

François Roddier

Thermodynamique de l'évolution

Un essai de thermo-bio-sociologie

Préface

Ce livre a été écrit par un physicien de grand talent, un expérimentateur formé au sein de l'équipe du Prix Nobel de Physique 1966, A. Kastler à l'École normale supérieure de Paris, et un astronome instrumentaliste dont la rigueur peut difficilement être mise en doute. Ce n'est sans doute pas un hasard si l'impulsion qui a amené François Roddier à écrire ce livre a aussi été celle de plusieurs de nos collègues communs : J.E. Blamont, directeur du service d'Aéronomie, A. Lebeau, ancien directeur au CNES, à l'ESA et à la Météorologie nationale, L. Woltjer, ancien directeur de l'ESO, et moi-même, pour ne citer que quelques-uns. Tous, sondeurs par nos talents différents des espaces infinis et, à des degrés divers, soucieux de l'évolution du seul monde habité connu à ce jour, nous nous sommes en fin de carrière préoccupés du futur de l'humanité. Il y a bien sûr des différences d'approches entre nous. Contrairement aux deux premiers, qui se préoccupent surtout du siècle ou des décennies à venir, dans notre livre (« *Surviving 1000 centuries. Can we do it?* », Springer, 2008), L. Woltjer et moi posons le problème de la survie de l'humanité à très long terme, sur une période de temps au moins aussi grande que celle qui a vu l'homme moderne sortir des savanes africaines et coloniser la planète entière. Rien de comparable certes aux échelles des temps astronomiques et aux quatre milliards et demi d'années qui mesurent l'âge de notre planète, mais une période suffisamment longue dans son évolution pour attribuer au livre de François Roddier et au nôtre leur caractère commun.

Mais il y a là encore des différences. L. Woltjer et moi avons adopté une approche descriptive de l'état des lieux et des ressources de la Terre. Nous avons tenté aussi de proposer les prémisses d'une gouvernance mondiale en vue d'assurer une perspective possible, certes teintée d'optimisme, s'agissant de la survie de l'humanité au-delà de l'« Introduction au siècle des menaces » de J. Blamont et évitant « L'enfermement planétaire » d'A. Lebeau, lesquels, respectivement, ne nous offrent pas beaucoup d'alternatives au suicide collectif. Au cours de la rédaction de « *Surviving 1000 Centuries* », j'avais souvent le sentiment qu'un fil unificateur manquait à notre approche

et sentais, mais sans trop savoir comment y parvenir, qu'il nous fallait la compléter par une vision et un raisonnement plus scientifiques. C'est justement ce qu'apporte le livre de François Roddier et, quand il m'a fait part de son intérêt nouveau pour la thermodynamique, je pris conscience que là se trouvait peut-être la solution au défaut qui me tracassait. Si l'approche thermodynamique n'offrait pas une perspective de survie à plus long terme que la nôtre, elle ne la contredisait pas. Les discussions fréquentes et passionnantes qui s'ensuivirent me poussèrent à conseiller vivement à François Roddier d'écrire ce livre, ce qui me vaut aujourd'hui l'honneur d'en présenter la préface.

La thermodynamique, tout comme la physique quantique, se complaît à confronter les esprits rationnels à des problèmes où la compréhension se heurte souvent au paradoxe et aux limites de la logique immédiate. Quand son second principe nous dit que l'entropie, qui mesure le désordre d'un système, ne peut que croître, ou la quantité d'information qu'il contient diminuer, on est confronté immédiatement aux paradoxes du monde qui nous entoure dans lequel nous voyons apparaître au cours du temps des structures de plus en plus complexes, de plus en plus organisées donc de plus en plus riches d'informations. François Roddier nous fait entrer de plain-pied dans ces apparentes bizarreries, mais sans nous perdre dans les ramifications et les équations de la thermodynamique moderne. La physique des phénomènes irréversibles hors équilibre et le rôle des *structures dissipatives* en sont pourtant riches, qui valurent à Ilya Prigogine d'obtenir le Prix Nobel de Chimie en 1977. Ses travaux sur les systèmes auto-organisés ouvrirent la voie à des réflexions de grande ampleur scientifique et philosophique, sur le développement de la complexité des structures naturelles, qu'elles soient physiques ou biologiques, et sur le rôle irréversible du facteur temps. L'application de cette réflexion à l'Univers tout entier est ce qui fait la force et l'attrait du livre de François Roddier.

Suivant l'illustre exemple de Prigogine, il nous fait naviguer dans un monde étrange où l'évolution, le darwinisme, le non-déterminisme disputent aux sciences humaines et à la sociologie l'intérêt du lecteur. Beaucoup pourraient se décourager et hésiter à pousser plus avant la lecture. Ce serait une erreur ! Ces pages sont passionnantes. Il faut les lire et les relire si on pense perdre le fil. Que chacun ou chacune soit rassuré(e),

qu'il ou qu'elle soit scientifique professionnel ou seulement esprit éclairé et curieux, elles réserveront à tous à la fois une occasion de réfléchir sur des problèmes apparemment déconnectés ou, plus simplement, d'apprendre et de comprendre l'évolution.

Quel lien *a priori* entre la machine à vapeur, « *Alice au pays des merveilles* », les tas de sable, les cyclones, la criticalité auto-organisée, l'effondrement des sociétés et l'évolution de l'Univers, dont Prigogine disait que « le plus nous savons de lui, le plus difficile il est de croire au déterminisme » ? La thermodynamique, répond Roddier ! Si sa démonstration débute par la description, simple, rigoureuse et facile à comprendre des principes de cette science (dont les non-spécialistes apprendront qu'il y en a trois et non pas deux), sans s'aider du biais d'équations complexes, se reposant sur de nombreux exemples familiers soudain reliés par des lois physiques, elle bifurque assez rapidement vers des considérations économiques et sociologiques étonnantes, lesquelles vaudront probablement à leur auteur des remarques incroyables ou même acerbes.

Les trois premières parties sont des enchantements. Beaucoup de questions « que tout le monde se pose » soudain s'éclairent. On s'y émerveille d'avoir (presque) tout compris. Par contraste, la quatrième sera sans doute celle qui posera le plus de problèmes à la majorité des lecteurs. Elle en a d'ailleurs posé à Roddier lui-même. Les biologistes purs n'accepteront sans doute pas ce qui n'a pas été inventé par eux, et pour cause ! Les historiens pourront grincer des dents sur certains raccourcis peut-être trop rapides ou trop simples de l'histoire de Rome ou par l'utilisation d'exemples trop spécifiques et non nécessairement généralisables. Les marxistes ne se priveront pas de protester devant cette approche trop « physique » des phénomènes économiques et de l'évolution des sociétés pas tout à fait en ligne avec l'idéologie anti-capitaliste et ne mettant pas suffisamment en cause l'exploitation de l'Homme par l'Homme. D'autres s'étonneront de la futurologie, voire de la fiction, qui caractérise les dernières pages, où l'effondrement précède naturellement la restructuration et ouvre la voie au futur d'une humanité assagiée et réfléchie. Enfin, se prend-on à penser, les lendemains vont « chanter » ! C'est justement par cette touche d'idéalisme que nos deux approches convergent parce que nous pensons – naïvement sûrement aux yeux des économistes libéraux – que l'histoire du monde ne s'arrêtera pas dans la

« corbeille », mais se prolongera grâce à ce capital unique, propre à l'espèce humaine, que constituent à la fois son cerveau et son intelligence et qui lui a permis de réagir et de prendre conscience de son destin fatal face aux crises historiques majeures dont l'histoire récente, en particulier celle de l'Europe au xx^e siècle, nous a offert des exemples traumatisants. Souhaitons que l'avenir nous donne raison.

Roger-Maurice Bonnet

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 Arnould, il publie « *Lève-toi et marche* »³.

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).

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, 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

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).

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).

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.

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.

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

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 a 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 réactions 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'apprécierais 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'imité ? Nous verrons pourtant que le processus est tout à fait semblable (section 3.1). Le problème du vocabulaire se pose de façon particulièrement aiguë 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

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

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'apprentissage. 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'espérance.

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.

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 coupable : 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).

*« La vraie physique est celle qui parviendra,
quelque jour, à intégrer l'Homme total dans
une représentation cohérente du monde. »*

TEILHARD DE CHARDIN
Le phénomène humain

Prologue

La notion d'évolution

Le fait que le monde évolue est pour nous une évidence. Tous les jours mon ordinateur me rappelle de mettre à jour son logiciel. Chacun s'empresse de changer son téléphone portable pour bénéficier des derniers gadgets. On oublie qu'il y a quinze ans, avoir un téléphone portable ou l'internet chez soi était une nouveauté.

Depuis deux cents ans, l'Homme s'est habitué à un progrès scientifique et technique permanent. Ce progrès est de plus en plus rapide. Il ne cesse de s'accélérer. Cela nous paraît dans la nature des choses. La plupart d'entre nous pensent que cela va continuer indéfiniment. Peu d'entre nous réalisent que cela n'a pas toujours été. Nous verrons que cela ne sera pas toujours.

Au Moyen Âge les progrès étaient si lents qu'ils étaient imperceptibles. La notion d'évolution est absente de la littérature de cette époque. La perception était que l'humanité avait toujours été telle qu'on pouvait l'observer, c'est-à-dire dans l'état où Dieu l'avait créée. Les peintures montrent la Sainte Famille en habits du Moyen Âge.

Il semble que tout ait commencé vers la fin du ^{xv}^e siècle avec le développement de la typographie par Johannes Gutenberg. À cette époque on considérait que l'explication du monde était dans la Bible. On a donc imprimé la Bible. Pendant tout le ^{xvi}^e siècle, les gens apprennent à lire pour lire la Bible. Il y a une immense vague d'alphabétisation. En apprenant à lire la Bible, les gens apprennent à penser par eux-mêmes. Michel de Montaigne incite ses lecteurs à la réflexion philosophique. Les livres se multiplient.

Au ^{xvii}^e siècle, des savants comme René Descartes pensent et font savoir qu'il est possible de comprendre le monde indépendamment des croyances religieuses.

C'est la montée d'une pensée rationnelle appelée « cartésianisme ». Blaise Pascal hésite entre la religion et la raison. Il fait son fameux « pari ».

Au XVIII^e siècle, les livres deviennent si nombreux que le besoin se fait sentir de « comprimer » l'information et de rassembler toutes les connaissances de l'humanité en un seul livre. C'est l'« *Encyclopédie* » de Denis Diderot et de Jean le Rond d'Alembert ou l'« *Histoire naturelle* » de Georges-Louis Leclerc, comte de Buffon. La réunion de toutes ces connaissances éclaire l'humanité. C'est le siècle des Lumières.

En lisant l'« *Histoire naturelle* » de Buffon, on y apprend qu'on trouve un peu partout des vestiges de coquillages en haut des montagnes. Ces coquillages ressemblent à ceux que l'on trouve dans l'océan. Certaines roches des montagnes auraient-elles été un jour sous la mer ? L'écosais James Hutton identifie de la lave dans son jardin. Y aurait-il eu un jour des volcans en Écosse ? Peu à peu l'évidence se fait jour : la Terre évolue.

Moins d'un demi-siècle plus tard, Jean Baptiste de Lamarck étudie d'abord la botanique puis la zoologie. Il se passionne ensuite pour la *paléontologie*. Celle-ci nous enseigne que des organismes vivants ont existé qu'on ne trouve plus maintenant. De toute évidence les espèces végétales et animales évoluent. Bien plus, elles évoluent du plus simple vers le plus complexe. Dans sa « perfection », l'Homme serait l'aboutissement de l'évolution. Un nouveau demi-siècle plus tard, Charles Darwin publie son livre sur l'origine des espèces par la *sélection naturelle*. Le mécanisme de l'évolution se fait jour.

En 1916, Albert Einstein publie son équation reliant la forme de l'espace-temps à la distribution d'énergie. À son grand étonnement, l'Univers paraît variable dans le temps. L'idée d'un univers qui évolue semble impensable à Einstein. Il ajoute à son équation une constante, dite « cosmologique », afin de rendre l'Univers statique. En 1929, Edwin Hubble montre que l'Univers est en expansion. Einstein qualifiera l'ajout d'une constante cosmologique comme étant la plus grande bourde de sa vie.

Ainsi non seulement la vie et la Terre évoluent, mais l'Univers lui-même évolue. Si tout évolue, y a-t-il des lois qui régissent cette évolution ?

I

Les lois de la thermodynamique

1. La thermodynamique du XIX^e siècle

Bien que pouvant prendre des formes différentes (mécanique, électrique, chimique), une certaine quantité d'énergie reste toujours la même. On dit qu'elle se conserve. Elle tend cependant à se dissiper, c'est-à-dire à se transformer en chaleur. La chaleur diffère des autres formes d'énergie en ce qu'elle ne peut pas être intégralement convertie en une autre forme. Dans un système dit fermé, c'est-à-dire isolé du reste du monde, l'énergie se transforme irréversiblement en chaleur. Les différences s'estompent, les mouvements cessent. Le système atteint peu à peu un état dit d'équilibre thermodynamique.

1.1. L'énergie

Dans un univers où tout évolue, comment connaître les lois qui régissent son évolution ? Une mathématicienne, Emmy Noether, a montré que si l'évolution obéit à des lois fixes, alors il existe une grandeur mesurable qui se conserve au cours de l'évolution. Les physiciens appellent une telle grandeur, un invariant. Découvert au XIX^e siècle, cet invariant porte le nom d'énergie. C'est en quelque sorte le fil d'Ariane qui permet de suivre l'évolution.

L'approvisionnement en énergie des sociétés humaines est actuellement une telle préoccupation que cette notion abstraite, née des sciences physiques, est devenue aujourd'hui une notion courante. Chacun sait qu'un apport d'énergie est nécessaire pour mettre une masse en mouvement. Pour un physicien, une grandeur est définie si on sait la mesurer. Pour mesurer une quantité d'énergie, les physiciens font appel à la notion de travail mécanique. On produit du travail mécanique lorsque, par exemple, on élève un poids d'une certaine hauteur. L'énergie nécessaire, appelée dans ce cas travail mécanique, est le produit de la force appliquée (égale et opposée au poids) par la longueur du déplacement (ici une hauteur).

Chaque fois qu'on élève le même poids de la même hauteur, on fournit le même travail mécanique ou la même énergie. Il y a bien des façons d'élever un poids. On peut par exemple tirer sur une corde. On fournit alors de l'énergie musculaire que l'on peut ainsi mesurer. On peut aussi utiliser un moteur électrique. L'électricité est une autre forme d'énergie. Celle-ci peut être fournie par une batterie d'accumulateurs dans laquelle l'énergie est emmagasinée sous forme chimique.

Si l'énergie peut revêtir des formes très variées, son importance vient de ce qu'elle se conserve. Dans tous les cas, l'énergie peut être mesurée avec la même unité. L'unité internationale est le joule du nom du physicien anglais James Prescott Joule. L'énergie fournie par unité de temps porte le nom de « puissance ». On la mesure en joule par seconde, appelé aussi watt, du nom de l'ingénieur anglais James Watt qui a mis au point la première machine à vapeur utilisable industriellement (voir compléments).

Par exemple, l'énergie qui a servi à élever le poids n'est pas perdue. On peut la récupérer en faisant redescendre le poids. En redescendant, le poids peut faire tourner une dynamo qui va produire de l'électricité et recharger ainsi la batterie. Tout ceci suppose que les manipulations que nous avons exécutées sont parfaitement réversibles. Malheureusement, elles ne le sont en général qu'imparfaitement, parfois même pas du tout. Si la corde casse, le poids tombe. L'énergie est apparemment perdue.

1.2. La dissipation d'énergie

Les physiciens ont constaté que, dans ce cas, l'énergie n'est pas vraiment perdue. Elle s'est transformée en chaleur. La même quantité d'énergie produit toujours la même quantité de chaleur. Elle permet d'élever la même quantité d'eau de la même différence de température. Malheureusement la transformation d'énergie en chaleur est une opération irréversible. On peut utiliser une bouilloire électrique pour chauffer de l'eau, mais, en se refroidissant, l'eau de la bouilloire ne rendra pas l'électricité qui a été consommée.

Le problème est que, quelle que soit sa forme, l'énergie finit toujours par se transformer intégralement en chaleur. Prenons par exemple le balancier d'une