologiques par sélection des phénotypes et non par instruction directe des génotypes. Une des motivations principales de la théorie de la viabilité a été de conforter ce point de vue darwinien par des **métaphores mathématiques**, dont il appartient aux biologistes d'évaluer le degré de validité.

La **première tâche** de la théorie mathématique de la viabilité, qui est le thème principal des pages qui suivent, est de reconnaître le cas où les contraintes de viabilité permettent l'existence d'évolutions viables, c'est-à-dire d'évolutions qui respectent ces contraintes à chaque instant. Il s'agit de déterminer si le mécanisme d'évolution d'un macrosystème d'une part et des contraintes de viabilité d'autre part sont compatibles — ou cohérents — au sens où en tout état initial commence au moins une évolution viable.

Lorsque les mécanismes d'évolution ainsi confrontés aux contraintes de viabilité sont compatibles, un **second objectif** est de découvrir comment les régulateurs sont modifiés pour produire des évolutions viables. Autrement dit, il s'agit de **révéler les rétroactions (ou feedbacks)**⁹ qui permettent au système de demeurer viable, de les dégager de la

telles la faim, pour remplacer le concept de "fixité du milieu intérieur" que Claude Bernard énonça en 1854.

Les biologistes décrivent par **épigénèse**, concept introduit en 1759 par le médecin allemand Caspar Wolff, l'évolution de l'organisme qui résulte de l'interaction des gènes et de l'environnement, qui n'est pas dictée par le seul génome comme une suite d'instructions, mais plutôt comme un code formé de règles "si ..., alors ..." énonçant comment l'organisme doit réagir aux modifications de l'environnement. En ce sens, la théorie de la viabilité est épigénétique.

⁹Un système "ouvert" est, sous sa forme générale, un système entrée-sortie (input-output) associant à toute entrée (ici, un régulateur) une sortie (ici un état) par un mécanisme (appelé "boîte") connu ou non (dans ce dernier cas, la boîte est noire).

Une **rétroaction** est une loi "sortie-entrée" qui "ferme" ou "boucle" le système au sens suivant : une entrée produit une sortie qui elle-même produit une entrée, de sorte que le système ainsi fermé (ou bouclé) ait un sens. Un des buts des divers théorèmes de viabilité est de fournir des rétroactions qui associent donc à tout état au moins un régulateur qui maintient la viabilité du macrosystème. Le concept

gangue qui les soustrait à notre observation immédiate, de briser le moule qui cèle le bronze du sculpteur. En fait, on pourra “calculer” ces rétroactions en fonction du mécanisme d’évolution et des contraintes de viabilité. La reconnaissance de ce concept de rétroaction a fait le succès de la théorie des systèmes¹⁰, en permettant de surmonter l’absence de relations directes de causes à effets, lorsque ces derniers ont le mauvais goût de rétroagir sur les causes. Mais très souvent, ces rétroactions, une fois dégagées dans l’analyse d’un système, sont posées comme **primitives**, comme points de départ, dans l’analyse de questions à élucider. Ici, ces rétroactions seront des **réponses** à des questions posées, des phénomènes **dérivés**, des points d’arrivée, ou plutôt, de transit.

On conçoit alors que pour assurer la possibilité de la sélection, la redondance des régulons constitue le réservoir du moteur de l’évolution. A de très nombreux niveaux, les systèmes du vivant ont effectivement cette tendance à multiplier les solutions possibles afin de permettre de choisir, d’éliminer les régulons qui ne sont pas viables lors de la confrontation du macrosystème avec l’environnement. Nombreux sont les exemples de gaspillage apparent, de variabilité croissante, d’investissement dans la flexibilité qui s’opposent à la tendance de nos cerveaux à chercher un ou des critères “utilitaires” que la nature tenterait d’optimiser. Pour apprendre à s’adapter, les macrosystèmes doivent se **structurer de façon lamarckienne**, et pour se structurer, **doivent d’abord accroître leur redondance** et ensuite, éliminer, de façon darwinienne.

de rétroaction joue un rôle central dans toutes les versions de l’analyse des systèmes, car toute cause a non seulement un effet, mais celui rétroagit sur la cause, si bien que dans un système fermé les relations causales sont à double sens. Les rétroactions dites “négatives” ont pour but de diminuer les variations des entrées du système, en vue d’“équilibrer” le système, les rétroactions dites “positives” ont l’effet inverse d’augmenter ces variations dans un sens ou dans l’autre. On pourrait aussi bien échanger ce vocabulaire moderniste traduit de l’américain par les “*inhibitions*” et “*dynamogénies*” que Charles-Edouard Brown-Séquard proposa en 1885 à l’Académie des Sciences (ce physiologiste découvrit en 1889 alors qu’il allait sur ses 72 ans les effets revigorants des hormones mâles qu’on venait de découvrir en s’injectant des produits extraits de testicules de cobayes).

¹⁰La “théorie des systèmes” est née de la confrontation de biologistes avec les mathématiques de leurs temps, tels son fondateur Ludwig von Bertalanffy en 1950, biologiste autrichien, ayant émigré au Canada en 1949, auteur de nombreux travaux, notamment *Das biologische Weltbild* en 1949. La motivation de ses travaux tenait au rejet à la fois du vitalisme et du “mécanicisme” pour comprendre la genèse et le fonctionnement des organismes et de leur agencement. Ils ont cherché des métaphores à l’explication de la vie dans l’étude mathématique des **systèmes dynamiques**, discrets ou continus, (d’où le nom de cette théorie). Bien avant von Bertalanffy, le général Jans Christiann Smuts, célèbre pour ses qualités d’homme d’Etat et de chef militaire sud-africain, a été l’auteur en 1926 d’un livre intitulé *Holism and evolution* (Macmillan). Il appelle **Holos** un principe universel à l’origine des “totalités”. L’évolution concerne des séries ascendantes de totalités, des électrons aux personnalités. Une totalité est plus que l’ensemble de ses parties, la totalité influençant les parties et inversement. L’évolution concerne une poussée vers “l’intégralité”, des totalités inférieures donnant naissance à des totalités supérieures qui intègrent les inférieures. Ce sont ces mêmes interrogations qui ont motivé cet essai.

La connaissance de ces rétroactions, qui très souvent ne sont pas déterministes, permet d'expliquer — et éventuellement, de corriger — les nombreux effets pervers, paradoxaux ou inattendus. Ceux-ci sont souvent causés par des raisonnements statiques ignorant les mécanismes d'évolution, cherchant désespérément des équilibres là où il ne peut en exister, des décisions optimales plutôt que des décisions prises à temps. Ils peuvent résulter d'une optimisation de critères intertemporels là où la myopie des acteurs permet au mieux des optimisations instantanées, remises en cause à chaque instant.

Si un certain jeu de contraintes n'est pas viable pour le macrosystème, une troisième tâche est de déterminer le **noyau de viabilité** de ces contraintes. C'est par définition l'ensemble à partir duquel on peut trouver au moins une évolution viable du système. En d'autres termes, en dehors du noyau de viabilité, **toutes les évolutions violent les contraintes en temps fini**. C'est le noyau de viabilité qui contient toutes les informations importantes, les équilibres viables, les trajectoires que parcourent les évolutions périodiques viables, les attracteurs vers lesquels convergent les solutions viables lorsque le temps devient infiniment grand, etc.

L'émergence du démiurge

Toutefois, l'incertitude pesant sur l'évolution future du système peut être encore réduite lorsque le **principe d'inertie** entre en scène : ce principe énonce que **les régulons n'évoluent que lorsque la viabilité est en jeu**. En effet, le devin disparu, plus personne n'est là pour agir sur les régulons, de sorte qu'il n'y a aucune raison de les changer. Ces régulons, **génotypes, prix, codes culturels et concepts** dans les exemples cités, laissés à eux mêmes, auront donc tendance à demeurer constants la plupart du temps, ce qui n'empêche pas les états du système d'évoluer.

On introduit alors le concept de **niche de viabilité** d'un régulon, qui est l'ensemble des états du macrosystème qui sont régulés par ce régulon lorsqu'il est maintenu constant¹¹. La niche de viabilité d'un régulon peut être vide, auquel cas le régulon devra être changé lorsque l'état du système violera les contraintes de viabilité. Partant de la niche de viabilité d'un régulon, au moins une évolution du macrosystème peut (mais ne doit pas) évoluer dans cette niche en ne changeant pas le régulon initial.

En respectant le principe d'inertie, les régulons ne se mettent en mouvement que lorsqu'une "crise de viabilité" survient, et ce, jusqu'à ce que la viabilité soit rétablie et "stabilisée".

¹¹c'est-à-dire, le noyau de viabilité du macrosystème lorsque ce régulon est maintenu constant.

Le principe d'inertie explique ainsi le phénomène d'équilibre intermittent (punctuated equilibrium) introduit en 1972 par Eldredge et Gould en paléontologie pour décrire des discontinuités des témoignages de l'évolution des espèces qui n'étaient pas prévues par les successeurs de Darwin¹², mais qui depuis se sont révélées manifestes. Il le précise en montrant comment coexistent une évolution rapide et continue des états et une évolution lente et discontinue des régulons.

Cela ne suffit pas encore à réduire complètement l'incertitude : il faut découvrir des mécanismes qui obéissent à ce principe d'inertie. Le plus simple est celui qui consiste à choisir parmi tous les régulons viables celui qui a la plus petite vitesse, le plus paresseux. Les évolutions viables correspondantes seront qualifiées de lourdes. Elles ont la propriété d'accrocher (lock-in en anglais) la niche de viabilité d'un régulon : lorsque l'évolution lourde d'un état le conduit dans la niche de viabilité d'un régulon, alors ce dernier devient constant et l'état demeure à jamais dans sa niche.

En sélectionnant des évolutions viables lourdes, par exemple, on fait donc émerger de la confrontation de la dynamique d'un système et des contraintes qui lui sont imposées un mécanisme d'évolution opportuniste, conservateur et paresseux.

C'est pour éviter de commettre un autre néologisme (régulon suffit bien comme cela) que l'on désignera par *démiurge*, nom grec désignant un humble artisan, ce procédé de sélection de régulons gouvernant les solutions viables lourdes. Non pas l'ouvrier à qui Platon a attribué, par la voix de Timée, la responsabilité de transformer le chaos en cosmos : il n'en est pas le créateur, et encore moins un objet de culte, mais le fabriquant qui doit pour cette tâche se conformer aux plans dressés par les préexistantes Idées. Non plus le descendant de *Sophia* — Dieu créateur d'un monde imparfait que la plupart des systèmes gnostiques des premiers siècles de notre ère distinguent d'un Dieu premier transcendant, auteur lui d'un Monde idéal. Mais un démiurge chef d'orchestre harmonisant toutes les partitions d'un concert, du concert endocrinien au concert des nations, un démiurge organisateur, maître de l'ordre des choses, responsable des structures.

Bien que la tentation soit forte chez de nombreux mathématiciens (dont je ne suis pas) de céder à la conviction de découvrir ou dévoiler ce qui préexiste plutôt que d'inventer ou de créer du neuf¹³, le choix de qualifier de démiurge ce mécanisme de

¹²Bien que, comme le souligne le bio-mathématicien Jim Murray, Darwin a ajouté à la fin du chapitre XI de la sixième édition de *L'origine des espèces* cette phrase anticipant le concept d'évolution ponctuée : “*Les périodes durant lesquelles les espèces ont subi des modifications, bien que fort longues mesurées en années, ont probablement été courtes en comparaison des périodes durant lesquelles ces mêmes espèces sont restées sans aucun changement*” qui ne figurait pas dans les éditions précédentes.

¹³tant sont puissantes les idées qui semblent “s'imposer d'ailleurs” et tant est aveuglante la clarté qu'elles projettent.

sélection n'implique en rien l'intervention d'Idées préexistantes. Elles ne sont après tout que le produit de cerveaux humains qui eux existent, et qui explorent tout en le construisant un univers culturel¹⁴.

Ce qu'il y a de nouveau, c'est que notre démiurge, contrairement à celui de Platon et des gnostiques — distingué par une majuscule, comme il se doit — n'est pas donné a priori, avant que le système existe, n'est pas posé comme un compagnon inséparable et invisible de ce système aux ordres des Idées, comme un créateur maladroit (ou mal intentionné, c'est selon). Il est ici construit, calculé, inhérent à ce système dès lors que lui sont imposées des contraintes de viabilité et est admis le principe d'inertie.

Indéterminisme, viabilité, inertie : ce sont trois clés mathématiques pour penser l'évolution des systèmes du vivant. Il n'y a plus besoin de supposer l'existence de devins qui nous révèlent notre destin, d'un élan vital qui régit l'évolution des gènes des espèces, de mains invisibles qui guident les prix, de *Weltgeist* qui inspirent les codes culturels des sociétés, d'âmes qui distillent nos pensées, qui accaparent notre essence au point de vouloir nous survivre.

Un démiurge émerge, qui, malgré son opportunisme, son conservatisme et sa paresse, ou plutôt, grâce à tous ces "défauts", guide l'évolution du système en le maintenant en vie, pour le maintenir en vie.

Tout système peut périr

On conçoit ainsi que les systèmes qui obéissent à ce principe d'inertie trouvent beaucoup de difficultés à demeurer viables : ils peuvent disparaître, faisant éventuellement place à d'autres systèmes qui prennent en quelque sorte la relève, en évoluant selon d'autres lois. **Tout empire périra**, comme l'avait déjà montré Polybe dans l'antiquité, tel est aussi le titre d'un ouvrage de J.-B. Duroselle qui a contribué à motiver ces recherches sur l'évolution contingente et la viabilité des systèmes complexes.

Nous arrivons, hélas, à un moment de l'histoire des hommes où c'est notre monde qui est en danger de périr, car en devenant globales, les contraintes de viabilité se resserrent inexorablement.

Tant pis si l'image est déjà éculée, mais il faut bien reconnaître que les merveilleuses

¹⁴Ce point de vue remonte au moins à Lamarck, comme en témoigne cet extrait de l'*Histoire naturelle des animaux sans vertèbres* : "J'ai déjà dit que la pensée était un phénomène tout à fait physique, résultant de la fonction d'un organe qui a la faculté d'y donner lieu.... Quel est l'homme qui ignore les effets que peut produire sur son individu la vue d'une femme belle et jeune, ainsi que la pensée qui l'a reproduit à son imagination lorsqu'elle n'est plus présente ?".

photographies de Gaa, cette agathe bleue marbrée de blanc et d'ocre sur fonds de velours noir ont contribué à nous faire prendre conscience de la finitude du globe qui nous abrite, qui nous protège.

Il n'y a plus de nouveaux espaces à explorer et à conquérir sur cette planète pour reculer la frontière de viabilité que la croissance démographique et l'épuisement des ressources rapprochent de jour en jour. Les dernières taches blanches des atlas de nos parents ont été coloriées.

Cela est nouveau.

Il ne reste guère qu'un espoir, que les progrès de la science et de la technologie remplacent l'exploration de continents vierges, permettent de desserrer les contraintes qui nous étouffent, de bâtir de nouveaux mondes culturels, scientifiques et technologiques, d'envahir les mondes virtuels qui naissent sous nos yeux. La curiosité et l'imagination des hommes qui n'ont cessé jusqu'ici de contribuer à cet enrichissement, alimentent un puissant moteur qui peut accroître suffisamment le domaine de viabilité de l'espèce humaine, et partant, des autres espèces vivantes.

Si l'on en croit le principe d'inertie, il est possible que l'humanité s'avère incapable de dévier à temps la folle course qui nous conduit vers la frontière de viabilité. Car le progrès moral — si toutefois progrès il y a en ce domaine — évolue bien plus lentement que les progrès scientifiques et techniques. La sagesse des nations — trop souvent nourrie de la folie des hommes — est un régulon bien lourd, qui a beaucoup de mal à évoluer, et pas toujours dans le sens du bien et de la vertu.

Cerner la compréhension des mécanismes complexes gouvernant l'évolution de nature darwinienne des systèmes dans lesquels nous vivons peut nous aider à éviter la catastrophe. A ne pas détruire notre terre, lentement par épuisement de ressources insuffisamment remplacées, soudainement par un embrasement nucléaire. A ne pas détruire notre espèce en faisant naître des concurrents monstrueux à partir de manipulations génétiques.

Les hommes ont certes acquis récemment le moyen de modifier l'environnement sans se contenter comme auparavant des changements exogènes de nature géologique ou climatique. Mais ils ne savent pas comment le modifier pour guider l'évolution biologique dans un sens qui leur convient. Ils ne peuvent résister à la tentation de stopper l'évolution en transformant écologie en équilibre. Non seulement cette stratégie est vouée à l'échec, car la vie évolue depuis plus de trois milliards d'années, mais en forçant une partie du système à rester stationnaire dans l'espoir d'éviter la catastrophe, on ne fait que la précipiter, en empêchant le système de s'adapter. L'enfer environnemental est pavé des meilleures intentions écologiques.

Reconnaître le principe d'inertie ne revient pas à lui accorder un statut normatif. Le principe d'inertie n'est ni juste ni efficace. Il est, et c'est là le drame. Ne pas en tenir compte conduit à coup sûr à des effets pervers. Trop d'apprentis sorciers se sont perdus en l'ignorant.

Sera-t-on capable de le comprendre assez pour le maîtriser, pour que l'intelligence des hommes puisse percevoir à temps les signaux annonçant la proximité des frontières de viabilité, puisse ouvrir des accès aux régulons afin de plier le principe d'inertie à des fins qui ne sont pas les siennes ?

Contingence, viabilité et inertie des systèmes

Il serait paradoxal de ne réserver qu'aux systèmes plus simples de la physique des explications complexes, utilisant des outils mathématiques de plus en plus difficiles d'accès, et de ne proposer que des explications simples, monistes, aux systèmes complexes qui font intervenir la vie de leurs acteurs, systèmes ouverts dont toutes les variables sont reliées entre elles, systèmes qu'il est impossible de fermer sans les trahir, systèmes qui échappent pour cela à toute quête de la vérité.

On ne peut donc pas espérer obtenir des métaphores mathématiques beaucoup plus abordables que celles utilisées pour rendre compte des phénomènes physiques. Plus complexes que ceux de la physique, les systèmes formés d'êtres vivants vont exiger au contraire des outils mathématiques spécifiques, probablement différents de ceux qui sont disponibles à l'heure actuelle.

Bien sûr, il faut s'entendre sur ce qu'on appelle complexe. Je proposerai une définition de l'aspect connexionniste de la complexité au premier chapitre. Mais on pourrait évacuer le problème en définissant de façon opérationnelle la physique comme le champ des connaissances susceptibles d'être expliquées par des métaphores mathématiques. Le but serait alors de faire rentrer la théorie des systèmes comme une nouvelle branche de la physique, cet arbre impérialiste de la connaissance. Il s'agirait d'ordonner un monde perçu comme chaotique à partir de préexistantes théories mathématiques, en lieu et place d'Idées platoniciennes à qui l'on cède le monopole de la métaphysique.

En fait, en l'absence de définition rigoureuse et consensuelle de la complexité, on peut cependant s'accorder pour constater qu'elle est intimement liée à l'évolution et à l'adaptation. N'ayant nul besoin de s'adapter, les objets naturels inanimés ne sont pas complexes. La nécessité de s'adapter aux contraintes de viabilité est donc l'antidote du hasard qui frappe les macrosystèmes qui motivent cette étude, en structurant les macrosystèmes pour tenter de maintenir leurs régulons constants, et donc, aisément identifiables. Entre la simplicité du statique et l'extrême complexité du pur hasard

d'une évolution totalement désordonnée, contraintes de viabilité, principe d'inertie et évolutions lourdes contribuent à ordonner leurs évolutions, à en réduire la complexité, à en permettre l'élucidation.

Lorsque je suis arrivé à l'Université de Paris-Dauphine en Octobre 1969, le spécialiste d'analyse numérique des équations aux dérivées partielles que j'étais s'est plongé dans l'univers mathématico-économique de l'époque. **Optimums et équilibres** — ces deux thèmes familiers de la mécanique fournissant alors les métaphores mathématiques aux économistes — ne pouvaient que passionner les mathématiciens, et ceux du CERE-MADE (Centre de Recherches de Mathématiques de la Décision) des débuts en particulier. C'est avec enthousiasme qu'ils apportèrent leurs pierres à la construction de l'analyse convexe, puis de l'analyse non régulière et enfin de l'analyse multivoque pour forger les outils de l'optimisation et du contrôle optimal, ainsi que de l'analyse non linéaire pour étudier les divers équilibres de l'économie et de la théorie des jeux.

Si tout allait bien dans les recherches menées dans ces directions, je ne pouvais pas ne pas ressentir quelque malaise en observant que jamais l'évolution économique se trouvait à l'équilibre, pas plus qu'elle y convergait d'ailleurs, et je formais de sérieux doutes sur l'hypothèse de rationalité des agents économiques supposés maximiser leur utilité et minimiser leurs coûts. Même dans un cadre dynamique où l'évolution était permise, je n'arrivais pas à être convaincu par l'optimisation de critères intertemporels à cause de leur aspect téléologique qui exigeait

- des acteurs pilotant les régulons,
- la connaissance des critères à optimiser,
- des anticipations de l'avenir que l'impossibilité d'expérimentation interdit,
- d'avoir pris une fois pour toutes la décision optimale à l'instant initial.

Je me posais de plus en plus la question de trouver des métaphores mathématiques de l'évolution de systèmes dynamiques sous incertitude contingente et soumis à des contraintes de viabilité. Le type de hasard contingent n'obéissant à aucune régularité statistique décelable ne me semblait pas pouvoir être appréhendé par les processus stochastiques dont l'usage semblait universel et exclusif à l'époque.

Ce sont ces frustrations qui conduisirent à forger depuis 1977 des outils mathématiques spécifiques constituant ce qui est devenu la **théorie de la viabilité**. Contrairement aux techniques mathématiques utilisées ces dernières années en sciences de l'homme et de la société, cette théorie n'a pas été motivée par la physique, mais par les sciences économiques, biologiques et cognitives.

Une fois formalisés dans un cadre mathématique très précis et démontrés, les théorèmes mathématiques de cette théorie peuvent suggérer de nouveaux concepts que les spécialistes devront valider ou rejeter. Ces énoncés proposent des **métaphores**, aidant les uns et les autres à observer l'évolution des systèmes particuliers qu'ils étudient à l'aide de nouveaux outils conceptuels, à poser de nouvelles questions aux mathématiciens, à motiver des recherches ultérieures, bref, à contribuer **provisoirement et modestement** au progrès de ces sciences que l'on qualifie, sans doute injustement, de "molles", pour en faire des "sciences fortes", comme l'on disait du temps d'Oresme, "dures", depuis Friedrich Hayek. Les sciences dures s'occuperaient des objets tandis que les secondes se contenteraient de spéculer sur les idées au sujet des objets.

Ce livre tente donc de rendre compte à un large public des progrès accomplis ces dernières années pour tenter d'appréhender mathématiquement l'évolution contingente de systèmes soumis à des contraintes de viabilité, d'une évolution sans plans, ni concept d'état final préétabli. **Systèmes qui ne prennent de sens que parce qu'ils sont viables**. Il s'efforce de traduire des assertions mathématiques démontrées et non pas des considérations métaphysiques : *"On peut être métaphysicien sans être géomètre. La métaphysique est plus amusante ; c'est souvent le roman de l'esprit. En géométrie, au contraire, il faut calculer, mesurer. C'est une gêne continuelle, et plusieurs esprits ont mieux aimé rêver doucement que se fatiguer"* avait déjà remarqué Voltaire dans son dictionnaire philosophique. Pour terminer cet avant-propos, j'emprunte les lignes par lesquelles Denis Diderot débute ses *Pensées philosophiques* : *"Je compte sur peu de lecteurs, et n'aspire qu'à quelques suffrages. Si ces pensées ne plaisent à personne, elles ne pourront qu'être mauvaises ; mais je les tiens pour détestables si elles plaisent à tout le monde"*.

Paris, le 17 Novembre 1998

Jean-Pierre Aubin

Plan de l'ouvrage

“Mais je dois rassembler des faits généraux et des vérités fondamentales bien reconnues, parce que je m’aperçois qu’il jaillit de leur réunion des traits de lumière qui ont échappé à ceux qui se sont occupés des détails de ces objets, et que ces traits de lumière nous montrent, avec évidence, ce que sont réellement ces corps doués de la vie, pourquoi et comment ils existent, de quelle manière ils se développent et se reproduisent ; enfin par quelles voies les facultés qu’on observe en eux ont été obtenues, transmises et conservées dans les individus de chaque espèce.”

Jean-Baptiste de Monet, chevalier de Lamarck

Plusieurs façons d’entrer dans cet ouvrage sont possibles, soit par la porte d’entrée, en suivant chapitre après chapitre une sorte de corridor logique, ou, mieux peut-être, en abordant par effraction les chapitres d’illustrations, selon les goûts et les intérêts du lecteur (chapitres 5, 6, 7 ou 8), puis l’exposé de la théorie générale (chapitre 4), pour éventuellement visiter les premières pièces, et peut-être revenir lentement en suivant l’ordre logique. On peut également considérer ce livre comme un grenier d’une maison de famille dans lequel chiner au hasard et fouiner à sa guise.

Les idées principales de la théorie de la viabilité (caractérisation de la viabilité, lois de régulation, noyaux et niches de viabilité, principe d’inertie, évolution lourde, évolution répllicative, coadaptation, analyse qualitative, morphogénèse, viabilité stochastique, floue ou spatio-temporelle, etc.) sont exposées et commentées au chapitre 4, qui peut être un point d’entrée du lecteur pressé qui souhaite ne goûter qu’à la substantifique moelle¹⁵. Avant d’aborder ces chapitres, trois chapitres préliminaires — qu’un

¹⁵Une brève introduction en français de la théorie mathématique de la viabilité pour les seules

lecteur pressé peut cependant omettre dans leurs détails — sont présentés.

Le chapitre 1 précise ce que l'on entend par variables des macrosystèmes et leur classification entre variables d'état et régulateurs afin de décrire la "réalité" comme consensus sur les perceptions de l'environnement des membres d'un groupe social et sa compréhension à l'aide de "métaphores", et de métaphores mathématiques en particulier. Le chapitre 2 est consacré aux délicats concepts d'évolution, de temps (défini comme numéraire de l'évolution) et d'incertitude et précise la notion de double loi dynamique. Le chapitre 3 dresse l'état des lieux, en mentionnant pourquoi n'ont pas été retenus pour rendre compte de l'évolution des systèmes du vivant de célèbres concepts et théories mathématiques motivés par la physique : équilibres, attracteurs, bifurcations, catastrophes, chaos, optimisation intertemporelle, etc., ont déjà été utilisés dans cette perspective et exposés dans de nombreux ouvrages conçus pour le grand public. Mais, à tort ou à raison, n'ayant pas été convaincus de la validité de ces métaphores mathématiques, certains d'entre nous ont essayé d'en concevoir d'autres inspirées cette fois-ci des mécanismes évolutifs de la biologie, des cognisciences, de l'économie et de l'histoire dont l'étude est l'objet de la théorie de la viabilité.

C'est à travers le prisme des concepts et théorèmes de cette théorie que je porterai aux chapitres suivants un regard personnel et subjectif sur l'évolution des systèmes historiques et économiques dans la seconde partie, des systèmes biologiques et cognitifs dans la troisième partie de l'ouvrage. On ne peut parler d'économie, par exemple, sans prendre en compte les individus. On ne peut supposer ces derniers rationnels sans faire le point sur ce que l'on sait des sciences cognitives à l'heure actuelle et en particulier, du langage et autres échanges de signes et d'informations. Ils font partie des comportements humains qui régissent les échanges sociaux, y compris les échanges économiques, qui peuvent être mieux compris si on les intègre dans le cadre de l'éthologie. L'histoire économique n'est qu'une composante de celle des groupes d'êtres humains, qui peut être comparée à la phylogénèse — l'évolution des espèces — pour en tirer des enseignements. Tous ces concepts sont liés, et retentissent les uns sur les autres, à des niveaux hiérarchiques différents, bien sûr. Il est impossible de

équations différentielles fait l'objet d'un chapitre de *Initiation à l'Analyse Appliquée*, (1994) Masson, manuel du niveau de la licence de mathématiques. La théorie générale dans le cadre des inclusions différentielles et des macrosystèmes est exposée dans *Viability Theory*, (1991) Birkhäuser. Cette théorie s'appuie sur des résultats de l'analyse multivoque (qu'elle a motivés en grande partie) exposés dans *Set-Valued Analysis* d'Hélène Frankowska et l'auteur, (1990) Birkhäuser. L'ouvrage *Dynamic Economic Theory: A Viability Approach* est consacré à la version "économique" de la théorie de la viabilité, *Neural Networks and Qualitative Physics: A Viability Approach*, (1994) Cambridge University Press, applique à certains domaines de l'Intelligence Artificielle les outils de l'analyse multivoque et de la théorie de la viabilité, qui sont également utilisés en traitement de l'image et robotique visuelle dans *Mutational and morphological analysis: tools for shape regulation and morphogenesis*.

tout exposer, mais j'ai cru qu'il fallait que je m'efforce de négliger le moins possible les informations qui sont disponibles, au risque de former un chaos d'idées, que je souhaiterais claires, si ce compliment en forme de reproche n'avait déjà été fait à Voltaire. Comme l'écrivait Lucien Febvre dans *Autour de l'heptaméron* (Gallimard, NRF, 1944),

“je ne serai pas complet. Je voudrais, une fois de plus, comprendre, et faire comprendre. Comprendre, ramasser, ressaisir, reconstituer, comprendre. Et ce livre va en rejoindre d'autres — qui eux non plus ne seront pas complets. Mais tous, je l'espère, proposent quelque énigme à notre besoin de trouver. J'ai tenté d'ordonner ces nombreuses digressions autour du fil d'Ariane qu'est la théorie de la viabilité.

Etant en dehors de mon domaine d'expertise, ces chapitres donnent à cet ouvrage le caractère d'un “essai” et non pas d'un ouvrage scientifique. Ils posent de multiples questions mais ne prétendent pas leur apporter toujours des réponses. Ils sont écrits pour souligner que nombre d'idées étaient déjà formulées par d'autres auteurs, mais peut-être dans une autre perspective. Ils sont également rédigés pour susciter des collaborations entre mathématiciens et spécialistes de sciences sociales et économiques ou de sciences biologiques, afin “d'ouvrir” les sciences mathématiques sur le monde qui les entoure. En les parcourant, le lecteur pourra se faire sa propre idée de la pertinence de tel ou tel concept, des nouvelles structures que nécessite la façon de poser tel ou tel problème et de la validité de telle ou telle assertion, ou plutôt, des hypothèses qui les impliquent. Car si la conclusion est manifestement fautive, il en sera de même de l'hypothèse.

Ces chapitres sont indépendants les uns des autres, et peuvent être abordés directement, quitte à revenir de temps à autres à telle ou telle partie du chapitre 4 pour avoir plus de détails sur un des concepts utilisés.

Le chapitre 5 concerne l'évolution de l'histoire, cette phylogénèse des sociétés humaines, où l'évolution des codes culturels influençant les comportements des individus afin que la société reste viable est supposée obéir au principe d'inertie. Le chapitre 6 qui le suit est consacré aux sous-systèmes économiques. Il propose une modification du cadre walrassien de l'équilibre pour rendre compatible les mécanismes **décentralisés** de ressources rares avec un comportement actif et dynamique des agents économiques utilisant les prix comme régulateurs.

Les “genèses”, c'est-à-dire les évolutions biologiques au niveau moléculaire, au niveau cellulaire, puis à celui des organismes (ontogénèse), celui des espèces (phylogénèse) pour conclure avec l'apparition de l'homme (anthropogénèse), font l'objet du chapitre 7, suivi d'un chapitre plus particulièrement consacré aux sous-systèmes cognitifs de certains organismes, au langage et à son évolution.

Une annexe illustre “graphiquement” les concepts de la théorie de la viabilité dans le cas de macrosystèmes à un état et à un régulon. Le lecteur peut ainsi s’y reporter à tout moment.

Naturellement, un biologiste, un “cogniticien”, un historien ou un économiste n’apprendra rien du chapitre qui résume — forcément de façon maladroite — sa discipline par l’amateur que je suis, et je souhaite qu’il n’y trouve ni erreurs, ni déformations grossières.

Il aura cependant accès à une information éclectique minimale — présentée dans un cadre commun — sur les autres domaines qu’un enseignement de plus en plus spécialisé¹⁶ ne lui aura pas procuré. Dans son domaine, les insuffisances de la théorie de la viabilité lui sauteront aux yeux. La complexité des systèmes qu’il étudie va au delà de ce que les mathématiques peuvent proposer pour l’instant. Et c’est tant mieux si des jeunes mathématiciens, de concert ou en collaboration avec des jeunes spécialistes de ces diverses disciplines, avec des idées fraîches et joyeuses, contestent en franc-penseurs¹⁷ nos suggestions et les dépassent. Si ce faisant, quelques uns sont encouragés à emboîter leurs pas dans les nôtres, avant de bifurquer vers de nouvelles directions, cet ouvrage n’aura pas été rédigé en vain.

Car c’est à eux que cet essai s’adresse en priorité, pour les convaincre des charmes de l’aventure mathématique. Pures, motivées ou appliquées, les mathématiques conservent également leur possibilité d’influencer la société. Mais, bien sûr, cette influence sera rarement immédiate.

J’aimerais terminer cette présentation sur cet aveu qui conclue les quatre tomes du *Tableau de Paris* publiés de 1781 à 1789 par Louis Sébastien Mercier et qui vient d’être réédité au Mercure de France : *“Je n’ai presque pas connu l’ennui depuis que je me suis mis à composer des livres. Si j’en ai causé à mes lecteurs, qu’ils me le pardonnent, car moi, je me suis fort amusé.”*

¹⁶et il ne peut en être autrement de nos jours.

¹⁷pour réhabiliter aux oreilles de notre temps le terme de “franc-pensant” que revendiquait Voltaire, qui, contrairement à celui de bien-pensant, est tombé en désuétude.