

François Roddier

Thermodynamique de l'évolution

Un essai de thermo-bio-sociologie



Introduction

Il y a 50 ans, je débutais ma carrière scientifique sous la direction de Jacques-Émile Blamont. Celui-ci revenait des États-Unis où il avait assisté aux débuts de la recherche spatiale. Il allait lancer la France, et avec elle l'Europe, dans la même voie. En mars 1959, je participais avec lui à la première expérience spatiale européenne : un tir de fusées Véronique au Sahara. Les cinquante ans qui suivirent marquèrent un progrès spectaculaire de nos connaissances de l'univers. Des progrès analogues ont été enregistrés dans pratiquement tous les domaines de la connaissance.

De tels progrès sont sans précédent dans l'histoire de l'humanité. Nous pensions qu'ils devaient améliorer le sort de l'homme. Ils l'ont fait en partie. La médecine, notamment la chirurgie, a progressé. La production agricole a considérablement augmenté. Mais une fraction seulement de l'humanité en profite. Après avoir temporairement régressé, la faim dans le monde augmente à nouveau. Pratiquement inexistant au début de ma carrière, le chômage en France est devenu persistant et les crises économiques endémiques. Nos ressources en pétrole diminuent. La couche protectrice d'ozone de notre atmosphère est en danger. Un réchauffement climatique grave est annoncé. Qu'avons-nous fait ?

La plupart des chercheurs de ma génération s'interrogent, notamment ceux en « sciences de l'Univers ». En 2004, Jacques Blamont publie un livre « *Introduction au siècle des menaces* »¹ dans lequel « il démonte pièce à pièce la machine infernale que, grâce au progrès scientifique auquel nous avons tant cru, nous sommes en train de léguer à nos enfants... »² En 2008, à l'occasion du 50^e anniversaire du laboratoire qu'il a créé, il me confie : « ce sera pire que tout ce que j'ai raconté ». Avec un théologien, Jacques Arnoud, il publie « *Lève-toi et marche* »³.

En 2005, un autre chercheur en sciences de l'Univers, André Lebeau, géophysicien ayant occupé de hautes fonctions au CNES et à l'ESA⁴, publie « *L'engrenage de la technique* »⁵ dans lequel il analyse l'évolution de l'Homme en termes d'évolution biologique. En 2008, il publie « *L'enfermement planétaire* »⁶, dans lequel il montre les limitations de nos ressources, un livre aux conclusions angoissantes.

En 2008 également, Roger-Maurice Bonnet, collègue et ami, élève comme moi de Blamont, directeur scientifique à l'ESA puis directeur de l'ISSI⁷, publie avec Lodewijk Woltjer,

1. Jacques Blamont. *Introduction au siècle des menaces*. Odile Jacob (2004).

2. Note de l'éditeur.

3. Jacques Arnould, Jacques Blamont. *Lève-toi et marche. Propositions pour un futur de l'humanité*. Odile Jacob (2009).

4. CNES : Centre National d'Études Spatiales ; ESA : Agence Spatiale Européenne.

5. André Lebeau. *L'engrenage de la technique. Essai sur une menace planétaire*. Gallimard (2005).

6. André Lebeau. *L'enfermement planétaire*. Gallimard (2008).

7. International Space Science Institute, dont le siège est à Berne (Suisse).

ancien directeur de l'ESO⁸, un livre intitulé « *Survivre mille siècles, le pouvons-nous ?* »⁹, dans lequel ils passent en revue les causes possibles d'extinction de l'espèce humaine.

Après avoir passé les seize dernières années de ma carrière aux États-Unis, j'ai pris ma retraite en janvier 2001 et je suis revenu en France. Je me suis alors intéressé à la biologie et je me suis naturellement posé les mêmes questions. J'ai commencé par mettre le fruit de mes réflexions sur un site web :

<http://www.francois-roddier.fr/>.

Ces réflexions m'ont rapidement conduit aux lois de la thermodynamique, science dont j'enseignais les éléments au tout début de ma carrière de professeur à l'université de Nice. Ayant repris contact avec Roger Bonnet, celui-ci me parla de son livre qui allait paraître. Je lui dis que je pensais avoir une réponse à la question que son titre posait. Il m'invita alors à exposer mes idées à Berne et me convainquit d'écrire moi aussi un livre.

Écrire un livre sur ce sujet est une entreprise particulièrement ardue pour diverses raisons. La première est que la thermodynamique, et plus particulièrement la thermodynamique hors-équilibre, est une science difficile, peu enseignée. La notion d'*entropie*¹⁰ est particulièrement délicate. Il a fallu un siècle pour la comprendre. De nos jours certains distinguent encore l'*entropie* thermodynamique de l'*entropie* informationnelle sans savoir qu'il s'agit d'un seul et même concept.

L'*entropie* d'un système est une mesure de notre méconnaissance de ce système. Cela implique que l'*entropie* est autant une propriété de l'observateur que du système observé. Certains refusent encore de l'admettre.

La difficulté remonte à l'interprétation physique de la notion de probabilité. Pour certains une probabilité est une grandeur physique mesurable par des procédés statistiques. C'est l'interprétation « fréquentiste ». Elle conduit cependant à émettre des hypothèses de stationnarité et d'ergodicité physiquement invérifiables. Pour d'autres, une probabilité est une quantité « subjective » qui dépend de nos connaissances « *a priori* ». C'est l'interprétation dite bayésienne. Dans son livre « *The logic of science* », le physicien américain E. T. Jaynes montre que l'approche bayésienne permet d'unifier la théorie des probabilités et la statistique en une logique déductive unique permettant de prendre des décisions optimales en présence d'information incomplète. C'est ce qu'il appelle « la logique de la science ».

Les progrès récents sur lesquels repose ce livre sont fondés sur l'approche bayésienne. C'est l'approche suivie ici implicitement. Faisant partie de l'Univers que nous étudions, nos connaissances sont et resteront toujours incomplètes. L'Homme est une *structure dissipative* comme une autre. En important de l'information de son environnement, il améliore constamment ses connaissances. Ce faisant il diminue son *entropie* interne pour dissiper l'énergie toujours plus efficacement.

8. ESO: European Space Observatory, dont la direction est située à Garching près de Munich.

9. Roger-Maurice Bonnet, Lodewijk Woltjer. *Surviving 1.000 centuries can we do it ?* Springer, Praxis, (2008).

10. Tous les termes que vous trouverez en *italique* sont des termes scientifiques et techniques expliqués dans un glossaire en fin de livre.

Il est clair que, si les lois de la physique sont générales, leur application à des domaines aussi complexes que la biologie ou les sciences humaines paraît encore hors de portée. La difficulté est double. Celle du nombre de variables mises en jeu et celle de la non-linéarité des phénomènes. Dans la deuxième moitié du XX^e siècle, des progrès considérables ont été réalisés dans ces deux domaines. Le problème du nombre de variables a été attaqué par une approche statistique. C'est le domaine de la *mécanique statistique*, prolongement de ce qu'on appelait autrefois la thermodynamique. Le problème de la non-linéarité a progressé grâce à l'expérimentation numérique. C'est le domaine de la dynamique non-linéaire ou théorie du chaos.

Malgré ces progrès, des difficultés subsistent. Le domaine exact de validité de certains résultats théoriques utilisés ici est encore discuté. Ces difficultés sont liées à la notion même de *structure dissipative*. Par définition, une telle structure est dans un état stationnaire, ce qui semble exclure à priori d'en étudier l'évolution. Un autre problème est lié à la définition exacte des frontières. Ces problèmes continuent à être discutés chaque année entre spécialistes.

L'ensemble des résultats obtenus jusqu'ici me paraît cependant avoir une portée immense. Si l'on m'avait dit il y a dix ans que les lois de la *mécanique statistique* pouvaient expliquer le comportement humain, j'aurais souri d'un air dubitatif. J'en suis maintenant totalement convaincu. Les lois fondamentales de la biochimie sont les lois de la thermodynamique, établies par Gibbs. Dans la mesure où les êtres vivants sont des ensembles de réac-

tions biochimiques, ils ne peuvent qu'obéir à ces lois.

Mon but est de montrer que les résultats déjà obtenus ouvrent de larges perspectives, non seulement en biologie, mais aussi en sciences humaines. On me reprochera sans doute d'en avoir exagéré la portée. Ce livre ne fait que rapprocher les pièces d'un puzzle. Le résultat me paraît remarquablement cohérent. Je pense donc que cette portée est réelle. Je vois ce livre comme un programme scientifique pour le XXI^e siècle, un programme permettant d'unifier la science, de la cosmologie aux sciences humaines.

Malheureusement, de nos jours, la science est extrêmement cloisonnée. Peu de physiciens s'intéressent à la biologie, encore moins aux sciences humaines. Peu de biologistes s'intéressent à la physique, encore moins de chercheurs en sciences humaines. Chacun a sa propre discipline. De formation je suis physicien. Depuis dix ans, je m'intéresse à la biologie. Écrire un livre qui couvre toutes les disciplines depuis la cosmologie jusqu'à la sociologie n'est pas une entreprise aisée. Des erreurs ou des imprécisions sont inévitables. J'en demande d'avance pardon aux lecteurs. J'apprécierai beaucoup qu'on me les signale pour une édition ultérieure éventuelle.

Une des difficultés que j'ai rencontrées est liée au vocabulaire. Chaque discipline développe son propre jargon. Pour aider le lecteur, celui-ci trouvera à la fin du livre un glossaire des termes scientifiques et techniques utilisés. Les termes en italique dans le texte renvoient à ce glossaire. L'utilisation de mots courants, de la vie de tous les jours, conduit cependant à une

autre difficulté. Richard Dawkins a intitulé son premier livre « *Le gène égoïste* », comme si un gène pouvait avoir un comportement humain. Dawkins s'en excuse en disant qu'il s'agit d'une figure de style. Ce livre va beaucoup plus loin. Mon but est de montrer que, sous des aspects différents, on retrouve les mêmes processus aussi bien en physique, qu'en biologie ou en sociologie. On peut suivre ces processus de façon continue d'une discipline à l'autre et par conséquent les décrire avec le même vocabulaire.

Le vocabulaire courant est particulièrement adapté à décrire le comportement humain. On l'applique sans difficulté aux animaux. Peut-on l'appliquer aux choses ? On dit par exemple qu'un individu en imite un autre. On le dit aussi d'un singe ou d'un oiseau. Mais lorsqu'un aimant s'aligne sur son voisin peut-on dire qu'il l'imite ? Nous verrons pourtant que le processus est tout à fait semblable (section 3.1). Le problème du vocabulaire se pose de façon particulièrement aigüe lorsqu'il y a manifestation d'intention. On tue un lapin pour le manger. Un chat en fait sans doute autant d'une souris, quoique d'une façon plus instinctive. Nous verrons qu'une bactérie se dirige vers sa nourriture. Est-ce dans l'intention de se nourrir ou plus simplement parce que son comportement est dicté la loi de Le Chatelier (section 9.1) ? Pour moi ce n'est qu'une question de langage.

Inversement, on sait maintenant que l'atmosphère terrestre se maintient constamment dans un état dit « de production maximale d'entropie » qui maximise la dissipation de l'énergie. Il apparaît de plus en plus clairement que ce processus s'applique aux écosystèmes. On constate en effet qu'un écosystème s'auto-

organise de façon à constamment maximiser son taux de dissipation d'énergie. On s'attend à ce que processus s'applique aussi aux sociétés humaines. Peut-on dire qu'une société humaine s'auto-organise pour maximiser la vitesse avec laquelle elle dissipe d'énergie ? Je n'hésite pas ici à le dire, même si la finalité de nos actions nous paraît différente.

Les physiciens sont en effet habitués à exprimer les lois de la physique sous forme de principes variationnels. Un système mécanique évolue selon le principe de moindre action. La lumière se propage de façon à minimiser son chemin optique. Pour un physicien « tout se passe comme si » la lumière cherchait constamment le chemin le plus rapide pour aller d'un point à un autre. On arrive ainsi à l'idée que l'univers cherche constamment à maximiser la vitesse à laquelle l'énergie se dissipe. Que ce principe s'applique à l'évolution de l'humanité ne nous étonne donc pas, même si les êtres humains peuvent exprimer des intentions différentes.

On sait que les lois de la chimie se déduisent entièrement des lois de la physique, bien que cette opération ne soit pas toujours aisée. Il en est de même pour la biochimie. Pourtant certains biologistes sont encore réticents à penser que les lois de la biologie découlent entièrement de celles de la chimie. Même si l'origine de la vie n'a pas encore été entièrement élucidée, il est clair que celle-ci résulte de réactions chimiques particulières, dites *autocatalytiques* (section 8.1). On peut donc passer continûment de la chimie à la biologie. La *sélection naturelle* apparaît maintenant comme une conséquence des lois de la thermodynamique (section 5.3).

L'application de la biologie à l'Homme soulève encore plus de réticences. L'extrapolation un peu trop hâtive de ses lois à l'Homme a, par le passé, conduit à des aberrations¹¹. L'idée que notre comportement peut suivre des lois heurte notre sentiment de libre arbitre. Réduire l'Homme aux lois de la physique semble être une approche terriblement matérialiste. Elle paraît occulter la spiritualité de l'Homme, qu'on ressent comme essentielle. Nous verrons que loin de l'occulter, elle nous en montre le rôle et l'importance.

L'idée centrale de ce livre est en effet que, de *génétique*, l'évolution est devenue progressivement *culturelle*. La *culture* est définie ici comme l'ensemble des informations mémorisées dans le cerveau. Il est clair qu'elle n'est pas le propre de l'Homme. Trois chapitres sont consacrés au passage des *gènes* à la *culture*. Le propre de l'Homme est que chez lui, la *culture* est devenue le facteur dominant de l'évolution. Autrement dit, on ne peut appliquer les lois de la biologie à l'Homme qu'en remplaçant les gènes par la *culture*. L'évolution de l'Homme est essentiellement *culturelle*. Thermodynamiquement, l'esprit humain réduit son *entropie* (s'auto-organise) afin que le corps puisse dissiper plus d'énergie.

Nous verrons que certains phénomènes physiques, comme un cyclone, mémorisent de l'information sur leur environnement. Leur mémoire est inertielle. Les plantes mémorisent de l'information dans leurs *gènes*. Les animaux évolués mémorisent aussi de l'information dans leur cerveau. On peut les dresser. On dit qu'ils sont capables d'appren-

tissage. Lorsqu'on parle de l'Homme, on dit qu'il prend conscience des faits. Dans le cas de l'humanité, on peut parler de prise de conscience collective.

Ce que la physique et la biologie nous apprennent – et l'histoire de l'humanité nous le confirme – c'est que les problèmes qui nous préoccupent se résolvent par des prises de conscience collectives. L'humanité prend actuellement conscience d'elle-même et s'inquiète de ses chances de survie à long terme. Ce livre est une contribution à cette prise de conscience. Elle demandera plusieurs générations. C'est pourquoi je dédie ce livre aux jeunes. Ce sont eux qui prendront enfin pleinement conscience des lois de l'évolution. Grâce à cette prise de conscience, ils bâtiront une humanité future, pleine d'esérance.

Il reste une dernière difficulté : les réflexions exposées ici confirment entièrement les craintes exprimées par beaucoup d'auteurs, notamment ceux cités au début. De plus en plus d'ouvrages paraissent chaque année sur les problèmes d'environnement, la fin du pétrole ou la façon dont les sociétés s'effondrent. Le risque, en écrivant ce livre, est pour moi de paraître comme un oiseau de mauvais augure de plus, et de ne pas être lu. C'est pourquoi j'ai traité rapidement les crises qui menacent notre société, laissant aux personnes plus qualifiées que moi le soin de le faire. Je me suis davantage étendu sur ce qui se passera après la crise, parce qu'un espoir y apparaît. Je suis convaincu que cet espoir est fondé. Il est conforme aux lois de la physique et à tout ce que nous apprend la biologie moderne.

11. Citons le darwinisme social, la justification du racisme, et l'eugénisme.

Ce livre adresse enfin un message aux générations actuelles et futures. L'Histoire montre que chaque fois qu'une société est en crise, elle cherche des coupables et désigne des boucs émissaires. Les civilisations primitives offraient des personnes en sacrifice aux dieux. Les Romains ont torturé les chrétiens. Le Moyen-Âge s'est terminé par des guerres de religion. La monarchie française a décapité son roi et un bon nombre d'aristocrates. Plus récemment l'Allemagne nazie a brûlé des juifs. Aujourd'hui on accuse les immigrés ou les « Roms ». Ce livre désigne le vrai cou-

pable : les lois de la mécanique statistique contre lesquelles nous sommes individuellement impuissants. Howard Bloom¹² parle d'un principe de Lucifer sans savoir qu'il s'agit des principes fondamentaux de la thermodynamique. Nos souffrances sont dues à l'entropie liée à notre méconnaissance des lois de l'univers. Lorsque ces lois seront universellement reconnues et comprises, cette entropie aura été évacuée. L'humanité sera enfin capable de prendre en charge son destin et d'atténuer ses souffrances.

12. Howard Bloom, *Le principe de Lucifer*, tome 1 et 2, Le jardin des livres (1997 et 2003).