

(2006)

La perception du temps

Édité par

Jacques ROYER
Anne-Nelly PERRET-CLERMONT
Franco ROMERIO

LES CLASSIQUES DES SCIENCES SOCIALES
CHICOUTIMI, QUÉBEC
<http://classiques.uqac.ca/>



<http://classiques.uqac.ca/>

Les Classiques des sciences sociales est une bibliothèque numérique en libre accès, fondée au Cégep de Chicoutimi en 1993 et développée en coopération avec l'Université du Québec à Chicoutimi (UQÀC) de 2000 à 2024 et avec l'UQAM à partir du mois de septembre 2024.

UQAC

UQÀM

<http://bibliotheque.uqac.ca/>

<https://uqam.ca/>

L'UQÀM assurera à partir de juin 2024 la pérennité des Classiques des sciences sociales et son développement futur, bien sûr avec les bénévoles des Classiques des sciences sociales.

En 2023, Les Classiques des sciences sociales fêtèrent leur 30^e anniversaire de fondation. Une belle initiative citoyenne.

Politique d'utilisation de la bibliothèque des Classiques

Toute reproduction et rediffusion de nos fichiers est interdite, même avec la mention de leur provenance, sans l'autorisation formelle, écrite, du fondateur des Classiques des sciences sociales, Jean-Marie Tremblay, sociologue.

Les fichiers des Classiques des sciences sociales ne peuvent sans autorisation formelle:

- être hébergés (en fichier ou page web, en totalité ou en partie) sur un serveur autre que celui des Classiques.
- servir de base de travail à un autre fichier modifié ensuite par tout autre moyen (couleur, police, mise en page, extraits, support, etc...),

Les fichiers (.html, .doc, .pdf, .rtf, .jpg, .gif) disponibles sur le site Les Classiques des sciences sociales sont la propriété des **Classiques des sciences sociales**, un organisme à but non lucratif composé exclusivement de bénévoles.

Ils sont disponibles pour une utilisation intellectuelle et personnelle et, en aucun cas, commerciale. Toute utilisation à des fins commerciales des fichiers sur ce site est strictement interdite et toute rediffusion est également strictement interdite.

**L'accès à notre travail est libre et gratuit à tous les utilisateurs.
C'est notre mission.**

Jean-Marie Tremblay, sociologue
Fondateur et Président-directeur général,
LES CLASSIQUES DES SCIENCES SOCIALES.

Un document produit en version numérique par Jean-Marie Tremblay, bénévole,
professeur associé, Université du Québec à Chicoutimi

Courriel: classiques.sc.soc@gmail.com

Site web pédagogique : <http://jmt-sociologue.uqac.ca/>

à partir du texte de :

Jacques Royer, Anne-Nelly Perret-Clermont et Franco Romerio

LA PERCEPTION DU TEMPS.

Collection : “Énergie, environnement et société”, no 5 sous la direction du professeur Willi Weber, directeur du Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE). Genève : Université de Genève, Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie, 2006, 117 pp.

Madame Anne-Nelly Perret-Clermont nous a autorisé, le 5 avril 2024, la diffusion de ce livre en libre accès à tous dans Les Classiques des sciences sociales.



Courriel : Anne-Nelly Perret-Clermont : Anne-Nelly.Perret-Clermont@unine.ch

Police de caractères utilisés :

Pour le texte: Times New Roman, 14 points.

Pour les notes de bas de page : Times New Roman, 12 points.

Édition électronique réalisée avec le traitement de textes Microsoft Word 2008 pour Macintosh.

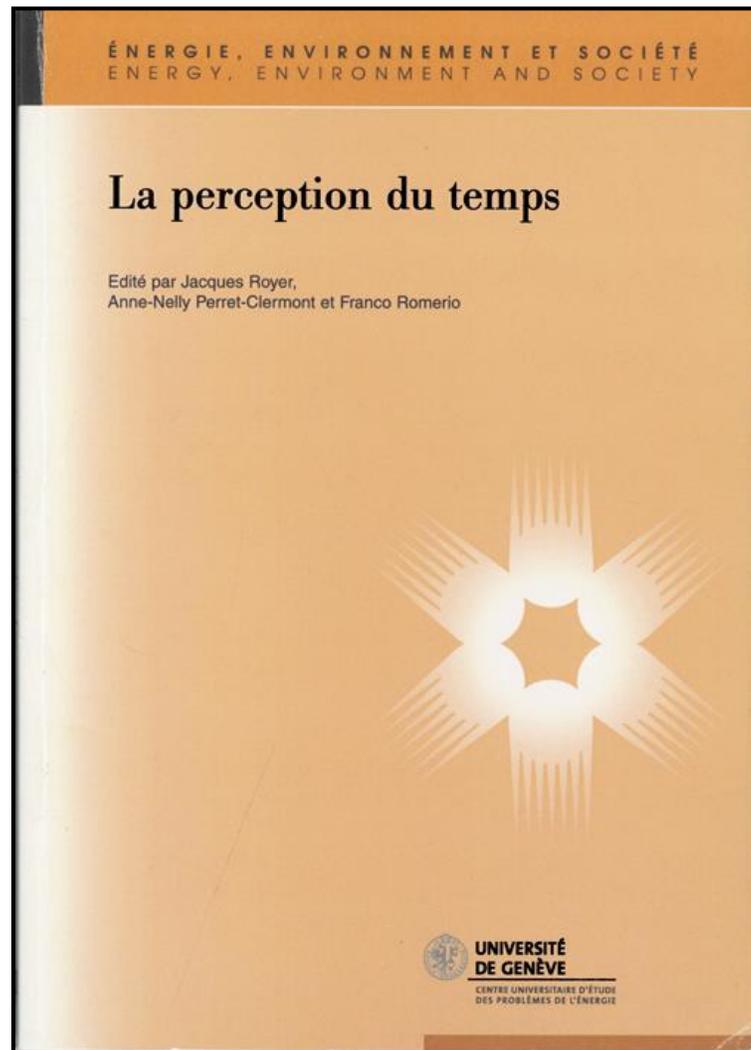
Mise en page sur papier format : LETTRE US, 8.5'' x 11''.

Édition numérique réalisée le 12 août 2024 à Chicoutimi, Québec.



Jacques Royer, Anne-Nelly Perret-Clermont
et Franco Romerio

LA PERCEPTION DU TEMPS.



Collection : “Énergie, environnement et société”, no 5 sous la direction du professeur Willi Weber, directeur du Centre universitaire d’étude des problèmes de l’énergie (CUEPE). Genève : Université de Genève, Centre universitaire d’étude des problèmes de l’énergie, 2006, 117 pp.

La perception du temps.

Quatrième de couverture

[Retour à la table des matières](#)

ÉNERGIE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

ENERGY, ENVIRONMENT AND SOCIETY

La perception du temps

Édité par Jacques Royer, Anne-Nelly Perret-Clermont et Franco Romerio

Le Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE) est un centre interfacultaire de l'Université de Genève. Il a été créé dans le but de promouvoir des études interdisciplinaires dans les domaines de l'énergie en mettant l'accent sur l'intérêt pratique de ces recherches notamment pour la prise de décision aux niveaux local et national. Les recherches actuelles portent sur l'utilisation de l'énergie dans le bâtiment, l'énergie solaire, les besoins énergétiques et les politiques énergétiques et environnementales.

The Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE) is an interfaculty centre at the University of Geneva. Created in order to foster interdisciplinary studies on energy problems, its focus is on practices and decision-making processes on a local and national level. Its present activities include research in the energy efficiency in buildings, solar energy, energy needs, energy policies as well as environmental policies.

Nos conceptions de la nature et de la société sont étroitement liées à la perception du temps. L'approfondissement du concept de temps est donc fondamental pour la compréhension des sciences naturelles et humaines, comme l'atteste la somme considérable de réflexions que philosophes et savants lui ont consacrée.

Ce livre se propose d'explorer le concept de temps dans différentes disciplines des sciences naturelles et humaines. Contournant le cloisonnement disciplinaire des universités, il se présente comme un échange interdisciplinaire sur ce concept qui, au-delà de l'intérêt des chercheurs, se trouve au centre des préoccupations de l'humanité : La protection de l'environnement, le développement socio-économique et la viabilité des approvisionnements énergétiques, en un mot le « développement durable », ne sont en effet pas pensables en dehors du temps.

ISBN 2-940220-04-2

Note pour la version numérique : La numérotation entre crochets [] correspond à la pagination, en début de page, de l'édition d'origine numérisée. JMT.

Par exemple, [1] correspond au début de la page 1 de l'édition papier numérisée.

[1]

La perception du temps

[2]

ÉNERGIE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ
ENERGY, ENVIRONMENT AND SOCIETY

Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE)

No 5

La collection a pour but de diffuser des travaux de recherche interdisciplinaires dans le domaine de l'énergie et de ses implications environnementales et sociales.

Les auteurs sont membres du CUEPE ou associés à ses programmes de recherche.

The series serves as an outlet for the main results of interdisciplinary research programmes in the area of energy and its environmental and social implications.

The authors are members of the CUEPE or associated to its research programmes.

Directeur de la collection / *General Editor*

Willi Weber, directeur du CUEPE

[3]

La perception du temps

Édité par

Jacques Royer
Anne-Nelly Perret-Clermont
Franco Romerio

Collection Énergie, environnement et société, N° 5
Sous la direction du prof. Willi Weber, directeur du CUEPE

Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie
Université de Genève

[4]

ISBN 2-940220-04-2

© Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie, 2006.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or translated in any form, by print, photoprint, microfilm, microfiche or any other means without written permission.

Distribution :

Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie

7, route de Drize

CH-1227 Carouge Genève

Suisse

Téléphone ++41 22 379 06 61

Fax ++41 22 379 06 39

Courriel secretariat@cuepe.unige.ch

Web www.unige.ch/cuepe

[5]

La perception du temps.

Table des matières

[Quatrième de couverture](#)

[Préface](#) [9]

[“Le temps, père de toutes choses”](#). André Hurst [11]

[“Le temps en astronomie et en astrophysique.”](#) Daniel Pfenniger [17]

[“Le cours du temps.”](#) Maurice JACOB [25]

[“Le temps en sciences de la terre.”](#) Jean-Yves Royer [43]

[“La perception du temps en biologie.”](#) Pierre SPIERER [55]

[“Le temps et l'économie.”](#) Beat Bürgenmeir [59]

[“Time, Optimality and Natural Law.”](#) Olivier de La Grand ville [73]

[“Could one build social clocks ?”](#) Pierre Allan [79]

[“Quelques facettes du temps en psychologie.”](#) Anne-Nelly Perret-Clermont et Sophie Lambolez [87]

[“L'historien et les temporalités.”](#) François WALTER [95]

[“À l'écoute du temps.”](#) Jean Halpérin [107]

[“Liste des participants](#) [117]

[6]

[7]



Le prof. Jacques Royer (au centre) le matin du 9 février 2005
avec la prof. Anne-Nelly Perret-Clermont et le Dr Franco Romerio

[8]

[9]

La perception du temps.

PRÉFACE

*Zénon, cruel Zénon, Zénon d'Élée
M'as-tu atteint de cette flèche ailée
qui vole, vole... et qui ne vole pas ?*

Paul Valéry

*Ne pourrons-nous jamais sur l'océan des âges
jeter l'ancre un seul jour*

Lamartine (Le Lac)

Je ne veux pas d'un monde où tout change, où tout passe

Lamartine (La Foi)

[Retour à la table des matières](#)

Il peut sembler prétentieux, de la part d'un petit institut interfacultaire, le Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Énergie (CUEPE), de proposer une réflexion sur la perception du temps. Nous n'ignorons pas que ce vaste sujet a retenu l'attention, au cours des siècles passés, d'une multitude de grands esprits, scientifiques ou philosophes : à commencer par les Grecs, de Zénon à Aristote et leurs nombreux disciples – suivis par des penseurs chrétiens, de Saint Augustin à St Thomas d'Aquin – plus tard les créateurs et penseurs de la mécanique classique. Newton. Descartes. Galilée – Leibnitz et les fondateurs du calcul infinitésimal – et plus près de nous des contemporains plus connus qu'il est inutile de présenter, Poincaré, Bergson, Einstein et les tenants de la mécanique quantique.

À l'échelle des recherches du CUEPE sur l'énergie et l'environnement, notre communauté d'architectes, d'économistes et de physiciens attentifs aux problèmes de l'énergie et de l'environnement ne peut pas

faire l'économie d'une réflexion, même sommaire, sur le temps, car la pensée est prise en tenaille entre des positions contradictoires ou du moins difficilement compatibles. Qu'on pense, en effet, aux discours des économistes sur les oscillations de l'économie autour d'une position théorique d'équilibre – voire même sur les déséquilibres de l'économie et les conflits sociaux qui peuvent en découler – ou au temps long des environmentalistes, qui est porteur de processus irréversibles aux conséquences imprévisibles et parfois redoutables.

La question que nous sommes tout naturellement amenés à nous poser est de savoir si ces oppositions relèvent de simples perceptions liées à des cultures scientifiques différentes ou si, plus profondément, elles sont enracinées dans le substrat scientifique de ces disciplines. Nous espérons que ce livre permettra d'effectuer un premier bilan des convergences et des divergences dans les perceptions du temps des disciplines présentes. Notre rêve est de fournir une petite contribution au développement d'un cadre conceptuel qui permettra de lancer des passerelles de compréhension entre ces différentes perceptions.

Ce livre est le résultat d'un colloque qui s'est tenu au CUEPE le 9 février 2005. Nous remercions vivement les auteurs des articles, qui ont accepté de participer à notre projet sur la perception du temps, le prof. Willi Weber, directeur du CUEPE, qui l'a accueilli avec enthousiasme, ainsi que Mme Cam Lai Nguyen Frenzel-Beyme et M. Raphaël Jakob, qui nous ont aidé à le présenter.

Jacques ROYER, Anne-Nelly PERRET-CLERMONT et Franco ROMERIO

[10]

[11]

La perception du temps.

“Le temps,
père de toutes choses.”

André HURST

Recteur de l'Université de Genève
Faculté des lettres

[Retour à la table des matières](#)

Cette expression, tirée de la deuxième ode olympique de Pindare (v.17), pourrait avoir l'air d'une simple évidence et ne rien signifier d'autre que « tout arrive ». On aplatirait ainsi, certainement, la perception du temps qu'elle véhicule.

Nous entrons en fait dans le monde de la perception du temps des Grecs. Vaste paysage, et très exploré en même temps que très diversifié. Contentons-nous de signaler quelques aspects qui semblent particulièrement saillants, même s'ils ne sauraient prétendre être particulièrement nouveaux.

Deux parties inégales vont constituer ce petit survol : une première partie tend à esquisser une perception cohérente du temps chez plusieurs poètes et penseurs, une deuxième partie indiquera que tout n'est pas si cohérent pour les Grecs.

« Le temps, père de toutes choses » : puisque nous entrons par une expression pindarique, commençons par l'examiner de plus près. Le mot « père » nous confronte immédiatement à une première difficulté. Pour la conscience grecque, ce mot n'est pas aussi univoque qu'il l'est pour nous. En effet, alors qu'il désigne, comme dans l'ensemble du monde indo-européen, le géniteur biologique, il peut tout aussi bien

désigner une relation de pouvoir : dans les poèmes homériques, fond culturel commun s'il en est pour les Grecs (au point qu'il suffit de dire « le poète » pour savoir qu'on parle d'« Homère »), Zeus est couramment désigné par la formule épique « père des hommes et des dieux », alors que ces mêmes poèmes démontrent une conscience claire du fait que Zeus n'a pas engendré l'ensemble des dieux et encore moins l'ensemble des hommes. La relation est ici très évidemment une relation de pouvoir.

Le temps, « père de toutes choses », est donc à comprendre comme la dimension dans laquelle tout vient à l'être, selon le modèle biologique, mais également comme ce qui régit l'ensemble de ce qui est selon une dimension de pouvoir. À ce titre, un courant religieux comme l'orphisme en fait une divinité de première importance.

Pour tenter d'éclairer comment cette double dimension fonctionne, on peut, on doit, remonter comme toujours à « Homère ».

Les récits homériques nous donnent de l'usage du temps une image complexe.

Son origine est incontestablement divine : lorsque le poète entreprend son récit de l'*Odyssée*, il demande à une divinité, la Muse, de choisir le point du temps à partir duquel elle va commencer à raconter (Od.1.9). La divinité est donc présentée comme capable de se mouvoir dans le temps, qu'il s'agisse de remonter son axe (jusqu'au point à partir duquel le récit va débiter) ou de le « redescendre » pour suivre le cours des événements. Il est à noter cependant que ce pouvoir de mouvance dans la dimension temporelle se prolonge dans toute l'architecture complexe des deux grandes épopées que sont l'*Iliade* et l'*Odyssée* : le récit contient un assez grand nombre d'« analepses », ou parties du récit qui remontent au passé (le [12] « flash-back » du cinéma), la plus célèbre étant l'ensemble des récits fabuleux de l'*Odyssée* puisque le récit est fait par Ulysse alors qu'il se trouve à la cour des Phéaciens, à quelques jours de son retour à Ithaque, si bien que le texte se déroule simultanément sur deux niveaux : Ulysse en train de raconter, et Ulysse, dans un passé relativement lointain, comme sujet du récit d'aventures qui le mèneront jusque chez la nymphe Calypsô (l'endroit où il se trouve lorsque le texte de l'*Odyssée* commence au point choisi par la Muse). Dans l'*Iliade*, on pourrait citer l'histoire de la guerre des Aitoliens et des Courières (chant 9), analepse en même temps que « mise en abyme » de

l'ensemble du texte, puisqu'il s'agit d'une sorte de miniature de la guerre de Troie elle-même avec des permutations qui font qu'elle est en quelque sorte reflétée comme dans un miroir.

Cette complexité dans la perception du temps doit sans doute se rattacher au caractère ouvertement donné pour divin de l'ensemble du texte : en effet, dans l'une et l'autre des deux épopées, c'est la Muse qui parle à travers l'exécutant (II. 1.1 : « Chante, déesse... » ; Od. 1.9. : « déesse, fille de Zeus, dis-nous, à nous aussi... »).

Ce pouvoir divin sur le temps s'accompagne d'un sentiment perceptible au niveau humain seulement : la conviction d'un très net déclin des énergies vitales dans le passage du temps. Les hommes qui, comme le roi Nestor, ont vécu plusieurs générations, peuvent attester du fait qu'on était plus fort autrefois, et le « plan de Zeus », évoqué au début de l'*Illiade* (1.5.) semble bien avoir été celui d'affaiblir l'humanité dans son ensemble, humanité devenue trop nombreuse, en réponse à une requête de la Terre elle-même, demandant à être déchargée de son fardeau.

Il n'y a cependant ni indication explicite d'un début de la temporalité, ni données permettant d'établir la direction du vecteur temporel, et qui serait comparable à ce que le christianisme propose dans la notion de Jugement dernier et, par conséquent, de fin du temps qui coïnciderait avec un début de l'éternité.

Ces deux éléments, début et direction du vecteur de la temporalité, sont en revanche présents chez Hésiode, le poète du V^e siècle avant notre ère à qui l'on doit deux autres poèmes célèbres : la *Théogonie* et *Les Travaux et les Jours*.

La vision de l'origine est celle de l'« ouverture en forme de creux » (« Chaos », mot qui vient du même radical que celui qui désigne notamment l'ouverture de la bouche). On ne peut cependant identifier un moment auquel le temps se mettrait en marche : il apparaît bien plutôt comme une donnée présente de manière absolue. La démarche selon laquelle évolue le monde est rythmée par des générations qui impliquent le temps des accouplements divins, des gestations, des naissances. C'est la création d'une échelle du temps fondée sur l'expérience des générations humaines, que le poète homérique comparait à celle des feuillages pour leur caractère éphémère. C'est le recours à un système biologique pour le comptage du temps, système qui permettra aux

premiers « historiens » prosateurs du V^e siècle avant notre ère de remonter le temps pour atteindre une mesure du passé fondée sur une échelle généalogique.

La direction dans laquelle évolue ce temps semble bien être celle d'un cycle, comme on l'a souvent relevé. La chose est particulièrement sensible dans un passage du poème *Les Travaux et les Jours*, où la succession des générations mythiques liées aux métaux (âge d'or, d'argent, de bronze, âge des héros, âge du fer) est assez clairement présentée comme un cycle récurrent : le poète, né dans l'âge du fer, se plaint de ne pas être né « *plus tôt ou plus tard* » (Op.175), ce qui pourrait impliquer que le cycle reprend. En effet, si le mouvement chronologique dessiné par la succession des générations liées aux métaux continuait son mouvement du meilleur vers le pire, on ne comprendrait pas pourquoi le poète souhaiterait naître plus tard le long de cet axe du temps.

[13]

L'indication claire d'un début du temps et d'un cycle récurrent est en revanche très nettement présente chez Empédocle d'Agrigente, philosophe du V^e siècle avant notre ère que l'on verse dans la catégorie des « pré-socratiques », figure de maître à penser s'exprimant en vers homériques pour livrer une vision du monde qui repose sur une intuition de ce que seraient ses composantes. En bref, il considère que tout est composé d'agrégats de quatre éléments, à savoir les éléments qui resteront pour des siècles les fondements de la physique classique, l'air, l'eau, la terre, le feu. L'agrégat total et fusionné de ces éléments est nommé par lui « Sphairos ». Il en donne une description dans un fragment conservé :

Fr.27 D.-K.

*Alors que le regard ne saurait discerner
Ni les membres déliés du Soleil, ni la terre
À la force velue, ni la mer, ainsi donc
Enfermé dans les liens de l'harmonie secrète,
Sphairos est là, tout rond, joyeux et immobile*

(traduction de Jean-Paul Dumont)

Cet état du monde perdurerait s'il n'était pas soumis à l'action de deux forces opposées : attraction et séparation, qu'il nomme « amour » et « haine ». L'effet de ces forces consiste dans le mouvement qui va tour à tour séparer les éléments et les rassembler. À l'évidence, la succession de mouvements crée le temps, dès lors qu'avec le mouvement surgit un point de départ, un avant, un après. C'est ce qu'on lit dans un autre fragment conservé :

Fr.30 D.-K.

*Lorsque dans le corps du monde eut grandi la haine
Et qu'elle se dressa pour revendiquer son domaine,
le temps s'accomplissant
Temps qui leur est assigné à tour de rôle
par un ample serment....*

(traduction d'André Hurst)

On voit ainsi comment le temps connaît un point de départ, il « s'accomplit », à la faveur de la mise en marche des forces qui régissent l'univers et le font entrer par le mouvement lui-même dans la dimension temporelle. Les dieux et la dimension divine semblent avoir disparu. Il faudrait cependant se garder d'aller trop vite : pour Empédocle, les dieux existent, et ils sont constitués d'agrégats de matières plus durables que d'autres (fr. 22 D.-K.), ou ne sont autres que l'une ou l'autre des deux forces qui se manifestent dans la marche de l'univers et du temps (c'est ainsi qu'Aphrodite, déesse de l'amour, n'est autre que l'un des noms que les mortels donnent à la force de rassemblement qui traverse l'ensemble de la matière, cf. fr.17 D.-K., v. 24).

La formule qui nous sert de titre, « le Temps, père de toutes choses », se trouve justement dans une pièce dont l'auteur, Pindare, est très proche de la vision d'Empédocle, et les deux ont souvent été comparés.

Deux points méritent ici plus particulièrement l'attention : le caractère cyclique du temps, et son aspect divin.

[14]

Pour ce qui touche le caractère cyclique, nettement présent, on l'a vu, chez Empédocle, il est explicite chez Pindare, justement dans le poème dont nous tirons notre formule, poème qui est justement dédié à la célébration d'un vainqueur qui n'est autre qu'un prince d'Agrigente, la ville d'Empédocle. Surnommée « l'ode des bienheureux », la deuxième ode olympique montre comment la vie et la mort des êtres obéissent à un cycle à la faveur duquel retournent sur terre, après leur mort, ceux qui doivent être châtiés. Après trois cycles consécutifs sans « faute » dans chacun des deux mondes des vivants et des morts, les « bienheureux » échappent au temps et se rendent dans les célèbres « Îles des bienheureux », où il vivent dans une harmonie parfaite des quatre éléments, explicitement évoqués.

Cependant, ces bienheureux ne sont pas seuls à pouvoir échapper ainsi au temps. Le poète lui-même affirme avec force, et de manière répétée tout au long de son œuvre, qu'il est un maître du temps. Il remonte en particulier l'axe temporel pour rejoindre les temps légendaires dans lesquels il puise l'explication des phénomènes présents, ou bien il plane par dessus l'écoulement du temps dans le registre temporel de la maxime à valeur absolue. Là où le poète homérique demandait à une divinité de maîtriser pour lui l'écoulement du temps dans le récit, Pindare revendique ce rôle pour le poète lui-même, interprète des Muses, et qui touche à la divinité par la puissance dont il fait montre dans son traitement du temps.

On pourrait poursuivre sur cette lancée de la perception divine du temps, et faire surgir les grandes visions platoniciennes des cycles de vie et de mort de la *République*, héritières d'une tradition proche de celles qui viennent d'être évoquées.

On préférera rompre avec cette impression qu'il y aurait une perception unique du temps pour les Grecs de l'antiquité, et terminer par une première remarque sur la diversité, et une deuxième sur le temps et la société.

La diversité dans la perception du temps se marque dans le vocabulaire. À côté de « chronos », dont nous tirons nos « chronomètres », il existe un mot « aiôn », qui commence par indiquer une durée (par exemple celle de la vie) pour désigner ensuite plus généralement l'écoulement du temps et, finalement, par opposition à « chronos », l'éternité, donc l'absence de temps. C'est le mot que l'on traduit par

« éternité » ou par « siècles » dans la formule chrétienne « au siècle des siècles » (« eis aiôna tôn aiônôn »).

Or, c'est le mot dont se sert un illustre contemporain d'Empédocle et de Pindare : Héraclite d'Éphèse. Dans un fragment célèbre (52 D.-K.), Héraclite dit ceci : « *le temps (aiôn) est un enfant qui joue aux dés : c'est la royauté d'un enfant* ». Ainsi, à côté de l'impression de rationalité qu'on pouvait retirer de l'édifice harmonieux d'Empédocle, on voit apparaître un temps incertain, livré au hasard et au caprice, un temps imprévisible. Comme chez Empédocle, deux forces s'opposent, mais non pas dans une alternance donnant à l'écoulement du temps sa noble symétrie. Chez Héraclite, les opposés sont simultanément présents partout, c'est ce que dit le fragment 53 D.-K., et le rôle donné par Empédocle au temps est ici repris par « Polemos » (« Conflit ») : « Conflit est le père de toutes choses, roi de tout, il fait des uns des dieux, des autres des humains, il fait des uns des esclaves, et des autres des hommes libres ». Et pourtant le temps passe, on n'est pas dans l'immobilité prônée à la même époque par Parménide et défendue par son élève Zénon, le « cruel Zénon », « Zénon d'Élée » selon l'apostrophe célèbre de Paul Valéry. Le temps s'écoule comme une rivière, mais Héraclite utilise cette image justement pour dire que tout change sans cesse dans le cours du temps (fr.49a D.-K. : « Dans les mêmes rivières, nous entrons et nous n'entrons pas, nous sommes et nous ne sommes pas »). Pas de référence explicite à un cycle où le même se retrouverait à intervalles réguliers. La marche du temps se matérialise dans un conflit où tout s'anéantit réciproquement. Rien d'étonnant à ce que le feu soit présenté chez Héraclite comme la matière fondamentale de l'ensemble de l'univers.

[15]

Philosophes et poètes d'un côté, bon peuple de l'autre ? Sans pouvoir vraiment l'affirmer, nous terminerons ces brefs aperçus par un mot sur le quotidien des Grecs.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur le début du deuxième livre de Thucydide (2.2.1) pour réaliser quelle difficulté les Grecs avaient à se situer dans l'écoulement du temps de manière pratique, à « dater » précisément un événement (en l'occurrence, Thucydide doit recourir à divers systèmes pour tenter de dater le début de la guerre du Péloponnèse : pour dire que les premiers événements se déroulent à une date

qui, pour nous, est à situer en mars -431, il doit se référer à six procédés de comptage : le temps écoulé depuis la paix d'Eubée, le calendrier fondé sur la succession des prêtresses d'Héra argienne, le nom de l'éphore de Sparte, le nom de l'archonte annuel d'Athènes avec le nombre des mois non encore écoulés de son mandat, le nombre de mois écoulés depuis la bataille de Potidée, le fait qu'on se trouve au début du printemps). N'oublions pas que les cités avaient chacune leur calendrier et que les rendez-vous devaient être singulièrement difficiles à fixer pour ce qui touche la journée, pour ne rien dire de l'heure. N'oublions pas, cependant, que plus près de nous, les assaillants et les défenseurs de Genève en décembre 1602 ne vivaient pas non plus la même date (11 décembre pour les Genevois. 21 décembre pour les assaillants). Dans ces circonstances, ne sachant à qui se vouer pour fixer les dates, une cité comme Athènes avait besoin de spécialistes qui puissent observer la mécanique régulière des astres afin de déterminer des repères chronologiques, notamment les débuts et les fins de mois : ces repères pouvaient impliquer des convocations d'assemblées politiques ou des paiements de dettes échues. L'observation des astres et de la mesure qu'ils donnent du temps part donc d'une nécessité de la vie en société et, de ce fait, relève de ce que les Grecs nomment le « *nomos* », manière d'être (et par extension la « loi »). C'est la raison pour laquelle nous continuons à parler d'« astronomes » et d'*astronomie*. En effet, l'observation des astres, dans cette perspective, n'était pas une science (la science se nommait « astrologie », mais ce mot, on le sait, a fini par déraiper...), mais une activité destinée à gérer le temps des hommes, le temps dans son rapport avec la société.

Références

Bickermann, *E.J. Chronology of the Ancient World*. London, Thames and Hudson, 1980.

Chantraine, *P. Dictionnaire étymologique de la langue grecque*, vol. 1-2., Paris, Klincksieck, 1968-1980.

Présocratiques :

Diels, H., *Die Fragmente der Vorsokratiker ; nach der von Walther Kranz herausgegeben 8. Aufl.*. Hamburg. Rowohlt. 1957.

Dumont, J.P. (éd.), *Les Présocratiques*, Paris, Gallimard, 1995.

Hésiode :

Hésiode, *Théogonie ; Les travaux et les jours ; Le bouclier* : texte établi et trad. par P. Mazon. Paris : Les Belles Lettres, 1993.

Homère :

Homerus. *Homeri Ilias*. 2 vol., rec. M. L. West, Stuttgart. Teubner. 1998-2000.

Homeri, *Opera*. T. 1-2, recognoverunt brevis adnotatione critica instruxerunt D. B. Monro et T.W. Allen. Oxford. Clarendon. 3rd ed.. 1990-1991.

Oeuvres d'Homère, 2 vol., trad. du grec par F. Mugler. Paris. Ed. de la Différence, 1989-1991. *Homeri Odyssea*, recognovit P. von der Mühl. Basel, Helbing & Lichtenhahn, 1971. 4e éd. Homère, *L'Odyssée*, trad., notes de P. Jaccottet. Paris, F. Maspéro, 1982.

[16]

Chronos (temps) comme divinité :

Bendala Galán, M. (1986) » Chronos », *Lexicon iconographicum mythologiae classicae* (LIMC), T.3/1. Zürich. Artémis, pp. 276-278 ; illustrations, ibid. T.3/2, pp. 399-411.

Aiôn (temps) comme divinité :

Le Glay, M. (1981) » Aiôn », *Lexicon iconographicum mythologiae classicae* (LIMC), T. 1/1. Zürich, Artémis, pp. 399-411 ; illustrations, ibid. T. 1/2, pp. 311-319.

Thucydide :

Thucydide. *La guerre du Péloponnèse*, texte établi et trad. par J. de Romilly, Raymond Weil... [et al.]. Paris. Les Belles Lettres. 1995.

[17]

La perception du temps.

“Le temps, en astronomie et en astrophysique.”

Daniel PFENNIGERRecteur de l'Université de Genève
Département d'astronomie
Observatoire

Introduction

[Retour à la table des matières](#)

L'astronomie est la science de la mesure des astres, et parmi les grandeurs à mesurer, les durées et les instants des phénomènes célestes ont depuis toujours figuré en bonne place dans l'activité de l'astronome. Par exemple, jusque dans les années 1960 l'Observatoire de Genève n'était pas encore le centre de recherche fondamentale et d'enseignement actuel, mais surtout un service de l'État qui avait pour missions majeures de délivrer le temps officiel, et de rendre service à l'industrie horlogère en certifiant la précision des chronomètres. L'arrivée des horloges atomiques rendit ces tâches caduques.

Depuis le milieu du siècle, l'astrophysique a enrichi l'étude de l'univers en associant aux observations des astres et à la mécanique de Newton les autres théories de la physique. Depuis la relativité restreinte d'Einstein en 1905 la physique utilise plusieurs notions de temps encore très abstraites pour le public, mais parfaitement applicables dans des conditions cosmiques complètement différentes de celles accessibles

sur Terre. L'exposé qui suit est un panorama succinct, du passé au futur, des diverses notions de temps utilisées au cours des siècles pour rendre intelligible le cosmos.

Le temps, une notion imprimée par les astres

Les rythmes diurnes et saisonniers sont les phénomènes d'origine cosmique les plus évidents qui impriment la notion commune du temps chez les êtres vivants. L'alternance du jour et de la nuit est sans doute le rythme le plus important cadencant la biosphère. Il implique en effet un changement radical d'environnement, dont la répétition sur des milliards d'années a dû profondément conditionner l'évolution des êtres vivants. L'alternance saisonnière du climat, plus prononcée aux latitudes élevées, induit aussi des comportements synchronisés annuels tels que le rythme reproductif ou les migrations. Le rythme mensuel de la Lune est lui déjà secondaire et moins imprimé dans le vivant. Les variations de la luminosité de la nuit, ou des marées au cours du mois sont tout de même suffisantes pour que certains animaux synchronisent leur rythme de croissance à la révolution lunaire. Il est aussi commun de lier le cycle féminin, ou des humeurs de caractère au cycle lunaire, bien que les corrélations semblent là moins systématiques. Rappelons aussi que le mois et la semaine sont des subdivisions du temps rythmant nos sociétés modernes dont les origines remontent aux calendriers lunaires.

En contraste, l'environnement terrestre nous offre peu de phénomènes périodiques aussi évidents aux sens et aussi réguliers sur le long terme que les cycles astronomiques. L'onde issue de la chute d'un caillou dans l'eau nous surprendra, mais ne durera qu'un instant. Une brise dans un arbre provoquera éventuellement l'oscillation momentanée d'une feuille, une curiosité semblant presque surnaturelle. Certains geyzers jaillissent à peu près périodiquement et attirent ainsi les touristes. Les rythmes du corps les plus perceptibles, la respiration et les [18] battements de cœur, sont trop variables pour permettre une mesure fiable du temps. Sur quelques semaines le climat est encore plus irrégulier, ses fluctuations aléatoires présentent tout au plus des durées statistiquement typiques.

Bien des phénomènes terrestres sont éphémères et non cycliques. Les êtres vivants croissent et périssent avec une longueur de vie caractéristique à chaque espèce. Les objets inorganiques se dégradent aussi, les métaux s'oxydent à une certaine vitesse, l'irréversibilité est de règle dans l'environnement terrestre. Les physiciens expriment cette réalité avec la loi de la croissance de l'entropie. Comme les oscillations périodiques, ces durées caractéristiques permettent parfois d'évaluer avec plus ou moins de précision l'écoulement du temps. Un bon exemple est la désintégration des éléments radio-actifs (comme le carbone 14) qui permet de dater des objets, car statistiquement la moitié des atomes radio-actifs restants d'un élément donné se désintègrent toujours pendant le même temps, leur « demi-vie ».

L'humanité a très tôt fait le lien entre les périodicités approximatives annuelles du climat, de la croissance des plantes, et des migrations animales, avec le monde extra-terrestre, liant ces cycles avec la position du Soleil, de la Lune et des étoiles. Des astronomes amateurs ou « officiels » ont dû exister loin dans la préhistoire, avec pour aspiration ou mission donnée par leur société de comprendre les phénomènes célestes. À force de scruter le ciel, il devint possible de déterminer la longueur de l'année, permettant de planifier, par exemple, les semailles et les moissons. Les éclipses, plus tard les comètes, devinrent prévisibles, éliminant l'interprétation de ces phénomènes comme des messages divins. À force de compter les périodes des astres, le temps devenait progressivement une notion élémentaire, évidente.

L'usage préhistorique du *gnomon*, puis du cadran solaire permit de fractionner le jour. Puis des dispositifs périodiques indépendants de la présence de soleil furent inventés, tels que les clepsydres et les horloges, permettant de subdiviser le jour et la nuit plus finement en heures, minutes et secondes.

Dès que l'on entreprend de compter précisément les périodes des astres, un problème se pose rapidement, en particulier pour l'élaboration d'un calendrier : les différentes périodes ne sont pas commensurables. Une ou plusieurs lunaisons ne forment pas un multiple entier de jours, une ou plusieurs années ne sont pas un multiple entier de lunaisons, ainsi que de jours. De là, on peut déduire que le temps est une quantité indépendante du phénomène choisi pour le mesurer, le temps classique est une quantité absolue. Le fait de trouver les périodes des astres stables sur des temps bien plus longs que la vie humaine, ou

même des civilisations, permet d'inférer que le temps est une quantité illimitée, aussi bien dans le passé que dans le futur. Ainsi la notion d'infini temporel, d'éternité, est née. Le fait de trouver des phénomènes stables à période de plus en plus courte permet d'inférer que le temps est une quantité divisible indéfiniment, c'est-à-dire continue.

En résumé, et malgré quelques irrégularités dans le ciel comme les comètes et les *supernovae*, jusqu'au dernier siècle les phénomènes célestes ont souvent été considérés comme de nature différant des phénomènes terrestres, « sub-lunaires ». L'irrégulier et périssable caractérisaient le monde terrestre, alors que la perfection, étroitement liée aux notions de divin, caractérisait le monde céleste.

Le temps en astronomie classique

Les avancées de l'astronomie, puis de l'astrophysique au XX^e siècle ont considérablement changé la vision antique d'un univers ordonné immuable. Jusqu'au XVIII^e siècle environ, dans l'esprit des astronomes l'univers consistait principalement du système solaire, l'exemple type de système régi par des phénomènes périodiques, même si ces périodes ne sont pas commensurables. Cette perfection mécanique était souvent avancée comme une [19] démonstration de l'origine surnaturelle du monde, comme une des preuves les plus solides de l'existence d'un grand « horloger ».

Au cours du XIX^e siècle les astronomes ont été de plus en plus capables de mesurer les distances des étoiles les plus proches par triangulation. Dans l'esprit des astronomes le décor changeait radicalement. L'univers mesurable, un univers composé d'étoiles, devenait des millions de fois plus vastes que le système solaire, et sans limites apparentes. Bien que les étoiles soient irrégulièrement disposées dans l'espace, leur répartition spatiale moyenne était tenue pour homogène. Dans cet univers considérablement agrandi, aucune loi périodique évidente ne se manifestait. Le temps et l'espace apparaissaient à grandes échelles comme des quantités infinies. Pourtant, à petites échelles, les étoiles montraient bien des variations d'éclat et de position. Il fut peu à peu clair que les étoiles étaient de nature identique au Soleil. Les périodes de révolution des étoiles doubles étaient mesurables, en années,

décennies, siècles, démontrant que les lois de la mécanique céleste s'appliquaient également aux étoiles. Rien de fondamental ne changeait dans la vision ordonnée de l'univers léguée par l'Antiquité, si ce n'est sa taille.

Ce n'est qu'au début du XX^e siècle que les mesures ou estimations des distances des étoiles parvinrent aux limites de la Voie lactée, notre Galaxie. Lentement, ce que Kant avait déjà supposé en 1755 par pur raisonnement devenait scientifiquement établi : nous vivions bien dans un système d'étoiles aplati, dont la rotation autour d'un centre demanda encore quelques décennies pour être déterminée. L'univers se réduisait alors à la Galaxie, et prenait une dimension finie de quelques dizaines de milliers d'années-lumière.

Ces dimensions impliquaient que la lumière observée, ainsi que les étoiles qui l'avaient produite, étaient au moins aussi âgées que le temps requis par la lumière pour nous atteindre. Ces temps excédaient appréciablement les quelque 6000 ans admis alors par la tradition judéo-chrétienne comme l'âge de l'univers depuis sa création, mais devenaient compatibles avec les millions d'années que les géologues envisageaient pour l'âge de la Terre.

Cette vision d'univers limité spatialement à notre Galaxie ne dura pas. Après bien des débats d'experts jusque dans les années 1920, il devint clair que les « nébuleuses » spirales telles que celle d'Andromède étaient en fait d'autres galaxies comme la nôtre, une réalité déjà proposée par Kant en 1755. L'univers grandissait de nouveau immensément dans l'esprit des astronomes, sans que de nouveaux phénomènes cycliques apparaissent, à l'exception importante de la période de révolution du Soleil et son cortège de planètes autour du centre de la Voie lactée, établie au cours du XX^e siècle à environ 240 millions d'années. Peu à peu, il devint possible de mesurer par spectroscopie les vitesses de rotation des autres galaxies, avec pour conséquence que leur temps de rotation, se montant aussi à des centaines de millions d'années, n'avaient plus aucune mesure avec les périodes planétaires, plus proches de la durée de vie des humains ou des civilisations.

Pratiquement, vu à grande échelle, l'univers nous apparaissait complètement figé, car les distances d'observation se mesuraient en milliers, puis millions, puis milliards d'années-lumière. Cette progression des observations dans les profondeurs de l'univers au cours du XX^e siècle

a de plus en plus impliqué que ces observations deviennent des voyages dans le passé d'un nombre d'années correspondant aux années-lumière de distance des astres respectifs. La Lune n'est perçue qu'à 1,3 seconde dans le passé, la lumière du Soleil est déjà vieille de 8 minutes, alors que les étoiles visibles à l'œil nu s'observent avec au moins 4 années, plus couramment plusieurs siècles de retard. La galaxie d'Andromède, notre voisine tout juste visible à l'œil nu, est vue avec déjà 2 millions d'années de retard.

Plus les distances augmentent, plus notre accès à l'espace-temps se réduit à un cône dirigé vers le passé, notre position étant au sommet du cône. L'épaisseur temporelle du cône se [20] monte à la durée de nos observations enregistrées au cours des quelques derniers siècles, durée minuscule en comparaison des millions ou milliards d'années que met la lumière à nous parvenir des galaxies.

La surprise capitale, qui bouleversa la vision alors encore statique de 1 univers, fut la découverte en 1929 par Hubble de l'expansion du monde des galaxies. En mesurant par spectroscopie la vitesse des galaxies, Hubble trouva que plus une galaxie est distante, plus elle s'éloigne de nous rapidement. Comme il n'y avait pas de raison de supposer que nous vivions dans une galaxie particulière, Hubble démontrait par là que l'univers dans son ensemble se dilatait. Le taux d'expansion trouvé impliquait que dans le passé l'univers devait avoir été dans un état bien plus concentré qu'aujourd'hui. La notion de « big bang » était née. Le paradigme d'un univers infini dans le temps était remplacé par un paradigme d'univers d'âge fini quantifiable. Après des décennies d'observations, l'âge de l'univers est estimé actuellement à presque 14 milliards d'années, 3 fois l'âge du système solaire. Cet âge limite aussi la distance à laquelle nos observations peuvent porter à 14 milliards d'années-lumière. Nous n'observerons jamais de galaxies à des distances supérieures à environ 13,5 milliards d'années-lumière, car celles-ci correspondent à reculer dans le passé à un stade d'évolution de l'univers où les galaxies n'étaient pas encore formées.

Le pas suivant fut de déterminer si ce taux d'expansion diminuait ou augmentait avec le temps. Si ce taux d'expansion diminuait suffisamment, ceci aurait signifié que dans le futur l'univers se re-condenserait à nouveau. Sinon, il se dilaterait sans fin. Au vu des observations disponibles actuellement, la deuxième possibilité semble la bonne : l'expansion de l'univers n'apparaît pas comme un phénomène cyclique,

mais comme une dilatation unique de la matière. L'univers apparaît non seulement dans un état d'expansion perpétuelle, mais encore accélérée. La cause de cette accélération est inconnue. Aucun « big crunch » dans un futur quantifiable n'est donc envisageable. Ainsi l'univers à grande échelle a le caractère d'un phénomène évolutif, rejoignant le caractère irréversible des phénomènes terrestres soumis à la fameuse loi de croissance de l'entropie.

Au cours du dernier siècle, bien d'autres phénomènes astrophysiques ont aussi été compris comme évolutifs et irréversibles. Les étoiles sont maintenant relativement bien connues. Leurs durées de vie, se montant entre quelques millions et des centaines de milliards d'années, peuvent être calculées avec confiance par ordinateur. De même les galaxies sont comprises comme des objets en évolution. D'une part les galaxies consomment irréversiblement leur gaz pour former des milliards d'étoiles avec leur cortège de planètes (avec peut-être des phénomènes insoupçonnés aussi riches que la vie terrestre). D'autre part les galaxies changent globalement de forme et d'aspect au cours des milliards d'années, que ce soit par des processus internes, comme la formation ou destruction de bras spiraux, que par des effets externes comme les interactions de marées, les collisions ou les fusions avec d'autres galaxies.

Un développement inattendu arriva dans les années 1970. Grâce aux progrès des ordinateurs et des algorithmes, il devint possible de calculer le mouvement des planètes sur des milliards de révolutions. Les orbites planétaires qui apparaissent si régulières et prévisibles, calculables avec grande précision sur des milliers d'années, apparaissent en fait chaotiques, irrégulières, imprévisibles dans le détail au-delà de quelques millions d'années. De même que bien des phénomènes terrestres, le système solaire est finalement lui aussi un système chaotique ; seuls diffèrent les temps caractéristiques pour que le chaos soit manifeste.

Aujourd'hui, il apparaît donc que l'univers est bien régi par les mêmes lois physiques que les phénomènes terrestres ; simplement, les conditions de perception sont complètement différentes. Certains phénomènes sont bien périodiques pendant un certain temps, mais sur un [21] temps plus long, l'évolution lente, régulière ou chaotique devient prépondérante. Comme notre vision de l'univers est bornée par un temps d'observation de quelques siècles seulement, l'univers et ses composants apparaissent globalement comme figés ou réguliers. Cette

illusion disparaît dès que l'on prend la bonne mesure de temps appropriée à chaque phénomène.

Le temps en astrophysique contemporaine

Les avancées en cosmologie au cours des dernières décennies ne doivent pas masquer le fait que l'activité de l'astrophysique ne se borne pas à la description du cosmos à grande échelle. L'univers est en effet très riche en phénomènes variés à toutes les échelles inférieures. En majorité les astrophysiciens travaillent sur des composants de l'univers, depuis des objets de la taille des particules élémentaires, atomes et molécules, en passant par des grains de poussière microscopiques, des pierres de taille de plus en plus grosses, jusqu'à tous les corps de plus de quelques kilomètres tenus par la gravitation, comme les astéroïdes, les planètes, les étoiles, les galaxies, les amas ou les filaments gigantesques composés de galaxies, pour chaque type d'objets, des temps caractéristiques propres sont utilisés, couvrant largement toutes les durées envisagées dans les activités terrestres. Selon les problèmes à résoudre, les différentes méthodes et concepts de la physique sont employés. La plupart des phénomènes astrophysiques se décrivent encore avec la notion classique de temps uniforme et universel. Mais pour certains phénomènes la notion de temps particulière à la mécanique quantique est nécessaire, pour d'autres il faut appliquer la notion de temps relatif de la mécanique relativiste restreinte ou générale.

Un bel exemple où le temps et la mécanique quantique avec sa relation d'incertitude temps- énergie sont combinés est l'interféromètre à intensité inventé en 1956 par l'astronome britannique Robert Handbury-Brown. Ce dispositif compare les temps d'arrivée de photons collectés par deux télescopes séparés par des centaines de mètres et pointés sur la même étoile. Bien que les photons aient été produits à la surface de l'étoile par des atomes généralement séparés par des centaines de milliers de kilomètres, ces photons obéissent néanmoins aux règles étranges de la mécanique quantique, et se comportent collectivement durant leur long voyage vers nous de telle manière que leur temps d'arrivée dans deux télescopes distincts ne sont pas complètement aléatoires, mais corrélés selon les règles de la mécanique quantique. Le

dispositif tire profit de ces corrélations temporelles et permet d'en déduire le diamètre des étoiles.

Pour d'autres problèmes, les notions de temps dilaté et d'espace-temps courbe de la physique relativiste sont nécessaires et communément utilisées. En effet, une horloge, ou l'oscillation d'un atome, dans un champ de gravitation d'un astre, ou en mouvement par rapport à un observateur loin de l'astre, avance plus lentement selon les lois de la relativité que le temps de l'observateur. Des astres tels que les pulsars, les trous noirs, ou les jets de matière à vitesse proche de celle de la lumière, issus des centres de galaxies posent des problèmes où le temps uniforme classique doit être remplacé par le temps relativiste. Non seulement les télescopes et instruments nous permettent de mieux en mieux mesurer l'environnement des trous noirs et autres astres hyper-denses, mais aussi la précision des horloges atomiques devient telle que des effets relativistes infimes dans l'environnement de la Terre et du système solaire sont directement mesurables et bien vérifiés. Il suffit de comparer le temps mesuré par une horloge atomique au sol et celui d'une même horloge transportée dans un avion pour s'en convaincre. Un exemple où le temps de la relativité a trouvé une application populaire est le système GPS de positionnement par satellites. Pour que cette technologie fonctionne la relativité du temps entre les satellites et l'utilisateur au sol doit être correctement prise en compte.

[22]

Le futur du temps en astrophysique

L'astrophysique a employé jusqu'ici toutes les notions de temps appropriées aux problèmes très différents qui se présentent. Cependant, deux types de situations suggèrent que des modifications considérables de notre compréhension de l'espace-temps soient à envisager :

1. Les situations où la relativité générale est poussée à ses limites, en particulier vers l'instant zéro du « big-bang », et le centre des trous noirs. Ces situations, de mieux en mieux documentées par les observations, poussent la théorie de la relativité générale à des singularités, à des infinités. Cela signifie que les limites de cette théorie sont atteintes. Dans l'état actuel des connaissances, il est inutile de demander ce qui se passe avant le big-bang, ou ce qui se passe pour la matière qui passe par le centre d'un trou noir, car personne ne peut scientifiquement prétendre détenir la bonne réponse. Cependant, il est clair que lorsque des densités de matière deviennent indéfiniment grandes, l'aspect quantique de la nature devrait être combiné à la gravitation. Bien que de nombreux physiciens aient travaillé sur ce problème depuis plus de 50 ans, une théorie quantique cohérente de la gravitation reste encore à élaborer. Il est vraisemblable que pour que cette théorie voie le jour, de profonds changements des notions de l'espace et du temps soient nécessaires.
2. L'expansion accélérée de l'univers est depuis quelques années attribuée à une substance mystérieuse appelée « énergie noire ». Contrairement à la matière habituelle sujette à condensation par l'effet de la gravitation, cette énergie noire aurait plutôt la propriété de se dilater. Comme la physique contemporaine est aussi incapable de décrire correctement les propriétés quantiques de l'espace vide, l'énergie noire est souvent associée à la nature quantique du vide. Pour l'instant le problème est grand ouvert, mais beaucoup de spécialistes pensent que le problème de l'énergie noire demandera lui aussi des bouleversements de nos

conceptions de l'espace et du temps, peut-être les mêmes que pour élaborer une théorie quantique de la gravitation.

Conclusions

Pour conclure ce bref exposé, les notions de temps en astronomie et astrophysique apparaissent comme nombreuses et ont souvent directement concerné les activités humaines. Non seulement l'environnement cosmique a fortement conditionné notre environnement terrestre et notre propre structure biologique, mais il nous a encore imprimé la notion classique de temps au moyen des cycles réguliers diurnes et saisonniers.

Les développements rapides de l'astrophysique au cours du dernier siècle nous ont permis de réconcilier les phénomènes terrestres et célestes : leur nature est fondamentalement identique, car les mêmes lois physiques sont impliquées. Simplement, les conditions physiques et leur perception par nos sens changent. L'univers est cependant tellement grand que, à cause de la vitesse finie de la lumière, notre vision de l'univers à grande échelle est limitée à ne pouvoir analyser que des données du passé correspondant au temps que met la lumière à nous parvenir.

Les phénomènes encore mal compris se trouvent dans des conditions physiques de plus en plus extrêmes. Puisque chaque avancée technologique dans la performance des télescopes et autres instruments nous a révélé des surprises de taille, il reste encore un vaste potentiel de changement de notre vision profonde de l'univers. Pour ces phénomènes extrêmes, il est actuellement nécessaire de considérer couramment la relativité restreinte et générale. Mais le big-bang, les trous noirs et l'expansion accélérée de l'univers posent des difficultés qui devront être résolues par des théories physiques bien plus avancées.

[23]

Au vu de la perception changeante de l'univers au cours de l'histoire, vraisemblablement l'univers sera encore longtemps pour l'astrophysicien un splendide laboratoire propre à nous permettre tous les quelques siècles d'affiner notre compréhension !

[24]

[25]

La perception du temps.

“Le cours du temps.” *

Maurice JACOB

Ancien chef de la Division des études théoriques au CERN,
Genève

« *Je mesure le temps, image mobile de l'immobile éternité.* »
Sur un cadran solaire de Saint-Véran, Hautes-Alpes

[Retour à la table des matières](#)

La physique des particules nous permet d'analyser plus à fond ce que nous entendons par « le temps » et par son « cours » qui nous semble inexorable. Beaucoup d'idées intuitives y sont mises à mal, ce qui nous donne une compréhension plus profonde et plus précise des phénomènes. Seule demeure intouchée la causalité qui impose une succession temporelle entre cause et effet. Le cours du temps cesse d'être universel mais les lois physiques le demeurent.

Qu'est-ce que le temps ?

Le concept de temps est presque trop familier pour se livrer facilement à une analyse. Nous avons l'intuition d'une succession d'instantanés qui séparent ce que nous discernons clairement comme un futur et un passé, et nous appelons cela « le temps ». Il se présente comme un

* Cet article correspond au chapitre 9 du livre de Maurice Jacob, *Au cœur de la matière*, paru en 2001 chez les Editions Odile Jacob, qui ont gentiment autorisé sa reproduction. © Odile Jacob, 2001.

concept premier dont l'invention n'a pas été nécessaire pour mieux analyser et mieux comprendre le monde qui nous entoure. Il semble avoir toujours été là et il se distingue en ce sens de concepts plus techniques comme l'énergie ou le champ électrique qui n'ont été formulés que tardivement. Mais ce vieux concept est-il bien maîtrisé ? Saint Augustin disait : « Je sais bien ce qu'est le temps quand personne ne me le demande. Mais quand on me pose la question, je ne sais plus ce que c'est. » N'en sommes-nous pas toujours là ?

Sa nature profonde préoccupait déjà les civilisations antiques. Elles ont souvent cherché à distinguer l'écoulement régulier du temps et l'éternité immuable. N'est-ce pas ce que résume si bien la citation placée en exergue ? Je l'ai relevée sur un modeste cadran solaire de montagne, au cours d'une promenade.

Dans l'Antiquité, le temps qui passe n'était qu'une façon humaine de voir les choses, étant associé à la partie de l'Univers accessible à nos sens. Dieu était hors du temps. Il régnait avant tout sur l'invisible et l'éternel. C'est une idée que reprendra Newton en soulignant le rôle de la science qui seule peut nous permettre de partir du présent où nous sommes confinés pour retrouver le passé et entrevoir quelques éléments du futur. Nous allons retrouver cela en voyant notre perception du temps découler des lois fondamentales de la physique qui sont universelles et immuables.

Le culte solaire de certaines civilisations, en particulier l'Égypte ancienne, distinguait clairement ce caractère relatif du temps, un temps qui sur Terre semblait s'écouler de façon régulière et cyclique, au gré des levers et couchers successifs du Soleil, mais qui ne s'écoulait pas pour le Soleil car, de ce point de vue, ne faisait-il pas toujours jour ? Dans le Soleil, le [26] temps n'existait pas ! C'était l'éternité qui régnait. Il a longtemps été difficile de réconcilier l'aspect cyclique du temps avec son caractère linéaire et irréversible que lui confère l'Histoire et d'instaurer une chronologie. Nous allons retrouver cette difficulté en opposant des phénomènes simples et réversibles à des phénomènes complexes et irréversibles.

Platon voit dans le temps un aspect mouvant de l'éternité, mais qui garde quand même un cours parfait. Il a la pureté abstraite des nombres, son cours calquant celui des nombres qui se suivent de façon parfaitement régulière. Pour lui, la rotation du ciel représentait la périodicité

pure permettant de repérer l'écoulement du temps. Plus tard, Leibniz lui attribuera la continuité que la physique lui donne ainsi qu'à l'espace. Jung trouvera dans le temps l'archétype de l'ordre devenu conscient, tel que le traduisent les nombres.

Le temps est longtemps aussi apparu comme une référence, placée dans le monde visible, mais prenant sa source hors du monde terrestre, gardant la pureté et la stabilité du monde sidéral. C'est une référence par rapport à laquelle nous pouvons repérer et analyser ce qui se passe dans le monde terrestre car les choses y bougent et changent. Nous prenons conscience de ses modifications, ou de façon plus générale du mouvement, par rapport à ce que nous appelons « le temps ». Le temps reste ainsi « ce qui passe même quand rien d'autre ne se passe ». Nous allons retrouver cela dans la simplicité et l'universalité des lois physiques qui permettent de décrire un monde varié et complexe.

Il a fallu attendre l'ouverture sur le monde sidéral due à Galilée pour cesser de séparer la grande complexité apparente de la vie terrestre de la perfection cyclique du Cosmos. Mais Galilée n'a pas seulement amené les astres dans le domaine de la physique grâce à sa lunette. Il a aussi jeté les bases de l'analyse du mouvement et nous a ainsi ouvert une nouvelle perception du temps. Avec lui, le temps va être soumis à la méthode scientifique, une façon de voir le monde fondée sur l'observation, la mesure, la réflexion et l'expérience. C'est le temps tel qu'il se présente dans ce cadre de pensée que nous allons essayer d'analyser. Il ne s'agit cependant que du temps « mécanique » indiqué par une horloge, nous laisserons de côté le temps personnel et subjectif que chacun ne peut que confronter à ce temps mécanique en trouvant le temps long ou bref. Les horloges ont longtemps essayé de reproduire le cycle cosmique associé à la rotation de la Terre. Elles sont plus précises aujourd'hui et nous permettent de mesurer sa variation par rapport à des phénomènes de plus grande pérennité comme les fréquences d'émission d'un atome.

Le temps en physique

Si l'on se limite au monde visible, tel qu'il est accessible à notre expérience, il faut admettre que le temps est intimement associé au mouvement. Sans mouvement aurions-nous même conscience du temps ? Sans doute pas. Pour comprendre le mouvement, c'est-à-dire être en mesure de faire des prédictions vérifiables ou infirmables par l'expérience, il faut disposer d'une représentation quantitative de ses propriétés. C'est à Galilée que nous devons d'avoir mis en évidence que le mouvement obéit à des lois. Ces lois mettent en jeu un paramètre qui leur confère un caractère quantitatif et prédictif : ce paramètre est le temps.

La démarche de Galilée dans son étude du mouvement illustre l'un des éléments fondamentaux de la méthode scientifique. Celle-ci ne consiste-t-elle pas le plus souvent à étudier à fond certains phénomènes particuliers et à en trouver les lois ? Une grande satisfaction peut justifier *a posteriori* la valeur de cette démarche car ce n'est bien souvent que par ces études détaillées dont les visées peuvent paraître limitées et leur sujet parfois même bien académique que de grandes perspectives apparaissent de temps en temps, illuminant d'un seul coup un grand nombre de phénomènes. Galilée n'étudiait au départ que la chute des corps par l'utilisation très ingénieuse de plans inclinés. Ce n'est pas sans essais et erreurs qu'il finit par réaliser que, si le temps était choisi comme le paramètre fondamental, [27] tout devenait simple. La vitesse acquise était simplement proportionnelle au temps de chute qu'il mesurait à l'aide d'une horloge à eau. Le temps devenait ainsi le concept permettant de donner une description simple, quantitative et prédictive au mouvement étudié, en un mot de le comprendre.

Pour montrer à quel point l'étude *a priori* modeste et limitée de la chute des corps débouche sur de grandes perspectives, il suffit de citer les deux grands principes auxquels Galilée est ainsi arrivé par son analyse et son intuition de génie. L'un est le principe de l'inertie et l'autre celui de la relativité. Nous les avons rencontrés au chapitre 6 ¹.

Avec Newton, qui naît l'année où meurt Galilée, c'est la dynamique qui prend son essor. La façon dont les forces modifient le mouvement

¹ Cf. l'ouvrage cité de Maurice Jacob.

se trouve quantifiée par la loi fondamentale de la dynamique. Sous la forme classique donnée à cette loi, considérée comme exacte jusqu'à Einstein, l'accélération est proportionnelle à la force appliquée et inversement proportionnelle à la masse. Que de simplicité, de beauté et de puissance dans cette équation. C'est pourtant l'équation fondamentale de la dynamique qui décrivait tous les mouvements repérés dans le monde, de la chute des corps aux trajectoires des planètes. Elle exprime le changement par rapport à un seul paramètre – le temps. Il n'y a qu'une seule loi, traduite par une simple équation, pour tout décrire. C'était « la théorie de tout » à l'époque. Il n'y a donc qu'un seul temps qui est le même pour tout et pour tous. Il est le même pour tous les types de mouvements car ils suivent tous la même équation. Son cours est inexorable dans la mesure où il est universel. Certains mouvements de référence peuvent être choisis pour définir des horloges. Toutes les horloges battent selon le même temps, même si elles peuvent l'afficher de façon différente.

Nous arrivons ainsi à une nouvelle perception de la notion de temps. Le temps est maintenant le paramètre qui donne un sens à l'équation fondamentale de la dynamique. Cela s'accorde avec tout ce que nous savions déjà du temps, mais le dépasse. Nous pouvons en effet utiliser la loi du mouvement pour étudier et mieux connaître ce qu'est le temps et c'est par l'étude des propriétés de l'équation qui traduit cette loi que nous pouvons déduire les propriétés du temps. Celui-ci devient ainsi un objet d'analyse scientifique. Cependant, une des propriétés essentielles d'une loi physique reste sa limite de validité. Elle peut sembler parfaite à un certain niveau de précision mais s'avérer inexacte lorsque le niveau requis augmente. Les propriétés ainsi trouvées pour le temps seront donc liées à la validité de la loi de la dynamique qui va permettre de les définir. C'est en testant cette loi et en la dépassant dans une analyse relativiste que nous pourrons mieux connaître ce qu'est le temps.

Quelques propriétés du temps

Nous allons partir de la loi de Newton pour déduire quelques propriétés du temps. Ne peut-on pas objecter que l'équation fondamentale

de la dynamique – qui couvrait toute la physique connue au XVIII^e siècle – ne résume plus toute la physique connue aujourd’hui ? D’autres lois, propres à certains phénomènes, en particulier celles qui régissent les phénomènes électromagnétiques, pourraient-elles ne pas se couler dans le même moule, ne pas faire appel au même temps ? Beaucoup de choses sont *a priori* possibles et seule une compréhension plus approfondie, fondée sur l’analyse et l’expérience, peut permettre de trancher. Disons tout de suite que notre vision actuelle du monde, qui se fonde sur des théories de jauge pour décrire tous les phénomènes associés aux différents types de forces fondamentales, que ce soient la force électromagnétique, la force nucléaire, la force faible ou la gravitation, ne nous permet d’introduire le temps que d’une seule façon.

[28]

Nous avons vu qu’il suffit d’ajouter une quantité vectorielle (un champ de jauge) à l’impulsion, telle qu’elle figure dans les équations de la dynamique, pour inclure un nouveau type de force. En termes techniques on dira qu’il suffit de remplacer les dérivées habituelles par rapport au temps et à l’espace par des dérivées « covariantes » qui incluent ces champs de jauge, la structure de base de la dynamique restant la même.

La propriété remarquable, pour ne pas dire merveilleuse, des lois fondamentales de la physique, n’est-elle pas leur universalité ? N’est-il pas extraordinaire que la même loi s’applique à un nombre fabuleux de phénomènes *a priori* différents et cela dans des circonstances qui peuvent être extrêmement variées ? Les mouvements observés peuvent se différencier considérablement au gré des conditions initiales et des éléments en présence, mais ce sont toujours les mêmes lois qui s’appliquent. Le caractère le plus marquant des lois physiques réside ainsi dans leurs propriétés d’invariance. Les paramètres qui y figurent pour prendre en compte la valeur de certaines quantités peuvent varier de façon importante suivant le phénomène étudié et les circonstances de cette analyse mais la forme de la loi reste la même.

Forts de cela nous allons, comme au chapitre 6, partir de la loi de Newton. Nous l’avons utilisée pour dégager des principes d’invariance et nous allons faire de même pour reconnaître les propriétés du temps. Nous avons vu que si nous effectuons une translation de temps, la valeur repérée pour le temps change mais la forme de l’équation ne

change pas car elle n'est sensible qu'à des différences de temps. Nous en avons conclu qu'il n'y avait pas de temps absolu. Dans un système clos, aucune expérience ne peut permettre de savoir si on est à la même heure que dans un autre système. C'est peut-être une perte, mais de quoi ? On ne peut rien tirer d'un temps absolu car aucune expérience ne peut y être sensible. Nous avons vu qu'on en tire par contre un gain énorme car on en déduit l'existence d'une quantité conservée quoiqu'il arrive à l'intérieur du système – l'énergie. Or, que de conséquences ne peut-on pas tirer de la conservation de l'énergie !

Nous avons aussi vu que la loi fondamentale de la dynamique est invariante quand on inverse le sens du temps. Si l'on change le sens du temps l'impulsion change de sens mais sa dérivée par rapport au temps ne change pas. Cette propriété peut paraître surprenante. Elle nie un sens du temps qui nous semble pourtant ô combien intuitif. Certes, pour des phénomènes particulièrement simples, comme une balle qui rebondit sur une surface plane ou un pendule qui oscille, elle semble être conforme aux faits puisqu'il est bien difficile de distinguer un film des rebonds ou des oscillations passant à l'endroit, du film passé à l'envers. Si l'on se limite à quelques rebonds ou quelques oscillations, pour négliger les frottements, le mouvement semble se jouer du futur et du passé. Mais pour des phénomènes plus complexes, par exemple une goutte d'encre tombant dans un verre d'eau, il est clair que les choses évoluent dans un seul sens. On voit toujours une diffusion graduelle de l'encre dans l'eau après la chute de la goutte et jamais un mélange isolant spontanément la goutte d'encre et la propulsant vers le haut en diminuant un peu la température de l'ensemble pour trouver l'énergie nécessaire à une telle opération. La vision du film montre immédiatement s'il passe à l'endroit ou à l'envers. Il y a clairement un sens du temps. Et pourtant cela n'apparaît pas au niveau des lois fondamentales de la dynamique. Sont-elles insuffisantes ?

Reprenons maintenant la formulation de la loi de Newton sous sa forme classique avec une force proportionnelle à l'accélération, et étudions encore ses conséquences dans un système clos. Rien ne permet de dire quoi que ce soit sur la vitesse du système. Si l'on ajoute une vitesse d'entraînement à la mesurée dans le système, l'accélération reste la même, elle demeure proportionnelle à la force appliquée. On retrouve la conséquence du principe de relativité de Galilée rencontré au chapitre 6. Aucun système (inertiel pour être précis) ne peut [29] être

considéré comme privilégié. La physique reste identique quelle que soit la vitesse d'entraînement linéaire et uniforme. Il n'y a pas de vitesse absolue.

Mais voilà. Au XIX^e siècle, la compréhension des phénomènes électromagnétiques et la formulation de leurs lois fondamentales soulèvent un grave problème. Les lois de l'électromagnétisme dépendent explicitement de la vitesse et semblent dépendre de la vitesse d'entraînement. Elles font appel à des champs électriques et magnétiques qui échangent partiellement leurs rôles respectifs en fonction de la vitesse, et les forces qu'ils créent dépendent de la vitesse des charges qui y sont sensibles. Qui plus est, on peut calculer la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques qui sont engendrées par l'accélération des charges, or cette vitesse de propagation est fixe. Elle dépend des propriétés du vide ambiant mais pas de la vitesse de la source alors qu'elle devrait pourtant intuitivement y être sensible. On était certes moins attaché à l'époque aux grands principes d'invariance qu'on ne l'est aujourd'hui et on admettait l'existence d'un système privilégié, pris comme référence du repos. On l'appela « l'éther » et l'on tâcha de mesurer les mouvements par rapport à lui. Les résultats furent négatifs. La vitesse de la lumière se montrait indépendante du mouvement comme l'impliquaient les lois de l'électromagnétisme.

Une nouvelle vision du temps

C'est à Einstein que l'on doit la révolution de garder la propriété d'invariance, c'est-à-dire le principe de relativité, tout en englobant les phénomènes électromagnétiques qui étaient inconnus en tant que tels et hors de toute possibilité expérimentale à l'époque de Galilée. Il lui fallut abandonner pour cela les concepts d'intervalles de temps absolus ou de distances absolues. Il fallut admettre que la fréquence des horloges et la longueur des règles telles qu'on peut les mesurer varient selon la vitesse relative. Par contre, la forme des lois de la physique, et la valeur de la vitesse de la lumière qui s'en déduit restent, elles, immuables. Même à l'aide des phénomènes électromagnétiques, il est impossible de discerner un mouvement global d'entraînement uniforme quand on est à l'intérieur d'un système clos. Tout semble s'y passer

normalement, le temps y suivant son cours habituel. Mais pour un observateur en mouvement par rapport à ce système et pouvant l'observer de l'extérieur, le battement des horloges y semble ralenti, et les règles contractées de telle sorte que dans les deux systèmes les phénomènes obéissent aux mêmes lois.

Repérons-nous dans notre système par des axes de coordonnées et une horloge et mesurons ce qui se passe dans un autre système en mouvement de translation uniforme par rapport au nôtre. Si la lumière donnait des effets immédiats à distance, nous aurions une vue directe et simultanée de l'ensemble de l'autre système. Mais ce ne peut pas être le cas, la vitesse de propagation de la lumière étant limitée et la même partout selon le principe d'invariance. On peut donc s'attendre à des surprises quant aux résultats des mesures faites sur l'autre système pour autant que sa vitesse par rapport au nôtre ne soit pas entièrement négligeable devant celle de la lumière.

Les effets sont certes minuscules tant que les vitesses restent faibles par rapport à celle de la lumière (300 000 km/s), mais ils deviennent importants lorsqu'on s'en approche. La loi de Newton sous sa forme classique cesse d'être valable car l'inertie d'un objet augmente avec sa vitesse et tend vers l'infini lorsque celle-ci s'approche de celle de la lumière alors que les équations de Maxwell restent inchangées.

Le cours du temps ne varie que de 5/1 000 pour une vitesse égale au dixième de celle de la lumière. Pour avoir un ralentissement du cours du temps par un facteur 2, il faut une vitesse de l'ordre de 0.86 fois celle de la lumière. Avec les particules de haute énergie les vitesses peuvent être très proches de celles de la lumière. Pour les électrons circulant dans le LEP, au CERN, le temps s'écoule 90 000 fois plus lentement que pour un électron au repos par rapport [30] la machine. Si la construction de la machine n'était pas conforme à une dynamique relativiste, rien ne marcherait !

Prenons à titre d'exemple un ensemble de particules instables identiques. Leur nombre va décroître en fonction du temps en suivant une loi exponentielle, l'exposant étant égal à l'opposé du temps écoulé divisé par la vie moyenne de cette particule. Tout se passe de la même façon dans deux systèmes en mouvement de translation uniforme l'un par rapport à l'autre. On va y mesurer la même valeur de la vie moyenne pour les particules qui s'y trouvent car les lois physiques sont

universelles. Cependant, si l'on mesure dans un système la vie moyenne des particules telles qu'on les voit se désintégrer dans un autre système, on trouvera une valeur divisée par le facteur gamma de la transformation de Lorentz (voir chapitre 3). Le phénomène semble s'y dérouler plus lentement, les particules ayant une vie moyenne beaucoup plus longue. Nous pouvons nous souvenir à ce sujet des muons observés dans une chambre à étincelles que nous avons rencontrés au chapitre 4. De façon générale, les horloges semblent ralentir.

Nous n'avons aujourd'hui aucun doute sur la nouvelle formulation de la dynamique léguée par Einstein – la relativité restreinte – qui se fonde sur le principe de relativité de Galilée étendu à tous les phénomènes physiques connus. Le cours du temps perd son caractère absolu. Le rythme relatif des horloges, et avec lui le rythme d'évolution de tout ce qui se passe, tel qu'il est mesuré dans deux systèmes, dépend de leur vitesse relative et cela de façon parfaitement symétrique. Si dans un système on constate que les horloges d'un autre système battent plus lentement, il en ira de même dans cet autre système. Aucun des deux systèmes ne peut se dire privilégié par rapport à l'autre. Il n'y a pas de vitesse absolue, la forme des lois physiques restant la même quelle que soit la vitesse d'entraînement.

On ne peut que s'émerveiller devant cette invariance des lois physiques. Elle nous permet de toucher à un aspect fondamental du monde. On s'habitue très vite au fait que le cours du temps n'est plus inexorable mais, pour reprendre les vers fameux de Lamartine, on peut dire que le temps des autres, de ceux que nous voyons passer à grande vitesse, semble « suspendre son vol » alors que pour eux les « heures propices » ne suspendent pas leur cours. Tout se passe normalement et ils pensent que c'est le cours de notre temps qui est ralenti.

Les intervalles de temps et d'espace cessent d'être absolus, et se « mélangent » en passant d'un système à un autre lorsque ceux-ci sont animés d'un mouvement de translation uniforme l'un par rapport à l'autre. Un intervalle de temps dans un système sera la combinaison d'un intervalle de temps et d'une distance dans un autre système afin que les mêmes lois de l'électromagnétisme s'appliquent. Les intervalles de temps et d'espace sont bien mesurés de la même façon pour autant que la vitesse de la lumière est une constante universelle. On ne peut plus séparer un espace et un temps, on doit considérer les transformations d'un espace-temps, les relations permettant d'exprimer

simplement ces transformations nécessaires entre les variables d'espace et de temps étant les transformations de Lorentz.

Le caractère absolu de la simultanéité disparaît. Deux événements simultanés dans un système n'apparaîtront en général pas tels dans un autre s'ils ne se sont pas produits aussi au même lieu. Un intervalle de temps nul entre deux événements apparaît comme un intervalle de temps proportionnel à la séparation spatiale des deux événements quand il est mesuré dans un autre système. De même qu'une rotation préserve les longueurs, une transformation de Lorentz, qui peut être considérée comme une rotation effectuée dans l'espace-temps, préserve aussi une distance entre événements dont le carré est la différence entre le carré de l'intervalle de temps, multiplié par le carré de la vitesse de la lumière, moins le carré de la distance spatiale. Les intervalles de temps et d'espace changent mais cette distance reste, elle, [31] invariante au cours des transformations de Lorentz (voir chapitre 3). Elle est nulle le long d'un rayon lumineux.

Le cours du temps n'est plus absolu. Il dépend de qui observe quoi. Peut-on aller jusqu'à l'inverser ?

Le futur d'un événement particulier caractérisé par un temps et une position, correspond à tous les événements qu'il peut influencer. Il faut pour cela qu'ils puissent en recevoir des signaux, les plus rapides étant les signaux lumineux. Ces signaux se propageant à la vitesse de la lumière, le futur d'un événement particulier n'englobe ainsi que la zone pour laquelle la « distance » invariante, telle que nous l'avons définie, est positive, c'est-à-dire quand la distance spatiale entre les deux événements reste inférieure à leur intervalle de temps multiplié par la vitesse de la lumière. C'est ce qu'on appelle le « cône de lumière » et il englobe tout ce qui peut correspondre à l'influence future d'un événement. On peut définir de la même façon un cône passé où se situent obligatoirement tous les événements passés qui ont pu influencer celui qui est observé. Si la notion de temps est maintenant relative, les notions de futur et de passé, restent-elles absolues. La distance entre événements est invariante, son caractère positif qui définit le futur causal ne peut pas changer d'un système à l'autre, quelle que soit la vitesse relative. Si elle est positive dans un système, elle sera positive dans un autre. La simultanéité devient relative. Observée dans un système, elle ne l'est en général plus dans un autre. La causalité reste. Passant d'un système à un autre, on peut changer le rythme du cours du temps, mais

on ne l'inverse jamais. Il faudrait pour cela dépasser la vitesse de la lumière, ce que les lois de la physique interdisent.

D'où vient ce sens du temps qui nous semble inexorable ?

En physique des particules, on a trouvé un type de phénomènes dont les lois ne sont pas invariantes par inversion du sens du temps (voir chapitre 4). C'est un phénomène très modeste à notre échelle et qui n'a encore été étudié que dans la désintégration des kaons neutres.

Nous avons vu au chapitre 4 que l'invariance par CP était violée. Si l'on ne met pas en doute l'invariance par CPT qui est incontournable en théorie quantique des champs, le défaut d'invariance par CP implique un défaut d'invariance par T pour que les deux puissent se compenser. Il était quand même bon de le mettre directement en évidence, indépendamment de l'invariance par CPT. On a pu le faire récemment. Sans entrer dans des questions techniques, disons que l'analyse de la désintégration en leptons et hadrons des kaons neutres permet de définir de façon intrinsèque le cours du temps. Deux physiciens indépendants peuvent savoir en s'échangeant seulement le résultat de leurs mesures sur les kaons s'ils ont choisi ou non le même sens pour le cours du temps. Il faut pour cela observer avec précision des modes leptoniques relativement rares et appropriés. Une observation directe de l'invariance par T n'est en effet pas facile à déduire d'observations de désintégrations car l'opération relie par essence la désintégration du kaon neutre à la recombinaison des particules finales en un kaon neutre. Si cette seconde opération est en principe possible, elle n'est en pratique pas réalisable quand il s'agit d'une désintégration à plus de deux corps. Il se trouve que la mesure des corrélations entre les impulsions des particules finales permet de trancher dans la désintégration faible des kaons neutres.

Un grand principe, l'invariance des lois par renversement du sens du temps, se trouve ainsi mis en défaut. La physique définit un sens pour le cours du temps mais cela ne saurait rendre compte du sens du temps tel qu'il nous est familier. Il s'agit d'un mécanisme beaucoup trop

modeste et particulier par rapport au caractère irréversible de nombreux phénomènes.

À l'autre extrême, l'étude de l'Univers montre qu'il est issu d'un Big Bang qui s'est produit il y a environ 15 milliards d'années. L'Univers est depuis lors en expansion et cette expansion [32] définit manifestement un sens du temps. Là encore, cependant, nous sommes loin du sens du temps qui s'impose à nous dans l'expérience quotidienne. La raison de ce sens du temps, si clairement manifesté par l'expérience courante, vient d'une autre frontière de la connaissance : l'infiniment complexe.

Le sens du temps

De très nombreux phénomènes laissent distinguer clairement le passé du futur. Ils se déroulent dans un sens bien déterminé. Et pourtant, les lois qui nous permettent de décrire, et *a priori* de comprendre cette évolution au niveau microscopique, sont invariantes par inversion du sens du temps. Elles devraient donc parfois autoriser une évolution opposée à celle qui est observée. Pourquoi donc certains phénomènes, comme le refroidissement d'un corps chaud au voisinage d'un corps froid, sont-ils irréversibles ? Au XIX^e siècle, la thermodynamique a quantifié cette irréversibilité, puis la mécanique statistique a donné une interprétation des lois de la thermodynamique éclairée par la structure atomique de la matière.

On est ainsi amené à distinguer le comportement d'une quantité macroscopique, impliquant un nombre fabuleux d'atomes, du comportement microscopique de ces atomes. Dans quelques grammes de matière, on trouve près de 10^{24} atomes. C'est mille fois plus qu'il n'y a d'étoiles dans notre galaxie. On a compris que des propriétés nouvelles peuvent très bien apparaître au niveau macroscopique où l'on a affaire à un nombre quasi infini d'atomes, alors que rien ne les présage au niveau microscopique. C'est en particulier le cas pour les changements de phases. Dans certaines conditions de température et de pression, un corps peut être solide, liquide ou gazeux, alors que rien de particulier ne se passe au niveau des atomes individuels. L'invariance par renversement du temps peut aussi être mise en défaut pour un système

macroscopique alors qu'elle reste parfaitement valable au niveau microscopique. Le sens du temps apparaît comme une propriété associée au mouvement de systèmes très complexes qui ne peuvent être qu'imparfaitement décrits. Il faut garder en tête le nombre extrêmement grand d'atomes dans tout système appréciable à l'échelle humaine. Nous ne pouvons prétendre connaître l'état exact d'un tel système. La seule chose qui reste possible et utile, c'est de le décrire tel qu'il peut être préparé en pratique, c'est-à-dire à partir de caractéristiques macroscopiques, comme la masse, la température et la pression. Il faut reconnaître que l'on ne possède ainsi qu'une information très partielle sur l'état du système ou, ce qui revient au même, qu'on ne le connaît qu'avec une certaine incertitude. Nous ne pouvons le décrire que d'une façon statistique au niveau de ses si nombreux constituants. En pratique, nous ne saurions nous intéresser vraiment à toute l'information que recèle sa structure complète. Avec 10^{24} particules dans quelques grammes de matière, c'est simplement impossible. Nous voulons par contre être capables de prédire l'évolution d'un système ayant été préparé dans certaines conditions, ce qui implique par essence de nombreuses moyennes sur un très grand nombre de propriétés microscopiques. Notre connaissance ne peut donc être qu'incomplète et probabiliste. Nous jugerons deux systèmes identiques alors qu'ils diffèrent par de nombreux détails que nous ne pouvons pas apprécier.

Il est néanmoins remarquable que nous puissions prédire l'évolution de tels systèmes, dans le cadre des observations, presque par essence incomplètes et statistiques, que nous pouvons seules effectuer. Ceci est possible mais, à ce niveau de connaissance et d'analyse, le temps prend alors un sens bien déterminé. La physique devient irréversible car la configuration évolue vers ce qui est le plus probable de trouver dans le cadre des seules conditions macroscopiques imposées.

On peut en effet prédire que toute incertitude sur l'état du système ne peut qu'augmenter. Le système, isolé du reste du monde, peut exister sous de multiples configurations microscopiques dans la mesure où son état n'est caractérisé que par la valeur de quelques [33] quantités macroscopiques accessibles à l'expérience. Il a au départ un ordre que nous ne connaissons pas. Nous pouvons quantifier notre ignorance par un certain désordre qui ne saurait qu'augmenter dans un système isolé livré à lui-même. On le quantifie en définissant l'entropie du système, une entropie qui ne peut qu'augmenter ou au mieux rester constante. Sa

variation pour un système isolé, ou (en généralisant hardiment) pour l'ensemble du monde, va ainsi définir clairement une flèche du temps.

On aborde là une question fondamentale. Le degré de désordre accepté n'est pas une propriété intrinsèque du système considéré, c'est simplement une relation entre le système et quiconque analyse son état. Le sens du temps prend donc une connotation anthropocentrique. Il s'applique à notre perception du monde telle que nous sommes capables de la formuler en fonction des observations qui nous sont accessibles.

Si le système a le choix entre de multiples configurations également possibles selon les paramètres macroscopiques mesurables, il est clair que ce sur quoi on tombe après un certain temps correspond presque à coup sûr aux configurations les plus probables compte tenu des paramètres macroscopiques accessibles et mesurés. S'il se trouve préparé dans une configuration particulière, l'augmentation de l'entropie traduit l'orientation inéluctable (avec une probabilité extrêmement proche de l'unité) du système vers une de ses configurations les plus probables. En d'autres termes, l'information partielle avec laquelle on doit accepter de caractériser son état ne peut que diminuer et une mesure ultérieure va le trouver tel qu'il a le plus de chance de se trouver, étant donné les multiples positions que peut prendre chacun des éléments selon les interactions qu'ils ont entre eux. L'évolution au niveau microscopique est d'une complexité extrême. Dans certains cas, on peut avoir un comportement chaotique où toute l'information initiale est très vite perdue. La combinaison du flou qu'il faut admettre pour la connaissance du système et de l'interaction de ses éléments va ainsi conditionner l'émergence de l'irréversibilité de l'évolution dans notre perception. On ne peut que perdre une partie de l'information rassemblée. L'entropie augmente.

Le second principe de la thermodynamique l'affirmait. L'interprétation statistique montre qu'il ne s'agit pas d'une propriété inéluctable mais d'un comportement extrêmement probable, de probabilité très proche de l'unité.

On a perdu par rapport à ce que l'on pouvait espérer. On a cependant gagné dans la mesure où l'on peut suivre et prédire l'évolution du système qui, dans le cadre des mesures possibles, évolue de façon déterministe (avec une quasi-certitude) mais de façon irréversible. On peut certes essayer de s'y opposer en essayant de connaître plus de choses

mais c'est vite illusoire. La fonte d'un gramme de glace correspond à une perte d'information (ou à un gain d'entropie) un milliard de fois supérieures à tout ce qu'on peut espérer pouvoir manipuler en un an sur les détecteurs du LHC !

Un mouvement correspondant au film passé à l'envers, comme la goutte d'encre se rassemblant après sa diffusion dans un verre d'eau, est possible, mais massivement improbable. L'apparition d'une orientation inéluctable du temps entre le niveau microscopique, où elle ne s'applique pas, et le niveau macroscopique, où elle est évidente, apparaît ainsi comme un phénomène statistique dû à la perception limitée que nous pouvons prétendre avoir du monde. Le caractère probabiliste que nous devons admettre pour notre perception n'est pas une propriété intrinsèque des objets étudiés mais il s'introduit dans le rapport que l'observateur peut avoir avec ces objets. Le cours irréversible du temps prend un sens au niveau des phénomènes macroscopiques qui nous entourent même s'il n'a pas de sens au niveau des interactions fondamentales.

Il faut cependant remarquer qu'il n'y a pas de séparation claire et nette entre le microscopique et le macroscopique. Plus que la taille ou la masse, c'est le nombre de degrés de liberté, ou le [34] nombre de paramètres nécessaires pour décrire l'évolution d'un système, qui compte. Une balle qui rebondit ou un pendule qui oscille sont macroscopiques. Néanmoins, la description du mouvement se réduit à une position ou à un angle. À ce niveau, le mouvement est réversible. Quand il faut tenir compte des frottements, et donc prendre en compte ce qui se passe à l'intérieur, les complications macroscopiques entrent en jeu. L'évolution devient irréversible.

Il est hors de question de décrire la vitesse de chaque molécule d'un gaz. Le gaz a une complexité macroscopique et son évolution est irréversible. Mais, si l'on prend maintenant non pas le mouvement des molécules mais la précession des moments magnétiques des atomes d'un solide placé dans un champ magnétique, qui se comportent comme de petits aimants tournant autour de la direction du champ, on peut arriver à faire à peu près remonter le cours du temps à un tel système pourtant manifestement macroscopique. C'est un phénomène connu sous le nom d'« écho de spin ». On magnétise un matériau en orientant dans le même sens tous les spins de ses atomes le long d'un champ magnétique appliqué durant un certain temps. On place alors l'échantillon dans un

fort champ magnétique perpendiculaire à la magnétisation obtenue. Les spins se mettent à tourner autour de l'axe de ce champ, tous de la même façon et d'autant plus vite que le champ est intense. La magnétisation globale va ainsi tourner en gardant la même intensité et elle est facilement détectable par l'induction périodique qu'elle produit dans une direction particulière. Le champ ne peut cependant pas être parfaitement homogène et certains spins (dans un champ un peu plus fort) vont tourner plus vite que la moyenne alors que d'autres (dans un champ un peu plus faible) vont le faire plus lentement. Les spins se mettent à pointer dans des directions différentes et la magnétisation globale va ainsi disparaître peu à peu, comme on l'attend d'un processus irréversible. Quand le signal périodique a disparu – et avec lui, semble-t-il, l'ordre qui prévalait au début –, on applique durant un bref instant un champ magnétique le long de la magnétisation initiale pour faire ainsi tourner tous les spins d'un demi-tour autour de leur axe. Cela place ceux qui étaient en avance dans une position de retard d'autant plus forte qu'ils étaient en avance, le contraire se produisant pour ceux qui étaient en retard. Les rapides vont alors rattraper leur retard imposé et les lents perdre leur avance accordée. Quand tous les spins se trouvent ainsi de nouveau alignés on récupère la magnétisation (et l'ordre) initiale, niant ainsi les effets de l'évolution temporelle. On a pu retrouver l'ordre qui s'était caché et un beau signal périodique se fait un moment l'écho de celui qui existait au début avant de disparaître à nouveau.

Cela est possible car la relation entre le mouvement des spins et le champ magnétique appliqué est particulièrement simple bien que le système soit très complexe. Il n'est cependant pas possible de trop répéter l'opération car les interactions entre spins, faibles mais multiples et incontrôlables, finissent par faire disparaître la magnétisation et cela de façon complètement irréversible.

Que reste-t-il d'immuable dans cette évolution irréversible ?

Un héros de Borges est amené à réfléchir sur le sens de l'éternité en sachant sa mort prochaine. Il ne la trouve pas dans la permanence apparente d'objets qui semblent immuables comme les montagnes qui l'entourent car il sait qu'elles sont elles aussi amenées à disparaître un jour, victimes de l'érosion. Il la trouve cependant dans les taches du jaguar (nous sommes en Amérique du Sud) qui réapparaissent de façon immuable de génération en génération, transcendant la vie de l'animal. D'une façon plus abstraite, nous touchons à l'éternité par les lois de la

physique et les grands principes d'invariance auxquels elles obéissent. Le monde que nous percevons change de façon irréversible mais les lois fondamentales auxquelles il obéit ne changent pas.

[35]

Le cours du temps est-il malléable ?

La relativité restreinte nous a conduits à abandonner la notion d'un temps au cours absolu. Elle ne s'applique qu'à des systèmes (inertiels) en mouvement de translation uniforme l'un par rapport à l'autre, un type de mouvement spécifique, la gravitation terrestre nous ayant habitués aux accélérations qui lui sont associées. Un système accéléré, en particulier un système accéléré par sa chute libre dans un champ de gravitation, n'est pas un système inertiel au sens de la relativité restreinte. Einstein a dépassé cette limitation avec sa théorie de la relativité générale qui inclut la gravitation et les accélérations qu'elle communique. Sa théorie dépasse celle de Newton mais s'y ramène pour les faibles vitesses et les faibles champs de gravitation. Pour débarquer sur la Lune ou pour réaliser la rencontre d'une sonde spatiale avec une comète, comme celle de Giotto avec la comète de Halley, la théorie de Newton est bien suffisante. Mais pour comprendre l'évolution d'un système binaire d'étoiles à neutrons très denses et très proches l'une de l'autre, comme le pulsar binaire de Hulse et Taylor (voir chapitre 8) il faut la relativité générale. Elle n'a jamais encore été mise en défaut.

Un de ses postulats de base est le principe d'équivalence. La chute libre est la même pour tous. Des corps lourds ou légers tombent de la même façon, subissant la même accélération. Cela implique l'égalité (l'équivalence) entre la masse inerte (celle de l'équation fondamentale de la dynamique de Newton qui nous dit comment l'accélération suit la force appliquée) et la masse pesante (celle qui donne la force d'attraction dans un champ de gravitation). Cette propriété, postulée dans la théorie de la gravitation de Newton, est élevée au rang de principe dans la théorie d'Einstein.

Les aspects généraux de la théorie d'Einstein (comme le principe d'équivalence) sont aujourd'hui vérifiés à une précision de 10^{-12} et des expériences spatiales devraient bientôt permettre un test au niveau de

10^{-15} puis de 10^{-18} . Pour ses aspects plus particuliers, comme la relation entre la courbure de l'espace-temps et la présence de masses, les tests sont de l'ordre 10^{-4} et des expériences spatiales aujourd'hui possibles devraient permettre d'ici une décennie de les pousser à 10^{-7} . C'est dans son cadre que nous avons décrit l'évolution de l'Univers issu du Big Bang (voir chapitre 8).

La relativité générale se fonde sur un principe d'invariance. La physique doit rester la même mais le cours du temps doit aussi changer selon la gravitation pour satisfaire au principe d'invariance. Le temps des autres, ceux que nous voyons dans un très fort potentiel gravifique, semble encore suspendre son vol. Mais leurs heures « propices » ne suspendent pas leur cours. Tout se passe normalement pour eux. Sur Terre, il s'agit d'un effet minuscule, une correction de $3 \cdot 10^{-16}$ par rapport au cours du temps sans gravitation terrestre. C'est cependant un effet observable.

Ce changement du cours du temps a été mis en évidence pour la première fois à Harvard aux États-Unis, en mesurant le décalage de fréquence de photons émis par transition atomique au sommet d'une tour (dans un plus faible potentiel de gravitation) tout en ne pouvant pas exciter la même transition à sa base, où le cours du temps est plus lent et les fréquences atomiques plus faibles. Dans un satellite, on rencontre deux effets. Le cours du temps s'accélère car le potentiel de gravitation de la Terre est plus faible qu'au sol, mais il ralentit à cause de la vitesse par rapport au sol. Tous ces effets sont vérifiés avec précision.

L'effet terrestre de $3 \cdot 10^{-16}$ est parfaitement mesurable à la précision des horloges actuelles. Sur le Soleil, l'effet est de $2 \cdot 10^{-16}$. Il devient appréciable (près de 60 secondes par an). Au voisinage de l'horizon d'un trou noir, le temps semble s'arrêter. Et pourtant, la physique y reste la même pour un corps en chute libre – principe d'invariance oblige – et la lumière, qui ne peut s'en échapper, a pourtant la même vitesse, universelle, que celle que nous lui connaissons.

[36]

Si nous envoyions un horloge sur un trou noir, elle nous semblerait battre à un rythme d'autant plus lent qu'elle s'en rapprocherait jusqu'à s'arrêter au moment où elle franchirait à jamais l'horizon qui définit la distante à laquelle rien ne peut plus échapper à la gravitation du trou noir. Et pourtant, du point de vue de l'horloge, il n'y aurait rien

d'anormal. Sa fréquence resterait constante au cours de la chute. Passé l'horizon du trou noir, nous ne recevons plus aucun signal même si du point de vue de l'horloge la lumière émise garderait la même vitesse. Pour nous, cette lumière qui nous apparaîtrait avec une fréquence nulle ne pourrait plus rien influencer, elle serait donc invisible comme si elle s'était arrêtée de venir à nous.

Cette perception particulière du trou noir, liée à notre système de référence, ne saurait l'empêcher de se former à son propre rythme. Nous pouvons en observer les effets par les rayons X qu'émettent les étoiles qu'il déchire avant de les absorber.

Lorsque le champ de gravitation n'est pas constant, comme c'est toujours le cas en pratique à un degré plus ou moins important, la physique reste encore la même mais elle s'exprime cette fois dans un espace-temps courbé. Il y a non seulement changement du cours du temps, comme précédemment, mais aussi courbure de l'espace, la courbure de l'espace-temps étant reliée aux masses qui s'y trouvent selon les équations de la relativité générale. Les lois de la physique exprimées dans un espace-temps courbé restent les mêmes. Elles sont toujours les mêmes, mais les effets observés dépendent des propriétés de l'espace-temps qui ne sont pas partout les mêmes. Au niveau de l'horloge plongeant dans le trou noir cela implique des forces qui vont la déchiqueter d'autant plus vite qu'elle est volumineuse.

On peut spéculer sur la courbure de l'espace-temps. Tout se propage à sa surface, sans en sortir, la lumière suivant un géodésique. On peut penser à un grand cercle, qui représente la ligne la plus courte (géodésique) pour circuler sur la sphère. Mais existe-t-il des connexions plus rapides entre un point de la surface à un autre ? On peut penser au diamètre de la sphère par opposition à un grand cercle. Dans cette vue imagée la sphère représenterait l'espace-temps courbé, le diamètre se situant, lui, à l'extérieur et donc inaccessible à tout trajet. L'espace-temps pourrait cependant être parfois si courbé sur lui-même pour se toucher, comme la sphère que l'on écraserait, et permettre ainsi des raccourcis efficaces. C'est ce qu'on appelle les « trous de ver ». En passant par un « trou de ver », en quittant un point de l'espace-temps pour sortir en un autre point, on pourrait gagner du temps par rapport au trajet de la lumière qui « surfe » à la surface et aller ainsi plus vite qu'elle. Rien n'empêche alors de remonter vers le passé ou de franchir très vite des distances fabuleuses. On sort de l'espace-temps pour y rentrer autre

part. Est-il possible que de telles connexions existent ? Les avis sont encore partagés mais leur utilisation en science-fiction est déjà abondante. De tels « trous de ver » ne pourraient être d'aucune utilité pratique car ils semblent être instables par fluctuations quantiques. Il faut bien échapper au paradoxe du descendant remontant le temps pour tuer ses ancêtres et qui abolit ainsi sa propre existence ! Sans aller jusque-là, on peut se demander si les lois de la dynamique pourraient ainsi admettre des solutions où figurerait une machine à remonter le temps. De telles solutions sont effectivement concevables et le temps réserve peut-être encore des surprises. Il faut cependant que la formulation de la dynamique reste alors logique et cohérente, et garde un caractère prédictif conforme à l'expérience.

Le temps en physique quantique

Nous savons que la physique a une nature quantique qui se manifeste clairement dès que l'action en jeu – le produit de l'énergie par le temps – devient du même ordre que la constante de Planck. Il faut remplacer les lois traditionnelles de la physique par le formalisme plus précis de la mécanique quantique. La dynamique y est décrite par l'évolution de la fonction d'onde au cours du temps telle qu'elle est donnée par l'équation de Schrödinger (dans l'approximation non relativiste) ou par l'équation de Dirac (conforme à la relativité). Avec [37] ces équations on peut reprendre l'analyse que nous avons faite en partant de celle de Newton et retrouver toutes les propriétés du temps déjà rencontrées.

La loi de Newton nous a permis de dégager deux principes d'invariance selon les translations de temps et le renversement du cours du temps, valables pour tout système dont nous pouvons suivre l'évolution. De l'irréversibilité du cours du temps résulte notre incapacité à faire face aux complexités macroscopiques.

Ces deux principes restent parfaitement valables, au niveau de la description quantique des phénomènes. La physique reste invariante par translation de temps et aussi par inversion du cours du temps. Au niveau de la fonction d'onde, il n'y a aucune surprise en ce qui concerne le rôle du temps.

Mais il faut passer de la fonction d'onde aux mesures expérimentales permettant d'analyser l'état d'un système et tout cela est plus délicat (voir chapitre 3). Une mesure va choisir un des éléments de la fonction d'onde et le présenter comme le résultat de l'expérience, la fonction d'onde étant ainsi « réduite ». L'état quantique décrit par la fonction d'onde est en général une superposition d'états différents s'ajoutant comme des ondes, et l'on ne peut prédire celui qui sera choisi au cours de la mesure que de façon probabiliste. Les questions évidentes, posées lorsque nous analysons un phénomène, comme « la particule est-elle passée là ? », « quelle vitesse avait-elle ? » sont trop grossières pour la fonction d'onde. Nous ne pouvons saisir qu'une partie de l'information qu'elle contient en trouvant une réponse à de telles questions, pourtant légitimes et nécessaires pour décrire un phénomène.

La dynamique est parfaitement réversible au niveau de la fonction d'onde et l'invariance par renversement du temps reste valable, mais une mesure effectuée pour décrire en termes traditionnels ce à quoi on a affaire introduit un élément irréversible. La fonction d'onde après la mesure n'est plus ce qu'elle était avant ! En thermodynamique, on doit renoncer à tout connaître sur un système et c'est ce manque de connaissance qui introduit l'irréversibilité. L'information manquante est cachée, inconnue, mais présente. En physique quantique on accepte de détruire une grande partie de cette information en passant au niveau macroscopique. On va perdre presque toute l'information qui correspondait à la superposition ondulatoire des états présents alors qu'un état particulier se trouve choisi au cours de la mesure. Nous ne pouvons prédire que la probabilité avec laquelle il va apparaître. Il n'y a plus de certitude.

Illustrons cela avec un exemple en physique des particules. Si nous déterminons une direction, nous perdons le contrôle du moment angulaire. Les deux variables sont dites « conjuguées » et nous ne pouvons pas les connaître simultanément. Prenons un méson rho neutre. Il a un spin 1 et se désintègre une (faible) partie du temps en une partie électron-positron. On peut préciser l'état quantique du méson rho. Nous le prendrons au repos et spin en haut, précisant ainsi l'orientation de son moment angulaire. On peut calculer la probabilité de trouver un état final particulier qui va être précisé ici par la direction (dos à dos) de l'électron et du positron ainsi que par leurs deux hélicités respectives. Nous les prendrons opposées, avec, de ce fait, une composante du

moment angulaire égale en tout état de cause à \hbar le long de la ligne de vol. Le sens de l'impulsion de l'électron par rapport au spin en haut du rho (pointant le long de l'axe z, disons) est précisé par un angle et le plan de désintégration par un autre. Il ne reste qu'à choisir le signe de son hélicité. L'état final est aussi bien défini que possible, l'énergie de chaque particule étant fixée par la masse du rho et celle de l'électron. On est passé de l'état initial avec un rho « spin en haut » à cet état final avec un électron et un positron dos à dos. Inversons le cours du temps. L'électron et le positron changent l'orientation de leur impulsion et le sens de leur spin et se précipitent l'un sur l'autre pour former un rho – invariance par T oblige. Le spin du rho va cependant pointer maintenant [38] dans la direction de l'électron qui revient s'il a une hélicité positive ou dans le sens opposé dans le cas contraire car – invariance par rotation oblige – on conserve cette composante du moment angulaire. Ce n'est en général pas l'axe z selon lequel son spin pointait dans l'état de départ et pointerait dans l'autre sens après renversement du sens du temps. On obtient autre chose !

Pour obtenir toujours un rho avec un spin en bas (après renversement du sens du temps), il faudrait partir d'une superposition cohérente d'états d'électron et de positron venant de directions différentes, impossible à réaliser en pratique. Appliquer le renversement du sens du temps sur l'état particulier trouvé est loin de suffire pour retrouver l'état initial. L'observation de cet état a profondément modifié la fonction d'onde du système. On a mesuré une direction et perdu l'orientation du moment angulaire.

Nous avons là une première propriété quantique : la dynamique est invariante par renversement du sens du temps mais le processus d'observation introduit des limitations à cause de son caractère intrinsèquement probabiliste.

Considérons un second exemple illustrant cette fois le fait que le temps et l'énergie sont des variables conjuguées. Si l'on veut préciser la valeur de l'énergie on ne peut pas connaître simultanément le temps précis où elle a été mesurée.

Il nous faut admettre que certains résultats ne peuvent pas être obtenus sans une incertitude intrinsèque associée aux conditions de la mesure et non pas à la perfection de l'appareil. En particulier, l'énergie mesurée ne peut être déterminée au mieux qu'avec une incertitude

minimum inversement proportionnelle au temps d'observation. Encore une fois, la constante de proportionnalité est la constante de Planck. Avec des énergies et des temps à l'échelle humaine, il n'y a aucune incertitude intrinsèque appréciable. Au niveau de l'atome et au-delà, ces effets deviennent par contre omniprésents.

Si le temps d'observation est de 10^{-21} s, l'incertitude sur l'énergie est de 1 MeV. Des paires électron-positron peuvent spontanément apparaître. Si le temps d'observation tombe à 10^{-24} s, l'incertitude sur l'énergie atteint 1 GeV. Le vide peut « bouillonner » de pions. Sur un temps de 10^{-26} s, une particule Z, avec son énergie de masse de 91 GeV, peut se manifester. Tout cela peut sembler curieux, mais c'est la façon dont le monde fonctionne et l'on s'habitue à raisonner de façon quantique aussi bien qu'on le fait avec les concepts traditionnels. On remarque que, pour bien connaître un système, il faut dépasser ces fluctuations quantiques et donc l'observer pendant un temps assez long. Si le temps d'observation est très bref, on peut avoir n'importe quoi.

On sait prédire le passage d'un état initial à un état final, tous deux décrits de façon précise par les énergies des particules, si l'intervalle de temps correspondant à la transition observée est assez long. Si l'on veut suivre en détail l'évolution temporelle, l'état du système devient complètement flou. Plus on veut la préciser, plus le flou augmente et l'on ne peut plus rien discerner.

Jusqu'où peut-on aller avec ce bouillonnement quantique décrit dans le cadre d'un espace-temps servant de scène au phénomène ? Quand on atteint 10^{19} GeV, soit un temps de 10^{-44} s pour la fluctuation d'énergie correspondante, la gravitation devient tout aussi forte que les autres interactions et doit prendre une formulation quantique. Le tissu même de l'espace se trouve soumis à ces fluctuations quantiques, ce que l'on traduit par une métaphore en parlant d'une « écume mouvante ». La notion même de temps perd alors toute forme et devrait être remplacée par des concepts adaptés à une formulation quantique de la gravitation.

Considérons maintenant une troisième propriété quantique qui touche à la nature de la causalité.

[39]

Le formalisme qui combine la mécanique quantique, la relativité et la causalité est la théorie quantique des champs (voir chapitre 3). Il

implique un certain nombre de propriétés remarquables, notamment l'invariance des lois de la physique au cours d'une opération résumée par CPT, une propriété d'invariance qui nous est maintenant familière. Si nous y revenons, c'est pour souligner que l'inversion du sens du temps et la causalité sont reliées à l'existence de l'antimatière qui s'introduit par l'intermédiaire de C. L'antimatière est nécessaire pour que la physique relativistique et quantique puisse rester causale.

Étudions-le à l'aide d'un exemple sur lequel nous reviendrons, dans le chapitre suivant. Nous avons vu que le futur d'un événement (ce sur quoi il pouvait avoir une influence) se plaçait dans un cône de lumière dont les limites étaient infranchissables quelle que puisse être la vitesse relative d'un autre observateur. Le futur reste toujours le futur même si le cours du temps change de rythme ! Nous nous placerons dans le monde microscopique pour que le phénomène étudié soit directement observable mais tout ce que nous allons rencontrer s'applique aussi aux objets macroscopiques à condition d'admettre des probabilités d'observation ridiculement faibles.

Prenons un électron qui profitant des possibilités offertes par une fluctuation quantique d'énergie, va émettre un photon. Il faut pour cela une certaine énergie mais nous savons qu'elle peut être disponible pour un temps assez court. L'électron émet un photon au temps t , et au point x , et en réabsorbe un au temps t_2 et au point x_1 , le temps t_2 étant alors dans le futur de t . Tout cela est parfaitement naturel en physique quantique. On a, entre l'émission et l'absorption, un électron virtuel qui passe de la position x_1 à x_2 au cours de l'intervalle de temps t_2-t_1 . Mais voilà ! Un physicien dira qu'une telle fluctuation quantique avec un « bon » électron virtuel, c'est-à-dire d'énergie positive, ne peut pas se limiter au cône de lumière. Ce n'est plus automatique quand on bénéficie d'une fluctuation quantique. Il faudrait pour cela que l'électron puisse aussi avoir parfois une énergie négative mais c'est à exclure. En effet, qui parle d'une énergie négative doit admettre que l'énergie de l'électron puisse devenir de plus en plus négative par simple déperdition d'énergie. Tout deviendrait instable.

Sortant du cône de lumière, on ne peut plus garantir que le carré de t_2-t_1 , multiplié par le carré de la vitesse de la lumière, soit toujours supérieur au carré de x_2-x_1 . C'est comme si l'on pouvait dépasser la vitesse de la lumière avec cette fluctuation quantique. Dans un autre système en mouvement relatif par rapport à celui dans lequel on décrit le

phénomène de cette manière, t_2 peut maintenant apparaître comme précédant t_1 . Le futur et le passé ont changé de rôle ! Les choses semblent dans ce cas très curieuses. L'électron émet un photon au moment t_1 pour remonter le cours du temps et aller absorber un photon au moment t_2 , antérieur à t_1 . Toute causalité semble disparaître. Mais non ! L'événement garde quand même une interprétation causale. On dira qu'au temps t_2 un photon a été absorbé en formant une paire électron-positron (un électron et son antiparticule). Le positron a suivi normalement le cours du temps, comme l'électron, pour aller annihiler l'électron initial au moment t_1 , naturellement plus tard, en produisant un photon au cours de l'annihilation. La causalité est bien préservée. Il faut cependant admettre qu'il existe des antiparticules associées aux particules connues. Cela étant le cas, la particule virtuelle pour un observateur peut très bien être une antiparticule virtuelle pour un autre observateur, l'événement étant chaque fois décrit de façon causale. L'électron final n'est certes plus celui de l'état initial mais cette distinction n'a pas de sens dans la mesure où tous les électrons sont identiques et donc indiscernables.

Nous rencontrons là une nouveauté dans notre étude du temps qui est associée au caractère quantique et relativiste de la physique. La causalité est préservée mais la nature l'impose grâce à une symétrie entre matière et antimatière. Cette symétrie apparaît au niveau des lois physiques même si elle n'est pas évidente dans le monde qui nous entoure.

[40]

Nous terminerons sur une quatrième conséquence de la nature quantique de la physique qui concerne la nouvelle vision qu'elle donne de l'histoire d'un événement. Nous l'illustrerons encore par un exemple, celui d'une particule (un électron pour les besoins de la cause) qui traverse une région où règne un grand champ électrique qui l'accélère au cours de ce passage. Sous l'effet de cette accélération, l'électron rayonne. Ce phénomène est à l'origine de la « radiation synchrotron » dans un accélérateur circulaire qui donne ainsi une source abondante de rayons X. En termes quantiques, l'électron émet un photon. Que peut-on observer ? On peut observer l'électron qui rentre et l'électron et le photon qui sortent. On peut mesurer leur direction et leur énergie. La physique quantique permet de calculer la probabilité d'observer un électron et un photon avec, pour chaque particule, une direction et une énergie particulières et cela correspond bien à tout ce qu'on peut mesurer explicitement. Les règles du calcul quantique sont simples et

explicites. Donnons-les sans chercher à les expliquer. À partir de la fonction d'onde et du couplage électromagnétique, on calcule une « amplitude de production » en chaque point de l'espace. Repérons un tel point par la valeur d'une variable x . On multiplie cette amplitude par le complexe conjugué de l'amplitude, que l'on calcule pour un autre point x' , et on somme sur tout l'espace, soit sur toutes les valeurs de x et x' . Cela donne la probabilité d'observation.

Le résultat du calcul ne précise donc pas les valeurs de x et de x' propres à l'émission. Il faut les prendre toutes pour déterminer l'énergie de l'électron et du photon car c'est souvent ce qui est important au point de vue expérimental. Dans la mesure où l'électron initial a une vitesse particulière, x ou x' peuvent être aussi choisies pour repérer le temps d'émission. On doit donc faire l'impasse sur le temps d'émission. Il faut sommer sur toutes les valeurs de t et de t' . C'est encore le prix à payer pour prédire des énergies particulières pour l'électron et le photon dans l'état final. Rappelons-nous encore la relation d'incertitude. Si nous précisons les énergies nous perdons le cours du temps et ne pouvons parler que d'un état initial et d'un état final séparés par un temps assez long.

Mais où (ou à quel temps) exactement le photon a-t-il été émis ? Peut-on quand même essayer d'insister ? L'observation du résultat qui se concentre sur la direction et l'énergie des particules finales ne permet pas de le dire alors que l'intuition habituelle pourrait laisser croire que cela peut aussi être connu. Si x et x' sont à l'intérieur de la région de champs forts, il se trouve qu'on peut quand même assez bien localiser la zone d'émission à l'intérieur d'une « zone de cohérence » où l'essentiel de l'émission se produit. Mais une fraction des photons est associée à des valeurs de x et de x' respectivement internes et externes à la zone de champ fort et cela d'une façon d'autant plus importante que l'énergie initiale de l'électron augmente. Dans ce dernier cas, l'émission n'est alors absolument pas localisée. On ne peut pas dire si le photon vient de la zone macroscopique de champ fort ou de l'extérieur. Il vient des deux régions à la fois ! C'est comme si le processus suivait simultanément deux histoires. Dans l'une, le photon est émis à l'intérieur de la zone de champ fort, et dans l'autre, il est émis à l'extérieur. Une histoire comme l'autre n'a pas de sens à elle seule. Le phénomène mélange les deux histoires. On calcule bien tout ce qui peut être mesuré à l'issue de l'expérience, les énergies et les directions étant considérées comme les

données importantes. Une question subsidiaire, comme le lieu ou le temps de l'émission, à laquelle on pourrait penser avoir aussi une réponse, se trouve ne plus avoir de sens.

Certes, on pourrait concevoir un autre type d'expérience qui permettrait de mieux suivre l'histoire mais, en voulant rechercher le temps précis d'émission, on devrait vite abandonner une description limitée à un électron émettant un photon. Il faudrait faire face comme précédemment au « bouillonnement » de particules par fluctuation quantique au cours d'un temps très court. Il faut choisir. Certaines réponses excluent d'autres quand notre intuition nous pousserait à croire pouvoir en savoir plus. On se concentre sur un état final avec un [41] électron et un photon et le temps d'émission n'a plus de sens. On veut atteindre le temps d'émission et l'état du système se complique énormément. On doit choisir entre une vue aveugle à l'histoire écoulée, ou plutôt aux multiples histoires écoulées, fondée en quelque sorte sur l'éternité, concentrée sur le résultat, et une vue plus précise de l'histoire suivie mais où le nombre de particules en jeu se complique infiniment, ce qui rend toute narration pratiquement impossible. Tous les intermédiaires sont possibles selon les conditions expérimentales considérées mais certaines mesures précises, légitimes et possibles, impliquent que nous perdions le cours du temps.

Notre étude du temps trouve ainsi un nouvel élément. On ne peut pas simultanément parler de façon précise de ce que l'on observe et de l'histoire qui a entraîné ce que nous observons. Il faut abandonner l'idée d'une histoire bien définie et sommer sur plusieurs histoires également présentes. Cet état des choses est très bien résumé par Oppenheimer :

« Il existe deux façons de penser, celle qui se fonde sur le temps et l'histoire et celle qui se fonde sur l'éternité et l'absence de temps. Ce sont deux composantes de notre effort de comprendre le monde dans lequel nous vivons. Ni l'une ni l'autre ne contient l'autre ou n'est réductible à l'autre. Chacune d'entre elles complète l'autre, ni l'une ni l'autre ne permettant de tout décrire. »

Ainsi, le temps est le paramètre qui permet de préciser les lois de la dynamique et, inversement, la connaissance des lois de la dynamique permet seule de préciser les propriétés du temps.

Il n'y a pas de temps absolu. Nous ne pouvons discerner que les intervalles de temps.

Le cour du temps, réversible au niveau des processus simples, devient irréversible pour ceux qui mettent en jeu des systèmes complexes.

Le cours du temps est malléable. Mais il s'agit du temps des autres, tel qu'il peut nous apparaître suivre son cours. Pour eux, rien ne change. La forme des lois physiques reste la même pour tous, quelles que soient les conditions d'observation. L'universalité des lois prime sur le caractère absolu d'un rythme du cours du temps qui n'est que relatif.

La simultanéité est trompeuse mais la causalité demeure.

La nature quantique et relativiste du monde maintient la causalité en impliquant l'existence de l'antimatière.

On ne peut connaître à la fois l'Histoire et son résultat. Plusieurs Histoires conspirent pour un résultat. Vouloir mieux connaître les séquences historiques complique énormément la situation prise par les partenaires en présence.

[42]

[43]

La perception du temps.

“Le temps, en sciences de la terre.”

Jean-Yves ROYER

CNRS & Université de Bretagne Occidentale
Laboratoire des Domaines Océaniques
Plouzané

Introduction

[Retour à la table des matières](#)

L'incommensurabilité des temps géologiques – l'âge de notre planète est estimé à 4,6 milliards d'années (Ga) – nous oblige pour l'appréhender à recourir à des métaphores. Si l'on réduit par exemple l'histoire de la Terre à une année humaine, en plaçant l'origine de la Terre à Oh, le 1er janvier, la vie unicellulaire apparaît autour du 21 février, tandis que les formes de vie plus complexe apparaissent 8 mois plus tard vers le 25 octobre. Les reptiles ne voient le jour que vers le 7 décembre et le 25 décembre marque l'extinction des dinosaures. La dernière heure du 31 décembre, comme notre Saint Sylvestre, est la plus riche en événements » humains ». Vers 23 h apparaît l'Homo Sapiens; 1 minute 10 secondes avant minuit se termine la dernière glaciation ; notre Histoire écrite (-5000 ans) débute vers 23 h 59 m 25 s et 3,5 secondes avant les douze coups de minuit, Christophe Colomb découvre le Nouveau Monde. À l'aune de cette échelle, les soubresauts terrestres comme les éruptions volcaniques ou les tremblements de terre, qui sont

des catastrophes majeures à l'échelle humaine, représentent des durées infinitésimales. Ces métaphores démontrent bien que la durée des événements géologiques, comme celle de l'évolution des espèces qui les accompagnent, échappent à notre perception. On comprend ainsi aisément que la construction d'une échelle chronologique des temps géologiques durant lesquels s'est façonnée notre planète n'a pas été évidente. La chronologie absolue, établie depuis à peine 50 ans, nous révèle que nous ne connaissons en fait qu'à peine plus de 10 % de l'histoire de la planète (les derniers 500 millions d'années), autrement dit, nous connaissons très peu ce qui s'est passé avant le 21 novembre de notre « année » terrestre.

Cet exposé tente de résumer brièvement les étapes de la construction de cette échelle de temps, qui commence par celle d'une échelle chronologique relative que l'on tentera par la suite de dater. Une seconde partie décrit quelques constantes de temps dans l'évolution de la Terre, en particulier celles relatives aux mouvements de l'écorce terrestre, dont les conséquences nous touchent directement. Enfin notre capacité à remonter dans cette histoire et les techniques actuelles nous permettent de prévoir, à défaut de prédire exactement, ces soubresauts terrestres, infiniment brefs en regard de sa longue histoire.

Construction d'une échelle chronologique relative

Devant cette difficulté pour appréhender le temps géologique, la conception fixiste prévaudra jusqu'au XIX^e siècle. Dans cette conception, la physionomie de la Terre est la même depuis sa création et a été modelée par une série de catastrophes. La Bible, dans le livre de la Genèse, décrit la création de Terre en six jours, en une série d'étapes et admet donc déjà implicitement que le temps géologique est vectoriel à partir d'un commencement. On retrouve cette notion dans la théorie « neptunienne » du géologue allemand Werner (1750-1817) où roches et minéraux sont des produits de l'océan primordial. Werner distingue 5 périodes correspondant chacune à des roches de nature différente ; durant les deux premières, les dépôts sont marins, [44] durant les deux suivantes, les continents émergent progressivement et l'érosion agit, la

dernière période est marquée par une activité volcanique intense. Cette vision, conforme à la vision biblique du Déluge, s'opposera à la théorie « plutonienne » du naturaliste anglais Hutton (1726-1797) dans laquelle c'est le feu interne de la Terre qui crée les roches primaires et le relief. L'eau, ensuite, érode ces reliefs, transporte les matériaux qui se déposent dans les bassins ; ces dépôts forment les roches secondaires. Cette théorie introduit ainsi la notion de cycle géologique où s'affrontent alternativement et indéfiniment le feu interne de la terre et l'action de l'eau et des climats. En fait de temps vectoriel, le temps géologique serait donc cyclique et infini.

Le début du XIX^e marquera une nouvelle étape avec les développements de la paléontologie et de la stratigraphie (que l'on doit, entre autres, à Cuvier, Brogniart, Elie de Beaumont) qui vont réconcilier le concept de temps cyclique, ponctué de crises tectoniques (par ex. le plissement de chaînes de montagnes) et de crises magmatiques (volcanisme), et la vision stratigraphique et évolutionniste de Werner. Cuvier (1769-1832) y ajoute la notion de catastrophes qui détruisent l'ensemble des êtres vivants que de nouvelles formes de vie viennent remplacer. Cette vision catastrophiste sera contestée par la théorie uniformitariste (Lyell 1797-1875) pour laquelle les catastrophes invoquées témoignent essentiellement de notre incapacité à apprécier la durée des temps géologiques. L'uniformitarisme admet que les mêmes causes produisent les mêmes effets, et donc la terre a été façonnée par les mêmes phénomènes que ceux que l'on observe actuellement, en une succession infinie de cycles.

C'est dans ce cadre que va se construire l'échelle chronologique relative des temps géologiques, qui tentera de reconstituer les cycles. Notons que cette notion de temps cyclique et infini permettait de s'affranchir de la notion de durée. Les ouvrages de géologie générale de la fin du XIX^e (par ex. *La Terre avant le Déluge*, Louis Figuier, 1863) décrivent de façon très détaillée et imagée les ères géologiques (roches et faunes), descriptions d'ailleurs tout à fait valides, mais se gardent d'aborder la question des durées.

Dans cette approche, le temps pour le géologue devient avant tout une succession et un empilement de roches. Le canyon du Colorado, profond de 2000 mètres, nous offre une coupe de près de 2,5 milliards d'années de l'histoire terrestre. Les roches les plus anciennes affleurent au niveau du fleuve au fond du canyon, tandis que les roches les plus

récentes, tout en haut du plateau, ont à peine 6000 ans. Cette lithochronologie se fonde sur plusieurs principes : le principe de superposition des dépôts (Stenon, 1638-1686), les plus récents couvrant les plus anciens; le principe de recoupement (Lyell, 1830), un filon recoupant plusieurs couches ou d'autres filons leur est postérieur; le principe de discordance d'érosion, une strate montrant des traces d'érosion indique que celle qui lui succède ne lui est pas immédiatement postérieure ; et le principe de discordance angulaire, des strates parallèles et inclinées surmontées de strates horizontales indiquant que les premières ont été plissées, puis érodées, avant d'être à nouveau immergées pour que se déposent les strates horizontales suivantes. Ces discordances marquent donc des lacunes dans l'histoire des dépôts et donc des lacunes temporelles.

Le temps du géologue c'est ensuite une succession d'espèces et de genres fossiles. On distingue d'abord les fossiles pilotes, caractéristiques d'un âge ou d'une période donnés. Les assemblages fossilifères, constitués de fossiles pilotes contemporains, permettent ensuite de caractériser des périodes plus restreintes en temps et d'assimiler à une même période des dépôts très éloignés géographiquement. Il y a enfin les lignées évolutives qui correspondent à des arbres généalogiques et donnent donc accès à une chronologie relative.

La combinaison de toutes ces informations va aboutir à la construction d'une échelle chronostratigraphique (Figure 1) divisée en ères, définies à partir des formes de vie [45] (Paléozoïque : paléo – ancien et zoon-vie, Mésozoïque : méso – intermédiaire, Cénozoïque : céno – récent), en périodes dont les noms sont soit relatifs au lieu où elles ont été décrites (jurassique de Jura), soit descriptifs (Crétacé pour craie, Trias pour succession de trois couches caractéristiques) et en époques, elles-mêmes divisées en étages. Notons que l'ère la plus ancienne, le Précambrien, longtemps considéré comme azoïque (exempte de vie), est nommé par rapport au Cambrien (de Cambria, pays de Galles en latin) qui marque le début du paléozoïque. Elle se subdivise maintenant en Protérozoïque (protéro – antérieur) et Archéen. Les limites entre étages, périodes et ères sont essentiellement définies par des catastrophes biologiques, c'est-à-dire des extinctions massives et brutales d'espèces, suivies de naissances non moins massives, mais progressives, de nouvelles. Ces bouleversements coïncident généralement avec des changements tout aussi importants des dépôts sédimentaires et/ou

avec des catastrophes planétaires (éruption volcanique massive ou chute d'astéroïde). La Commission Internationale de Stratigraphie s'efforce d'harmoniser cette échelle chronostratigraphique en définissant des stratotypes internationaux communs aux communautés géologiques des cinq continents. Une autre de ses tâches est de caler cette échelle dans un repère géochronologique. Cette échelle constitue notre horloge géologique.

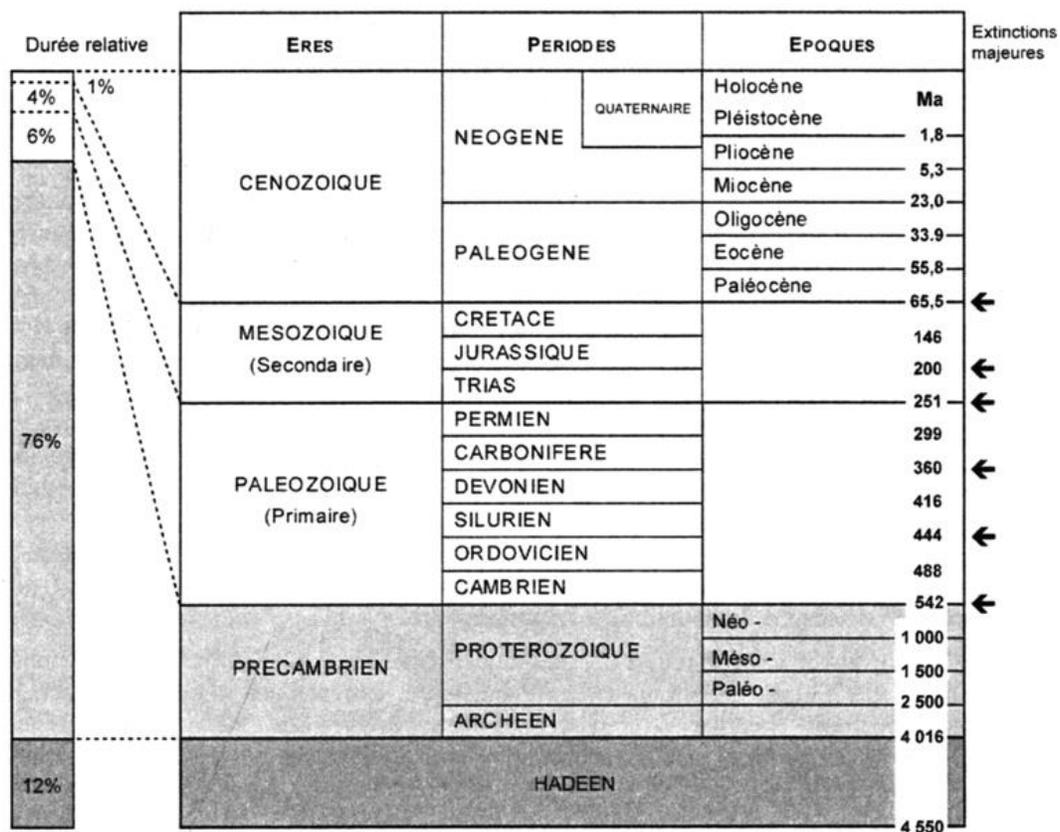


Figure 1 : Échelle chronostratigraphique simplifiée (d'après Bourque 2005).

Les âges indiqués en millions d'années (Ma) sont tirés, à partir du Paléozoïque, de la dernière synthèse de la Commission Internationale de Stratigraphie (Gradstein *et al.*, 2004). L'Hadéen [46] correspond à la période de formation du système solaire (et des météorites) et de l'accrétion initiale de la Terre ; les premiers continents apparaissent à l'Archéen.

Calibration de l'échelle géologique

Au XVII^e siècle, l'archevêque Ussher (1581-1656), se basant sur le décompte des générations dans la Bible, établit que la Terre a été créée en 4004 av. J.-C. Ajoutés à nos 2005 ans d'histoire, la Terre fêterait tout juste ses 6009 ans. L'origine « biblique » de cet âge le rendra difficilement contestable jusqu'au milieu du XIX^e (il reste d'ailleurs, pour les créationnistes d'outre-Atlantique, encore la référence). À cette époque, l'uniformitarisme, se référant aux phénomènes d'érosion et de dépôt sédimentaire actuels, suggère des temps bien plus longs. Plusieurs géologues appliquant les taux de sédimentation actuels (1 à 10 cm/an) aux épaisseurs sédimentaires observées aboutissent par exemple à des âges compris entre 1 et 300 millions d'années, difficiles à vérifier. La physique clora momentanément ce débat de « naturalistes ». Lord Kelvin (1824-1907) à partir de l'équation de la chaleur déduira que la Terre s'est refroidie en 20 à 30 millions d'années. Il reprenait là l'approche de Buffon (1707-1788) qui avait, près de 100 ans plus tôt, assimilé la Terre à un boulet de fer en refroidissement et qui par expériences successives avait avancé un âge de 25 000 à 75 000 ans. Kelvin, comme Buffon, ne pouvait pas savoir qu'il existait une source de chaleur interne dans la Terre, fournie par la désintégration des éléments radioactifs qu'elle renferme. Toutefois, quelque imprécises que soient ces déterminations, le million d'années s'imposait déjà au XIX^e siècle comme l'unité de temps géologique.

C'est en fait la découverte de la radioactivité au début du XX^e (Becquerel, Curie, Laborde) qui fournira le chronomètre absolu pour les roches terrestres. Par une série de désintégration radioactive, un élément radioactif père se transforme progressivement en élément fils inerte. Le rapport de concentration élément fils/élément père donne ainsi le temps écoulé depuis la mise en place de la roche. Le temps de cette désintégration, on parle de demi-vie, correspond au temps nécessaire pour que la moitié de l'élément père se transforme en élément fils. L'Uranium 238 (U) qui se transforme en Plomb 206 (Pb), inerte, a une demi-vie de 4,47 milliards d'années ; le Potassium 40, qui se transforme en gaz inerte d'Argon 40. une demi-vie de 1,25 milliard d'années ; le système Carbone 14 – Azote 14 a une demi-vie de 5 730 ans. Le choix

du chronomètre radiométrique sera fonction de la durée du phénomène géologique considéré. Rutherford et Boltwood en 1907 datent ainsi directement des minerais d'Uranium à 1000 et 1500 millions d'années, multipliant déjà d'un facteur 1000 les durées géologiques admises antérieurement. Holmes en 1927 estimera par la méthode U-Pb l'âge de la Terre à 3 milliards d'années (3 Ga). Cet âge sera définitivement établi par Patterson en 1950 à 4,55 Ga à la fois pour les météorites du système solaire et pour les réservoirs terrestres ; la Terre est contemporaine du système solaire.

Malgré la difficulté de mise en œuvre des méthodes radiochronologiques (mesures de rapports isotopiques d'éléments chimiques en quantité extrêmement faible), l'échelle chronostratigraphique relative sera progressivement calibrée de façon absolue. Cette démarche révélera que notre connaissance « approfondie » de l'histoire géologique se limite en fait au dernier 540 Ma (limite Précambrien-Paléozoïque), soit à peine 12 % de l'histoire de la Terre (Figure 1).

Quelques constantes de temps géologiques

Les géologues du XIX^e ont introduit la notion de cycle géologique. Qu'en est-il exactement, existe-t-il des rythmes de la Terre ? De nombreux cycles d'origine interne ou externe vont ponctuer son histoire avec des constantes de temps très variables, parfois périodiques, le plus souvent aléatoires.

[47]

Les paléontologues ont construit une échelle chronologique relative à partir des crises biologiques majeures, correspondant à des modifications globales et drastiques des conditions environnementales. L'un des exemples les plus connus, l'extinction des dinosaures marins et terrestres à la limite Crétacé-Tertiaire (66 Ma), est attribué à un refroidissement climatique global (baisse de 240 m du niveau marin). Deux catastrophes concomitantes en seraient à l'origine : la chute d'un astéroïde de 10 km de diamètre sur la péninsule du Yucatan au Mexique et l'éruption volcanique du Deccan au nord-ouest de l'Inde (les traps du Deccan représentent une surface équivalente à la France et un empilement d'un million de m³ de coulées basaltiques). L'émission de

poussières et de cendres dans l'atmosphère lors de ces deux événements a vraisemblablement été telle que la photosynthèse a été bloquée (végétation et plancton), privant ainsi de nourriture les reptiles. Le métabolisme des dinosaures n'était sans doute non plus adapté au refroidissement climatique associé. Plusieurs événements de cet ordre ont été répertoriés (traps de Sibérie contemporain de l'extinction majeure à la limite Permien-Trias ; nombreux astroblèmes à d'autres époques). Ces catastrophes seraient-elles récurrentes ? Une analyse statistique des extinctions majeures de genres depuis le Permien (285 Ma), pour autant qu'elles soient toutes bien identifiées, suggère une périodicité apparente de 26 Ma. Ce résultat pourrait s'expliquer par un phénomène astronomique périodique, le système solaire traversant un nuage d'astéroïdes tous les 26 Ma (Raup et Sepkoski, 1986). Sans écarter cette possibilité, il n'est pas nécessaire d'invoquer systématiquement des catastrophes d'origine externe pour expliquer ces extinctions de masse à répétition, associées à des changements climatiques majeurs.

À notre échelle, le cycle climatique annuel des saisons est réglé par le mouvement de la Terre autour du soleil. À plus long terme, les forces gravitationnelles exercées sur la Terre par la lune et les autres astres modifient les paramètres orbitaux qui décrivent ce mouvement selon des lois périodiques. Il en résultera des variations périodiques de la quantité d'insolation solaire captée par la Terre et donc des cycles climatiques. L'excentricité de l'ellipse que décrit la Terre autour du soleil varie avec une période de 100 000 ans ; l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan de l'écliptique (plan défini par la trajectoire de la Terre autour du soleil) oscille avec une période de 41 000 ans ; enfin, comme dans le mouvement d'une toupie, la direction de l'axe de rotation de la Terre par rapport au soleil varie (précession axiale) avec une période proche de 20 000 ans. Ces signaux périodiques définissent en se composant les cycles dits « de Milankovitch » (1879-1958) et permettent de prédire les variations cycliques de la quantité d'insolation reçue sur chacun des hémisphères, et donc l'amplitude des contrastes saisonniers, jusqu'à 3 Ma en arrière. Ces cycles expliquent par exemple très bien l'alternance et la fréquence des périodes glaciaires et interglaciaires. On conçoit donc bien que les climats aient pu varier de façon « naturelle », indépendamment de catastrophes terrestres ou extraterrestres, entraînant autant de modifications drastiques des environnements auxquels la vie a dû s'adapter. Notons au passage que les cycles

de Milankovitch fournissent un chronomètre complémentaire pour caler l'échelle chronostratigraphique. Ces variations climatiques ne suffisent cependant pas pour expliquer en un même lieu, mais à des âges différents, la présence de faunes et flores équatoriales ou tropicales, succédant ou précédant des faunes et flores plus typiques de zones tempérées ou polaires (par ex. palmiers en Alaska, récifs coralliens en Europe, forêts dans le golfe Persique). Il faut invoquer l'idée, inconcevable avant la théorie de la tectonique des plaques, que les continents ont changé de latitude au cours des temps géologiques. L'observation de fossiles semblables dans des continents maintenant très éloignés les uns des autres avait fourni le premier indice du mouvement des continents, que Wegener (1880-1930) eut du mal à faire admettre à ses contemporains.

[48]

On sait maintenant depuis la fin des années soixante que la terre est une machine thermique. La chaleur interne, d'origine radioactive, se dissipe par des mouvements de convection dans le manteau terrestre et par le mouvement des plaques à sa surface. La surface de la terre est découpée en calottes rigides, les plaques, en mouvement les unes par rapport aux autres. Là où elles s'écartent, de la nouvelle croûte est fabriquée dans les océans, le long des dorsales océaniques. Là où elles s'affrontent, selon la nature de plaques en présence, se construisent des chaînes de montagnes entre deux plaques continentales ou bien, si l'une des plaques est d'origine océanique, la croûte ancienne disparaît sous la seconde dans les fosses de subduction et retourne dans le manteau. Une plaque océanique, en refroidissant, s'épaissit avec l'âge et devient plus dense que le matériel mantellique convectif sous-jacent, elle a donc tendance à « couler » naturellement. Les plaques continentales, de densité moindre que le manteau convectif. « flottent » et se déplacent au gré du mouvement des plaques océaniques auxquelles elles sont attachées. Dans ce ballet de la tectonique des plaques, de nouveaux océans se créent, d'autres disparaissent ; des continents sont disloqués, puis leurs fragments se réagrègent, formant des chaînes de montagnes lors de leur collision ; ces chaînes de montagne vont s'éroder, les continents se disloquer à nouveau dans un nouveau cycle. Ce cycle « perpétuel », proposé par Tuzo Wilson en 1966, est la version moderne des cycles de Hutton. Par exemple, au Trias (250 Ma) la Terre comportait un continent unique, la Pangée, s'étendant d'un pôle à l'autre (Figure 2). Ce

continent, il y a 200 Ma, s'est disloqué pour donner naissance aux océans Atlantique et Indien, et aux continents actuels. De l'océan unique de cette époque, ne subsistent plus que des vestiges en Méditerranée. Il est difficile de trouver une périodicité dans les cycles de Wilson. Précisons cependant que le mouvement des plaques est de l'ordre de 1 à 20 cm/an ; ramenés à 100 millions d'années, ces taux, lents pour notre perception humaine, aboutissent à des déplacements énormes de 1 000 à 20 000 km.



Figure 2 : Reconstitution de la Pangée, continent unique qui au Jurassique s'étendait d'un pôle à l'autre.

Une autre conséquence de la machine thermique concerne le champ magnétique terrestre. Celui-ci est dû au mouvement de rotation du noyau liquide composé de fer et de nickel, matériau très conducteur. Les mouvements de convection dans ce noyau liquide provoquent des changements de polarité du champ magnétique, le pôle Nord magnétique se retrouvant au pôle sud géographique. C'est la découverte de ces inversions au début des années soixante, associée à l'idée de l'expansion des fonds océaniques, qui allait aboutir à la théorie de la [49] tectonique des plaques. La chronologie des inversions du champ magnétique terrestre a initialement été établie à partir de l'étude des coulées volcaniques successives sur les flancs d'un volcan, que l'on constatait être aimantées alternativement dans la direction du champ actuel et dans une direction inverse. Les fonds océaniques fourniront la clé pour

étendre l'échelle des inversions du champ magnétique terrestre de 3 Ma jusqu'à 180 millions d'années. Les fonds océaniques, constitués de roches volcaniques, se mettent en place à l'axe des dorsales, là où les plaques se séparent. Les dorsales sont constituées d'une multitude de petits volcans ou de fissures alignés qui émettent des laves basaltiques. En refroidissant, ces roches, riches en minéraux magnétiques, vont enregistrer la direction du champ magnétique ambiant et former des bandes aimantées dans une direction homogène. Ces roches vont être d'autant plus vieilles que l'on s'éloigne de l'axe de la dorsale. En effet, la nouvelle zone d'intrusion volcanique se localise au centre de la précédente, séparant le plancher récemment formé, de part et d'autre de la nouvelle zone d'intrusion. Ce processus d'expansion des fonds océaniques se produit avec des vitesses de 1 à 20 cm/an. Si le champ s'inverse au cours du temps, le plancher océanique formera des bandes parallèles alternativement aimantées de façon directe et inverse. La juxtaposition de ces bandes aimantées positivement et négativement engendre une alternance d'anomalies magnétiques positives et négatives aisément détectées à l'aide d'un magnétomètre remorqué par un navire. L'exploration systématique des océans dans les années 50 et 60 a permis de recueillir de très nombreux profils magnétiques perpendiculaires aux dorsales. Connaissant l'âge des premières inversions reconnues à terre (jusqu'à 3 Ma), on pouvait en déduire une vitesse d'expansion. En supposant cette vitesse constante au cours du temps, il était possible de dater les anomalies magnétiques plus anciennes, c'est-à-dire de construire l'échelle des inversions. Depuis, ces hypothèses ont pu être testées et affinées et l'échelle des inversions complétée jusqu'à 180 Ma. La durée d'une inversion est très variable, de quelques dizaines de milliers d'années à quelques millions d'années ; la plus longue, dite période calme du Crétacé, a duré 30 Ma. Leur fréquence semble aléatoire. Les inversions du champ magnétique terrestre fournissent donc un autre chronomètre, utilisé par exemple pour dater les carottes sédimentaires. Les minéraux magnétiques érodés des reliefs vont s'orienter puis se déposer dans la direction du champ ambiant, formant une succession de couches sédimentaires de polarité magnétique opposée ; on parle alors de magnétostratigraphie. Les inversions du champ peuvent être également à l'origine d'extinctions globales, le bouclier magnétique protégeant la Terre des radiations cosmiques disparaissant pendant 10 000 ou 100 000 ans, avant qu'un nouveau champ magnétique stable se rétablisse et la protège à nouveau.

Grâce à ces inversions et du fait de la géométrie relativement organisée des dorsales, la majeure partie des fonds océaniques a pu ainsi être datée (Figure 3) en tractant un simple magnétomètre à l'arrière des navires, retombée inattendue d'un outil développé durant la Seconde Guerre mondiale pour détecter les sous-marins. La croûte océanique la plus ancienne identifiée à ce jour se situe dans le Pacifique occidental et a un âge de 180 Ma. On peut considérer cet âge comme un ordre de grandeur de la durée de vie du plancher océanique, sachant, comme il a été dit plus haut, que la lithosphère océanique (qui comprend la croûte et le manteau supérieur solidifié) devrait couler dès 60 Ma en raison de sa densité.

[50]

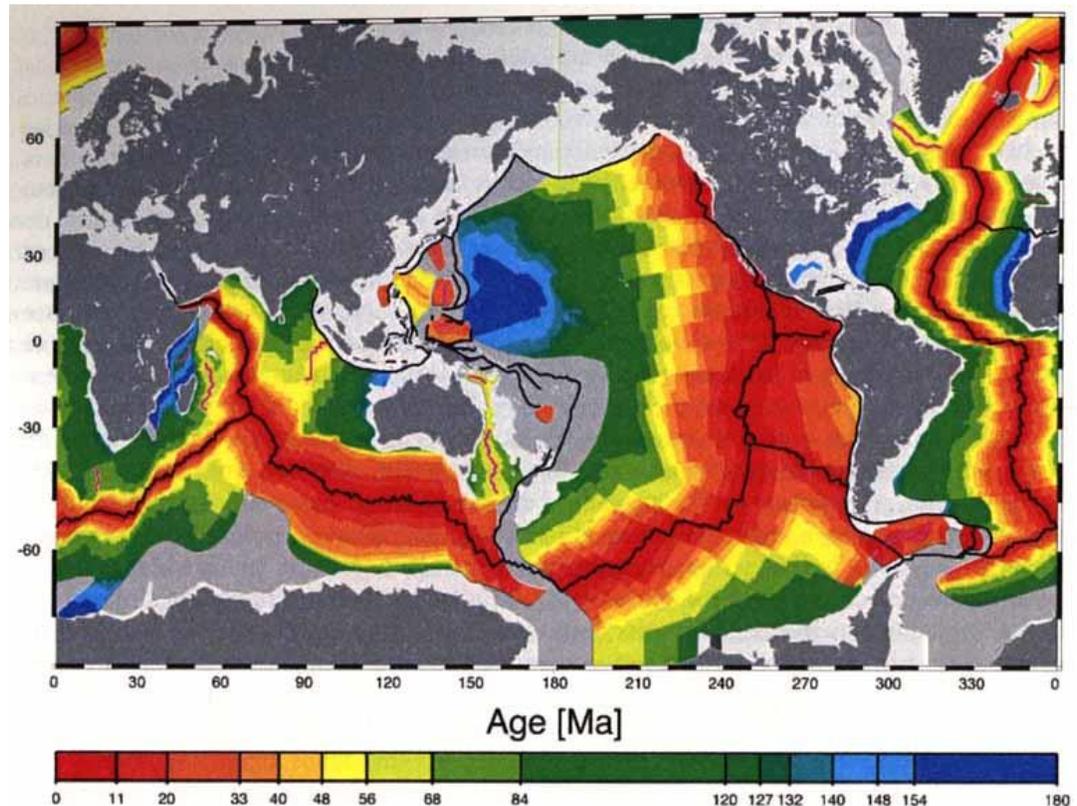


Figure 3 : Carte des âges des fonds océaniques en millions d'années (Ma).

Le plancher océanique le plus ancien (bleu foncé) se situe dans le Pacifique occidental. Les traits noirs indiquent les frontières de plaques océaniques. Les dorsales actives, où se crée le nouveau plancher

océanique, sont situées au centre des zones rouges (âge zéro) ; elles forment une chaîne volcanique quasi continue de plus de 60 000 km de long. Les traits en mauve représentent des segments de dorsales éteintes. Les zones de subduction, où le plancher océanique retourne dans le manteau terrestre, se répartissent sur le pourtour du Pacifique et le long de l'arc indonésien. De la largeur des zones rouges (0-11 Ma), on remarque que les dorsales pacifiques sont les plus rapides et que la dorsale ouest-Indienne, entre l'Afrique et l'Antarctique, est l'une des plus lente. D'après Müller *et al.*, 1997.

Dans ce mouvement incessant des plaques à la surface du globe, à l'origine des séismes et des crises volcaniques, on peut s'interroger sur la stabilité du mouvement des plaques. Jusqu'à il y a une dizaine d'années, pour mesurer le mouvement des plaques de façon globale, on ne disposait que des enregistrements océaniques de ces mouvements, c'est-à-dire des données qui ont permis de construire la Figure 3. De la distance entre anomalies magnétiques océaniques de même âge situées de part et d'autre d'une dorsale, on déduit un taux d'ouverture entre deux plaques adjacentes. De la même manière que le bord commun de deux règles qui glissent l'une sur l'autre indique la direction du mouvement d'une règle par rapport à l'autre, les zones de fracture océaniques, le long desquelles deux plaques adjacentes coulissent l'une sur l'autre, indiquent leur direction de mouvement relatif. Leur cartographie détaillée ou l'étude des séismes associés à ce frottement permettent de déduire cette direction de mouvement. En associant l'ensemble de ces informations, vitesses et directions, le long de [51] leur frontière commune, on détermine complètement le mouvement relatif de deux plaques adjacentes. En passant d'une plaque à l'autre, on arrive de proche en proche à reconstituer précisément le mouvement relatif d'une douzaine de plaques depuis 3 Ma (par ex. DeMets *et al.*, 1990). Cette approche combine des vitesses moyennes sur Z Ma, des directions instantanées (séismes) et des directions moyennes sur plusieurs millions d'années (zones de fracture). À l'échelle du globe, la vitesse moyenne d'ouverture océanique est de 40 mm/an, avec des extrêmes allant de 12 à 160 mm/an. La vitesse moyenne de convergence est de l'ordre de 70 mm/an (entre 20 et 110 mm/an). À titre d'exemple, la péninsule indienne continue de poinçonner l'Eurasie à la vitesse de 5 cm/an tandis que l'Amérique du Nord s'éloigne de l'Europe de 2 cm/an.

Depuis une vingtaine d'années, la géodésie spatiale permet de tester directement ces modèles, car elle permet de mesurer des distances entre deux points du globe espacés de plusieurs centaines de kilomètres, avec une précision de l'ordre du centimètre, voire du millimètre. Une mesure répétée de la distance entre deux points séparés par une frontière de plaque permettra, sur une période assez longue, typiquement 5 ou 10 ans, de mesurer leur vitesse de déplacement relatif. L'observation de plusieurs couples de points permettra de caractériser la direction de mouvement relatif des blocs rigides considérés. La comparaison des modèles océaniques avec les modèles géodésiques montre une concordance extraordinaire des directions et des vitesses des plaques, alors que les premiers intègrent des informations sur 3 000 000 d'années et les seconds sur à peine 10 ans (par ex. Gordon & Stein 1992). Ce résultat suggère que le mouvement des plaques est constant à l'échelle de 3 Ma, durée d'un instant géologique.

La tectonique des plaques prédit enfin que les séismes et les éruptions volcaniques, catastrophes qui nous touchent plus directement, ne se répartissent pas de façon aléatoire. Ils se produisent là où les plaques s'affrontent, c'est-à-dire sur leurs frontières. Les cartes de sismicité mondiale montrent très bien par exemple que les séismes s'alignent parfaitement le long des dorsales médio-océaniques. Leur répartition est plus diffuse dans les zones de collision continentale (Himalaya, arc alpin). Les fosses de subduction, là où une plaque s'enfonce sous une autre pour retourner dans le manteau terrestre, sont également un lieu d'activité sismique et volcanique intense. Le séisme dévastateur du 26 décembre 2004, près de Sumatra, résulte du plongement de la plaque australienne sous l'arc indonésien (à une vitesse de 5 à 8 cm/an selon le lieu). Parallèlement à la fosse de Sumatra, s'étire la chaîne des volcans indonésiens, dont le Krakatoa. S'il est facile de prédire où les séismes vont se produire, il est en revanche plus difficile de prévoir leur récurrence. La sismicité instrumentale date d'il y a à peine 40 ou 50 ans. Les comptes-rendus écrits de sismicité historique permettent de remonter un siècle en arrière, parfois plus (par ex. le séisme de Lisbonne en 1755). La description des dégâts et de leur importance est parfois suffisante pour localiser la zone épiscopale et évaluer approximativement l'intensité de la secousse. On sait, par exemple, où et quand (1861 et 1833) le long de la fosse de Sumatra, se sont produits les derniers événements de même importance que celui de 2004. Dans certains cas

favorables, la distribution spatiale des événements connus peut mettre en évidence des lacunes sismiques, zones apparemment exemptes de séismes par rapport aux zones adjacentes, où la probabilité d'un séisme prochain sera la plus élevée. Le long de la fosse du Mexique, le séisme du 22 janvier 2003 (magnitude 7.8) a « comblé » une lacune de 80 km, entre deux zones actives en 1932 et 1973. Plus à l'est, à proximité d'Acapulco, subsiste une lacune d'une centaine de kilomètres, sans activité connue depuis le début du XX^e, et encadrée par des régions actives en 1962 et 1979. Pour d'autres régions sismiques très actives, comme la faille de San Andréas en Californie, on dispose de cartes d'aléas sismiques encore plus précises, où à chaque segment de faille, est associé une probabilité qu'un événement de magnitude tant se produira [52] d'ici tant d'années. Depuis une quinzaine d'années, des réseaux de stations permanentes GPS surveillent de façon continue le déplacement de points de part et d'autre des failles actives de ce système complexe. L'île de Farallon (plaque Pacifique), au large de San Francisco, se déplace par exemple à la vitesse constante de 40 ± 1.5 mm/an vers les NNE par rapport à la plaque nord-américaine (Columbia, au sud de Sacramento). On peut ainsi localiser les failles qui bougent de façon continue, ou au contraire celles qui résistent et où les contraintes s'accumulent, tel un ressort que l'on comprimerait, prémices d'une rupture majeure future. Les deux terribles séismes de Sumatra de ces derniers mois nous rappellent cependant que, même si notre connaissance des séismes et nos outils de surveillance ont fait des progrès énormes, notre capacité de prédiction reste encore très limitée, faute sans doute d'un recul temporel suffisant. Tous ces soubresauts de l'écorce terrestre, qui paraissent des événements extraordinaires à l'échelle d'une vie humaine, ne sont en réalité que des conséquences très naturelles et régulières du mouvement des plaques.

Conclusion

Le temps géologique, comme le temps humain, est d'abord vectoriel. La Terre a un commencement, la formation du système solaire. Des continents sont apparus. Des espèces végétales et animales sont apparues et ont disparu. Des montagnes se sont formées, puis érodées pour redevenir des plaines. Des océans se sont ouverts et ont disparu. C'est justement cette dimension vectorielle qui a permis de reconstruire l'histoire de la Terre et d'ordonner les événements géologiques pour leur donner une chronologie relative. Même si le long Précambrien demeure largement encore, au sens propre et figuré du terme, « terra incognita ». Comme le temps humain qui voit défiler et se répéter le cycle des saisons, le temps géologique également est cyclique. Les cycles de Wilson façonnent la paléogéographie. Le manteau recycle continuellement de l'écorce terrestre. Le champ magnétique terrestre s'inverse régulièrement. Les cycles de Milankovitch règlent le climat. Cycles toutefois ponctués de catastrophes d'origine interne comme les éruptions volcaniques massives à l'origine des traps, ou d'origine externe comme les collisions avec des astéroïdes de grande taille. Les savants du XVIII^e et XIX^e avaient déjà bien saisi ce caractère cyclique. Le XX^e a su l'inscrire dans un cadre unificateur.

De notre compréhension du passé géologique, on aimerait pouvoir prédire complètement le futur. Le mouvement des plaques est prévisible, les zones tectoniquement actives sont bien localisées et prévisibles... mais la prédiction des séismes, événements à la fois insignifiants en regard des temps géologiques et majeurs à l'échelle humaine, nous échappe encore.

Retenons enfin de cet exposé que l'unité de temps géologique est le million d'années, qu'un instant géologique en termes de mouvement de plaque équivaut à 3 millions d'années, et que l'axe du temps géologique est vertical. Devant une falaise ou une tranchée d'autoroute à travers une colline, le récent est en haut, l'ancien en bas et vous y contemplez des milliers d'années ou des millions d'années de notre histoire terrestre.

Références

En complément des quelques articles cités dans le texte, le lecteur trouvera sur cette liste de références plusieurs ouvrages de vulgarisation et des adresses de sites internet pédagogiques, sur lesquels cet exposé s'est appuyé.

Acot, P., *Histoire du climat. Pour l'histoire*, Paris, Perrin, 2003, 309 p.

Allègre. C.-L., 1985. *De la pierre à l'étoile*, Paris, Fayard, 300 p.

[53]

Bourque, P.-A., *L'histoire de la planète*, 2005.

http://www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html

Courtilot, V., *La vie en catastrophes. Les chemins de la science*, Paris, Fayard, 1995, 278 p.

Dalrymple. G.B., *The age of the Earth*. California, Stanford University Press. 1991, 474 p.

DeMets, C., R.G. Gordon, D.F. Argus & S. Stein, "Current plate motions" in : *Geophysical Journal International*, 1990. 101 :425-478.

Gordon, R.G. & S. Stein, "Global Tectonics and Space Geodesy", in : *Science*, 1992, 256(5055) : 333-342.

Gradstein, F.M., J.G. Ogg & A.G. Smith, *A géologie time scale*, Cambridge, Cambridge University Press. 2004. 610 pp.

International Commission on Stratigraphy. 2005. – <http://www.stratigraphy.org>

Palaeos Group, *The trace of life on Earth*, 2005 – <http://www.palaeos.com/Default.htm>

Raup, D.M. & J.J.J. Sepkoski, "Periodic extinction of families and genera", in : *Science*, 1986, 231(21 Feb. 1986) : 833-836.

Wilson. J.T., “Did the Atlantic close and re-open ?” in *Nature*, 1966, 211(5050) : 676-681.

[54]

[55]

La perception du temps.

“La perception du temps, en biologie.”

Pierre SPIERER

Doyen de la Faculté des sciences
Université de Genève
Section de biologie

Introduction

[Retour à la table des matières](#)

Dans un colloque où l’Homme et la Société sont au centre, l’intervention du scientifique de la nature se résume à ce qu’on appelait joliment une « leçon de choses ». N’ayant accès qu’aux causes secondes, le biologiste reste muet sur les causes premières, dont celle du sens. Mais le temps fait exception. Le sens du temps pourrait être en effet le seul sens que le biologiste trouve à la vie. Le temps de la vie passe, mais il est aussi compté. Ce seront les deux axes de cette courte leçon de choses.

Si le temps de la vie n’a qu’un sens, il couvre une large échelle de dimensions. Des milliards d’années depuis l’apparition de la vie sur Terre, des millions d’années de l’origine à la disparition d’une espèce, cent mille ans le temps de l’Homme, et des millénaires le temps d’une civilisation. Et nous n’en avons pas fini. Il y a encore les années du temps de l’individu, les mois du développement embryonnaire, les jours de la division cellulaire et les millièmes de secondes des réactions chimiques de la vie. Du millième de seconde au milliard d’années, ce sont quinze ordres de grandeur. Que choisir de discuter dans le temps qui

reste ? Nous nous limiterons à deux exemples : la perception et la mesure du temps par les cellules, et le vieillissement de l'organisme. Ces deux exemples concernent notre vie quotidienne, et sont de ce fait moins éloignés des thèmes de ce colloque.

L'horloge cellulaire et le rythme circadien

La chance ne sourit qu'aux esprits bien préparés, disait Louis Pasteur. La découverte il y a quinze ans de rythmes circadiens cellulaires par le professeur Schibler de l'Université de Genève l'illustre bien. Un étudiant préparant sa thèse était incapable de mesurer l'activité d'un gène dans le foie de souris. Cette mesure avait pourtant été faite dans le même laboratoire par un chercheur américain. La suspicion s'est bien sûr posée sur la jeunesse et l'inexpérience, mais les deux chercheurs avaient raison. Ce gène est inactif tôt le matin, quand le Suisse était déjà au travail, et actif le soir, quand l'Américain avait l'habitude de travailler. Cette coïncidence est à l'origine de résultats importants. Le rythme circadien est en effet la mesure du temps des organismes complexes.

Ces rythmes de 24 heures épousent l'alternance du jour et de la nuit pour la meilleure économie de l'organisme. En effet, la circulation sanguine, la digestion, le métabolisme du foie, l'activité des reins, la température corporelle sont des exemples de fonctions qui se mettent en veille pendant la nuit. La raison la plus évidente de ces mises en veille est en effet l'économie d'énergie. Oubliée provisoirement dans notre société humaine, elle est une nécessité pour la survie des espèces en compétition dans la nature.

Nous savons maintenant que le système circadien des mammifères est constitué par de multiples horloges réglées selon une hiérarchie. Les noyaux suprachiasmatiques de l'hypothalamus, à la base du cerveau, sont le site de l'horloge biologique centrale, et [56] l'ensemble des autres tissus et organes sont les sites d'horloges biologiques périphériques. La lumière solaire et la prise de nourriture sont considérées comme les deux facteurs environnementaux principaux susceptibles de régler l'horloge centrale. Cette horloge centrale envoie ensuite des signaux qui mettent à l'heure et synchronisent les horloges cellulaires, et donc les rythmes biologiques circadiens.

Plutôt que de régler directement et en permanence les rythmes biologiques, les horloges externes (lumière et nourriture) corrigent les écarts d'horloges internes largement autonomes. En effet, les êtres vivants isolés continuent à montrer un rythme circadien, mais ce rythme tend à se décaler avec le temps. Cette autonomie des horloges peut être démontrée jusqu'au niveau cellulaire. Le génie génétique a permis au professeur Schibler et ses collaborateurs de rendre fluorescente une protéine dont la quantité varie selon un rythme circadien. L'observation au microscope de cellules en cultures révèle une oscillation circadienne de la fluorescence et démontre ainsi l'existence de l'horloge circadienne autonome que possède chaque cellule.

La dissection du mécanisme de l'horloge cellulaire a mis à jour un oscillateur fonctionnant par rétroaction (*feedback*). Schématiquement, une protéine est synthétisée par la cellule, mais cette protéine a pour effet de réprimer sa propre synthèse. La quantité de protéine augmente donc pendant sa synthèse, puis l'accumulation de la protéine arrête la synthèse, ce qui conduit à une diminution de la quantité de la protéine dont la durée de vie est courte. En dessous d'un certain seuil, la synthèse n'est plus inhibée et l'accumulation reprend. La quantité de protéine va donc osciller, et ce cycle procure le garde-temps, le « *Zeitgeber* ». Ce cycle sera utilisé pour régler le métabolisme des états de veille et de sommeil en vue de la meilleure performance au meilleur coût énergétique.

Le vieillissement

Le phénomène de perception du temps décrit ci-dessus a ceci de particulier qu'il est cyclique, et ne semble pas avoir de fin tant qu'il est alimenté. Néanmoins, il faut ajouter un autre temps qui est celui du vieillissement. En effet, les espèces animales complexes sont caractérisées par une durée de vie. Sauf accident ou maladie, cette durée est bien définie au sein d'une espèce. Chez l'homme, elle a été estimée à 85 ans (hors maladies et accidents), avec des écarts importants liés en partie à une composante génétique.

Le vieillissement, qui implique une perception du temps, est l'objet de recherches intenses, qui n'ont pas encore fourni d'explication

globale satisfaisante. Un mécanisme de vieillissement proposé met en cause l'usure des chromosomes. C'est celui que j'ai choisi. Ce mécanisme est probablement une partie de l'explication, mais n'est pas suffisant pour rendre compte en entier du phénomène de vieillissement.

Ce que nous transmettons à nos enfants par l'intermédiaire des ovules et spermatozoïdes est appelé information génétique, ou génome. Cette information permet la croissance, le développement, la « maintenance » et la future reproduction d'un organisme vivant. L'information génétique de l'Homme est codée dans 23 paires d'immenses molécules linéaires organisées sous forme de chromosomes. Pour chaque paire, un membre est hérité du père et l'autre de la mère. Les unités fonctionnelles, schématiquement des recettes de cuisine, ont été dénommées gènes. Leur nombre est estimé à 30'000. La totalité du génome humain est un texte consistant en une séquence de trois milliards de lettres. Pour donner une illustration de la complexité, c'est le nombre de lettres formant trois cents volumes de l'encyclopédie Universalis. Pour l'essentiel, cette séquence est connue.

Cette information se trouve au sein de chacune de nos milliards de cellules, et elle est transmise de génération en génération. Cette transmission nécessite que ces molécules soient [57] reproduites pour passer d'une cellule mère à deux cellules filles. À chaque division cellulaire, les trois milliards de lettres des 46 chromosomes sont donc recopiées fidèlement. La « machine moléculaire » en charge de ce travail de copiste a néanmoins des difficultés à lire et copier les extrémités, c'est-à-dire la dernière centaine de lettres du message génétique des chromosomes. Pour cette raison, le chromosome raccourcit à chaque division cellulaire. Avec l'accumulation des divisions cellulaires, l'érosion du chromosome finit par détruire les fonctions génétiques proches des extrémités. Lorsque des recettes sont perdues, la cuisine est de moins bonne qualité. En avançant en âge, nous voyons tous les stigmates de cette érosion. Le vieillissement serait la conséquence inéluctable de l'érosion des chromosomes, et l'horloge consiste en un nombre de divisions conduisant à la mort cellulaire.

L'érosion graduelle et inéluctable des chromosomes, rythmée par les divisions cellulaires, conduit à un paradoxe. Pourquoi les espèces ne disparaissent-elles pas puisque les cellules germinales, celles que nous transmettons à nos enfants, doivent aussi se multiplier pour assurer la perpétuation de l'espèce ? Et comment se fait-il que des

organismes unicellulaires qui se propagent par simple division, et d'autres espèces qui se reproduisent par bourgeonnement, se multiplient sans fin et vivent une sorte d'immortalité ?

Pour répondre à cette question, les biologistes se sont donc intéressés à ces organismes qui se reproduisent par division ou bourgeonnement. La réponse a été trouvée chez un petit protozoaire. On y a découvert une machine moléculaire appelée télomérase. Cette machine a la capacité d'allonger les extrémités des chromosomes, et donc de contre-carrer l'érosion. Cette machine qui maintient l'intégrité des chromosomes au cours des divisions cellulaires est présente non seulement chez les microbes « immortels », mais aussi dans nos cellules germinales, celles qui donneront naissances aux ovules et spermatozoïdes. La télomérase n'est en revanche pas présente dans nos cellules somatiques, celles qui vieillissent. Nos corps qui s'usent hébergent donc une colonie de cellules « immortelles », la lignée germinale, qui ne contribuent pas à la formation des organes, mais que nous transmettons à la génération suivante. Très tôt après la fécondation, deux groupes de cellules se séparent : celles programmées pour vieillir vont constituer notre corps, pendant que les autres seront conservées précieusement, grâce à l'eau de Jouvence qu'est la télomérase, pour assurer la perpétuation de l'espèce.

La question que se sont ensuite posée les biologistes, probablement les plus avancés en âge parmi eux, est de savoir si la télomérase serait un remède au vieillissement. En effet, si on pouvait stimuler l'activité du gène de la télomérase dans les cellules somatiques, alors l'érosion des chromosomes ne devrait pas se produire, et les cellules devraient continuer à se reproduire. Cette hypothèse a été testée chez des cellules en culture. En 1998, par génie génétique, des cellules humaines mises en culture ont été « forcées » à exprimer fortement la télomérase. Alors que leurs consœurs arrêtaient de se diviser rapidement, les cellules modifiées continuaient à se diviser après une année. La recherche de médicaments activateurs de la télomérase serait-elle un moyen de lutte contre les inexorables outrages du temps ? Cette jeunesse maintenue artificiellement est-elle viable ? Ou ce vieillissement programmé des cellules ne répond-il pas à d'autres nécessités ?

Immortalité et cancer

Un autre argument pour impliquer la télomérase et l'érosion des chromosomes dans le vieillissement vient de l'étude des cancers. En effet, à l'image de la lignée germinale, un cancer est une population de cellules « immortalisées » issues de mutations génétiques de la lignée somatique. Cette population de cellules se divise sans limites, et doit voir aussi le moyen de se protéger de l'érosion des chromosomes. Les cellules cancéreuses semblent libérées de la limitation du nombre de divisions cellulaires que provoque l'usure. Et en effet,

[58]

la transformation de cellules somatiques normales en cellules cancéreuses est accompagnée par l'activation de la télomérase ou d'autres mécanismes de protection des extrémités des chromosomes.

Le maintien des extrémités des chromosomes est donc une nécessité pour la progression des cancers. Et par conséquent, le vieillissement programmé des cellules au rythme de l'horloge des divisions cellulaires est une puissante protection contre le développement des cancers. En voulant ralentir l'horloge du vieillissement, nous risquons de multiplier les cancers. Les recherches s'orientent donc plutôt vers des médicaments anti-télomérase pour rétablir l'horloge des cellules cancéreuses, plutôt que vers des médicaments activateurs de télomérase pour arrêter l'horloge du vieillissement.

En conclusion

Chez les organismes vivants, le cycle de lumière quotidien est la première référence pour la perception du temps. La vie s'est organisée en fonction de cette horloge qui l'a précédée. Elle l'utilise pour gérer au mieux son économie interne en fonction des variations d'activité réglées par l'alternance du jour et de la nuit. Par exemple, la baisse de la température corporelle et du métabolisme pendant la période d'inactivité nocturne chez l'Homme est une importante économie d'énergie, et donc de nécessité d'aliments. L'adaptation au cycle de jour et de nuit

est tellement importante pour les organismes vivants que des horloges cellulaires sophistiquées sont retrouvées jusque dans chaque cellule.

Mais les organismes complexes ont une durée de vie limitée et caractéristique pour chaque espèce. Cette caractéristique a été retenue par l'évolution jusqu'au niveau cellulaire ; elle est donc importante. Cette restriction de durée de vie permet premièrement l'évolution, et donc l'adaptation. En effet l'évolution dépend de la variation, qui elle même découle de la succession des générations. Nous avons vu ici qu'elle est aussi un mécanisme de contrôle de qualité protégeant la société de cellules formant un individu de la révolte de certains de ces membres. En effet, il suffit qu'une cellule, parmi les milliards qui constituent l'organisme, échappe à la perception du temps, pour qu'elle mette en danger l'organisme entier.

[59]

La perception du temps.

“Le temps, et l’économie.”

Beat BÜRGENMEIER

Directeur du Centre Universitaire d’Écologie Humaine
Université de Genève
Département d’économie politique

Introduction

[Retour à la table des matières](#)

Cette contribution traite du temps et de sa place dans les sciences économiques. Elle est divisée en trois parties. La première cherche à définir la notion du temps en montrant qu'elle connaît des définitions différentes en relation avec l'économie. La deuxième s'interroge sur la dimension temporelle de la croissance économique et sur son lien avec le bien-être. Enfin, la troisième partie conclut sur la monétarisation du temps en l'opposant à la recherche de valeurs non monétaires, notamment en relation avec le concept du développement durable.

Quel temps ?

La réalité sociale est d'une complexité telle que nous ne disposons pas d'un modèle unique pour nous la représenter et la comprendre dans toutes ses facettes. Nous devons nous contenter d'un puzzle dont les différentes pièces sont formées par des modèles « faux » dans le sens de Feldstein (Feldstein, 1982). Chaque modèle pris pour lui-même

omet certaines variables nécessaires pour cerner le tout. Il est donc forcément partiel. Si les sciences humaines se sont de plus en plus spécialisées pour distinguer aujourd'hui, entre autres, les sciences économiques des sciences sociales, c'est moins pour favoriser la compréhension du tableau complet, que pour l'approcher par une multitude de modèles partiels. Sans aucun doute, cette démultiplication a isolé les différentes disciplines dans leurs propres logiques. Cet isolement peut certes être compris comme une quête vers une plus grande autonomie scientifique par rapport à la philosophie qui se trouve à la base de ce développement. Elle exprime également une attente. Le progrès de la connaissance est censé venir d'une spécialisation accrue en disciplines distinctes traitant la dimension temporelle d'une manière différenciée. Cette quête cherche également à introduire de plus en plus des critères de rigueur scientifique et de cohérence logique qui ont plus cours en sciences naturelles qu'en sciences humaines. La modélisation en sciences économiques est peut-être allée le plus loin dans cette direction et s'est aujourd'hui largement soumise à ces critères. Il n'est donc pas étonnant que la modélisation du temps en sciences économiques s'inspire largement.

Cependant, nous devons admettre que certaines pièces nous manquent toujours car elles se situent dans les domaines difficiles à modéliser comme l'éthique, le religieux ou la culture. Il est donc tentant de réduire la complexité sociale à des modèles abstraits et partiels pour comprendre la réalité sociale d'une manière aussi simple que possible. C'est souvent par les modèles les plus rudimentaires que nous pouvons le mieux comprendre l'essentiel de la complexité sociale. Ces modèles simples imposent à notre raisonnement une abstraction élevée qui laisse peu de place à un traitement explicite de la dimension temporelle.

Il y a donc dans la démarche déductive de la théorie économique un paradoxe. Afin de pouvoir analyser avec succès les pratiques économiques et sociales couramment observées, cette théorie est basée sur des hypothèses simplificatrices qui peuvent même faire abstraction [60] du temps. Par ailleurs, la même démarche cherche à en tenir compte par des modèles discrets en distinguant notamment entre stocks et flux qui semblent mieux tenir compte du temps tel qu'il est compris dans les pratiques économiques couramment observées. Or, les pratiques et les théories ne s'opposent pas, mais sont intimement liées entre elles.

Malgré le fait que certains modèles, comme les modèles statiques, font abstraction du temps, cette référence reste omniprésente. Elle nous interpelle sur l'aspiration des sciences économiques qui cherchent à être évaluées selon des critères scientifiques. La question porte dès lors sur le choix de ces critères capables de tenir compte de la dimension temporelle au mieux. Est-ce que ce sont les critères des sciences naturelles ou ceux des sciences humaines ? Est-ce que la science économique est capable de développer ses propres critères tenant compte de sa spécificité ?

En s'interrogeant sur le temps, la science économique se situe forcément à la croisée des chemins. D'une part, une modélisation en termes d'équations différentielles, d'autre part une analyse inspirée de l'histoire économique. Soit la science économique évolue vers les sciences naturelles, soit elle reste une science morale.

Économie et science

À Genève, les sciences économiques ont été enseignées jusqu'à la fin du XIX^e siècle à la Faculté des lettres dans le cadre de la chaire de philosophie sociale. Adam Smith, considéré comme père fondateur des sciences économiques, paraphrasait la croissance économique par « la richesse des nations » et insistait lui-même sur la dimension morale.

C'est seulement au XX^e siècle – la création de la Faculté des sciences économiques et sociales à Genève date de 1915 – qu'on a ressenti la nécessité de sortir cette discipline des lettres qui se sentaient mal équipées pour aller vers cette technicité-là. À l'époque, des tendances très disparates apparaissaient, parmi lesquelles une tendance radicale, qui affirmait que les sciences économiques ne seraient jamais d'un niveau universitaire. La comptabilité et la gestion doivent être enseignées dans une école. Cette tendance était suffisamment forte pour créer, notamment aux États-Unis, des « business schools » plus orientées vers les techniques de gestion que sur les questions intellectuelles sur le traitement du temps dans les modèles économiques. Au fond, on était de l'avis que les économistes ne sont pas des vrais intellectuels. Par la suite les « business schools » se sont dotées de tellement de moyens et se sont associées à d'autres compétences qu'elles sont

devenues aujourd'hui, dans de nombreux cas, intellectuellement plus fortes que certaines universités.

En Suisse, on a connu aussi la tendance de lier les nouvelles sciences économiques au droit, qui s'occupait depuis longtemps de la régulation sociale. La Faculté de droit et d'économie à Neuchâtel en est un exemple. Cette tendance s'inscrit dans l'économie institutionnelle aujourd'hui plutôt située dans l'économie hétérodoxe. Cette branche traite forcément le temps dans une autre optique que l'économie orthodoxe dominée par le courant néoclassique.

À Genève s'est créée, sous l'influence de l'école sociologique française, une nouvelle Faculté des sciences économiques et sociales, car le désir d'autonomie des sciences économiques était partagé par les sciences sociales, notamment la sociologie. En 1915 on avait bel et bien l'idée de réfléchir sur l'économie ensemble avec les sciences sociales. Le lien entre l'économie et le social était donc très fortement représenté dans cette tendance qui tenait compte du fait que la sociologie se comprenait dans ses débuts comme une explication, alternative à l'économie, de la complexité sociale. Le traitement du temps social que la théorie néoclassique a discutée d'une manière controversée, ne se distinguait pas seulement sur le fond, mais également du point de vue de la méthode. Moins déductive que la théorie économique dominante, la [61] sociologie utilise plus souvent une méthode inductive favorisant ainsi une relativité temporelle contenue dans le changement incessant des institutions sociales.

La suite est connue. D'une part, certains représentants de la Faculté des lettres n'ont pas apprécié la création de la Faculté des sciences sociales et économiques à Genève. Cette nouvelle Faculté nécessitait des moyens financiers qui manquaient à leur propre développement. Certains considéraient cette nouvelle Faculté avec un certain dédain en se considérant un peu comme les gardiens du temple. Ils s'interrogeaient sur ce nouveau venu qui était en train de s'approprier une parcelle du savoir qu'ils croyaient avoir si bien gardé dans le cadre de la philosophie sociale. La Faculté SES a donc dès le départ cultivé une sorte de complexe d'infériorité par rapport aux disciplines antérieures. Pour surmonter un certain mépris des sciences humaines, les sciences économiques et sociales ont emprunté de plus en plus d'instruments aux sciences naturelles. Le temps devenait de plus en plus une variable abstraite.

Les représentants des sciences naturelles étaient parfois touchés par le zèle avec lequel les sciences économiques se sont appropriées des éléments de mathématiques et statistiques pour promouvoir des méthodes quantitatives et une réflexion plus rigoureuse, mais cela ne les empêchait pas de garder leur superbe. Ils savaient la société avec eux comme ils étaient à l'origine du progrès scientifique que la société associait pendant longtemps au progrès tout court. Le progrès technique était pour notre société, tout au long de la révolution industrielle, presque synonyme du progrès social. En tout cas, il reste un facteur puissant qui alimente la croissance économique. Cette image du progrès existe toujours, mais s'érode. Les modèles de croissance économique d'inspiration néoclassique semblent pourtant bien tenir compte de la dimension temporelle. Ils se réfèrent explicitement à la variable temps et se servent par conséquent de différentielles qui sont d'autant plus difficiles à résoudre, plus ces modèles tentent de tenir compte de plusieurs variables. Or, ces modèles dynamiques sont basés sur une dimension temporelle infinie. La croissance est censée se poursuivre infiniment grâce à l'accumulation du capital et des innovations nouvelles alimentées par des investissements continus dans des activités de recherche et de développement. Malgré leur forme discrète, ces modèles font donc abstraction du temps. L'astuce consiste à les prolonger à l'infini.

Les sciences économiques et sociales sont donc dans un dilemme. D'un côté, les représentants des sciences humaines se considèrent souvent comme les vrais représentants de la culture, de la philosophie et des études religieuses et donc implicitement des questions morales. De l'autre côté, les scientifiques continuent à se considérer comme les vrais chercheurs des phénomènes complexes et se sentent donc implicitement être à l'origine du progrès technique.

Les sciences économiques et sociales se situent donc forcément dans un champ de tension et ne peuvent compter sur des alliances bien établies. Leur traitement du temps est forcément contesté à la fois sur le plan philosophique et sur le plan scientifique.

Il est certainement un peu abusif d'affirmer que le monde du savoir est un monde de pouvoir. En tant que raccourci, cette affirmation nous rend cependant attentifs au fait que le traitement du temps dans la science économique décide également de l'influence qu'elle peut exercer sur la politique. Interprétée en tant que science de Faction, elle est censée fournir des recommandations pour la conduite de la politique économique et indiquer aux décideurs comment leurs objectifs peuvent être atteints au moindre coût.

Elle s'oriente donc forcément au critère d'efficacité dans un horizon temporel relativement rapproché. La durée d'amortissement des investissements nous donne une idée de cet horizon. Ce n'est que dans des immobilisations exceptionnelles comme la construction d'un tunnel que [62] la durée est de cent ans. La plupart des investissements sont amortis en quelques années seulement et l'on constate avec une titrisation croissante une concentration sur le temps de plus en plus court. Le traitement du temps devient rapide et cherche à être objectif.

Du point de vue des sciences humaines, le temps prend une autre dimension. C'est l'étude de l'histoire qui sert d'étalon. La durée s'étend souvent à plusieurs siècles. Elle est moins orientée vers un critère unique, mais favorise une approche multicritères faisant intervenir des aspects importants évoluant à travers des institutions parfois très lentement, comme les lois fondamentales garantissant la cohésion sociale ou encore une idée de justice sociale. Nous sommes dans le domaine du temps lent et subjectif.

La pensée humaniste n'a pas de lobby dans notre société. Un économiste orthodoxe est soutenu par le lobby des affaires. Un scientifique pratiquant des recherches appliquées est courtisé par les lobbies industriels. Les humanistes qui réfléchissent sur le sens, sur la finitude de la vie et ses expressions culturelles très diverses non seulement dans le temps, mais également dans l'espace, n'ont pas d'alliés puissants. Mener des recherches fondamentales en sciences humaines, apprendre des langues comme l'expression la plus tangible de la diversité culturelle évoluant dans le temps, se demander comment dans d'autres cultures, dans d'autres langues, la finalité économique s'exprime, n'établit que rarement un lien avec les décideurs et n'a pas de prise d'influence directe sur la politique économique. La seule réflexion ne semble produire et vendre aucun objet.

Dans l'optique de la science économique, cette interprétation ne peut être soutenue, car les activités économiques peuvent parfaitement porter sur celles qui sont du domaine culturel sans forcément y voir une expression mercantile. Elles ont, déjà à l'heure actuelle, un contenu immatériel qui augmentera sans doute encore à l'avenir. Elles sont donc tellement générales qu'elles semblent être universelles comme l'expression même de toutes activités humaines. Or, dans nos sociétés, l'organisation des activités économiques continue à être hiérarchisée exprimant des relations de pouvoir qui évoluent forcément dans le temps.

Un intellectuel est censé abdiquer la quête du pouvoir pour se consacrer entièrement à la recherche de vérité. Il peut au mieux proposer à notre société une réflexion portant sur la façon dont se traitent des thèmes propres à l'existence humaine comme la vie et la mort, la passion, la haine et l'amour. À cette fin, quel temps choisit-il ? Le temps court et objectif ou le temps long et subjectif ?

Les études en sciences humaines ne débouchent que rarement sur des positions de pouvoir. Elles préparent le plus souvent à des professions d'enseignants, mais il n'est pas exclu que les diplômés en sociologie ou en philosophie deviennent également des chefs d'entreprise. Or, les sciences humaines et sociales ne forment pas directement d'ingénieurs, de médecins, de juristes ou de gestionnaires qui sont des acteurs puissants également du point de vue économique. Le parcours en sciences humaines n'est pas fléché en direction du temps court, mais en direction de la réflexion sur le sens de nos actes.

Le temps : une variable gênante

La question d'orientation de la science économique et la relation qu'elle cherche à entretenir avec les décideurs des politiques économiques et sociales nourrissent donc une controverse sur le traitement du temps. Elle illustre le fait que la variable « temps » gêne la modélisation qui cherche à démontrer l'existence de lois universelles en économie indépendantes du temps.

Or, le fil des événements économiques, comme tout fil historique, est unique. L'histoire ne se répète pas, mais nous impose des événements imprévus, des bifurcations surprenantes et des chocs uniques

dont nous ne percevons l'importance que subjectivement. En effet, l'intensité et la durée de ces événements échappent en grande partie à une mesure objective du temps et [63] confrontent l'économiste au problème du temps subjectif. C'est sans doute la raison pour laquelle les approches institutionnelles en économie continuent à concurrencer la modélisation néoclassique malgré le fait que la dernière soit sortie victorieuse de la querelle des méthodes opposant deux représentants les plus en vue de leur époque. L'un, représentant de l'école institutionnelle allemande, Gustav Schmoller (1884) insistait sur la prise en compte de l'évolution de l'histoire dans l'analyse des phénomènes économiques. L'autre, représentant de l'école marginaliste, Karl Menger (1883) défendait la modélisation néoclassique naissante en montrant que la formation du prix sur un marché peut s'expliquer en faisant abstraction du contexte historique. Dans ce sens, la théorie néoclassique est atemporelle.

Il vaut la peine de reprendre la définition de Schmoller du marché : « C'est une place et *un temps* où des acheteurs et des vendeurs se rencontrent » (1904, p. 474, notre traduction et notre mise en évidence). Décidément, la notion du temps est différente de celle qui a été utilisée par Menger pour justifier l'échange sur un marché, les décisions d'achats et de vente obéissant au critère d'égalité entre le coût et le bénéfice marginaux. Le temps n'intervient que dans le sens dynamique afin de modéliser le chemin d'ajustement vers le prix d'équilibre. La théorie néoclassique s'inscrit parfaitement dans cette logique. Elle alimente aujourd'hui le courant principal de la science économique.

Dans cette optique, un des modèles simples les plus courants se caractérise par une cohérence logique formelle que certains qualifient d'esthétique, sans doute pour se consoler de l'éloignement théorique qu'il représente par rapport aux observations empiriques (Jaffé, 1956). En effet, des auteurs influents considèrent le modèle néoclassique comme atemporel et ahistorique (cf. Hicks, 1979, Georgescu-Roegen 1971). D'autres par contre montrent que ce modèle n'est pas nécessairement sans dimension temporelle. Plusieurs modèles faisant partie de la famille néoclassique traitent le temps explicitement (cf. Koopmans, 1957).

À notre avis, cette controverse sur la place et le rôle du temps dans l'analyse économique se retrouve dans le débat sur la croissance face à la dégradation de l'environnement. D'un côté une approche

exclusivement économique de l'environnement, de l'autre, une approche interdisciplinaire inspirée par le concept du développement durable. L'une se réfère au temps court, l'autre à un temps long.

Quelle croissance ?

Le temps détient un élément clé de la compréhension que nous avons du lien entre la pollution et la croissance économique. Il devient crucial dans toute analyse stratégique qui cherche à dépasser l'hypothèse « toutes choses égales par ailleurs » exerçant une véritable contrainte infranchissable à toute modélisation économique. Les modèles économiques traditionnels supposaient que les activités économiques n'engendrent pas de dégradation environnementale durable dans le temps. Le correctif s'opérerait plus ou moins rapidement par un simple changement de prix relatifs. Ce changement n'entraîne pas seulement une modification de la fonction de production par l'innovation technique, mais également celle de la fonction de consommation.

Les observations empiriques depuis les années cinquante environ donnent tort à cette conclusion théorique et remettent en question la modélisation néoclassique de la croissance économique.

Croissance économique en question

La croissance économique est le résultat de l'effort productif compris comme un instrument pour atteindre un bien-être économique le plus élevé possible. Or, la préservation du milieu vital nous interroge fondamentalement sur le sens et la finalité de la croissance économique. Est-ce qu'elle peut se poursuivre indéfiniment ou est-ce qu'elle se trouve exposée à une [64] « flèche du temps » comme Nicolas Georgescu-Roegen (1971) appelait son exigence de raisonner dorénavant dans un « monde fini » exposé à la contrainte du temps ?

Dans l'optique du temps historique, la croissance économique concernait surtout la production agricole. Elle signalait donc la capacité de survie en fonction d'un cycle naturel de bonnes et de mauvaises récoltes qui se déroule d'une manière aléatoire – ou en dehors du pouvoir

humain – quel que soit le temps. Les dieux étaient tenus pour responsables de la pluie et du beau temps. L'homme n'avait qu'à se soumettre à la nature et au temps.

Sur ce cycle naturel s'est greffée l'évolution démographique qui affiche une tendance lourde sur le plan mondial. La croissance démographique a pris une forme exponentielle depuis la révolution industrielle. La croissance économique par tête est devenue ainsi, tout au long du temps historique, un indicateur de niveau de vie. Le développement d'un pays est souvent réduit à la seule expression de sa croissance par tête. Bien que le concept de développement soit plus large et inclue non seulement des aspects de distribution des revenus et des fortunes, mais également des différences culturelles significatives, il est souvent réduit à la seule croissance économique. Le temps historique sert ainsi à exprimer des aspirations d'équité et de respect culturel.

Ce n'est qu'à partir de la révolution industrielle qu'il y a distinction entre croissance et développement. Elle est également à l'origine de l'idée que l'homme parvient à maîtriser la nature et le temps. C'est par le salaire que le temps a été monétarisé et a trouvé enfin une expression forte en économie.

Or, la croissance ne tient pas compte des activités non monétaires comme le bénévolat et le temps libre. Elle se réfère donc à une vision tronquée des activités humaines en excluant notamment « le tiers secteur » de l'analyse économique. Ce secteur complète un premier secteur des activités marchandes et un deuxième secteur regroupant les activités d'économie publique. Son développement peut servir d'indicateur de solidarité et de cohésion sociale. Le temps libre est une autre facette du temps dans l'économie qui échappe à l'analyse. Ce temps-là est traité comme un bien libre ne connaissant pas de rareté et n'ayant pas de prix.

Les nombreuses variables explicatives de la croissance économique se trouvent réduites à une expression abstraite du capital, concentrant ainsi notre attention sur le rôle du capital qui est constitué de biens manufacturés utilisés pour produire d'autres biens. Ce n'est qu'en transformant le stock de capital en flux d'investissement, que la dimension temporelle est prise en compte.

Le fort degré d'abstraction de la théorie de croissance néoclassique désigne par le terme « capital » une étonnante diversité conceptuelle.

La prise en compte de l'environnement cherche notamment à étendre la notion de capital au domaine environnemental compris comme un « capital naturel » qui est en train de s'épuiser dans le temps.

Or, si ce raisonnement est basé sur une hypothèse courante dans la modélisation en supposant que « toutes choses égales par ailleurs », il fait abstraction du temps durant lequel le « capital naturel » risque de s'épuiser. Par conséquent, la variable explicative « capital » doit rester abstraite, ce qui signifie que la fonction de production ne s'exprime que par l'évolution du capital par tête. Qu'en est-il lorsque nous assouplissons cette hypothèse et introduisons le progrès technique ?

Une façon simple de l'introduire est de supposer que pour le même capital par tête, il est possible d'obtenir une production par tête plus élevée. Il est facile d'exprimer un progrès qui soit neutre ou économise soit du travail, soit du capital. Le rapport entre le capital et le travail reste constant, augmente ou diminue respectivement. Fondamentalement, cela ne change pas [65] la conséquence du progrès technique sur la croissance qui se poursuit infiniment indépendamment du temps.

Croissance économique et pollution

Deux facteurs fondamentaux sont donc à l'origine de ce processus. L'un concerne l'intensité capitaliste et l'autre le progrès technique. L'action conjuguée des deux facteurs est donc également mise à contribution pour juguler la pollution. Elle s'expose dans la dialectique suivante :

- *Thèse néoclassique* : La pollution peut être parfaitement maîtrisée par le progrès technique. La poursuite de la croissance est donc compatible avec la protection de l'environnement. Le temps devient infini.
- *Antithèse écologique* : La poursuite de la croissance est incompatible avec la protection efficace de l'environnement. Tout ne peut être résolu technologiquement. Il y a une contrainte de temps dans les activités économiques.

- *Synthèse* : La croissance économique ne peut se poursuivre et la pollution être maîtrisée que si une politique environnementale volontariste est mise en place. La croissance infinie doit changer de contenu.

La thèse néoclassique postule la parfaite maîtrise de la pollution par le progrès technique. Elle a connu une illustration plus idéologique que scientifique portant sur la courbe environnementale de Kuznets. Initialement, la courbe de Kuznets illustre des observations empiriques sur l'évolution des inégalités sociales aux États-Unis à l'aide de statistiques sur la distribution des revenus dans la deuxième moitié du XIX^e et au début du XX^e siècle (Kuznets, 1955). Ces inégalités augmentaient d'abord au début de la révolution industrielle et diminuaient ensuite. Tout au long de ces périodes, la croissance économique se poursuivait.

La conclusion tirée de ces observations empiriques paraissait limpide : La croissance économique est un puissant facteur pour diminuer les inégalités sociales. Cette conclusion s'appuyait sur l'observation que l'exode rural ne faisait que s'amplifier au début de la révolution industrielle. Les paysans devenaient des ouvriers. En croyant échapper à une lutte de survie dans les campagnes, ils s'engageaient massivement dans les fabriques en rapide expansion. La pauvreté se généralisait, mais avec l'industrialisation et la production de masse, les revenus augmentaient et pouvaient de plus en plus être affectés à des programmes de sécurité sociale. Parallèlement, de nouvelles lois sur les fabriques imposaient de standards d'hygiène, de sécurité et de protection des ouvriers, notamment pour les jeunes.

Cependant, cette explication que Simon Kuznets a donnée à la relation empirique entre un indicateur statistique des inégalités et la croissance économique reste contestée. La thèse la plus connue conclut sur « un effet de ruissellement » tout au long de l'échelle sociale. Si les plus nantis sont peut-être ceux qui profitent en premier de la croissance économique, tôt ou tard ses effets bénéfiques se font sentir à tous les niveaux et finissent également par profiter aux plus pauvres. Or, cette théorie reste muette sur le temps qu'il faut pour que les effets de la croissance économique profitent à tous. Elle reste donc contestée. La généralisation et l'actualisation de la courbe de Kuznets, notamment dans les pays en voie de développement, ne se sont pas confirmées. Les

marchés des capitaux parfaitement intégrés sur le plan international offrent partout des placements aux gains de la croissance. La mobilité internationale du capital est devenue parfaite et infinie dans le temps. Malgré la croissance économique, les inégalités sociales perdurent, voire se renforcent dans certains pays du tiers- monde.

[66]

Malgré ces interprétations contrastées, la courbe de Kuznets originale fut transposée dans le domaine environnemental. Pour y parvenir, il suffisait de remplacer l'indicateur statistique des inégalités sociales par un indicateur de la pollution. Cette fois-ci, la référence au temps historique manque complètement.

La courbe environnementale exprime une prédiction basée sur le modèle néoclassique et comme toute prédiction, elle est contestée en fonction de la prise en compte du temps. Si pour les uns, la croissance économique contribue à réduire la pollution, c'est à nouveau grâce au progrès technique qui s'introduit à un rythme, certes inconnu, mais continu et d'une manière infinie dans les activités économiques futures. Par contre, pour les autres, la poursuite de la croissance économique ne fait qu'empirer la dégradation de l'environnement, car le progrès technique à lui seul ne parvient pas à résoudre les problèmes environnementaux, enchevêtrés qu'ils sont avec ceux d'ordre démographique, social et écologique. Le temps doit être pris en compte pour exprimer ce chemin.

De nombreuses études empiriques ont cherché à vérifier la courbe de Kuznets environnementale. Elles ne faisaient qu'ajouter à la confusion. Si pour certains polluants un découplage de la croissance économique a pu être observé, pour d'autres, notamment pour l'énergie d'origine fossile, la relation entre l'accroissement de la pollution et la croissance économique reste positive. Non seulement nous ne disposons pas d'un seul indicateur de la pollution, mais nos connaissances des interactions entre les écosystèmes et les activités humaines sont trop lacunaires pour fournir une preuve scientifique du lien entre pollution et croissance. La recherche de causalité simple n'est pas adéquate pour modéliser ces interactions complexes.

Décroissance

L'hypothèse de la décroissance est basée sur une interprétation du temps qui impose une contrainte comme la dégradation de l'environnement entraîne un tel coût économique que la croissance devient négative. Elle exprime également une autre idée sur les valeurs économiques. Au lieu de les exprimer en termes monétaires et par la croissance économique, le concept de la décroissance les exprime en termes physiques et met en relief le lien entre la croissance et la consommation d'énergie. Or, en termes physiques, l'énergie se mesure en travail qui, à son tour, est également un facteur de production. En exprimant toute activité humaine en termes énergétiques, le fonctionnement de l'économie se prête à être analysé par des lois thermodynamiques. Supposons que l'économie est un système fermé. Dans ce cas, ces lois se résument de la manière suivante :

- * *La première loi thermodynamique* stipule que la masse reste constante : rien ne se perd, rien ne se crée.
- * *La deuxième loi nous renvoie au concept de l'entropie*. Tout travail consomme de l'énergie qui se dissipe dans un processus de production. De la basse entropie, mettant une énergie utile à notre disposition, nous passons forcément à la haute entropie rendant l'énergie inutilisable. Toute production implique une dissipation énergétique irréversible. Cette flèche du temps limite tout processus de production. À la longue, il ne peut y avoir de croissance illimitée.

L'exigence de la décroissance semble donc être le résultat logique d'un raisonnement qui refuse une expression monétaire de la performance économique. C'est sans aucun doute Nicolas Georgescu-Roegen qui est le maître-penseur de la décroissance. C'est lui qui a incarné le mieux cette pensée radicale et a fourni une identification forte au mouvement de la décroissance (Georgescu-Roegen, 2004). Le débat entre lui et les tenants de la théorie de la croissance a alimenté la controverse sur le sens de la croissance (Daly, 1999). La décroissance [67] se réfère à un monde fini, limité dans le temps, la croissance à un monde infini. L'épuisement des ressources naturelles notamment de l'énergie sert de justification pour la décroissance, la capacité d'innover pour la croissance.

Soulignons le fait que les deux concepts ne se situent pas dans la même dimension temporelle. D'un côté, l'horizon temporel se définit en milliers d'années, de l'autre, il se définit en centaines. Ce saut dans l'échelle du temps contribue à expliquer le dialogue de sourds entre les économistes de la croissance et ceux qui réclament un mouvement vers la décroissance.

Le concept de la décroissance exprime au fond une vision pessimiste de l'évolution future des activités économiques. En affirmant que la décroissance est la conséquence logique de l'application des lois thermodynamiques, il exprime une vision de l'homme qui ne peut dominer la nature, mais qui en fait partie intégrante. Il est basé sur la transposition des lois thermodynamiques dans le domaine des sciences humaines.

Or, il faut être attentif au sens des mots, surtout lorsqu'on les utilise comme métaphores. Est-ce que vraiment ces lois, dans le sens des sciences naturelles, peuvent, sans autre, être transposées dans le domaine économique ? Nous répondons forcément par la négative à cette question, car pour nous la science économique reste toujours une science morale. Nous retrouvons ainsi la distinction que nous avons introduite dans la première partie en nous interrogeant sur l'appartenance de l'économie soit au domaine des sciences naturelles soit à celui des sciences humaines.

Cette fois-ci, la relation se renverse. Si l'économie est interprétée dans un esprit positiviste, en favorisant une approche technique et instrumentale, elle est soumise à la contrainte du temps. Elle s'expose à « la flèche du temps ». Si elle est interprétée dans la perspective des sciences humaines, elle nous interpelle sur des questions de fond, celles qui portent sur la finalité de l'activité humaine et le bien-être. La poursuite infinie de la croissance ne peut être l'unique réponse.

Si le bien-être économique le plus élevé possible est atteint par la croissance, il y a dégradation de l'environnement. S'il est atteint par la décroissance, il implique une interprétation différente et plus complexe. Il ne peut plus être exprimé uniquement en termes économiques. Il doit forcément contenir des critères écologiques. Le concept de décroissance tenant explicitement en compte une contrainte temporelle exprime une critique forte de l'hégémonie économique dans les images sociales que nous utilisons pour exprimer la réussite sociale et les valeurs d'une société de consommation.

La poursuite de la croissance à l'infini et la revendication de la décroissance cachent en fin de compte un débat sur la gouvernance et la régulation sociale. Si la première option s'oppose plutôt à des interventions publiques, attribuant la capacité d'innovation aux individus et non pas à l'État, la deuxième justifie une politique volontariste. Or, en pratique ces conceptions tranchées laissent la place à des formes mixtes. Nous observons actuellement de nombreuses politiques d'innovation technologique, notamment dans le domaine de l'armement et des réseaux d'intérêt complexes entre l'État et le privé. Face à la dégradation de l'environnement, ces pratiques se poursuivent sans doute et les règles institutionnelles régissant le fonctionnement des marchés se modifient sans cesse. À nouveau le temps dans l'économie s'exprime par ce changement institutionnel.

Or, le rôle des institutions était le sujet de la « bataille des méthodes » entre l'école historique allemande et l'école néoclassique. Si la première insistait sur les changements institutionnels, la deuxième les supposait constants. Dans cette dernière optique, les phénomènes économiques s'expliquent par un calcul propre à l'individu et non pas par des changements des institutions. Derrière le débat sur le temps, il se cache donc un malentendu sur le rôle et la [68] place des institutions sociales dans notre compréhension de l'économie. Or, ce malentendu peut être levé en se rappelant que le marché n'est pas un mécanisme autorégulateur, mais une construction sociale. Son aménagement est du ressort de la société civile. Il situe l'économie dans son contexte social et environnemental. La réflexion sur le temps nous conduit donc forcément à comprendre pourquoi la référence au développement durable est-elle en train de supplanter le concept de la croissance économique.

Développement durable

Le concept du développement est issu d'un processus de négociation et de plusieurs rapports internationaux. Vers la fin des années cinquante jusqu'au début des années soixante-dix, des premiers avertissements concernant la pollution ont cédé la place à la prise de conscience que la croissance économique exponentielle ne peut durer indéfiniment. Le traitement du temps en économie se trouve donc à l'origine de ces réflexions. Les deux crises du pétrole y ont contribué d'une manière

décisive. En 1973 et en 1980, le prix du pétrole a fortement augmenté. Lorsqu'en 1973, la guerre du Kippour éclate, le prix du baril était à peine à quatre dollars. Le prix le plus élevé, d'environ 36 dollars, fut atteint en 1980. Entre temps, ce prix est redescendu à son niveau antérieur en termes réels, mais l'importance de nouvelles formes énergétiques a été comprise. L'épuisement du pétrole a été ressenti comme une véritable menace pesant sur le chemin de la croissance économique.

Cette prise de conscience ne s'est pas traduite par une hausse de prix durable qui aurait dû signaler qu'une exploitation au rythme actuel des ressources naturelles, comme le pétrole et l'uranium, conduit à leur épuisement. À terme, leur contribution à la croissance économique est compromise. L'amélioration du sort des pays du tiers-monde détenant certaines de ces ressources se trouve affectée car ces pays ne peuvent indéfiniment compter sur les revenus y relatifs pour se développer. Comme les termes de l'échange n'évoluent pas dans le même temps que la consommation énergétique, l'« effet signal » des prix se trouve brouillé.

Le rapport Brundtland s'en inspire. En 1972, la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement s'est réunie à Stockholm. Elle a réfléchi sur le lien entre environnement et développement et a insisté sur l'importance que la protection de l'environnement a pour le développement économique du tiers-monde. L'environnement représente un facteur important pour l'évolution du bien-être. Elle s'interroge sur les perturbations de l'équilibre écologique de la biosphère dues à la pollution.

Cette conférence a donc influencé d'une manière décisive la suite des travaux poursuivis au sein de l'ONU dont la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (1988) a été chargée d'approfondir les thèmes abordés à Stockholm. Cet approfondissement concerne une meilleure compréhension des écosystèmes. Une publication des instances de l'ONU, appelée rapport Hammarskjöld de 1975, insiste sur l'éventualité d'un risque planétaire qui consiste à dépasser une certaine limite au-delà de laquelle la biosphère serait surchargée et romprait ainsi les équilibres naturels. Cette « capacité de charge » devient ensuite une des caractéristiques majeures du développement durable. Compte tenu de l'hypothèse de ressources limitées, il faut donc « commencer, avec rigueur, par dire qui consomme les ressources et à quoi elles sont utilisées (...). La pression sur les ressources, qui est réelle et complexe, n'a donc pas grand-chose à voir avec la pression

démographique en soi. Tout au plus suggère-t-elle que le style de consommation des pays industrialisés soit insoutenable si quatre ou dix milliards d'êtres humains l'adoptaient, mais c'est un argument pour changer le style de consommation des pays industrialisés, plutôt que pour conseiller aux pauvres de réduire leur natalité » (Beaud, 1989, p. 12).

Cette citation capte l'essentiel de la controverse qui s'engage autour de la notion de la soutenabilité : le mode de vie, l'industrialisation dans les pays occidentaux et l'explosion [69] démographique dans les pays en voie de développement sont identifiés comme les deux causes principales de la dégradation de l'environnement.

Cette opposition entre deux sources principales possibles d'une éventuelle surcharge, a donné lieu en 1982 à un rapport correctif de l'OCDE insistant sur le problème de la croissance démographique. Un autre rapport de la Commission indépendante sur les problèmes du développement international intitulé « Nord-Sud : un programme de survie » rappelle le risque planétaire qui ne peut être endigué que par une stratégie qui reconnaît explicitement le lien direct entre les questions de développement et celles qui sont liées à la protection de l'environnement à l'échelle mondiale. Cette stratégie inclut les inégalités sociales entre pays développés et pays en voie de développement dans la politique de protection de l'environnement.

Enfin, l'idée d'éco-développement, qui trouve son origine dans les délibérations de la Conférence de Tokyo de l'UNESCO en 1970, a également influencé le concept de développement durable. Cette idée a émergé dans la discussion sur le rôle des sciences sociales et leur apport dans l'analyse du lien entre la société et l'environnement. Les travaux d'Ignacy Sachs ont marqué les réflexions menées dans le cadre du Programme des Nations Unies pour le Développement, sur le lien entre le développement et l'environnement (cf. Sachs, 1994). Nous rejoignons ainsi la dimension du temps historique dans les analyses économiques.

Le diagnostic de Sachs part du constat d'une « crise de développement ». Cette crise a plusieurs origines, mais le fait que la croissance économique se déroulant infiniment dans le temps ne soit pas synonyme de développement, rend nécessaire un renforcement de la coopération internationale. Quels organes de coordination internationale peuvent efficacement organiser à la fois les mesures pour la protection de

l'environnement et pour le développement du tiers-monde ? La Commission mondiale sur l'environnement et le développement fournit une réponse dans son rapport de 1987. Le concept de développement durable devient ainsi la référence incontournable dans tout débat alliant la protection de l'environnement à l'économie et au social. Il signifie :

1. Une approche mondiale qui cherche à dépasser le clivage Nord-Sud en insistant sur le fait que la dégradation de l'environnement a une dimension planétaire. Le changement qualitatif du sentier atemporel de la croissance nécessite un changement de la structure de la production et de la consommation. Cela nécessite un changement institutionnel et politique délibéré se fixant un calendrier et des échéances dans le temps.
2. Une gestion écologique a comme objectif la transmission intergénérationnelle du capital naturel et la promotion de nouvelles images sociales de la nature qui voient dans les ressources naturelles une source de bien-être comme la beauté d'un site, la santé et les loisirs. Cette gestion cherche en premier lieu à atténuer l'irréversibilité de certaines actions polluantes commises dans le passé et tient compte du fait que nous ne disposons pas de substitutions pour certains écosystèmes à l'heure actuelle. Nous retrouvons donc la notion du temps long sans que nous ne soyons capables de la mesurer en termes objectifs.
3. Une prise de conscience des inégalités sociales et d'une éthique nouvelle cherche à remédier aux conditions inégales dans lesquelles s'expriment les choix économiques individuels. L'exigence d'une nouvelle éthique concerne surtout une responsabilité intergénérationnelle accrue. La référence au temps va donc au-delà de l'horizon d'une seule génération et prolonge la réflexion sur le temps non pas à l'infini, mais vers un temps subjectif long permettant d'exprimer ce message d'espoir.

[70]

Ces caractéristiques principales ont conduit à définir le développement durable en termes d'interactions entre les dimensions

économique, écologique et sociale. La réflexion sur le temps ne peut être menée que d'une manière interdisciplinaire.

Conclusion

Notre réflexion sur le temps et l'économie nous a conduits à opposer le concept de la croissance illimitée à celui de la décroissance tenant explicitement en compte la contrainte temporelle. Le développement durable est dès lors compris comme une synthèse issue de cette opposition. Il nécessite une réforme des règles régissant l'économie. Cette réforme est engagée à large échelle en tenant compte plus explicitement de l'hypothèse d'une contrainte temporelle dans les activités économiques. Elle porte sur le cadre juridique sur lequel repose notre vie en commun, notamment en ce qui concerne le fonctionnement actuel de l'économie, qui est en train de changer. Le domaine en rapide expansion du droit environnemental, tant sur le plan international que national, en est la parfaite illustration. Elle vise également à faire rentrer le coût de la dégradation de l'environnement d'une manière explicite dans le calcul économique. Aux coûts comptables traditionnels s'ajoutent dorénavant les coûts sociaux engendrés par la pollution. L'économie est en train d'être mise sur une nouvelle base comptable.

De plus en plus d'entreprises voient dans la protection de l'environnement de nouvelles opportunités. Ces réformes s'introduisent lentement et montrent que l'objectif de la croissance économique change graduellement de contenu. Elles sont engagées à large échelle et vont forcément s'amplifier puisque ce n'est pas en ne faisant rien ou pas assez à court terme que tout d'un coup à long terme, on réalise une organisation sociale ayant parfaitement intégré la protection de l'environnement. Nos pratiques sociales changent et s'adaptent donc aux nouveaux enjeux.

La réflexion sur les réformes porte également sur les inégalités sociales. Il ne peut avoir une protection efficace de l'environnement sans réduire significativement la pauvreté à travers le monde. Les mécanismes de redistribution de revenus et de fortunes existants connaîtront un saut d'échelle considérable au niveau international dans un proche

avenir. Les pauvres de ce monde sont les plus exposés à des sources locales de pollution.

Au lieu d'assister à un phénomène de décroissance, l'économie continue à croître en termes de valeur ajoutée sans qu'il y ait forcément une dégradation inéluctable de l'environnement. Cependant, la contrainte du temps nous oblige à lui donner fondamentalement un autre contenu et à reconnaître que la croissance à elle seule ne parvient plus à exprimer l'évolution du bien-être dans nos sociétés.

Références

Roland LA. (1978), Time in Economies versus Economics, in *Time : The Hayek Problem*, Canadian Journal of Economics.

Beaud M. (1989). Risques planétaires. Environnement et Développement, *Économie et Humanisme*, No 308.

Commission mondiale sur l'environnement et le développement (1988), *Notre avenir à tous*, Montréal, Éditions du Fleuve (« Rapport Brundtland »).

Daly E.H. (1999), *Ecological Economics and the Ecology of Economics, Essays in Criticism*, Cheltenham, Edward Elgar.

[71]

Feldstein M. (1982), Inflation, Tax Rules and Investment : Some Econometric Evidence, *Econometrica*, July.

Georgescu-Roegen N. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press.

Georgescu-Roegen N. (2004) *La décroissance, entropie-écologie-économie*, Paris, Sang de la terre (présentation et traduction par Jacques Grinevald et Ivo Rens). <http://dx.doi.org/doi:10.1522/cla.gen.dec>

Hicks J.R. (1979), Some questions of time in economics, A.M. Tang. F.M. Westfield, J.S. Worley *Evolution, Welfare and Time in Economics*, Toronto, Heath.

Jaffé W. (1956), *Léon Walras et sa conception de l'économie politique*, Études et documents de l'institut de recherches économiques et sociales d'Alger, Juin, No 55.

Koopmans T.C. (1957), *Three essays on the State of Economic Science*, New York. McGraw-Hill.

Kuznets S. (1955), Economic growth and income inequality, *American Economic Review*, no 49.

Menger K. (1883 / 1985), *Investigations into the Method of the social sciences with Special Reference to Economics*, New York, New York University Press (traduit par Francis Nock).

Sachs L, J. Weber (1994), Environnement, Développement, Marché : pour une économie anthropologique, Entretien avec Ignacy Sachs par J. Weber, *Revue Nature, Sciences, Société*, v. 2. no 3.

Schmoller G. (1884 / 1896), *The mercantile System and its Historical Significance*, New York, Macmillan.

Schmoller G. (1904), *Grundriss der Allgemeinen Volkswirtschaftslehre*, Vol. 2, Leipzig, Duncker & Humbolt.

[72]

[73]

La perception du temps.

“Time, Optimality and Natural Law.”

Olivier de la GRANDVILLE

Université de Genève
Faculté des sciences économiques et sociales
Département d'économie politique

Introduction

[Retour à la table des matières](#)

When society, through government or private firms decides upon various levels of investment, its commitment has far-reaching consequences. Investment implies a sacrifice today, known with certainty; on the other hand, its consequences may be outstretched into a distant future, and are always tainted with uncertainty. Furthermore, our very perception of future values is remarkably weak.

It would then seem that the problem of defining optimal growth paths for our societies is way beyond our reach. The purpose of this paper is two-fold : First, we will indicate how the problem can be laid out in precise terms, and how it can be solved. Secondly, we will show that the conditions to be met by an economy in order to fulfill this objective were first defined by the great Arab historian Ibn Khaldun, in his “Muquaddimah – Introduction to History” (1377), and independently rediscovered four centuries later by Adam Smith in his “Inquiry into the Causes and Nature of the Wealth of Nations” (1776).

The fundamental problem of optimal economic growth

At any given point of time, society has basically two factors of production at hand : a capital stock and a certain labor force. During the year, it uses them to manufacture the gross domestic product. essentially divided into two parts : the largest is consumption : the remainder is investment, which is then added to the capital stock still in existence. In the course of the year, the labor force may change : its size possibly increases, and new technologies may be implemented. The potential of the economy may then be modified because factors of production have undergone a change either of a qualitative or quantitative nature. A process of growth is thus under way, with the potential of increased welfare for society.

The crucial decision to be taken is about the investment level : the sacrifice of investing more today implies more consumption tomorrow. Symmetrically, investing less implies more consumption today, but less rewards tomorrow. What is the optimal time-path of investment for any society – similarly, what is its optimal consumption path ?

A model of optimal growth

We first have to define a criterion of optimality. Clearly, investment or its immediate consequence, the accumulation of capital is not an objective per se. We are only interested in the fruits of economic activity, i.e. the amounts of consumption that society will be able to share among its members. So we will look for an investment path such that the sum of the discounted consumption flows is maximized over time.

Suppose that a society wishes to maximize the consumption flows it can achieve from now (time 0) to infinity. Any consumption flow at time t is discounted via a risk free rate i plus a risk premium π (indeed, we may consider that all future production, and hence future [74] consumption, will be obtained with a degree of uncertainty which is denoted by including a risk premium in the discount factor. Production at

time t , Y_t , is obtained via a production function depending upon 3 arguments : capital K_t , labour L_t , and the State of labor-augmenting technical progress, which means that its effects on production are tantamount to those obtained by an increasing labour force. Suppose that labour and technical progress each increase at the relative, variable rates $n(t)$ and $g(t)$ respectively.

The production function may be written $Y_t = F_t[K_t, L_t, t]$. The third argument in the production function takes into account the fact that the relationship between K_t and L_t , on the one hand, and Y_t , on the other, is shifting through time due to the technological progress factor. Suppose also that Y_t is the *net* national product (that is, net of depreciation of capital). This implies that investment is equal to the increase in the capital at society's disposal. The objective function of society is thus to choose the time path of the capital stock K_t , or its derivative, investment I_t , in order that the sum of the discounted consumption flows

$$(1) \quad V_0 = \int_0^{\infty} C_t e^{-(i+\pi)t} dt$$

is maximized, subject to the constraint

$$(2) \quad C_t = Y_t - I_t = F(K_t, L_t, t) - K_t.$$

(In the exponential term of the integrand, i is the risk-free real interest rate, and n is the risk premium.)

The optimal time path of capital accumulation

The problem described above and summarized in equations (1) and (2) is a classic problem in the calculus of variations. A first order condition for the optimal time path is that it solves the Euler-Lagrange equation. We can substitute the constraint into the functional; the latter can be written as

$$(3) \quad V_0 = \int_0^{\infty} [F(K_t, L_t, t) - \dot{K}_t] e^{-(i+\pi)t} dt.$$

Note that we consider the value of this functional in real terms, or in volume. Hence, the integrand in (3) does not explicitly incorporate prices. All consumption flows are measured at constant prices, the base year, for example, being year 0.

In the general case, we know that the Euler-Lagrange equation is a second order differential equation in K_t . If $G(K_t, \dot{K}_t, t)$ designates the integrand in (3), the Euler-Lagrange equation is

$$(4) \quad \frac{\partial G}{\partial K_t}(K_t, \dot{K}_t, t) - \frac{d}{dt} \frac{\partial G}{\partial \dot{K}_t}(K_t, \dot{K}_t, t) = 0$$

which leads to :

$$\frac{\partial G}{\partial K_t}(K_t, \dot{K}_t, t) - \frac{\partial^2 G}{\partial K_t \partial \dot{K}_t}(K_t, \dot{K}_t, t) \dot{K}_t - \frac{\partial^2 G}{\partial \dot{K}_t^2}(K_t, \dot{K}_t, t) \ddot{K}_t - \frac{\partial^2 G}{\partial_t \partial \dot{K}_t^2}(K_t, \dot{K}_t, t) = 0$$

In this particular case, however, the integrand of the functional is an affine function of \check{K}_t ,* which implies that the Euler-Lagrange equation is a simple relationship between K_t and t . After simplifications, (4') leads to

$$(5) \quad \frac{\partial F(K_t, L_t, t)}{\partial K_t} = i + \pi$$

It turns out that this equation is the fundamental equation of interest theory in real terms (equivalently : when prices are constant). This implies that arbitragers are continuously keeping in equilibrium the financial and the capital goods market, by equating the returns of capital to $i + \pi$. Whenever a discrepancy occurs between the returns on those markets, it is the search for profit that will drive arbitragers to reestablish the equilibrium. This is what we will now show.

How arbitrage will lead to the optimal path of capital accumulation

We will suggest two ways of proving our result. The first one rests upon analysis over an infinite horizon. In the second one, analysis is restricted to a limited time span.

First demonstration : infinite horizon

Let us consider that we are at time t . At any time t , between t and ∞ , and during an infinitely small time interval dt , one unit of capital will

earn its owner an amount $\frac{\partial F}{\partial K_t} dt$.

* On ne parvient pas à trouver le caractère accentué special (K) même avec l'utilitaire PopChar. JMT.

(Notice that this amount is expressed in the same units as capital). The present value of this cash flow received at time t , in terms of time

t , is $\frac{\partial F}{\partial K_\tau} \exp[-(i + \pi)(\tau - t)]d\tau$, and the sum of all these cash flows from

$\tau = t$ to $\tau = \infty$ is $\int_t^\infty \frac{\partial F}{\partial K_\tau} \exp[-(i + \pi)(\tau - t)]d\tau$. Arbitrage will enforce the equality between 1 dollar and this sum. So we must have :

$$(6) \quad 1 = \int_t^\infty \frac{\partial F}{\partial K_\tau} e^{-(i+\pi)(\tau-t)} d\tau$$

Suppose that at some time t this is not true, and that for instance this unit of capital stock is undervalued. Then 1 would be smaller than the right-hand side of (6). Arbitragers would borrow, buy units of capital and therefore increase the capital stock in use. Two effects would result : first, the increasing demand for loans on the Financial market would drive the rate of interest up. The cash flows in the integrand of (6) would be discounted by a larger factor. Secondly, by increasing the capital stock, arbitragers would decrease the marginal productivity of capital, which would in turn reduce the integrand. Another factor would contribute to the decrease of the integrand : on the financial market, suppliers of loanable funds would withdraw from that market in order to invest directly into capital goods : this would have the same effects as above : boosting the interest rate, and decreasing the marginal productivity of capital.

Suppose now that we observe the contrary : one dollar is larger than the integral in the right-hand side of (6). We have to suppose that capital can be sold and transformed into consumption flows; then arbitragers can step in : they will borrow the physical quantifies of capital, sell them, and invest the proceeds on the financial market. As before, their action will have a two-fold outcome : first, the increase in the supply of loanable funds will increase the rate of interest ; and to a smaller capital stock will correspond a higher marginal productivity [76] of capital.

This will reduce the value of the integrand in (6). Another factor will produce the same effects : owners of capital will sell part of it in order to invest in financial markets.

Taking the derivative of (6) with respect to time t yields (5), which thus proves that intertemporal maximization of society's consumption will be achieved thanks to investors looking for their own interests.

Second demonstration : finite investment horizon

We will now consider that the investment horizon is finite and equal to a time span h , which can be short. One dollar invested on the financial market at time t , at rate $i + \pi$ during a time span L will become $e^{(i+\pi)h}$ at time $t + h$. On the other hand, one unit of capital (which can be acquired for \$ 1 at time t) yields a sum of discounted cash flows equal

to $\int_t^{t+h} \frac{\partial F}{\partial K}(\tau) e^{-(i+\pi)(\tau-t)} d\tau + 1$ Arbitragers and investors alike will, by their actions, ensure that the following equality is maintained.

$$(7) \quad e^{(i+\pi)h} = \int_t^{t+h} \frac{\partial F}{\partial K} e^{(i+\pi)(\tau-t)} d\tau + 1$$

$$(8) \quad \frac{e^{(i+\pi)h} - 1}{h} = \frac{\int_t^{t+h} \frac{\partial F}{\partial K_\tau} e^{(i+\pi)(\tau-t)} dt}{h}$$

We can subtract 1 from both sides of (7), and divide by h :

$$(8) \quad \frac{e^{(i+\pi)h} - 1}{h} = \frac{\int_i^{i+h} \frac{\partial F}{\partial K_\tau} e^{(i+\pi)(\tau-i)} dt}{h}$$

By applying L'Hospital's rule, we can take the limit of both sides of (8) when $h \rightarrow 0$. We then get the fundamental equation (5).

How optimal growth rules had been foretold by Ibn Khaldun and Adam Smith

In Western civilization, the earliest contributions to the theory of economic growth date back to the 16th and 17th century only ; they come from Bodin, Botero, Sully and Child. But it is not until the writings of Turgot (1766) and Smith (1776) that a systematic exploration of the causes of economic growth was made. As often in science, a theory could be developed only on the basis of observations – and the period that followed the middle ages, in particular the 14th century, was one of the darkest episodes in the history of the Western world, certainly comparable to what was experienced by nearly the whole of humanity in the 20th century. In those times, there was no chance that anyone would even ponder the possibility of development. As Pierre Gaxotte once wrote : “The man of the Middle Ages does not know of time and numbers.”

It is not surprising, therefore, that we owe to Arab civilization the first exploration of the economic growth process. With his *Introduction to History (The Muquaddimah, 1377)*, Ibn Khaldun has bequeathed us not only the foundations of contemporary economic growth theory, but a sweeping vision of the causes of the rise and decline of civilizations. It is a good place to recall what the British historian Arnold Toynbee had to say about Ibn Khaldun’s magnum opus : “Undoubtedly the

greatest work of its kind that has ever yet been created by [77] any mind in any time or place.”²

Ibn Khaldun indicated five fundamental conditions for a growth process to take place. Along with such factors as demographic growth, technical progress, the principle of private property and the soundness of political and legal institutions, causes which seem quite natural to us today, Ibn Khaldun sets forth a factor which is certainly not seem intuitive to any of us : the search for individual profit. Indeed, how could the fact that some individual tries to increase his own advantage be beneficial to anyone else ? Yet this is what Ibn Khaldun writes : “Civilization and its well-being as well as business prosperity depend on productivity and people's efforts in ail direction in their own interest and profit. When people no longer do business in order to make a living, and when they cease all gainful activity, the business of civilization slumps, and everything decays. People scatter everywhere in search of sustenance, to places outside the jurisdiction of their present government. The population of the particular region becomes light. The settlements there become empty. The cities lie in ruins. The disintegration of (civilization) causes the disintegration of the status of dynasty and ruler, because (their peculiar status) constitutes the form of civilization and the form necessarily decays when its matter (in this case, civilization) decays.”³

It is quite striking that this conjecture was made, independently⁴, four centuries later by Adam Smith in his *Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations* (1776) : “Every individual is continually exerting himself to find out the most advantageous employment for whatever capital he can command. It is his own advantage, indeed, and not that of the society, which he has in view. But the study of his own advantage naturally, or rather necessarily, leads him to prefer that employment which is most advantageous to the society.”

² Arnold J. Toynbee, *A Study of History* (2nd ed.; London 1935).

³ Ibn Khaldun, *The Muqaddimah – An Introduction to History* (1377), translated from the Arabic by Franz Rosenthal, Routledge and Kegan Paul, London and Henley; First printing, 1958; this edition, 1986, p. 104.

⁴ The first édition, in arabic, of the *Muqaddimah* (1377) appeared in Egypt in 1857; its editor was Nasr al-Hûrî. Almost simultaneously, another arabic édition was published in France by Etienne Marc Quatremère, under the title *Les Prolégomènes d'Ibn Khaldun* (Firmin Didot Frères, Paris, 1858).

“He generally, indeed, neither intends to promote the public interest, nor knows how much he is promoting it. ... He intends only his own gain, and he is in this, as in many other cases, led by an invisible hand to promote an end which was no part of his intention.”⁵

Ibn Khaldun had linked this search to the rise of civilizations. Adam Smith had hinted that the study of [an individual’s] own advantage led him to prefer that employment [of capital] which is “*most advantageous*” to society (our italics) – hence the fundamental idea of *optimal* economic growth.

Neither Ibn Khaldun, nor Adam Smith could demonstrate their proposition. Today, economic theory has vindicated both of them. What is remarkable is that this deep insight was born in the minds of two individuals belonging to different civilizations, four centuries apart. Could it be, then, that the fundamental problem of allocating optimally scarce resources over time has been solved by these great thinkers in the form of a natural law ?

[78]

⁵ Adam Smith, *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations* (1776); Dent Sons, London, 1975. [Voir la version française disponible en libre accès dans Les Classiques des sciences sociales : http://classiques.uqac.ca/classiques/Smith_adam/smith_adam.html]

[79]

La perception du temps.

“Could one build social clocks ?”

Pierre ALLAN

Université de Genève

Doyen de la Faculté des sciences économiques et sociales

Département de science politique

Introduction

[Retour à la table des matières](#)

In the social sciences we cannot claim to have discovered many regularities that consistently hold over time. I would suggest that one reason for this State of affairs lies in our uncritical acceptance of calendar time to describe, measure, model, and theorize about social phenomena.

Our time referential is directly borrowed from physics. Irregularities found among the evolutions of various social processes are ascribed to irregularities in the processes themselves, to a misspecification of the analysis, or to changes in the general setting. Nobody seems to question the fact that we usually impose on our social processes that they evolve in parallel to a process or concept taken from physics : physical or calendar time. Our everyday behavior is governed by it, so this is understandable, but an uncritical application of physical time to social dynamics prevents us from thinking clearly about the latter. We automatically envision social processes as parallel to physical ones, since this is the conception upon which physical time is built. This situation is all the more disturbing when we realize that physicists themselves have discarded some deeply ingrained notions of time (e.g. the Lorentz equations and relativity theory) and space (Riemannian instead of Euclidean)

in their search for more elegant theories. It would be wise for a similar venture to be initiated in the social sciences, and greater regularity may be found as a consequence.

This article argues that the construction of *social* clocks is possible – at least in principle. To demonstrate this claim, it provides a recipe for building social clocks. An analysis of all the necessary steps in (social) clock making shows that this task – while undoubtedly difficult – could be accomplished, at least in principle. A *caveat* is in order, though. I do not argue that all social processes evolve parallel in time to each other, as in a gigantic clock. This would be a conception of the 17th century, stressing a deterministic ontology of society and nature. My limited claim is simply that some regularities in social processes are much more likely to be found if we abandon the traditional way of looking at them through our traditional calendar time lenses.

The use of calendar time to describe social processes forces the researcher to use the duration units and thus the rhythms prescribed by physical clocks instead of focusing on the interrelationships of social processes in time. Thus, it would be useful – in the beginning of a research at least – not to include these interrelationships within the traditional framework of calendar time. but simply to look at social sequences and co-variations at different phase lags – where the phases are defined as theoretically relevant parts of the dynamic processes under consideration. Indeed, explaining processes by using, for example, various monthly or yearly lags, may blur or sometimes completely mask the true relationships which follow their own rhythms at a pace quite different from “regular” physical time duration. This pace may be highly irregular in terms of calendar time but the social processes may nevertheless exhibit [80] strong regularities in the interrelationships among each other. Of course, the sequences themselves would be the same whether described in calendar or social time. There is only one time in this sense, or more precisely put, there is only one ordinal time sequence for an observer. Calendar time is an invalidable tool for *dating* events. Since much of our social activity is constrained or even determined by the calendar, and our social data are collected in its framework, it makes no sense to discard it. What is questioned here is only the measure of the duration which calendar or physical time provides us.

This thesis builds on earlier work (Allan. 1980; 1983; 1987) where I showed alternative ways to develop time referentials proper to the social sciences. My argument was illustrated by dynamic models of international conflict. In one case, decision-makers were posited as acting in their own time frame – diplomatic time. This made periods of high conflict or crises very important ones by in some sense “stretching” time during these intense moments. But this diplomatic time construct based upon conflict activity and intensity was posited as a transformation of physical time. Another example had the sequence and intensity of hostile events determining the physical time duration elapsing between events. Here too, “normal” time was an important ingredient of the theoretical effort though it was an endogenous variable. In this article, I go one step beyond and show how social time referentials that do not have any direct link to physical time can be developed. Such a move requires the development of true social time referentials independent of physical time which can be used to measure social processes as they evolve through time. In other words, it requires the development of social clocks.

The argument is structured as follows : Section I first presents, in general terms, the concept of a clock. In Section II, I will probe deeper into the nature of clocks by discussing how more precise ones can be developed ; illustrations from the development of physical clocks are used for didactic purposes. The implications for the building of social clocks are then covered in Section III, which discusses the necessary steps for social clock making and some of the connected difficulties.

What is a clock ?

A clock is a well-determined and clearly observable phenomenon characterized by sequentially different States of which the temporal law is known. Its States are differentiated according to different values of a parameter characterizing the enumeration of the succession of these States, thus forming a scale. If, in addition, the duration is the same each time the phenomenon moves from one degree of the scale to the next, then we have a truly temporal scale (Gonseth. 1971).

A single clock in itself is of no use if it does not account for the time evolution of the process it monitors. This means that we need another phenomenon. But we need it for deeper reasons as well. A single phenomenon cannot be endowed with the capacity of a clock because the equivalence of any two successive durations as determined by successive readings of the clock's parameter cannot simply be a matter of convention, but has to be observed using another phenomenon. So how can a clock be built ? We need two phenomena which are repetitive meaning that their evolution between two determined States is repeated. Let us call these phenomena P1 and P2. The first step is to have both begin at the same instant and end at the same moment, thus defining a common duration :

$$T_{\text{end}} - T_0$$

Second, start both phenomena at T_0 and stop them simultaneously at some intermediate State T_1 occurring before T_{end} . Third, bring P_1 back to the origin T_0 , while maintaining P_2 at P_1 . Fourth, let both phenomena evolve again. Fifth, stop P_1 and P_2 when P_2 gets to the State it was [81] in at T_{end} . Then, we know that the mid-point between T_0 and T_{end} is somewhere in between the States or time instants T_1 and T_2 . The whole procedure can be repeated in an iterative way until the mid-point is found with a satisfactory degree of precision. The mid-point having been found, we can repeat the above steps to divide the two intervals thus defined into four intervals, and then into eight intervals and so on. The dual time scale obtained this way can easily be transformed into a more convenient decimal one by appropriate linear transformation.

It is the effective and durable correlation between P_1 , and P_2 that ensures the objective value of the time measurements for us. Given the way in which the clocks were constructed, there is no reason to suppose that the phenomena evolve the second time in a different way from the first, which is why we assume a constancy in the time durations thus measured. The term « clocks » was used in its plural form because it is clear from the procedure followed that either of the two phenomena P_1 or P_2 can in a later stage be used to predict the State of the other on the basis of its own State. This results from the symmetry of the whole operation : nothing distinguished P_1 from P_2 *a priori*. Other suitably chosen phenomena, P_3 , P_4 , etc. functioning in parallel to P_1 and P_2 , can be used to develop still other clocks by the same procedure. Those phenomena which vary too much from the other time-measuring ones are

discarded on the basis that there is little probability that these isolated clocks are the good ones. In other words, we make the assumption that there is little chance that the majority will systematically deviate at the same time.

All these procedures show how dependent the definition of a clock is on experimentation. But, as I will show below, construction of clocks also requires theorization which is just as crucial as measurement. Indeed, it is in clock-making that theory and empiry are as closely interconnected and interdependent as anywhere in science. This can be clearly demonstrated when examining the question of clock improvement.

No absolute clock exists. Shadow clocks were superseded by water clocks, which in turn were replaced by mechanical escapement clocks, then by mechanical pendulum ones which themselves were superseded by quartz crystal clocks made obsolete by caesium or atomic clocks (Lloyd, 1981; Clemence, 1981). Had we developed an absolute or perfect clock, we would have used it and not tried constantly to improve our time-keepers. Indeed, when time is measured, it is not on the basis of a single clock, but by the observation of numerous clocks in different laboratories and by aggregating these measures, using reasonable criteria – such as statistical ones. World time is but some sort of an average of different clocks around the world.

How to build a more precise clock

How can we say that one clock is the “best” one, since by definition, the other clocks are less precise and thus cannot be used to evaluate the more precise time measurements made by the best device ? How can we assume – without arbitrariness – that the best clock is superseded by an even better one ?

To answer these questions, we first need to note that the less precise clocks are nevertheless clocks : There is a time correspondence between them. This means that the whole process of clock-making is coherent while stemming from the process used to make the best clock. Clock-making depends on the finding of two or more phenomena which exhibit an effective and durable correlation. This correlation may be an

approximate one in terms of empirical observation. In fact, it is always so since absolute measurement is not attained. It is only at the theoretical level that a perfect correlation can exist.

Clock-making is based on the search for an approximation as close as possible to a theoretical [82] ideal. It is the correspondence of empirical observation and the theoretical ideal which provides for a certain objectivity for time and the clocks constructed on that basis. This correspondence is, of course, not perfect, but has to be envisioned in the context of its epoch. Advances in theory lead to further requirements and advances in clock-making. For example, the first pendulum clock developed by Huygens in the 17th century was improved the next century by taking into account effects of temperature, and further progress in the 19th century tried to neutralize effects of barometric pressure. The ideal of a perfect pendulum – a perfect isochronic oscillator – provided the goal in clock-making. Only a perfect isochronic oscillator would provide for oscillations of the same duration since this is the postulate at the basis of this theoretical ideal. It was the improvement of theory and accuracy that led to the realization that temperature and pressure variations were changing the oscillations with respect to the ideal.

Now let us examine in greater depth how improvements in the precision of a clock can be effected (Gonseth, 1971). These first require improvements in theory. To take the examples mentioned, theories of temperature and of barometric pressure were necessary, in addition to the theory of the pendulum, in order to improve the pendulum clock. Second, we need a program of observation to test the theory. Third, the appropriate instruments based upon the theory and anticipating its validity have to be constructed. It is only then that a test can be performed and the new instruments adopted as clocks if the test is conclusive. Here again, we require the observation clocks to be well grouped around an average performance and then discard the outliers. It can truly be said that « the proof of the pudding is in the eating ». The proof of the theory indeed is in the working of a set of new clocks running more precisely with respect to each other than the previous ones – while running roughly parallel to the older clocks.

The transition from the free pendulum clock of Shortt to the quartz crystal clock can be used to illustrate the conceptual stages in moving from a less precise clock to a more precise one on the basis of both theoretical and empirical grounds. The Shortt clock was installed and

used in most leading observatories and gave world time from the 1920s till the middle of the 20th century. How was it superseded ? It was known that a conveniently shaped quartz crystal vibrates at a very high frequency if submitted to an electric pulse. This creates a difference in potential which oscillates at a similar frequency between the opposite faces of the crystal, thereby creating electric impulses in an electric circuit with the same frequency. The number of these impulses can be counted and this gives a more precise measurement of time than previous pendulum clocks. The interesting part of the story is that in terms of the mechanical clock, the frequency thus obtained is not constant but rather exhibits a certain constant deviation after a period of functioning : it decreases in proportion to the number of vibrations effected. It is thus a “hereditary” System whose evolutionary laws depend not only upon its present State but also upon its past. It has a memory. If we knew the precise value of this deviation and the precise frequency at a given moment, the temporal law of this deviation could be established. However, this measurement can only be made in terms of the precision of older clocks. Thus we are left with the question of what can be done to go beyond time measurement in terms of these less precise clocks.

In the case of the quartz clock, we note the following evolution. First, a theory was developed, postulating an oscillation with a constant deviation. Second, a program of simultaneous observation of two clocks was established, permitting the observer to measure both the frequency at a given moment and the deviation. Third, a mutual synchronization testing of a number of quartz clocks validated the whole procedure because most of them were close to each other in their measurements. Gonsseth (1971 : 293) calls this a “procedure of self- foundation”. It has to be self-based because it is quite possible that a new, higher level of [83] precision renders incorrect the theories used before at a lower level. The example of relativistic physics with respect to Newtonian mechanics comes readily to mind in this context.

This general discussion of clocks, using examples of physical clocks, has shown how theory-dependent clock making really is. It has shown the importance of measurement, which is also based upon theory. There is no absolute standard for the construction of clocks, and consequently, clocks need not be based upon any special theory or discipline like physics. This means that there is no barrier to the development of social clocks. They can be obtained by following the same

procedures as for physical clocks since nothing in these procedures specified anything purely physical for the construction of time-keepers.

All we need is a theory of social processes evolving in parallel through time. One of them can then be used as a clock to predict the time path the others are taking. The procedures rely upon the repeatability of the phenomena used. This is of course much easier with many physical phenomena that can be controlled in a laboratory than with social phenomena over which the observer in most instances cannot have any control. Before addressing this important issue in the next section, we must address two fundamental objections which are directed against the whole venture and not just against its feasibility.

We use physical clocks which are based upon very different theories such as the pendulum, the quartz and the atomic clocks. These clocks, while of variable precision, do not contradict each other but appear to measure the same time. More precisely put, they are based on different physical phenomena evolving in parallel through time. This suggests the idea of a basic rhythm in the universe. If that is the case, is not the construction of social clocks a step backwards ?

No, because even if physical time is that basic, it nevertheless is useful to consider an alternative social time referential. Let us First look at the interrelationship in time among various social processes. These theories and measurements can be fairly crude at the start of this venture. My objection to physical time is that by immediately asking of our social theories and measurements a high degree of correspondence with physical time scales, we are much too ambitious; we are going too far in terms of our standards of precision. On the other hand. developing social clocks does not mean that we must reject our old calendar time. Indeed, it is always possible, in principle at least, to relate social clocks to physical by finding the function relating social time to physical time. This function exists since both social and physical time referentials are represented through monotonically strictly increasing functions (see Allan, 1987 for further details). It must be added that this question of a basic rhythm in the universe is debatable. Some argue that universal time is physical (Whitrow, 1980 : 374-375), while others are more skeptical (Lucas, 1973 : 81).

The second objection is that we can reasonably well estimate physical time durations in our minds. In other words, psycho-physiological

processes and physical time processes run in parallel. It is well-known that Galileo counted aloud or mentally while experimenting. thus providing his own clock. But this correspondence varies when looking at time durations longer than a few seconds or minutes (Fraisse, 1984). So even if we believe in methodological individualism for the social sciences, most social processes, especially those referring to individuals using their memories, do not automatically require a physical time frame.

Building social clocks

The general features of clock making were presented in the two preceding sections. Let us reformulate them in summary form :

[84]

A clock is :

1. a well-determined, clearly observable phenomenon ;
2. characterized by sequentially different States ;
3. endowed with a temporal scale having equal duration intervals ;
4. a phenomenon the temporal law of which is known.

To build a clock we need :

5. two distinct phenomena P_1 and P_2 having properties 1 and 2 ;
6. those phenomena to be interrelated in time in a durable manner ;
7. those phenomena to be repeatable, in principle at least.

Clock-making consist of :

8. developing a theory which accounts for conditions 5, 6, and 7 ;
9. establishing a program of simultaneous observation of P_1 and P_2 ;
10. testing the theory using the program on a battery of clocks.

We can now discuss these ten points as they relate to social phenomena with the purpose of building social clocks. Points 1 and 2 present no great difficulty. In the social sciences, well-determined phenomena characterized by sequentially different States do exist. Even though social science research has tended to focus more on cross-sectional questions than on social dynamics and change, we are aware of many social processes which evolve in time, and we should find new phenomena if we theorize about them. Points 3 and 4 concern knowledge about the temporal scale and law of the clock. This is precisely what we will have once we have built a satisfactory clock.

To develop a social clock, we not only need at least two distinct phenomena with the required properties (point 5) but also have to find two such phenomena which are interrelated in time in a durable manner (point 6). Moreover, once we find them, we need a theory to account for them (point 8). These essential points are the crux of the matter and I shall come back to them.

It should also be pointed out that this task is a difficult one, not only for the social sciences, but even for physics. In the field of thermodynamics, for instance, we have a truly temporal law independent of mechanical and electronic clocks, that is, the second law whereby the entropy of the universe moves at all times toward a maximum. As we well

know, we ignore the time rate of this entropy flow; all we can say is that entropy is higher now than it was in the past and smaller than it will be in the future. Thus we cannot predict in the sense of making quantitative estimates precisely because the second law is the only existing temporal law in thermodynamics and cannot serve as its own clock to make predictions. Those would only be tautologies. Yet it is conceivable that some day physicists might develop another thermodynamic law which would also be a temporal one. We could then use one of these two laws as a clock predicting the State of the other. It is also important to note that even though there presently exists only one temporal law in thermodynamics, it is a truly temporal law. As Georgescu-Roegen (1971 : 133) aptly puts it : “Time derives from the stream of consciousness, not from the change in entropy; nor, for that matter, from the movement of a clock.”

According to point 7, the two phenomena should be repeatable. While a psychological clock [85] could conceivably be developed in a laboratory, the case of a social clock is much more problematic. To circumvent this problem let us analyze what is meant by laboratory experimentation. For one thing, it assumes that the phenomenon under observation can be controlled. That is, only those variables posited to influence the phenomenon will be at work or can be, at least in part, modified by the investigator. All other influences either cancel each other out or can be assumed to have negligible impact on the object under study. The nearest equivalent to a laboratory in the social sciences is experimentation upon a mathematical model or “simulation”. Using a mathematical model which captures the essential features of a social phenomenon allows us to control the environment through the calculation of the evolution of that process under a specified set of circumstances. Mathematics is an invaluable tool here because of its ability to express changes in time in a richer fashion than ordinary language can. Simulation could be used in a quasi-experimental way. The theory of repeatable social processes built in this fashion needs to specify clearly how the model deviates from reality, since the crucial test upon which the development of social clocks rests requires a comparison with empirical measurements. These important elements (Points 9 and 10) require much attention.

We see that the development of social clocks is no easy matter. But it may be well worth the effort. Finding invariant parallelisms among

social phenomena requires much theoretical as well as empirical work. At first, the results may be only very rough ones, perhaps making us doubt the whole enterprise. The alternative, however, is not much brighter : few time parallelisms have been discovered between social phenomena and physical ones until now. This is far from surprising. After all, physical clocks are but physical phenomena parallel to other physical phenomena as defined by physical theory and measurement.

Probably, the easiest avenue to take in developing social clocks is to look for periodic processes, that is, processes which appear to repeat themselves. In such cases we can usually make the assumption that initial conditions are identical period after period and that we can measure time by counting the number of periods. Even if the System is not perfectly periodic, but rather depends partly on its past evolution, this can sometimes be taken into account, as the example of the quartz clock demonstrated. Thus, the business cycle, the electoral cycle, politico-economic interactions between government popularity and macroeconomic indicators, the impact of wars on the State and society, and on the distribution of power in the international System, etc., could be put in relation to each other and some social time parallelisms might emerge. We could use the time parallelism between two cycles originating in different spheres of society to build a social clock. This focus would allow us to develop better theories and refine our social clock measurements by finding other phenomena upon which to build our social clocks.

Periodicities could be found by using spectral analysis of time series which measure social processes. The major problem with this procedure stems from the way the data are collected, that is, overwhelmingly on the basis of calendar time. Spectral analysis is based on the autocovariance of a time series at different time lags. A change in the sign of this function indicates cycles in the series. Although it is quite possible that a given series exhibits some significant fluctuations, these may look highly irregular in terms of their periods as computed by calendar time. But they may be quite regular with respect to a social time referential. One way to find this regularity would be to allow for a variable time lag when computing the autocovariance function. This procedure would not be arbitrary if the same variable time lags were used for another series collected on the same basis; a cross-covariance computation would then lead to a cospectrum showing the two series with

some common frequencies. A theory of these social periodicities would allow us to determine the varying time lags (in terms of calendar time) by using, for instance, a procedure of maximizing the strength of [86] these periodicities.

However, social clocks need not be based on periodical phenomena. As the example of water clocks used in European medieval monasteries shows, cumulative processes can also be used. The simplest ones are linear. This means that a constant change is associated with a constant duration. With periodic processes, we can make the assumption that initial conditions remain the same, period after period. Use of a linear process requires the added neutralizing assumption that the process measured is not affecting itself. Regular growth processes could thus provide us with a measure of social time.

These various procedures are not dependent on a specific level of analysis. Social clocks can therefore be developed at all analytical levels – whether group, organization, society, or at the level of the international System. These ideas have led to further work, albeit in a different orientation (see in particular Sablier. 1997).

Conclusions

Could one build social clocks ? The answer is a definite yes. In principle at least, nothing precludes the development of social – and not physically-based – timekeepers for the measurement of the evolution of various social processes. This is shown by discussing all the necessary steps for making a social clock. Although we have a long way to go in constructing social clocks, it is not only possible but also desirable. More powerful dynamic theories in the social sciences could thus be developed.

References

Allan, P. (1980) "Diplomatic Time and Climate : A Formal Model", *Journal of Peace Science*, 4(2) : 133-150.

Allan, P. (1983) *Crisis Bargaining and the Arms Race : A Theoretical Model*. Cambridge, Mass.: Ballinger / Harper & Row.

Allan, P. (1987) "Social Time", in C. Cioffi-Revilla, R. Merritt and D. Zinnes (eds), *Communication and Interaction in Global Politics*, pp. 95-113. Beverly Hills, Cal. : Sage.

Clemence, G.M. (1981) "Time Measurement for Scientific Use", in J.T. Fraser (ed) *The Voices of Time*, 2nd edition, pp. 401-414. Amherst, Mass.: The University of Massachusetts Press.

Fraisse, P. (1984) "Perception and Estimation of Time", *Annual Review of Psychology*, 35 : 1- 36.

Georgescu-Roegen, N. (1971) *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Gonseth, F. (1971) "From the Measurement of Time to the Method of Research", in J. Lloyd, A. H. (1981) "*Timekeepers – an Historical Sketch*", in J.T. Fraser (ed) *The Voices of Time*, 2nd edition, pp. 388-400. Amherst, Mass.: The University of Massachusetts Press.

Lucas, J.R. (1973) *A Treatise on Time and Space*. London : Methuen.

Sablier, A. (Allan, P., D. Lachat et V.K. Aggarwal) (1997), Une nouvelle approche des phénomènes sociaux : les horloges sociales. Paris : L'Harmattan (coll. Logiques sociales).

Whitrow, G.J. (1980) *The Natural Philosophy of Time*. 2nd edition. Oxford : Clarendon Press.

Zeman, J. (ed) (1971) *Time in Science and Philosophy*, Amsterdam : Elsevier.

[87]

La perception du temps.

“Quelques facettes du temps en psychologie.” *

**Anne-Nelly PERRET-CLERMONT
et Sophie LAMBOLEZ**

Université de Neuchâtel
Faculté des lettres et sciences humaines
Institut de psychologie

Introduction

[Retour à la table des matières](#)

Le temps est certainement un des domaines les plus difficiles des sciences humaines. En psychologie, peu de travaux s’attachent, de façon explicite, à la notion de temps ; pourtant, comme nous allons le voir, elle y joue un rôle central.

* Ce chapitre, dans certains de ses passages, reprend la contribution de Perret-Clermont, A.-N., & Lambomez, S. (2005). Time, mind and othemess. In A.-N. Perret-Clermont & al. (Eds.), *Thinking Unie : a multidisciplinary perspective*. Seattle, Toronto, Göttingen, Bem : Hofrege & Huber Publishers Nous remercions la maison d’édition Hofrege & Huber de son autorisation.

Penser le temps... le propre de l'humanité ?

Les psychologues ont l'habitude d'étudier l'individu au présent. Mais cet individu est devenu ce qu'il est, « humain », civilisé, capable de penser, parce qu'« il regarde le monde en grim pant sur les épaules de ses prédécesseurs ». Autrement dit, il a appris de l'expérience de ceux qui le précèdent, car une des particularités de l'espèce humaine est justement de parvenir à opérer des transmissions des leçons de l'expérience d'une génération à l'autre. Ce phénomène de l'héritage culturel est rendu possible par ces médiations que sont les concepts, les langages et les autres outils de pensée, qu'ils soient symboliques ou techniques, et qui finissent par être des « prothèses » de notre psychisme.

L'être humain, de plus, contrairement à l'animal, ne peut se fier à des instincts très développés et doit être capable de répondre aux demandes de la vie et de son environnement mouvant : il ne peut pas simplement répéter le savoir qu'il a construit dans un autre contexte, mais il doit l'adapter aux nouvelles circonstances, aux événements de son milieu toujours changeant, au présent ; ce présent qui est, à la fois, dans une continuité, mais aussi dans une rupture avec le passé. Le problème, ou la question, auquel la personne essaie de répondre, à un moment précis, n'est pas nécessairement celui pour lequel ont été produites les connaissances qu'il a à disposition. L'individu se retrouve donc souvent dans une situation nouvelle avec de vieux outils. Passé et présent se mêlent, pour le meilleur et le pire, au sein des activités humaines et de leurs conséquences.

L'être humain passe une partie de son énergie à interpréter ce qui lui arrive, à gérer son angoisse, à percevoir sa fragilité (ou à essayer de ne pas la percevoir). Il est, sans cesse, confronté à ses limites et à cette douloureuse sensation d'être potentiellement « tout puissant » par la pensée et l'imagination, mais limité biologiquement par la mort. Ce qui explique son regard extrêmement ambivalent sur l'avenir : angoisse que l'attente soit vaine, que le désir soit étouffé, que regarder l'avenir soit regarder la mort.

Parfois la personne se sent prisonnière du temps et totalement impuissante face à lui : elle ne peut ni l'accélérer, ni le ralentir, ni l'arrêter

et encore moins retourner en arrière. Il lui semble éphémère. Le poète soupire : « O temps, suspends ton vol... ! ». Mais le temps s'impose.

[88]

« L'argent peut acheter l'horloge mais pas le temps », constate le proverbe chinois. De façon paradoxale, le temps semble simultanément hors de portée et chevillé à l'expérience. L'être humain ne vit pas dans l'abstrait d'un monde qui ne serait fait que de concepts, dont celui de « temps », mais il est inséré dans des générations, des réseaux de personnes et de médiations dont les actions et les paroles sont non seulement le contenu de sa mémoire, mais également les moyens qui la rendent possible. Le rapport au temps est à la fois biologique, psychologique, social, culturel et technique.

Déjà, les plus anciennes traces d'écriture au Proche-Orient étaient justement des inscriptions sur des stèles funéraires dressées pour perpétuer la gloire d'une personne dont on voulait garder la mémoire. Il s'agissait donc de « capter » cette gloire, forte et peut-être éphémère, et de tenter de la conserver comme une expérience à transmettre à travers une trace sur la pierre qui durera. La symbolisation permit ici de gérer l'angoisse et de se souvenir du passé dans un présent qui durera.

Du reste, les langues ne marquent pas de la même façon la distinction entre présent, passé et futur. Ces trois catégories d'organisation du temps n'existent pas dans toutes les langues : le futur n'est pas toujours distinct du présent, mais est plutôt, dans certaines langues, sa continuité immédiate. L'organisation du temps des verbes est toujours une instrumentalisation complexe pour parvenir à traduire, dans le discours, cette architecture du temps, comme en français, par exemple, lorsqu'il encastre des temps dans le temps avec le plus-que-parfait ou le futur antérieur. Cette utilisation des formes des verbes est importante pour permettre la construction de récits plus ou moins complexes dans leur organisation et dans leur manière de donner à penser le temps.

Les activités de symbolisation, et en particulier le langage, ne servent d'ailleurs pas qu'à construire des récits. Dès sa naissance, l'écriture succède aux symboles matériels qui attestaient les premiers contrats. Elle ouvre la voie vers différentes formes de comptabilité et de commerce, de gestion des biens et des pouvoirs. Elle fera naître cet outil, truffé de signes, qu'est l'ordinateur. La vie psychique et sociale des individus ne serait pas la même s'il n'y avait pas eu l'invention du

langage puis de l'écriture, s'il n'y avait pas ces médiations sémiotiques (Oison. 1996 ; Säljö, 2000).

Penser est en soi une activité mais penser est également un processus lié à toute activité humaine et, par là même, aux représentations qui sous-tendent ces activités ou que ces dernières engendrent. L'individu anticipe ses actions et leurs buts. En agissant, il ne peut échapper à la perspective temporelle. Mais d'ailleurs, quelles représentations les personnes ont-elles du temps ? Qu'est-ce que le temps ? Peuvent-elles penser le temps ? Le temps existe-t-il ou est-il fabriqué ? Si c'est le cas, comment l'est-il ?

Comment la psychologie comprend-elle le temps ?

Regardons maintenant, plus précisément, quelques contributions de la psychologie à cette compréhension du temps. Les travaux de Jean Piaget retiendront particulièrement notre attention ; peut-être un peu parce que nous sommes dans la ville où il a lui-même travaillé, mais aussi et surtout parce qu'il a donné, à côté de Freud, une impulsion fondamentale à la prise en compte du temps en psychologie (Barrelet, Perret-Clermont. 1996).

Temps et neuropsychologie

Les neurosciences montrent que la perception de la durée relève de processus primitifs, en tous cas en ce qui concerne les mécanismes de traitement des durées brèves, c'est-à-dire de l'ordre de la seconde ou de la minute, qui sont perçues sans pensée. L'Homme dispose, en effet, de « mécanismes chronométriques » qui lui permettent, sans l'aide d'instruments [89] particuliers, de mesurer, mémoriser et reproduire les durées des événements et de ses actions lorsque celles-ci sont brèves (Maccar, 2005).

Cela se complexifie pour les durées longues. L'enfant ne peut pas penser les durées longues. Il lui faudra plusieurs années pour y parvenir ; et il semble qu'il n'y parviendra que si les adultes qui l'entourent

parviennent à mettre en place des rythmes et des routines qui l'aideront à la fois à se souvenir et à anticiper, c'est-à-dire à voir, dans l'instant immédiat, le signe de ce qui se passera juste après. Cet apprentissage n'aura lieu que si l'enfant apprend à attendre, et pour cela il lui faudra supporter la frustration de suspendre le geste. Il lui faudra surseoir à la satisfaction immédiate pour attendre autre chose. Il apprendra à penser ces alternatives. La tendance naturelle de l'enfant est d'agir. Mais il lui faudra ne pas agir pour pouvoir penser comment il va agir. Et ainsi, il se créera la liberté de penser l'ensemble des agir, voire d'agir autrement. Il lui faudra donc pouvoir différer la satisfaction, c'est-à-dire patienter tout en anticipant, comme condition pour apprendre à penser.

Temps et logique

Sur les traces de Reymond, Piaget puis Grize, Gardies (2005) et Miéville (2005) s'intéressent à la construction de la pensée logique. Ils font apparaître l'importance de l'invention des mots, et montrent que dans les formalisations des systèmes logiques, il y a toujours des traces des opérations qui ont permis d'aboutir à ces formalisations. Il n'y a donc pas effacement total de la genèse de la formalisation dans la présentation qui est faite du temps. Cela conduit à demander s'il y a moyen d'avoir une schématisation, un système formel, qui serait indépendant du temps. La logique peut-elle être indépendante du temps ou porte-t-elle la marque de sa construction ?

Si, déjà en logique, ce qui est formalisable peine à ne pas porter la marque de sa genèse, nous sommes en droit de penser qu'en psychologie ces notions de genèse et de développement doivent être revisitées parce qu'elles comportent peut-être des présupposés qui sont la marque des contextes dans lesquels elles ont pris forme. Par exemple, dans la description piagétienne de la genèse de la pensée chez l'enfant, nous retrouvons l'idée (darwinienne ?) d'un développement suivant un temps linéaire : une progression dont la vocation semble unique. D'après cette théorie, l'enfant ne peut se développer que vers une intelligence « piagétienne », dont la forme la plus aboutie est celle des opérations formelles. La forme « adulte » de la pensée n'a qu'une forme ou qu'une structure possible. Mais cette progression est-elle alors fatale ? La

forme adulte de la pensée est-elle à la fois la norme et la fatalité ? Est-ce que ne pas être développé comme un adulte (pris pour norme) signifie être sous-développé et déficient ? On se rend compte qu'avec cette image piagétienne du développement et d'axe du temps (supposé être celui de la croissance de l'incompétence et du « primitif » vers le « progrès » et le « civilisé »), on aboutit vite à l'idée fausse que l'enfant est fondamentalement déficient tant qu'il n'a pas gagné la pensée adulte... !

L'être humain est l'objet non seulement de processus biologiques mais aussi de cadrages sociaux très importants (via le langage, l'école, le travail, la famille, les transports, la télévision, le téléphone mobile, etc.). L'état actuel du fonctionnement adulte n'est pas l'unique auquel on puisse aboutir. Les recherches contemporaines mettent en évidence l'existence de compétences cognitives et de compréhensions sociales chez l'enfant, et même chez le bébé, beaucoup plus avancées que ce qu'ont imaginé les psychologues et éducateurs de ces deux derniers siècles. Ce sont déjà des êtres doués de rationalité, non pas des « déficients », et leur « infantilisation » abusive (à ne pas confondre avec une prise en compte de « l'altérité de l'enfant ») risque d'avoir des effets désastreux pour l'éducation (Van der Veer. 2003).

[90]

Les travaux de Jean Piaget : le temps et la genèse de la pensée

Au XX^e siècle, les psychologues se sont beaucoup centrés sur l'observation de l'enfant comme une occasion d'essayer de voir, *in situ* et *de visu*, le temps accéléré de la construction du psychisme. Par exemple, l'enfant est étudié comme source d'information sur la façon dont on apprend à penser le temps et sur les problèmes que cela pose de penser le temps.

Jean Piaget notamment, intrigué par la difficulté des philosophes de la Grèce antique de penser le temps, s'est intéressé à la façon dont les enfants, aux différents stades de leur développement, perçoivent et comprennent le temps, notamment en termes de début et de fin et de

durées mesurables. Piaget a consacré ses efforts à la description des structures mentales qui permettent d'acquérir la notion de temps.

Piaget a surtout étudié le temps en tant que temps mesuré. Dans les tâches qu'il choisit pour ses enquêtes, il évoque le temps du « travail accompli » (qui rappelle, à son insu peut-être, le monde ouvrier et industriel de son époque) ou le temps de déplacement de mobiles, tels les trains qui traversent des tunnels ou entrent en gare. Héritage culturel et horloger, régional et familial ⁶ ? Piaget ne s'est guère intéressé à la dimension sociale, pragmatique ou existentielle du temps. Bruno Latour (2005), discutant la perspective piagétienne, préfère parler d'espaces-temps où la pensée n'est pas dans un monde abstrait, seulement aux prises avec des concepts et des représentations à mettre à l'épreuve du raisonnement, mais aussi aux prises avec des efforts dans son monde physique et social médiatisé par des outils : « le travail accompli » et la perception des durées ne sont effectivement pas les mêmes selon la pénibilité dudit travail. Latour illustre son propos en racontant l'histoire d'une personne qui, ayant parcouru une certaine distance en frayant son chemin à la machette dans la jungle, ne considérera certainement pas ce déplacement de la même façon qu'une autre personne ayant parcouru la même distance, confortablement installée dans un train ! La relation entre transport et transformation diffère dans les deux cas, et la production de temps et d'espace qui en résulte sera donc différente.

Mais la contribution la plus féconde et la plus prometteuse de l'œuvre de Piaget n'est sans doute pas dans son étude de la notion de temps ; elle est plutôt dans l'introduction de la perspective temporelle dans l'étude même des processus psychologiques : Piaget élabore une psychologie « génétique », en décrivant les mécanismes qui rendent compte de la genèse du psychisme. En effet, de façon originale, en s'inspirant de la biologie qui était sa formation universitaire initiale, Piaget transpose à la psychologie le temps hérité des sciences de la nature ; réinterprète la notion d'évolution ; et importe les concepts d'assimilation, d'accommodation, d'équilibration. Autrement dit, la pensée, comme le montre Piaget, ne vient pas *a priori* à l'enfant mais elle se construit, peu à peu, à travers l'agir, puis à travers la suspension du geste en faveur d'une réflexion sur l'agir. La pensée se construit dans le temps parce que l'enfant agit, pense ses actions, anticipe ses

⁶ Le grand-père maternel de Piaget était horloger.

opérations et celles des autres, avec plus ou moins de succès, et finit par les comprendre comme des actions parmi d'autres possibles, non forcément réalisées (Piaget, 1974 ; Piaget, Inhelder, 1966).

Temps et développement

L'hypothèse actuelle sur laquelle travaillent certains psychologues (Houdé, 2005) suppose qu'il n'y a peut-être pas, comme le soutenait Piaget, un axe unique de développement des compétences psychiques, « une construction linéaire qui s'incrémente et s'améliore », mais plusieurs : des axes qui parfois sont parallèles, qui parfois se croisent, qui peuvent avancer ensemble, de manière tortueuse. S'inspirant de Michel Serres pour qui le développement [91] scientifique suit un temps qui se plie, se tord et ressemble à un « mouchoir chiffonné », Olivier Houdé met notamment en évidence des sortes de « retours en arrière » qui succèdent à des compétences « évidentes » : « se développer, c'est aussi savoir inhiber une structure concurrente » et cette concurrence entre construits donne au temps de la connaissance sa forme de « mouchoir chiffonné ». Effectivement, souvent, quand un enfant apprend une chose, il en désapprend une autre. Par exemple, l'enfant a mis un certain temps à apprendre à téter et lorsqu'il apprend à discriminer les sons, il ne sait plus téter si on lui parle en même temps. Il n'apprendra qu'ensuite à faire les deux simultanément ! Souvent apprendre une chose en déstructure une autre et pour apprendre quelque chose de nouveau, il faut inhiber les systèmes de réponses antérieures, les apprentissages antérieurs, tout du moins pour un temps. D'autres fois, apprendre une chose en « réveille » une autre, ou crée des « nœuds » de compétences mettant utilement en lien des connaissances dispersées.

Temps et apprentissage

Si le développement cognitif, social et émotionnel n'est pas juste le fruit mûre du temps, comme si le temps était l'eau qui irrigue les bonnes graines du jardin – alors quelle sorte de relation au temps les éducateurs et les apprenants peuvent-ils établir ? En parlant de « temps du développement », s'agit-il essentiellement de désigner des schémas d'activité et d'autorégulation qui sont induits biologiquement et qui doivent être respectés pour que l'enfant apprenne ? Ou est-ce que le « développement » est un concept trop abstrait qui devrait être substitué de manière plus réaliste par « apprentissage », comme les post-vygotskiens tendent à le dire aux post-piagétiens ?

Les enfants et les adultes « apprennent » de l'expérience à chaque instant. Cependant certaines formes d'apprentissage demandent un retrait de la réalité, une certaine réflexion et abstraction. Comment sont organisés les temps respectifs des apprentissages, en action, dans les interactions ou en retrait, publics ou individuels ? Quel est ce « temps de l'apprentissage » ?

L'observation du travail scolaire révèle des axes différents : celui du « temps didactique » que gère le maître pour garantir l'avancement dans le savoir qu'il doit faire connaître à l'élève (en quelque sorte, il lui « lit » le savoir) : ce temps est linéaire et presque cumulatif (si ce n'est qu'il doit réussir à enchaîner le savoir nouveau sur le savoir ancien et réussir à faire oublier les savoirs anciens devenus obsolètes face aux savoirs nouveaux !). Il y a aussi le temps de l'apprentissage qui est celui de l'élève ; ce temps-là est double : dans sa dimension privée, il prend des formes spirales quand l'apprenant retourne en arrière sur des savoirs appris antérieurement pour les étudier, les réviser, s'en ressaisir et les interpréter à ses fins (notamment celle de répondre à la tâche présente) ; dans sa dimension publique, il s'agit d'un temps qui est comme dérivé de celui du maître : en bonne et due forme, au bon moment, l'élève doit faire la preuve de sa participation à la vie de la classe et de sa capacité à démontrer son savoir, ou plus exactement, à démontrer qu'on peut penser qu'il sait vu ses réponses adéquates (Mercier *et al.*, 2005).

Qu'en est-il des situations d'enseignement à distance ? Ce mode de communication du savoir, comme le souligne Jacques Perriault (2005),

pose de façon cruciale, la question du temps : temps de comprendre, de gérer, d'anticiper. Et ceci d'autant plus que ces communications à distance sont nouvelles et que les étudiants les interprètent à partir de leurs expériences d'autres situations avec les médias (radio, télévision, vidéo) ou de situations d'enseignement classique. Cette « hybridation » de l'apprentissage classique avec des moments d'apprentissage à distance ouvre des possibles mais peut aussi provoquer des perturbations car ces types de fonctionnement ont des contraintes différentes, voire opposées. Le temps, dans ces nouvelles situations d'enseignement, doit être reconsidéré. Et l'apprenant doit [92] redécouvrir où il placera ses temps d'intériorisation, d'étude personnelle, de prise en mains autonome de son savoir.

Nous avons pris l'habitude de penser l'apprentissage comme prenant place dans une chaîne de transmissions culturelles de générations en générations et comme une tâche spécifique que les jeunes effectuent avec le soutien de leurs parents et éducateurs. Mais cette représentation de l'apprentissage qui en fait une activité privilégiée de la jeunesse ne résiste pas aux pressions des transformations sociales actuelles. Les changements dans le domaine de la santé et de l'espérance de vie, dans celui du marché du travail, des technologies et dans les relations entre genres entraînent des changements dans les règles du jeu de la vie sociale qui sont chaque fois à réapprendre : il est nécessaire de « s'approprier les cassures et les ruptures comme des étapes transitionnelles de sa biographie » (Dominicé, 2005). L'apprentissage ne concerne alors pas seulement les savoirs acquis dans la jeunesse ou la formation professionnelle, mais aussi l'apprentissage à un degré individuel, tout au long de la vie, afin de faire face à une vie sociale plus complexe.

Conclusion : pluritemporalité des êtres humains et artefacts

Le temps laisse-t-il des traces, ou est-ce parce qu'un événement ou une pratique sociale devient objet d'attention que sa trace crée le temps ? Le temps existe-t-il comme construction de l'esprit ? Nous avons vu les énormes efforts psychologiques, linguistiques et logiques, produits par les êtres humains de différents âges pour se situer et situer autrui sur des axes du temps qui semblent parfois se multiplier, se froisser, se juxtaposer ou se croiser. Allant encore plus loin, Bruno Latour (2005) invite à considérer beaucoup plus sérieusement que la tradition philosophique occidentale ne tend habituellement à le faire, cette *fabrication* même du temps. En effet, les efforts psychologiques évoqués ci-dessus s'appuient sur des médiations, techniques et scientifiques, de plus ou moins grande ingéniosité, et ceci dès l'enfance. Par exemple, V. Tartas (2000, 2001) a montré, dans le prolongement des travaux vygotskiens sur le rôle des outils et des médiations symboliques dans la structuration de la pensée, l'importance de l'instrumentation à offrir à l'enfant pour lui permettre de se situer dans le temps. Latour nous montre l'importance de tant d'objets techniques qui font notre rapport au réel et en particulier au temps. Notre pensée sur le temps ne jaillit pas de « purs esprits » mais d'interactions sociales entre des individus en chair et en os, poursuivant des buts avec les moyens qui sont les leurs, en un moment précis, en un lieu, dans des contextes sociaux qui offrent des cadres temporels aux activités. Notre esprit n'est donc pas dans la position de celui d'un Grand Horloger, logé dans un monde immobile, hors de l'espace et du temps, dans une position-repère qui serait le siège d'axes de coordonnées pour voir – et prévoir, termes devenus synonymes – les développements humains. Notre esprit n'est pas posé sur un sommet en surplomb permettant d'observer tous les efforts scientifiques comme le dévoilement de déterminations rendues visibles pas à pas ! Latour suggère que l'impossibilité de Piaget et d'autres auteurs de penser le temps comme « fabriqué », est due à un héritage théologique sécularisé, de type « Grand Horloger », construit avec les catégories de pensée d'une modernité qui cherche l'intelligibilité du monde dans des formalismes et des invariants, sans voir le travail créatif qui les produit, et sans voir les organisations et les institutions qui créent

les régularités observées. Le monde du Grand Horloger est si bien ordonné, chronométré et « intelligible » qu'il n'y a justement plus de place pour le tissage innovateur de nouvelles interactions et inventions, pour la surprise et l'inconnu, pour l'altérité ! C'est un monde où il n'y a plus à proprement besoin de penser si « penser » désigne un acte créateur de connaissances. Et s'il n'y a plus à penser, il n'y a rien, non plus, de neuf à attendre. Et s'il n'y a plus rien à attendre, le temps existe-t-il encore ?

[93]

À travers ces quelques mentions des processus psychosociaux qui sous-tendent notre rapport au temps et nos moyens de le fabriquer et de le penser, nous espérons avoir invité le lecteur à une revisitation du temps, au cœur de son monde qu'il croit « connu ». Car est-il connu ? Ou bien a-t-il encore des coins plissés, froissés, juxtaposés, dans lesquels l'agir engendre des surprises ? Ouvrir la connaissance à la surprise, c'est ouvrir la porte du temps !

Références

Barrelet, J.M. & Perret-Clermont, A.N. (1996). *Neuchâtel et Piaget. L'apprenti et le savant*. Lausanne : Payot.

Dominicé, P. (2005). Learning in adulthood. In A.-N. Perret-Clermont & al. (Eds.), *Thinking time : a multidisciplinary perspective*. Seattle, Toronto, Göttingen, Bem : Hofrege & Huber Publishers.

Gardies, J.-L. (2005). Language of time and logic of time. In A.-N. Perret-Clermont & al. (Eds.), *Thinking time : a multidisciplinary perspective*. Seattle, Toronto, Göttingen, Bem : Hofrege & Huber Publishers.

Houdé, O. (2005). The time of rationality. In A.-N. Perret-Clermont & al. (Eds.), *Thinking time : a multidisciplinary perspective*. Seattle, Toronto, Göttingen, Bem : Hofrege & Huber Publishers.

Latour, B. (2005). Trains of thought. The fifth dimension of time and its fabrication. In A.-N. Perret-Clermont & al. (Eds.), *Thinking time : a multidisciplinary perspective*. Seattle, Toronto, Göttingen, Bem : Hofrege & Huber Publishers.

Macar, F. (2005). Time passing, attention and internal timers. In A.-N. Perret-Clermont & al. (Eds.), *Thinking time : a multidisciplinary perspective*. Seattle, Toronto, Göttingen, Bern : Hofrege & Huber Publishers.

Mercier, A., Schubauer Leoni, M.-L., Donck, E., & Amigues, R. (2005). The intention to teach and school learning. In A.-N. Perret-Clermont & al. (Eds.), *Thinking time : a multidisciplinary perspective*. Seattle, Toronto, Göttingen, Bern : Hofrege & Huber Publishers.

Miéville, D. (2005). Logic, language and time. In A.-N. Perret-Clermont & al. (Eds.), *Thinking time : a multidisciplinary perspective*. Seattle, Toronto, Göttingen, Bern : Hofrege & Huber Publishers.

Olson, D. R. (1996). Literate mentalities : Literacy, consciousness of language. and modes of thought. In D. R. Olson and N. Torrance (Eds). *Modes of thought : Exploration in culture and cognition*. New-York, Cambridge University Press : 141-151.

Perret-Clermont. A.-N.. & Lamboloz. S. (2005). Time, mind and otherness. In A.-N. Perret-Clermont & al. (Eds.), *Thinking time : a multidisciplinary perspective*. Seattle. Toronto, Göttingen, Bern : Hofrege & Huber Publishers.

Perriault, J. (2005). The time factor in knowledge building processes with the help of interactive videoconferences. In A.-N. Perret-Clermont & al. (Eds.), *Thinking time : a multidisciplinary perspective*. Seattle, Toronto, Göttingen, Bern : Hofrege & Huber Publishers.

Piaget, J. (1974). *Réussir et comprendre*. Paris : Presses Universitaires de France.

Piaget, J. & Inhelder, B. (1966). *La psychologie de l'enfant et de l'adolescent*. Paris : Presses Universitaires de France.

Säljö, R. (2000). *Lärandeipraktiken eh sociokulturellt perspektiv*. Stockholm : Prisma.

[94]

Tartas. V. (2000). *La construction du temps social par l'enfant : étude de l'appropriation d'outils conventionnels par des enfants de 4 à 10 ans*. Thèse de Doctorat en Psychologie. Université de Bordeaux (document non publié).

Tartas, V. (2001). The development of Systems of conventional time : a study of the appropriation of temporal locations by four-to-ten-year old children. *European Journal of Psychology of Education*, 16(2) 197-208.

Van der Veer, R. (2003). *Kind, ouder, en deskundige*. Universiteit Leiden. Inaugurele rede.

[95]

La perception du temps.

“L’historien et les temporalités.”

François WALTER

Recteur de l’Université de Genève
Faculté des lettres
Département d’histoire générale

Introduction

[Retour à la table des matières](#)

Le travail de l’historien consiste à construire des discontinuités là où l’intuition métaphysique se contenterait d’une continuité indivise et homogène, la « mélodie » de la durée dont parlait Bergson. Dit autrement et le passé appartenant à tout le monde, ce n’est pas un hypothétique monopole du temps écoulé que revendiquerait l’histoire mais bien plus une contribution à l’explication des durées. Comme tous les concepts, le temps (et cela est vrai pour les autres outils de l’explication scientifique, le temps comme l’espace, le hasard ou la causalité) est une construction culturelle, susceptible d’évoluer en fonction de paramètres multiples. Personne ne se satisfait plus d’une définition où le temps ne serait qu’un cadre imposé et subi. Plus précisément, les historiens construisent le temps en séquences hétérogènes. Ils créent une multiplicité de durées au sein desquelles se profile l’explication. Celle-ci ne se limite d’ailleurs plus à une mise en récit linéaire où la situation des événements et des objets sur la ligne du temps suffirait à leur conférer du sens. Précisons d’emblée que la durée et ses différentes échelles ne sont

qu'un aspect des diverses configurations sociales. Aussi l'histoire partage-t-elle avec d'autres sciences l'attention aux discontinuités du social, que celles-ci soient de durées, de normes, de processus ou d'espaces. Simplement, l'accent est mis sur les configurations temporelles ⁷.

Braudel et l'articulation des durées

C'est dans *La Méditerranée et le Monde méditerranéen à l'époque de Philippe II*, ouvrage paru en 1949, que la multiplicité des durées a trouvé pour la première fois un véritable champ d'application et que le concept de longue durée est devenu opératoire. Jusqu'au XXe siècle, en effet, jusqu'aux désillusions nées de la Grande Guerre, les historiens se sont volontiers contentés d'un temps vectoriel, linéaire, cumulatif et irréversible ⁸. Cette conception repose sur une conviction, bien sûr périodiquement remise en cause, que le temps présent est supérieur au passé. « L'idée de progrès offrait un cadre permettant d'ordonner toutes les sociétés connues », écrit K. Pomian ⁹. Bien sûr, on n'a pas attendu Braudel pour réfléchir sur ce problème. Selon Reinhart Koselleck, ce serait B.G. Niebuhr en 1845 qui aurait le premier fait [96] émerger un « temps inhérent à l'histoire comme quelque chose de différencié et de différenciable » ¹⁰. Mais c'est déjà dans l'*Encyclopédie* (article *Histoire* publié

⁷ Notre propos ne consiste pas à proposer ici une historiographie du temps ni de rappeler comment les historiens ont découpé le temps depuis le VI^e siècle, moment où un religieux anglais a proposé de le compter à partir de la naissance du Christ. Sur ces problèmes fondamentaux, voir notamment Jean Leduc, *Les historiens et le temps. Conceptions, problématiques, écritures*, Paris, 1999.

⁸ Modèle emprunté à la physique de Pierre Simon Laplace (1749-1827) qui envisage l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de celui qui va suivre. Voir Krzysztof Pomian, « Le déterminisme : histoire d'une problématique », in *La querelle du déterminisme. Philosophie de la science d'aujourd'hui*, Paris, 1990, pp. 11-58.

⁹ Article « Temporalité historique/temps » in Jacques Le Goff, Roger Chartier et Jacques Revel, *La Nouvelle Histoire*, Paris, 1978, pp. 558-560. Remarquons que le *Dictionnaire des sciences historiques* ne retient pas d'entrée comparable.

¹⁰ Reinhart Koselleck, *Le futur passé. Contribution à la sémantique des temps historiques* [1979]. Paris, 1990. Il cite B.G. Niebuhr, *Geschichte des Zeitalters der Revolution*, Hamburg, 1845.

en 1765) que Voltaire, en séparant délibérément l'histoire naturelle de l'histoire humaine, ouvrait la voie à la distinction majeure entre temporalité et chronologie. Selon lui, la temporalité appartient à l'histoire alors que la chronologie convient aux sciences de la nature ¹¹. Certes, l'administration de la preuve en histoire est toujours liée à une période et un lieu. « Rien de comparable, constate le sociologue Jean-Claude Passeron, à la position des sciences de la nature qui, lorsqu'elles sont confrontées à une tâche de type 'historique', pour expliquer une configuration ou un événement singuliers (...), peuvent appuyer leur reconstitution de l'enchaînement d'états successifs sur un corpus constitué de lois physico-chimiques valables indépendamment des coordonnées spatio-temporelles de la consécution singulière à expliquer » ¹².

Il y a là, de fait, un abîme entre le temps de l'histoire humaine et celui de l'évolution biologique. Le géographe Vidal de la Blache parlera plus tard de « truisme » en évoquant la banalité récurrente du constat de l'incommensurabilité entre la durée de la vie humaine et le temps de la nature, truisme auquel il convient de réfléchir un peu.

Construire le temps en séquences hétérogènes ne va pas de soi. C'est à partir des années 1930 que la nouvelle histoire économique et sociale abandonne définitivement l'idée simple d'un temps « unidimensionnel et uniformément progressif » ¹³. C'est là que se situe la contribution majeure de Fernand Braudel, la célèbre tripartition des durées. Présente dans la structure même de *La Méditerranée* avec son célèbre plan étagé, la décomposition du temps trouve une formalisation dans un article des *Annales* en 1958 ¹⁴. Brièvement rappelée, la proposition de Braudel distingue trois échelles temporelles :

-
- ¹¹ Des sciences de la nature profondément affectée dès le XVII^e siècle par la dilatation du temps de la nature. La tradition biblique attribuait au plus 6000 ans à l'histoire du monde alors qu'au XX^e siècle la cosmologie envisage un univers de 10 milliards d'années !
- ¹² Jean-Claude Passeron, *Le raisonnement sociologique. L'espace non-poppérien du raisonnement naturel*, Paris, 1991.
- ¹³ Krzysztof Pomian, *Sur l'histoire*, Paris, 1999, p. 366.
- ¹⁴ Fernand Braudel, « Histoire et sciences sociales. La longue durée », in *Annales E.S.C.*, n° 4, octobre-décembre 1958, pp. 725-753.

- * le temps court, celui de l'histoire « traditionnelle » attentive à l'événement et à l'individu, un temps du récit, un temps individuel, une « somme de journées », voire d'années ;
- * le temps que nous qualifierons de « moyen » (ce qualificatif ne se trouvant pas chez Braudel), le temps de la conjoncture et de l'économie (le « récitatif de la conjoncture »), un « temps social lentement rythmé », une dizaine d'années, un quart de siècle, un demi-siècle au plus ;
- * enfin le temps long, celui des structures, ces réalités « que le temps use mal et véhicule très longuement », une périodicité séculaire et multiséculaire.

Pour rendre accessible par des exemples empiriques la longue durée, ce « personnage encombrant » comme il le dit lui-même, Braudel travaille sur plusieurs registres. Il a évoqué le « génie de Marx », le premier à fabriquer « de vrais modèles sociaux » à partir de la longue durée historique ¹⁵. Il a mentionné les systèmes culturels, des ensembles de conceptions qui commandent le penser et le croire, autrement dit les mentalités, d'où la formule : « Les cadres [97] mentaux aussi sont prisons de longue durée. » ¹⁶ Mais ce sont les métaphores empruntées à l'espace qui selon lui rendent le mieux compte du rythme lent : temps géographique, histoire immobile, temps des rapports avec le milieu, temps écologique. C'est par l'espace que Braudel introduit dans la discipline historique une nouvelle dimension temporelle. Il précise : « L'homme est prisonnier, des siècles durant, de climats, de végétations, de populations animales, de cultures, d'un équilibre lentement construit, dont il ne peut s'écarter sans risquer de remettre tout en cause » ¹⁷. Dans *La Méditerranée*, on lit une formule encore plus percutante : « La géographie (...) aide à retrouver les plus lentes des réalités structurelles, à organiser une mise en perspective selon la ligne de fuite de la plus longue durée. La géographie, à laquelle nous pouvons comme à l'histoire tout demander, privilégie ainsi une histoire quasi

¹⁵ *Ibid.*, pp. 80-81 [nous citons d'après le recueil d'articles réunis sous le titre *Ecrits sur l'histoire*, Paris, 1969].

¹⁶ *Ibid.*, p. 51.

¹⁷ *Ibid.*

immobile »¹⁸. Très clairement, pour Braudel, la longue durée implique la « réduction de faits humains à l'ordre géographique », processus qui pour lui est double, « réduction à l'espace (...) mais aussi réduction au social »¹⁹.

Les durées sont solidaires les unes des autres : « Ce n'est pas la durée qui est tellement création de notre esprit, mais les morcellements de cette durée », écrit encore Braudel, autant de fragments qui se rejoignent et « s'emboîtent sans difficulté ». Par analogie avec l'espace, on pourrait se contenter de ce mode d'articulation des échelles : un simple ajustage comme des poupées gigognes. Valable pour les espaces administratifs dont on attend qu'ils s'emboîtent sans se chevaucher, l'image ne peut rendre compte efficacement du fonctionnement des autres formes d'espaces. À vrai dire, l'espace est analysé par les géographes comme intersection d'ensembles spatiaux et l'analyse spatiale décompose la spatialité selon différents niveaux (les échelles)²⁰. Est-ce à dire que les échelles de temps et les échelles spatiales se correspondent ? À la longue durée correspondent-elles les contraintes géographiques et leur déterminisme ? Y a-t-il superposition du temps long et de la petite échelle, du temps court et du niveau élémentaire de la vie de relations ? La réalité est heureusement moins mécanique et dans d'autres ouvrages, Braudel a su montrer que des formes d'organisation spatiale à différentes échelles peuvent se développer à des rythmes temporels très

¹⁸ Fernand Braudel, *La Méditerranée et le monde méditerranéen à l'époque de Philippe II*, 2^e éd., Paris, 1966, t. 1,1, p 21. Je ne commenterai pas ici la vision quelque peu appauvrissante de la géographie selon Braudel.

¹⁹ F. Braudel, *Écrit...* p. 173. Le rapprochement entre longue durée et réduction à l'espace est évoqué aussi p. 83 comme pouvant contribuer à construire un programme de recherches collectives en sciences sociales. Pour faire face au défi du structuralisme, Braudel a d'autre part justifié la longue durée comme étant un moyen de conceptualiser une histoire structurale. Dans le contexte de 1958 (année de la parution de *l'Anthropologie structurale* de Claude Lévi-Strauss), la longue durée apparaît comme la parade historique à la montée de l'anthropologie. Rappelons que la prohibition de l'inceste est l'exemple emblématique des réalités de très longue durée mises en évidence par l'anthropologie.

²⁰ Yves Lacoste, « Braudel géographe », in Maurice Aymard e.a., *Lire Braudel*, Paris, 1988, p. 171-218. Lacoste nuance fortement la pensée de Braudel en montrant qu'il ne réduit pas la géographie à l'étude des faits immobiles. Voir aussi Yves Lacoste, « Braudel géographe », in *Hérodote*, n° 40, 1986, pp. 161-165.

contrastés aussi. Elles ne se répondent pas systématiquement : « Les plus vastes espaces ne correspondent pas aux plus longues durées, ni les plus petits territoires »²¹. Selon Bernard Lepetit, on quitte de cette manière la complète « réduction à l'espace » pour constater seulement une « homologie » de l'espace et du temps. Géographies différentielles et temporalités différentielles intersectent de manière complexe sans jamais coïncider parfaitement.

Revenons au temps. La difficulté de la simple réduction à l'espace étant levée, il n'en demeure pas moins un autre problème non résolu. En effet, Braudel n'est pas parvenu à articuler les diverses temporalités. Les trois temps se présentent comme des couches [98] géologiques : ils s'empilent en strates bien différenciées. Dans sa structure feuilletée, le découpage du temps est alors inabouti, les trois temps n'étant guère intégrés. Dans une interprétation devenue classique de la pensée braudélienne, Jacques Revel complique encore le problème : « J'aurais tendance à penser qu'il n'y a pas trois temporalités mais que chaque type d'objet s'inscrit dans des temporalités qu'il faut tenter de reconstruire »²². Chaque phénomène historique se joue sur des rythmes et des durées qui lui sont propres. Mais comment les faire tenir ensemble ?

Il est vrai qu'en privilégiant la longue durée, l'histoire des mentalités a quelque peu occulté les rythmes temporels où jouent les déterminations du social et a donc noyé la difficulté. Comment ne pas citer la formule de Michel Vovelle, reprise par François Dosse qui a nettement l'impression que « les mentalités traversent l'histoire sur un coussin d'air, comme entités indépendantes de toute contingence »²³. L'aporie fictionnelle est poussée à son terme par Robert Muchembled : non seulement les mentalités se situent dans la couche profonde de la longue durée mais elles sont elles-mêmes « les complexes produits

²¹ Bernard Lepetit, « Hommage à Fernand Braudel », in *Annales E.S.C.*, nov-déc. 1986, n° 6, pp. 1187-1191.

²² Jacques Revel in *Espaces Temps*. n°s 34-35, 1986, p. 13.

²³ François Dosse, *L'histoire en miettes. Des Annales à la nouvelle histoire*, Paris, 1987, p. 199. L'expression est de Michel Vovelle dans J Le Goff *et al.*, *op.cit.*, p. 343.

d'influences et de sociétés successives », des « empilements de strates comportementales diverses »²⁴.

Pour tenter d'échapper à l'impasse, c'est l'ensemble du schéma braudélien avec ses trois temps étagés qu'il convient de reconsidérer. Alain Corbin l'exprimait avec vivacité dans les « Considérations de méthode » qui terminent l'un de ses livres : « Il est temps pour les historiens de remettre en question la notion de prison de longue durée et les rythmes décalés de la temporalité braudélienne ; ces derniers leur imposent l'image de fleuves, plus ou moins rapides et agités, qui ne mêlent pas leurs eaux »²⁵. Est-il possible, dans ces conditions, de « détecter la cohérence des représentations telles qu'elles se structurent à une époque donnée », se demande Corbin ? Braudel lui-même devait être conscient de la difficulté, admettant que la « pente du temps n'est pensable que sous la forme d'une multiplicité de descentes, selon les diverses et innombrables rivières du temps »²⁶. La décomposition analytique rend certes saisissable la coprésence des rythmes différents mais en aucun cas elle ne permet leur articulation²⁷.

Inverser la perspective braudélienne

Pour affiner l'approche de ce problème, regardons les implications du modèle dans le champ de l'histoire environnementale. Dans un premier temps, les historiens ont utilisé la longue durée pour expliquer le social. Traditionnellement, on le sait, on a distingué les sciences morales (sciences humaines) des sciences naturelles en assignant aux premières les faits humains échappant à tout déterminisme à cause de la liberté coextensive à la condition de l'homme. L'évolution biologique, en revanche, serait par définition soumise au déterminisme naturel, étant entendu que la terre et la vie, selon la conviction de la science du

²⁴ Robert Muchembled. *L'invention de l'homme moderne : sensibilités, mœurs et comportements collectifs sous l'Ancien Régime*. Paris. 1988, p. 461.

²⁵ Alain Corbin. *Le territoire du vide. L'Occident et le désir du rivage 1750-1840*, Paris, 1988, p. 321.

²⁶ F. Braudel, *Ecrits...*, Paris, 1969, p. 62.

²⁷ Nous avons déjà abordé cette question dans François Walter, « Une autre histoire sociale », in *Revue Suisse d'Histoire*, 47 (1997), pp. 59-66.

XIX^e siècle, sont des systèmes stables. Sur cette base, on distinguerait un temps vécu, celui de l'homme libre, et un temps cosmique, celui des déterminations de la nature. Dans une deuxième étape, la frontière entre les deux approches commence à être remise en cause au moment où l'histoire devient une science sociale (entre 1930 et 1960). Durant cette période, on s'est efforcé de construire des modèles plus complexes où les variations concomitantes (pour [99] reprendre le vocabulaire durkheimien) faisaient intervenir des facteurs explicatifs tels le changement climatique, les épidémies, l'hygiène, le malthusianisme démographique. Là encore on s'en tire en arguant d'une conception emboîtée des temporalités dont Krzysztof Pomian fournit une expression bien traditionnelle : « Qualitativement différent du temps de l'évolution biologique, lui-même qualitativement différent du temps de l'évolution de l'univers, le temps de l'histoire humaine n'en est pas moins un segment du temps universel. En ce sens, on peut dire que c'est une même histoire qui englobe tant les quelques milliers d'armées qui nous séparent de l'invention de l'écriture que des dizaines de milliers d'années d'activités d'*Homo sapiens*, emboîtées dans des centaines de milliers d'années d'existence des hominiens, emboîtées à leur tour dans des millions d'années d'existence des anthropiens, emboîtées dans des milliards d'années d'existence d'êtres vivants, emboîtées, enfin, dans plus de dix milliards d'années d'existence de l'univers » ²⁸.

Peut-on ainsi se contenter d'un modèle temporel où les différents étages (histoire humaine, histoire biologique, histoire de l'univers) coulisent les uns dans les autres comme des poupées gigognes ? L'historien est-il seulement, comme chez Paul Ricœur, celui qui réinscrit le temps vécu dans le temps cosmique ? « L'histoire, écrit le philosophe, soumet sa chronologie à l'unique échelle de temps, commune à ce que l'on appelle l'histoire de la terre, l'histoire des espèces vivantes, l'histoire du système solaire et des galaxies » ²⁹.

Parmi les approches les plus significatives, les travaux d'Emmanuel Le Roy Ladurie me semblent illustrer à la fois la conscience des impasses où s'enferme la vision traditionnelle des rapports homme-nature et la fécondité des hypothèses sur la longue durée. Dans son *Histoire du climat*, Le Roy Ladurie déplore qu'on n'ait retenu jusqu'alors

²⁸ K. Pomian, *op.cit.*, p. 400.

²⁹ Paul Ricœur, *Temps et récit*, Paris, 1983, t. III, p. 331.

qu'une vision anthropocentrique, naïve et stérile, à savoir une simple « explication climatique de l'histoire humaine »³⁰. Il se gausse des « romanciers du climat » qui prétendent expliquer les migrations par les fluctuations des pluies et prône une « histoire climatique pure » qui ne s'occuperait que des phénomènes naturels en tant que tels. La difficulté est donc résolue par une séparation épistémologique de l'histoire humaine et de la nouvelle « histoire physique » (à l'instar de la coupure géographie humaine, géographie physique), étant entendu une fois pour toutes que les échelles temporelles envisagées ne sont pas compatibles³¹.

Lorsqu'il entre au Collège de France en 1973, Le Roy Ladurie prononce un vrai plaidoyer pour la longue durée en utilisant la formule braudélienne de « l'histoire immobile »³². Elle désigne l'« état quasi stationnaire » de la société paysanne qui « s'active et se reproduit en fonction d'une enveloppe de possibilités numériques dont les contraintes sont inexorables », ceci sur la longue durée de 1300 à 1700 environ³³. Cette société stable écologiquement et démographiquement doit beaucoup selon l'auteur à « l'unification microbienne du monde ». Ce concept emprunté à l'historien californien Woodrow Borah signifie que les bactéries et les virus ont « rendu effective l'unité du globe avant même que l'homme ne soit parvenu à [100] réaliser celle-ci pour son propre compte ». Ce marché commun des microbes a été réalisé dans le

³⁰ Emmanuel Le Roy Ladurie, *Histoire du climat depuis l'an mil*, Paris, 1967.

³¹ E. Le Roy Ladurie renvoie à un stade ultérieur la constitution d'une « histoire écologique » pour étudier comment les fluctuations ont réagi sur l'habitat, les récoltes, la démographie. Sa position épistémologique très tranchée (la rupture entre deux types d'histoire) me semble caractéristique des certitudes des années 1960. On croit à une nouvelle positivité de l'histoire comme en témoignent aussi les affirmations péremptoires du même auteur sur les possibilités offertes par l'ordinateur à l'historien H est significatif que cet historien ait par la suite abandonné ce point de vue puriste pour une nouvelle forme d'écohistoire. Il passe à la seconde étape dans un livre au titre révélateur : Emmanuel Le Roy Ladurie, *Histoire humaine et comparée du climat. Canicules et glaciers XIII-XVIII^e siècles*, Paris, 2004.

³² Emmanuel Le Roy Ladurie, « L'histoire immobile », in *Le territoire de l'historien II*, Paris, 1978, pp. 7-34.

³³ *Ibid.*, p. 17.

temps long entre 1300 et 1600 ³⁴. L'« holocauste microbien » a singulièrement limité les potentialités de la croissance démographique en pratiquant des saignées inouïes lentement compensées par des soubresauts de vitalité qui permettent de retrouver l'équilibre.

L'approche par la longue durée a été passablement critiquée après la mort de Braudel en 1985. Alors qu'il est censé comprendre le changement, voilà l'historien voué à analyser les « inerties des sociétés immobiles », non sans arrière-pensée politique conservatrice. « Nous prévenir, comme l'écrit François Bosse, des velléités de changements en nous nourrissant d'une vague nostalgie de ce que nous avons perdu » ³⁵. « Le territoire de l'historien se déploie étroitement entre les ciseaux qui tantôt s'ouvrent et tantôt se referment selon le seul rapport ressources-population sur une société impuissante » ³⁶. La longue durée met donc comme première instance de l'explication historique un implacable écosystème. L'omniprésence de l'explication biologique enferme l'homme dans une nature indépassable et semble méconnaître les potentialités de l'innovation, les facultés créatrices de l'homme en société et le jeu des contradictions sociales qui, selon des modalités qui leur sont propres, poussent à l'ouverture ou au contraire au repli.

Certes, la longue durée après Braudel conserve son actualité. Dans nombre de disciplines, on cherche même une échelle supplémentaire, la « très longue durée ». En histoire agraire, on a récemment plaidé pour remonter en amont des deux millénaires traditionnellement retenus par les chercheurs pour pousser jusqu'il y a 8'000 ou 10'000 ans ³⁷. L'archéologie agraire veut aller « jusqu'aux racines des toutes premières anthropisations » tout en refusant le « temps immobile ». Jean Guilaine qui est en quelque sorte le chef de file de l'école française dans ce domaine envisage la TLD (très longue durée) seulement comme « un cadre temporel, un marqueur multiple d'enregistrement de pulsions

³⁴ Emmanuel Le Roy Ladurie, « Un concept : l'unification microbienne du monde (XIV^e-XVII^e siècles), in *Revue suisse d'histoire*, 23 (1973), repris in *Le territoire de l'historien II*, Paris, 1978, p. 37-97.

³⁵ François Dosse, *L'histoire en miettes. Des "Annales" à la "nouvelle histoire"*. Paris, 1987, p. 220.

³⁶ *Ibid.*, p. 195.

³⁷ Voir le numéro d'*Etudes rurales* consacré à « La très longue durée » (*ER*. N^{os} 153-154, janvier-juin 2000).

constantes qui s'expriment sur un espace en mouvement perpétuel »³⁸. Et de poursuivre : « A nous de traquer les continuités, l'instabilité ou les ruptures qui affectent cet espace ; d'en apprécier la diversité chronologique qui le mine (à la manière d'une montre qui donnerait le temps brut, assorti de diverses aiguilles adaptées, elles, au rythme des temporalités diverses) ». C'est dire que la longue durée aujourd'hui est perçue d'une autre manière qu'au temps de Braudel par le refus de sa linéarité et de son apparente immobilité. L'emprise humaine sur l'espace ne cesse de bouger et de se recomposer. On retrouve le goût du changement constitutif de l'historicité. D'une certaine manière aussi, on renverse la perspective braudélienne. Ce n'est plus la réduction à l'espace qui permet de saisir la durée mais au contraire la réduction au temps qui permet d'approcher l'espace anthropisé. Ce sont les séquences temporelles de la sédimentologie, de la pédologie, de la palynologie (étude des pollens), de la carpologie (étude des semences) qui fonctionnent comme autant de traceurs écologiques. Ensuite, à partir du factuel, du stratifié et du daté, on va comprendre le paysage agraire. Réagir aux pesanteurs des « idées braudéliennes », refuser les permanences pour insister sur « la diversité des temporalités, des discontinuités, la multiplicité des interactions entraînant de continuelles recompositions »³⁹. Au fond, le temps permet de penser l'espace.

[101]

Cette nouvelle longue durée intensément rythmée laisse toutefois entier le problème des articulations des temps de la nature et de l'homme. Rappelons ici encore quelques présupposés⁴⁰. Du temps nous n'avons connaissance que comme « forme *a priori* de la sensibilité » kantienne. Le devenir des choses en soi (noumènes) ne nous est accessible que par le déroulement des phénomènes par nous perçus. Le passé et l'histoire n'ont de signification que pour ceux qui l'écrivent ou l'étudient. Le temps de l'histoire est ainsi une conception purement humaine. Il s'applique à un espace lui aussi perçu et balisé par les seuls hommes. Ces derniers projettent ces notions dans leur univers, qu'ils

³⁸ *Ibid.*, p. 16.

³⁹ Toutes ces citations proviennent du texte de Jean Guilaine, « Changeons d'échelles : pour la très longue durée, pour de larges espaces », in *ER... op.cit.*, pp. 9-21.

⁴⁰ Nous reprenons ici les remarques liminaires de Robert Delon et François Walter, *Histoire de l'environnement européen*, Paris, 2001, pp. 22-23.

pensent né du *big bang* il y a des milliards d'années et dont ils se demandent si l'expansion est infinie ou si elle s'arrêtera avant de revenir à une contraction définitive, ou provisoirement définitive (*big crunch*). C'est pourquoi, on ne peut pas négliger une histoire des galaxies, des étoiles, des planètes, de la terre et des phénomènes « naturels », avec une échelle de temps se calculant en un nombre plus ou moins restreint de milliards ou de millions d'années, au rythme des climats, du magnétisme, des séismes, du volcanisme, des combinaisons carbone, oxygène, azote. Il y a une histoire des plantes, des animaux qui se déroule sur des centaines de milliers d'années et une histoire des hommes au mieux sur trois millions et demi d'années, celle des cultures et des sociétés se déroulant sur des millénaires, voire des siècles, et le temps vécu courant sur des décennies, voire quelques années ou quelques instants. Ces différents temps semblent n'être que des échelles différentes mettant au jour des problématiques différentes. Dire que l'on varie la focale d'observation en changeant d'échelle temporelle n'est cependant qu'une pauvre métaphore pour exprimer la complexité de l'enchâssement des êtres et des choses dans la durée.

Les hommes peuvent certes distinguer un temps astronomique, cyclique avec l'éternel retour des astres à la même place, comme celui des saisons sur la terre, des levers et des couchers quotidiens du soleil. Ils peuvent s'arrêter au temps linéaire et progressif d'un début à une fin, comme celui de la vie, irréversible. Mais ce temps biologique est lui-même rythmé différemment selon qu'on mesure le temps des phénomènes physiologiques, psychologiques et pathologiques ou qu'on envisage le développement ontogénique du sujet individuel ou encore qu'on se situe du côté de la longue durée biologique. Il y a enfin, en thermodynamique, quand Clausius a introduit entre 1850 et 1865 l'entropie, c'est-à-dire le « retour en arrière », non seulement des systèmes allant dans le sens d'un désordre croissant, mais également des systèmes réversibles, des temps à sens intermédiaires, celui des équations chimiques et de l'infiniment petit ⁴¹. Il y a des situations où le milieu

⁴¹ Il vaut la peine de citer ici intégralement la note dans laquelle nous relevions : Les historiens sont peu familiers des découvertes fondamentales de Ludwig Boltzmann ou de Wolfgang Pauli et connaissent seulement l'expression « la flèche du temps », due à Arthur Stanley Eddington in *The Nature of the Physical World* [1928], rééd. Ann Arbor, 1958. Très accessible Ilya Prigogine et Isabelle Stengers, *Entre le temps et l'éternité*, Paris, 1988, p. 93 -123 (« Le message

naturel change rapidement alors que les structures humaines sont plutôt stables. Parfois le temps de la nature peut évoluer à des rythmes plus contrastés que le temps des hommes. Dans tous les cas de [102] figure, des composantes naturelles soumises à leur variabilité propre (la végétation et les sols) intersectent avec des interventions humaines de durée imprévisible, elles-mêmes en variation avec des perceptions paysagères dont les valorisations négatives ou positives s'ancrent dans des temporalités variables (de la longue durée jusqu'à la mode la plus éphémère). N'oublions pas non plus que ces phénomènes peuvent aussi avoir leur variabilité propre, indépendamment d'autres facteurs et qu'émergent parfois des phénomènes nouveaux en superposition. De ce gigantesque télescopage des durées, il est difficile de rendre compte par des modèles simples.

Sous des propos apparemment plaisants. Augustin Berque nous oriente vers une solution possible en évoquant concrètement la coprésence de durées variables : « La remontée isostatique du bouclier Scandinave, depuis la dernière glaciation, écrit-il, se poursuit à un rythme qui n'est pas du même ordre que celui des modes vestimentaires ou dévestimentaires des baigneurs suédois ; pourtant, ces rythmes différents trajectent en l'unité paysagère de cette crique du Götaland, à tel moment de l'été... »⁴². Comment mieux rendre compte des

de l'entropie ») et également p. 19, 22 sq. ainsi que p. 147-170. De même Hubert Reeves, dans ses nombreux ouvrages dont *Malicorne*, Paris, 1990, p. 105 sq. (« La thermodynamique et le vol des papillons ») ou encore Stephen William Hawking, *Une brève histoire du temps*, Paris, 1990 ainsi que Pierre Bergé, Yves Pomeau et Monique Dubois-Gance, *Des rythmes au chaos*, Paris, 1994 p. 63 sq. et 270, n.5. Est prise pour exemple la fameuse réaction chimique dite de Belusof-Zabotinski dont on voit la totale réversibilité grâce à un colorant (la ferroïne) qui passe alternativement du bleu au rouge et inversement, sans fin. Les particules n'ont aucun « sens » du temps, sauf l'exception récemment découverte du kaon O. L'importance fondamentale de la thermodynamique et des phénomènes de réversibilité du temps ne peuvent être passés sous silence quand on envisage d'étudier l'histoire d'un environnement qui en est étroitement dépendant. Voir *Ibid.*, p. 23.

⁴² Augustin Berque, « De peuples en pays ou la trajection paysagère », in Michel Collot (sous la dir. de), *Les enjeux du paysage*, Bruxelles, 1997, p. 327. Ailleurs Berque définit comme suit son néologisme de trajection : « Combinaison médiale [relative au milieu] et historique du subjectif et de l'objectif, du physique et du phénoménal, de l'écologique et du symbolique, produisant une médian ce

présupposés de la réduction temporelle ! C'est par la durée que l'on saisit les mécanismes des usages sociaux entrecroisés de l'espace. Même les géographes ont proposé de retrouver l'épaisseur temporelle de l'organisation de l'espace en analysant les « chronochorèmes », c'est-à-dire de retrouver dans notre environnement les éléments du passé pour reconstituer des processus historiques et leur déroulement dans l'espace ⁴³. On arrive alors à un constat particulièrement important pour la suite de la réflexion. C'est à partir d'un point d'observation (le présent de l'observateur) que l'on reconstitue les multiples temps sociaux dont le paysage actuel résulte. On l'a dit souvent, le paysage est « palimpseste », c'est-à-dire entassement et chevauchement d'éléments de différentes époques. Mais, par ailleurs, il est aussi la saisie dans l'instant de multiples rythmes dynamiques. Comme le montre avec pertinence Jean-Luc Piveteau, le paysage est « affleurement de multiples durées, comme tronquées » dans leur déferlement temporel ⁴⁴. Explorons maintenant les vertus heuristiques de ce constat.

L'insertion de l'homme dans l'histoire

Pour inscrire la longue durée dans nos outils d'analyse, on ne peut pas faire abstraction du régime d'historicité spécifique à notre temps. On le sait, le mode d'existence dans le temps de notre société a des spécificités, qui en font une sorte de convention définissant notre rapport à la durée. Les cadres culturels que nous utilisons pour aménager le passé diffèrent de ceux qui avaient cours ne serait-ce qu'à l'époque de Braudel. Ainsi, le régime moderne d'historicité trouvait du sens dans l'avenir ⁴⁵. C'est le futur qui éclairait le passé. Ce mode d'historicité cède la place, depuis la fin des idéologies symbolisée par la chute du

[sens du milieu] » (Augustin Berque, *Médiance de milieux en paysages*, Montpellier, 1990, p. 48).

⁴³ Le concept a été développé par H. Théry, *Brésil, un atlas chorématique*, Montpellier, 1986.

⁴⁴ Jean-Luc Piveteau, « L'épaisseur temporelle de l'organisation de l'espace: 'palimpseste' et 'coupe transversale' », in *Temps du territoire. Continuités et ruptures dans la relation de l'homme à l'espace*, Genève, 1995, pp. 163-173.

⁴⁵ François Hartog et Gérard Lenclud, « Régimes d'historicité », in A. Dutu et N. Dodille, *L'état des lieux en sciences sociales*, Paris, 1993, pp. 18-38.

mur en 1989, à une nouvelle forme de rapport au temps où le présent occupe une place envahissante. Toute temporalité s'exprime à partir du présent. On est passé, écrit François Hartog, « du futurisme [103] au présentisme : à un présent qui est à lui-même son propre horizon »⁴⁶. Le passé devient dans ce contexte un « univers de ressources » (B. Lepetit) et une « multiplicité de possibles » (M. Riot-Sarcey)⁴⁷.

Cette approche doit beaucoup aux propositions de Koselleck qui a montré comment, à chaque moment de l'histoire, on mobilise le passé pour reconstruire un « champ d'expérience » (l'actualité du passé ou le passé récapitulé) et définir un « horizon d'attente » (le futur propre à chaque génération ou le futur passé). C'est de la tension entre les deux perceptions que naît le régime d'historicité où le présent est toujours l'instance de mobilisation⁴⁸. La commutabilité des temps s'opère à partir du présent. Une telle revalorisation du présent aboutit à rejeter tout découpage *a priori* des durées et ramène la longue durée à n'être qu'une forme parmi d'autres d'un temps réélabore en fonction des enjeux du moment. Pour parler comme Koselleck, il y a un passé propre à chaque génération, ou, si l'on supporte la redondance, un passé passé. Ce sont donc les horizons temporels des acteurs de l'histoire qui doivent nous intéresser car c'est dans l'action que les acteurs élaborent la forme et la profondeur de leur passé. Comme l'écrit Bernard Lepetit, le processus historique devient un « présent en glissement »⁴⁹.

Quelles sont les conséquences d'une telle épistémologie du présent pour notre travail d'historien ? Elle est à vrai dire au fondement de ce qu'on a pu appeler le « tournant pragmatique et interprétatif des

⁴⁶ François Hartog. « Temps et histoire. Comment écrire l'histoire de France ? », in *Annales HSS*, 1995, pp. 1219-1236 (la citation est à la page 1224). L'auteur a développé ce point de vue dans François Hartog, *Régimes d'historicité. Présentisme et expériences du temps*. Paris. 2003.

⁴⁷ Textes cités par Jean Leduc, *op.cit.*, Paris, 1999, pp. 44-45.

⁴⁸ Voir R. Koselleck. *op. cit.* Voir aussi Christian Delacroix, « La falaise et le rivage. Histoire du 'tournant critique' », in *Espaces Temps*, n^{os} 59/60/61, 1995, pp. 86-111.

⁴⁹ Lepetit perçoit aussi les conséquences épistémologiques de cette position en écrivant : « Les états successifs de la société ne trouvent leur raison d'être nulle part ailleurs que dans leur déroulement même », ce qui est, il en convient, un appauvrissement épistémologique. L'impasse n'est qu'apparente. Voir Bernard Lepetit, « L'histoire prend-elle les acteurs au sérieux ? », in *Espaces Temps*, n^{os} 59/60/61, 1995, pp. 112-122.

sciences sociales » par référence à la philosophie de Paul Ricœur ⁵⁰. Lui aussi a parlé des « lois d'enchâssement » des durées ⁵¹. Mais il ouvre également l'interprétation en poussant plus avant le raisonnement. C'est par sa fonction de connecteur des durées que l'historien, tout en construisant abstraitement des modèles temporels, conserve un rapport direct avec la réalité du passé. Ricœur défend par là le « réalisme restreint » et le « constructivisme » militant des historiens. Son herméneutique vise précisément à interpréter l'insertion de l'homme dans l'histoire au sens où l'histoire présente cette singularité de faire partie de son propre objet. En réaction aux grands modèles explicatifs (largement inspirés par les sciences dures) qui privilégient les invariants et les régularités et par conséquent le temps long des sciences de la nature et des déterminismes biologiques, les sciences humaines valorisent aujourd'hui le changement et la place des acteurs dans leur recherche d'une interprétation du lien social. Elles insistent sur la complexité et le pluralisme des processus de l'interaction sociale tout en reconfigurant le temps en déplaçant le centre de gravité vers la courte durée et le présent de l'action.

L'histoire n'est pas en reste et surfe sur la vague herméneutique comme en témoignent le « tournant critique » des *Annales* en 1989 et les propositions de Bernard Lepetit pour « une autre histoire sociale ». Ces dernières placent au cœur de l'expérience temporelle la réappropriation du passé : « Le passé, ainsi, est un présent en glissement. La prise en charge au présent du temps est marquée d'une double dynamique. La première affecte les structures générales de l'expérience temporelle : les variations de la valeur respective accordée à [104] l'horizon d'attente et à l'espace d'expérience définissent des régimes d'historicité qui ont non seulement une histoire, mais aussi une géographie culturelle et sociale. La seconde est celle par laquelle les groupes requalifient, pour de nouveaux emplois, les objets, les institutions et les règles qui dessinent ensemble l'espace d'expérience dont ils disposent » ⁵². Au lieu de l'extériorité du point de vue braudélien sur le temps, on opte pour une immersion dans le temps à partir de l'individu

⁵⁰ L'expression est de François Dosse, *Paul Ricœur. Les sens d'une vie*, Paris, 1997, pp. 681-696.

⁵¹ P. Ricœur. *op. cit.*, t. II, p. 295.

⁵² Bernard Lepetit, « Le présent de l'histoire », in B. Lepetit, (sous la dir. de), *Les formes de l'expérience. Une autre histoire sociale*, Paris, 1995, p. 296.

en assumant pleinement l'assertion de Paul Ricœur sur la « conditionnalité existentielle » de la représentation historique du passé : « Nous faisons l'histoire et nous faisons de l'histoire parce que nous sommes historiques » ⁵³.

Dans un autre texte programmatique, Lepetit propose de dépasser les schémas temporels braudéliens en déplaçant « la longue durée au présent » ⁵⁴. C'est à partir de deux travaux portant sur la longue durée qu'il formule ses propositions. D'abord, le travail de Denys Lombard sur l'histoire de Java depuis le XIII^e siècle dont l'une des originalités est de ne pas être construit selon l'ordre chronologique classique. Lombard présente ce qu'il appelle les « nébuleuses mentales » produites successivement par les contacts avec la Chine, avec l'Islam et avec l'Occident dans un ordre « géologique », c'est-à-dire « dans l'ordre même où elles affleurent » ⁵⁵. Dans le paysage indonésien d'aujourd'hui « affleurent des roches très diverses » qui n'ont pas toutes été métamorphosées au même degré par l'emprise étatique. Ainsi le monde agraire peut très bien coexister avec un monde marchand, chacun correspondant à des strates historiques différentes. Lepetit reprend les métaphores géologiques et commente en insistant sur la méthode qui consiste à « suivre une série de fils depuis le plus ancien passé connaissable jusqu'à aujourd'hui », non pas un carottage à la Braudel mais une exploration des filons « en suivant les galeries dans l'état où il les trouve aujourd'hui ». Et le résultat ne se fait pas attendre : « A l'histoire immobile en quoi se résout la longue durée braudélienne s'oppose la construction dans le présent de dynamiques de longue durée aux éléments perpétuellement révisés » ⁵⁶.

⁵³ Paul Ricœur, *La mémoire, l'histoire, l'oubli*, Paris, 2000, p. 456.

⁵⁴ Bernard Lepetit, « La longue durée au présent », in B. Lepetit, *Carnet de croquis. Sur la connaissance historique*, Paris, 1999, pp. 284-299.

⁵⁵ Denys Lombard, *Le carrefour javanais. Essai d'histoire globale*, Paris, 1990, p. 9. Le premier volume traite les « limites de l'occidentalisation » (un temps qui va du XVI^e siècle à nos jours), le deuxième volume aborde les « réseaux asiatiques », c'est-à-dire le stimulus islamique et le legs chinois du XIII^e siècle à nos jours avec un temps fort entre le XIX^e siècle et 1950); le troisième volume est consacré à l'« héritage des royaumes concentriques », soit à la société agraire du XV^e siècle à nos jours.

⁵⁶ B. Lepetit, *op. cit.*, p. 292.

C'est une démarche similaire que Lepetit trouve chez Nathan Wachtel étudiant les Indiens Urus de Bolivie. Le titre même du livre ose l'inversion des durées en précisant « *Les Indiens unis de Bolivie XX^e-XVI^e siècle* »⁵⁷. Il emprunte à la méthode d'histoire régressive chère à Marc Bloch pour reconstituer « le film du devenir, avec ses répétitions, ses latences, ses lacunes et ses novations » comme en déroulant le film à l'envers. De cette manière est restituée la « pluralité des durées », les « logiques qui régissent les formations sociales » donnant lieu à des « configurations diverses », chacune « actualisant historiquement l'un des cas d'une série de possibles ». Chaque groupe social reprend à un moment donné des éléments naturels, économiques, culturels et ethniques pour recomposer le système social et faire sens. Dans ce cadre, une longue durée mythique peut fort bien construire à un moment donné un passé pertinent.

[105]

Empruntons encore une anecdote à la réception de notre « *Histoire de l'environnement européen* », écrit avec Robert Delort. Le livre a suscité beaucoup d'incompréhension du côté des écologues-écologistes. Au-delà de l'habituel « je n'ai pas eu vraiment le temps de lire votre livre » (sous-entendu parce que j'ai des choses plus importantes à faire), le commentaire d'une députée verte européenne au cours d'une émission de *France-Culture* en juin 2001 est sur le thème qui nous intéresse très instructif. D'un côté, les écotecnocrates insistent sur une très longue durée et l'existence de règles biologiques permanentes parce que l'échelle de la nature est très différente des échelles de l'homme. D'où le truisme qui veut que l'environnement apparaisse comme un temps presque immobile comparé à la « petite histoire humaine ». De l'autre, ils développent la thèse d'une nouveauté radicale de la période récente. Dans ce cas précis, les écologues-écologistes ne supportent pas qu'on replace leurs références et leurs pratiques dans une durée ne serait-ce que séculaire parce qu'ils sont convaincus d'innover totalement et d'être les premiers à « savoir ». L'observateur immédiat, c'est un réflexe banal, exagère toujours le caractère innovateur de son époque ! Loin de nous de réfuter ce qui a toujours été à la base de l'herméneutique historienne depuis Lucien Febvre. à savoir une véritable obsession

⁵⁷ Nathan Wachtel, *Le retour des ancêtres. Les Indiens Urus de Bolivie XX^e-XVI^e siècle*. Essai d'histoire régressive, Paris, 1990.

de l'étrangeté du passé par rapport à notre présent ⁵⁸. Loin de nous l'idée de gommer l'irréductible spécificité des agressions contemporaines contre l'environnement. Gardons-nous cependant du syndrome de la courbe accélérée qui place la longue durée dans un passé indifférencié et uniforme et ne vise qu'à pousser à la contrition les deux derniers siècles. Il est indéniable que tous les paramètres (par exemple le taux de plomb dans l'atmosphère, la teneur en CO₂ atmosphérique ou le pH acide des pluies) démontrent la gravité de l'action anthropique depuis un demi-siècle. Il n'empêche. N'est-il pas un peu facile de considérer les historiens comme des idéologues qui « par une mise en situation de l'écologisme dans une histoire des comportements sociaux ou philosophiques vis-à-vis de la nature finissent par faire oublier les signaux d'alarme des scientifiques » voire à les taxer de mystification ⁵⁹ ?

Notre action citoyenne d'historien se situe à un autre niveau. Elle vise à comprendre les configurations complexes d'acteurs sociaux dans lesquelles s'actualisent au présent les discours quels qu'ils soient. On l'aura compris, notre préoccupation initiale d'articuler le temps de la nature et le temps de l'histoire aboutit à choisir délibérément le point de vue de l'histoire. Or, il s'agit de bien comprendre ce qu'implique le choix de conférer une dimension historique au monde de la nature, à l'environnement, aux phénomènes biologiques et sociaux. Il pousse à dépasser l'aporie de l'incommensurabilité entre le temps humain et celui de la nature, souvent soulignée. Comme le dit avec force Ricœur, en insistant sur le paradoxe de la formule, « le laps de temps d'une vie humaine, comparé à l'amplitude des durées cosmiques, paraît insignifiant, alors qu'il est le lieu même d'où procède toute question de signification » ⁶⁰. Le rapport au présent et la construction d'une pluralité de durées recentrent donc la problématique sur l'homme alors qu'on peut soupçonner Braudel d'avoir simplement reconduit le temps humain au temps de la nature en privilégiant la longue durée. En revanche, le choix

⁵⁸ Ce que rappelle opportunément Gérard Noiriel, « Pour une approche subjectiviste du social », in *Annales ESC*, n° 6, 1989, pp. 1435-1459 (plus particulièrement p. 1443).

⁵⁹ C'est le reproche qui m'a été adressé par un paléontologue qui revendique au contraire une « prétention à l'objectivité ». Voir Jacques-Louis de Beaulieu, « A propos d'histoire de l'environnement: pour ouvrir le dialogue », in *Natures, sciences, sociétés*, 2 (1994), pp. 40-42.

⁶⁰ P. Ricœur, *Temps...*, t. III, Paris, 1985, p. 135.

délibéré de la longue durée au présent subvertit définitivement la tentation d'oublier que le temps historique ne peut qu'être un temps de l'homme ⁶¹.

[106]

⁶¹ *Ibid.*, t. I, p. 312. Ricœur souligne que le temps long pourrait « être un temps sans présent, donc aussi sans passé ni futur », ce qui fait qu'il ne serait plus un temps au sens historique du concept.

[107]

La perception du temps.**“À l’écoute du temps.”****Jean HALPÉRIN**Universités de Zurich, Fribourg et Grenoble
Philosophie et Études Bibliques[Retour à la table des matières](#)

Je dois à Jacques Royer une vive gratitude pour m’avoir confié une tâche redoutable. Non que j’aie trop peu à dire, mais trop. Non pas non plus que le sujet soit difficile, mais il est d’une si grande richesse qu’il est malaisé de bien dire l’essentiel dans le temps qui nous est imparti.

Faute de pouvoir, en vingt minutes, bâtir un système de la pensée juive du temps et de sa perception, y compris dans la sagesse provocatrice de *Qohélet*, je dois me limiter à proposer quelques pistes de réflexion. Elles me sont inspirées par mon expérience vécue de la perception du temps, telle qu’elle m’a été enseignée et transmise. Le lieu d’où je parle m’interdit toute complaisance et toute généralisation abusive. Ne pouvant me livrer à une analyse exhaustive, je m’efforcerai de serrer le sujet d’aussi près que possible en l’illustrant sous forme d’esquisse trop rapide par les points de repère qu’offrent la sémantique, l’herméneutique, un mode d’être et une longue sagesse toujours topique.

Les contraintes de temps auxquelles nous sommes astreints m’obligeront à user parfois d’un style naguère qualifié de télégraphique, pour faire vite.

Les citations que je serai amené à faire d’auteurs non juifs ne tiennent pas lieu de caution. Outre qu’il s’agit ici d’une réflexion offerte en partage, le recours au regard extérieur qui est éclairant, me prémunit contre le soupçon d’apologétique ou d’autosatisfaction. Pour éviter les

pièges de l'abstraction, je privilégierai les exemples concrets dans ce qu'ils peuvent avoir de signifiant – sans autre parti pris que le refus de penser en tiroirs ou en catégories, ni de pratiquer des jugements de valeur.

Ma démarche m'amènera à croiser la dialectique de l'urgence et de la patience, de l'individuel et collectif, du singulier et de l'universel, avec un va-et-vient entre le temps vécu à l'échelle d'une vie humaine et le déroulement infini de l'Histoire.

À ceux qui s'étonneraient du choix du thème par le Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie, je pourrais répondre, sans façétie, que, pour moi, la découverte et la perception juives du temps sont la source première d'énergie spirituelle, morale et humaine.

Si je m'attache à mettre l'accent sur ce que me paraissent être les caractères originaux de la perception juive du temps, je ne saurais négliger le fait qu'ils ont marqué d'autres modes de pensée, sans pour autant devenir périmés ou dépassés. Bien au contraire : ils conservent tout leur sens et leur valeur d'appel.

Dois-je commencer par des questions simples :

— Quel âge avez-vous ?

[108]

Edmond Jabès aimait à répondre : un Juif doit toujours ajouter 5000 ans à l'âge de son état civil.

— Quelle heure est-il ?

Dans l'extrême diversité du monde, sans aucune contrainte ni législation internationale, il semble que la plupart des humains fonctionnent, non seulement au rythme de la journée, mais aussi à celui de l'heure et de la minute ou de la seconde. Du cadran solaire, du sablier, de la clepsydre, de l'horloge et du chronomètre naît ce qui apparaît comme une unité universelle de temps. La question ici posée est donc la plus commune qui soit : comment ne pas croire qu'en dépit de tous les décalages, le Temps fait partie de la Création ? Ce qui ne veut pas dire pour autant que nous vivons tous à la même heure de l'Histoire et que nous ayons tous la même notion de l'urgence. Pour moi, la question signifie que je dois m'efforcer de ne jamais être en retard face aux responsabilités qui sont les miennes.

— Quel jour sommes-nous ?

Nous ne sommes pas le mercredi 9 février 2005, mais le quatrième jour de la semaine où nous lisons la péricope *Troumah* (offrande) Ch. 25-27 de l'*Exode* – qui fait l'actualité de cette semaine et que nous devons étudier chaque année à nouveau pour découvrir ce qu'elle a à nous dire au présent. C'est ce que faisait chaque samedi matin Emmanuel Levinas à l'École normale Israélite d'Auteuil. De plus, c'est le 1^{er} jour de la néoménie du mois d'Adar I, 5765. Il y a 15 jours nous fêtons le nouvel an des arbres.

C'est parce que le calendrier juif est à dominante lunaire que nous célébrons la néoménie comme signe de renouvellement et que nous sommes attentifs à l'évolution du croissant de lune au ciel dans sa phase de croissance, puis de décroissance. Selon certains rites est évoquée à cette occasion la figure du prophète Elie, annonciateur des temps messianiques.

Comme l'ont dit de grands maîtres contemporains, dont Emmanuel Levinas ou Léon Askenazi, le judaïsme n'est pas à proprement parler une « religion » au sens usuel du terme, mais une manière d'être homme (ou femme) et donc une manière spécifique de *vivre le temps*.

Ce terme doit être saisi d'emblée dans sa dimension individuelle, voire intérieure, et dans sa dimension collective. Elles s'inscrivent l'une et l'autre dans l'histoire, la philosophie (psychologie, phénoménologie, métaphysique, sociologie, et, par-dessus tout, éthique), mais aussi dans l'économique, le politique, la relation à la nature et aux êtres.

De ce fait, la perception juive du temps est à la fois singulière et la plus totalement universelle (l'un n'excluant pas l'autre).

La première bénédiction au lever du jour est riche de sens : nous bénissons le Très-Haut d'avoir « donné au coq l'intelligence de discerner le jour et la nuit ».

Pour parler avec justesse du judaïsme, il faut, quand on le peut, penser en hébreu. D'où, d'abord, quelques brèves précisions d'ordre sémantique, sans lesquelles la suite de mon propos serait difficile à déchiffrer.

1. Le mot *eth* signifie à la fois instant et période, ère : à la fois le temps instantané et la longue durée. Ces deux lettres sont aussi la racine du substantif, *'atid*, futur : l'instant n'est pas fugace, mais générateur d'avenir.
2. La minute se dit *daka*, unité de temps ultra mince. Un synonyme : *réga* a pour même racine calme, inquiétude, agitation : dialectique de la sérénité et de l'urgence. Ne pas remettre au lendemain ce qui peut être fait tout de suite.

[109]

3. Le mot hébreu le plus courant pour désigner le temps se dit *zman*, dont on retrouve la racine dans le verbe inviter, préparer, convoquer, accueillir. Le temps me commande d'être « toujours prêt » et de toujours savoir recevoir (et donner).
4. L'histoire peut se dire en hébreu de deux façons : les *paroles des jours* ou les *engendremets*. D'ailleurs le vocable « mot » – *davar* – signifie aussi, outre parole, chose, événement, comme l'avait perçu intuitivement Michel Foucault en parlant des mots et des choses.
5. Calendrier se dit en hébreu *loua'h* – qui signifie aussi tableau d'affichage, horaire, emploi du temps.
6. L'adjectif *'hadash* signifie nouveau, inédit. On retrouve ces consonnes dans le substantif *'hodesh*, « mois », avec sa charge de renouvellement. Le temps n'est jamais monotone ou indifférent. *Le temps est genèse perpétuelle de nouveauté*. D'où la signification d'irréversibilité du temps. À quoi il faut ajouter que le mot hébreu qui désigne le progrès se dit *hitkadmout* qui a pour racine *kédém*, origine, ce qui peut nous faire penser que le progrès est aussi retour aux sources – lequel serait le meilleur moyen d'aller de l'avant. Ce qui m'avait valu un jour cette observation de Paul Ricœur : « Que cette coïncidence ait lieu en hébreu me paraît plein de sens, étant donné que, face au monde du Moyen-Orient et face au monde grec, la pensée juive a seule pensé historiquement et déchiffré Dieu dans son aventure historique ». Incidemment, répondant à Moïse, le Très-Haut se définit (Exode, 3.14) comme « Je serai qui Je serai » (au futur et non, comme on le traduit trop souvent : « Je suis qui Je suis » !) : définition

dynamique et non statique de l'Éternel... Autre chose : il existe, à l'écoute, une proximité entre le verbe *kadesh* (« sanctifier ») et le verbe *'hadesh* (« renouveler »), ce qui a amené le Rav Kook (1865-1935), en jouant sur les mots, à formuler cet axiome : « savoir sanctifier le nouveau et renouveler le saint » (*Lekadesh et ha 'hadash ouïe 'hadesh et hakadosh*). Ce qui signifie : refuser la routine et la répétition par inertie.

7. Enfin, *'olam* désigne à la fois le monde et l'éternité. En inaugurant les Fêtes ou en goûtant pour la première fois dans l'année un primeur, nous récitons la bénédiction : « Béni sois-Tu, Etemel, maître du monde (ou du temps – *'olam*) qui nous a fait vivre, être, et attendre jusqu'à ce temps ».

Ces quelques notations éclairent bien le *devoir d'attention permanente au temps*.

Le temps comme *attente* et comme préparation et stimulation. Le temps hébreu m'appelle, me commande, m'assigne – à *agir*. Il refuse la passivité, l'indolence. D'où l'interdit catégorique de « tuer le temps », de le perdre, de le fuir, de le gaspiller, de le banaliser. Chaque instant, comme chaque événement, compte.

On comprendra mieux ainsi que, dans un grand livre paru en 1957 dans la traduction française de Georges Levitte, aux Éditions de Minuit, Abraham Joshua Heschel ait pu dire des Juifs qu'ils étaient « les bâtisseurs du temps », par opposition aux Égyptiens, aux Grecs ou aux Latins, bâtisseurs de l'espace.

Pour A. J. Heschel, le judaïsme est une « architecture du temps » qui culmine avec le Shabbat, dans toute son originalité, sa signification et sa richesse existentielle. Dans le deuxième chapitre de la Genèse, le *temps*, par l'institution du Shabbat, est sanctifié avant les hommes et avant l'espace.

« Observe le jour du Shabbat pour le sanctifier, comme te l'a prescrit l'Éternel ton Dieu.

[110]

Durant six jours tu travailleras et t'occuperas de toutes tes affaires ; mais le septième jour est la trêve de l'Éternel ton Dieu ; tu n'y feras aucun travail, toi, ton fils ni ta fille, ton esclave homme ou femme, ton bœuf, ton âne, ni tes autres bêtes, non plus que l'étranger qui est dans tes portes ; car ton serviteur et ta servante doivent se reposer comme toi. Et tu te souviendras que tu fus esclave au pays d'Égypte, et que l'Éternel ton Dieu t'en a fait sortir d'une main puissante et d'un bras étendu. C'est pourquoi l'Éternel ton Dieu t'a prescrit d'observer le jour du Shabbat » (*Deutéronome* 5,12-15).

Ce texte qui énonce le quatrième commandement du Décalogue, reprend, à une variante près, la version qui figure en *Exode* 20,8-11.

Il faut bien comprendre que, jour de repos hebdomadaire – le premier dans l'histoire entière de la législation sociale – le Shabbat est rappel, chaque semaine renouvelé, tout à la fois de la Création et de la libération. C'est pour cela, précisément, que ce commandement interdit, non seulement de travailler, mais aussi de faire travailler les autres, y compris le serviteur ou l'étranger, voire le bétail, qui ont tous droit, eux aussi, au repos ce jour-là.

Au reste, les textes bibliques prescrivent de ne jamais perdre de vue la signification du Shabbat et de l'observer concrètement, en faisant en sorte d'en conserver la spécificité, sans le banaliser. Le Shabbat est à la fois institution et expérience, et c'est à ce titre qu'il nous interpelle ⁶².

Il faut noter que l'institution légale du repos hebdomadaire dans nos sociétés, qui paraîtra à beaucoup comme allant de soi, ne date en réalité guère de plus d'un siècle. Dans l'antiquité romaine, des auteurs aussi célèbres que Tacite, Sénèque ou Juvénal n'avaient que mépris pour les Juifs, notamment parce qu'ils gaspillaient ainsi un septième de leur temps et, plus encore, du temps de leurs esclaves, à ne rien faire de « créatif ».

Encore faut-il ajouter que le Shabbat constitue aussi l'exaltation du travail productif, car le Décalogue ne nous commande pas seulement de nous reposer le septième jour, mais aussi de travailler les six autres jours. Socialement, le Shabbat constitue également la reconnaissance

⁶² Voir Prosper Weil, « Le Shabbat comme institution et comme expérience », in : *Le Shabbat dans la conscience juive*, XIV^e Colloque des intellectuels juifs, PUF, 1975. p. 1-18. Voir aussi les textes réunis pp. 109-162.

de l'égalité sociale ; c'est le jour où il n'y a plus ni serviteurs, ni maîtres, ni employeurs, ni salariés. Le Shabbat, c'est enfin la consécration de ce concept de loisir et d'étude (désintéressée), dont la pensée humaine n'a pas fini d'épuiser tous les aspects. En d'autres termes le Shabbat a ceci de très particulier qu'il ne représente pas seulement le repos en soi, ce qui serait déjà une grande chose, mais aussi le refus de tout déterminisme et de toute aliénation. Il est le signe que les déterminismes économiques, sociaux et politiques ne sont pas les seuls ressorts et la seule explication de l'Histoire. Le Shabbat doit permettre aux Juifs de s'interroger sur la finalité du monde, de repenser les impératifs de l'Alliance et de la liberté.

Un jour par semaine, en mettant ses plus beaux habits, en éclairant son foyer, en participant à un repas de fête, en accueillant à sa table des étrangers ou des déshérités, chaque Juif devient un prince, quel que puisse être par ailleurs son rang, son statut ou sa situation économique et sociale. De ce fait, sont rompus ce jour-là les liens de dépendance. Il y a donc, un jour sur sept, une rupture radicale de tout ce qui constitue normalement une cause d'aliénation sociale. Un jour sur sept seulement, dira-t-on ? Oui, mais c'est beaucoup dans la mesure où cela permet d'échapper toutes les semaines (et aussi les jours de fêtes religieuses) à ce qui par ailleurs constitue une condition sans issue aucune. Il y a là une expérience hebdomadaire de liberté plénière et de totale indépendance. D'où la *joie* qui irradie le Shabbat et les fêtes.

[111]

Shabbat illustre l'essence du judaïsme dans la mesure où il symbolise la découverte du temps dans l'existence humaine et l'importance capitale de son rythme pour l'épanouissement de l'être. Il apporte régulièrement un « supplément d'âme », comme le disaient nos maîtres bien avant Bergson.

Aussi ne faut-il pas s'étonner qu'un sociologue aussi éminent que Georges Friedmann, qui a consacré la majeure partie de son oeuvre aux problèmes du travail, ait pu voir « une sorte de génie prophétique dans l'institution du Shabbat » qu'il jugeait indispensable pour lutter contre la déshumanisation de la civilisation technicienne d'aujourd'hui ⁶³.

⁶³ « Le Shabbat confronté à la société industrielle en Israël ». in : *Le Shabbat dans la conscience juive, op. cit.*, pp. 85-91.

Le temps, dans sa perception juive, se vit à l'horizon de la vie humaine, dans sa précarité et sa finitude, partant, de sa responsabilité, comme à l'horizon de l'Histoire avec ce qu'elle comporte d'infini. C'est pourquoi *l'Histoire nous parle*. J'ajouterai à ce propos avec Emmanuel Levinas : « Le judaïsme a introduit dans l'Histoire l'idée d'espérance et l'idée d'avenir. Platon nous a exposé le plan d'une cité idéale, mais sans guère donner d'indication sur sa réalisation ; la philosophie platonicienne supprime l'Histoire de même que le stoïcisme, qui est une doctrine abstraite » ⁶⁴.

Dans un colloque tenu en 1976 sur *Le modèle de l'Occident*, Michel Serres définissait celui-ci comme une synthèse « judéo-grecque » et il insistait sur la découverte de l'Histoire, du progrès et du sens de la responsabilité des hommes dans l'édification de l'Histoire, en tant qu'idées juives à l'origine. La Bible doit être lue « comme un vecteur, une direction, une orientation, bref un déplacement. Non pas un pavé découpé dans l'espace (comme la géométrie grecque), mais la flèche d'un temps (...) La flèche du récit judaïque traverse une région où le groupe de référence ne peut rester, le désert. Elle se définit par un passé sans retour et l'invincible attente d'une espérance, incommensurable peut-être. Le temps qui est par là figuré, décrit, indexé, n'est pas autre qu'*irréversible* (...) Le peuple juif *a produit l'histoire*. Il est ainsi le berger de l'histoire, son gardien et son promoteur. » ⁶⁵

C'est aussi ce que dit Jacques Madaule : « S'il est une valeur juive qui ait véritablement transformé le monde, c'est la notion d'une histoire, non pas cyclique, comme celle des Grecs, mais linéaire. En vérité, les juifs sont, par là, les fondateurs de l'Histoire même (...) Hérodote et Thucydide ne possédaient point le sens de l'histoire au même titre que les prophètes d'Israël. On peut dire que les historiens gréco-latins manquent singulièrement de perspective historique à long terme » ⁶⁶

Il convient de citer également le philosophe catholique Claude Tresmontant qui me paraît, lui aussi, avoir bien vu cet aspect de la question

⁶⁴ Voir *La conscience juive*. 1^{er} Colloque des intellectuels juifs. Paris. PUF. 1967. p. 15.

⁶⁵ « Le modèle », in : *Le modèle de l'Occident*, XVII^e Colloque des intellectuels juifs. PUF. 1977. pp. 9-15.

⁶⁶ Les Juifs et le monde actuel, Flammarion. 1963. p. 40.

dans son fondamental *Essai sur la pensée hébraïque* ⁶⁷ : « Devenir grec et devenir hébreu sont des signes contraires, ils vont en sens inverse l'un de l'autre. L'un évoque une dégradation, un écoulement, une chute, (...) l'autre, le devenir hébreu, est une ascension et une conquête, une maturation, un engendrement, tout se crée ».

L'Histoire n'est pas un long fleuve tranquille. Peut-on parler des écluses du temps ?

Au reste, le premier événement historique qu'est la Création, n'a pas été accompli une fois pour toutes. Il est perçu, par la pensée juive, comme une création continue, à laquelle les êtres [112] humains sont associés depuis le huitième jour, avec l'aventure d'un renouvellement quotidien. C'est la pensée biblique qui faisait dire à François Ferreux que chaque matin est encore et toujours aube de création. André Neher nous dit que l'Histoire, bien comprise, est à la fois porteuse d'espérance et signe de précarité. « Elle est ponctuée par les peut-être et les pourtant (sans jamais qu'il y ait de *happy end* garanti) qui font toute la grandeur et la difficulté de l'aventure humaine. Les phases successives et dramatiques de l'Histoire sont autant de moments d'apprentissage de la liberté. » ⁶⁸ Claude Tresmontant ne dit pas autre chose : « L'histoire est une invention incessante (...) elle n'est pas le déroulement dans le temps d'un modèle préexistant où tout aurait été donné à l'avance » ⁶⁹.

La Révélation aussi est continue et nous devons savoir la recevoir et la vivre chaque instant. D'où la permanente obligation de l'écoute, de l'étude et de l'agir.

Eliane Amado Lévy-Valensi le dit avec force, en proximité avec Vladimir Jankélévitch :

« Au cours de la vie l'obligation nous lie à chaque instant à l'instant qui advient. Le devoir veut avoir prise sur ce qui n'est pas encore. Opposant le droit au fait il est une perpétuelle reconversion du présent vers un avenir qui s'impose et se construit. Le devoir est un devoir faire, un devoir durer, un devoir instaurer, une renaissance des hommes et des

⁶⁷ Claude Tresmontant, *Essai sur la pensée hébraïque*, Paris, Ed. du Cerf, 1956. pp. 34-38.

⁶⁸ *Les hommes devant l'échec*, sous la direction de Jean Lacroix, P.U.F., 1968, p. 152.

⁶⁹ *Op. cit.*, p. 37.

choses. Il est une visée vers une transfiguration du monde, une adhésion à la dimension intime et créatrice du temps qui est l'avènement de possibles en instances : contre le fait et ses opacités, les fragiles émergences de ce qui doit être. L'obligation quotidienne, c'est la densité du temps pleinement vécu arraché aux influences du temps qui passe, aux stagnations de l'attente et de laisser-faire » ⁷⁰.

Pour résumer en termes très généraux la perception juive du temps, le passé n'est jamais pleinement révolu ; loin d'être figé, le présent appelle une constante vigilance, un effort : l'avenir n'est pas prédéterminé, de sorte que chacun est, à chaque instant, responsable non seulement de ce qu'il a pu faire ou ne pas faire, mais aussi du futur, même très lointain.

Pour bien comprendre la perception spécifiquement juive du temps, il faut être plus précis.

Écoutons André Neher : « J'ai expérimenté l'interprétation donnée par Rachi d'un humble mot qui revient si souvent dans la Bible : *Hayom*, aujourd'hui... la parole que Je t'adresse aujourd'hui... Aujourd'hui, dit Rachi, ce n'est pas (seulement) le jour où ce verset fut écrit – le jour de Moïse il y a trois mille ans – aujourd'hui, c'est aussi et surtout le jour où je me situe, moi, l'homme qui veut vivre avec et par la Bible. C'est dans ce même jour que la Parole m'est adressée, à moi » ⁷¹.

Je pourrais, sur un autre registre, évoquer le Psaume 118. Il est récité dans notre liturgie une quarantaine de jours seulement par an. Vers la fin de ce Psaume, au verset 24, le texte nous dit : « ce jour (aujourd'hui) que l'Éternel a fait, réjouissons-nous et soyons heureux de ce jour ». À dire vrai, ce verset mériterait de figurer chaque matin dans l'ouverture de la liturgie quotidienne, si du moins nous savons le lire attentivement. N'est-ce pas *chaque jour* que nous devons rendre grâce au Très-Haut de nous maintenir en vie pour nous permettre de donner à celle-ci tout son sens ?

Vivre au présent, dans l'assomption du passé et la construction du futur, pour reprendre l'avertissement d'Emmanuel Levinas, inspiré du

⁷⁰ Eliane Amado Lévy-Valensi. *Le temps dans la vie morale*, Paris, Vrin. 1968, pp. 60-65.

⁷¹ André Neher, *Jérusalem, vécu juif et message*, Paris, Rocher, 1984. pp. 64-65.

Talmud, signifie : « Ne pas bâtir le monde, c'est le détruire ». D'où la nécessité de construire à chaque instant l'avenir dans le présent – [113] par référence au passé. Loin de nous inciter à la passivité, l'Histoire doit nous dicter une *impatiente patience*. Plus qu'un musée ou un « conservatoire », elle est un moteur, dont l'énergie est faite de l'expérience et de la conscience accumulées. L'Histoire que stériliserait l'indifférence, commande attention. Et elle interdit le « surplace ».

Il faut souligner la fréquence de l'impératif – au futur (à la deuxième personne, singulier et pluriel) – dans les Écritures. Deux mots, Paix et Justice (shalom, tzédek.) sont déclinés, l'un et l'autre, par un même verbe, *redof*, qui veut dire « poursuivre » : « La justice, la justice, tu la poursuivras afin que ta vie ait un sens... » (*Deutéronome* 16,20) ; « Recherche la paix et poursuis-la » (Ps. 34,15). Paix et justice ne sont pas de simples concepts statiques. Ce sont des devoirs qui postulent une irrécusable responsabilité, sans échappatoire ni alibi. Ni l'une ni l'autre ne sont jamais définitivement accomplies. Jamais on ne s'y « installe » confortablement. A noter aussi le fréquent usage des verbes au conditionnel...

Il n'est pas indifférent que dans la Bible, écrite au présent et dans le langage des hommes, comme le dit le Talmud, le fonctionnement des textes fait d'eux des *passé-présent-futur*, pour reprendre une formule très forte d'Henri Meschonnic ⁷². C'est en tant que tels qu'ils débordent leur temps et s'inscrivent aussi dans le nôtre. Ils sont porteurs d'expérience signifiante. Il est hautement instructif que l'injonction du souvenir – *zakhor* – revienne 169 fois dans la Bible. Encore faut-il ajouter qu'elle n'est jamais formulée de façon abstraite ou générale ; bien au contraire, toujours de façon spécifique. Il ne s'agit pas d'une exhortation vague. Ricœur l'a bien compris quand il souligne, à partir de Yerushalmi « comment le transfert se fait de la mémoire à l'histoire par la médiation d'un peuple qui s'institue en se souvenant » (*Esprit*, juillet-août 1998, p. 309). Il ajoute, dans le même texte (p. 300), ce qui va dans le même sens : « Il n'y a pas de communauté sans un projet durable, et la fonction du politique est de rendre durable une communauté (...) or, comment une communauté aurait-elle un projet si elle ne s'appuyait sur une accumulation d'histoires racontées, donc sans un équipement de

⁷² *La Bible au présent*. XXII^e Colloque des intellectuels juifs, Gallimard, Idées, 1982.

mémoire ? » Nous n'avons pas attendu le soixantième anniversaire de la « libération » des camps d'extermination pour nous interroger sur le devoir de mémoire, comme d'autres le font ces jours-ci. Souviens-toi est un commandement permanent, dès l'origine.

Loin d'inciter à un ressassement complaisant du passé, le commandement du souvenir impose une conduite. Prospectif bien plutôt que rétrospectif, il a une fonction pédagogique. L'oubli est démobilisateur, alors que la mémoire aiguë de l'expérience collective vécue est perçue comme source de sagesse, interpellation et appel à l'éthique et à la responsabilité. *Mémoire oblige*. La mémoire doit donc être édifiante, c'est-à-dire constituée d'un avenir qui doit être fondé sur une éthique et un comportement. À ce propos, je perçois comme une lecture proche de la mienne les *ultima verba* de Robert Martin-Achard dans *Le temps de la mémoire. L'avenir se nourrit du passé*⁷³, comme aussi l'analyse que Marc Faessler fait d'*éthique et politique* dans le *Bulletin du Centre protestant d'études* (décembre 2004, p. 51-57.) Je ne suis pas surpris non plus que Henri Bartoli se réfère souvent à la pensée juive dans son dernier livre : « L'économie, œuvre de l'homme. La foi, force de présence »⁷⁴.

Alors que l'amnésie est perte d'identité et de responsabilité, la mémoire – faite temps – est à la fois ressort de fidélité et enseignement permanent. Le souvenir, en tant qu'assomption, loin d'inciter à la crispation ou à la contemplation complaisante du passé, impose un regard lucide et exigeant vers l'avenir dont nous sommes comptables à cause de ce que le passé nous enseigne. Tant et si bien que c'est précisément la responsabilité décisive du souvenir qui [114] oriente, non pas la résignation ou le laisser-aller, mais la difficile et impérieuse acceptation du devoir de vivre au présent.

Je pourrais citer aussi Léo Strauss : « À l'intérieur d'une tradition vivante, le nouveau n'est pas le contraire de l'ancien, mais son approfondissement ; le nouveau ne résulte pas du rejet ou de l'anéantissement de l'ancien, mais de sa métamorphose, de sa transformation »⁷⁵.

⁷³ Editions du Moulin, Pollièz-le-Grand, 1998. Voir aussi, du même auteur, *Essai biblique sur les fêtes d'Israël*.

⁷⁴ Ed. Economica, Paris, 2005.

⁷⁵ *Le testament de Spinoza*, Paris, Cerf, « La nuit surveillée », 1991, p. 300.

Les Fêtes elles-mêmes, qui sont les piliers et l'armature de la vie juive liturgique, sont encore des manifestations de la mémoire historique. La Fête fait exister le passé et lui confère une valeur présente. Elle est « Erlebnis ». Si les fêtes agricoles originelles ont été transformées en remémoration d'événements historiques par la tradition juive, c'est précisément pour leur donner une signification spirituelle plus lourde que le simple processus du cycle répété de la nature. Contrairement à ce qui se passe dans d'autres civilisations, la célébration des fêtes n'a pas pour fonction de « s'oublier » ou de s'évader, de se distraire, mais, bien au contraire, de rendre attentif à leur sens. Nous ne célébrons plus seulement les semailles, la moisson, les vendanges, mais la Création, la Sortie d'Égypte, le Don de la Thora au pied du Sinaï, les quarante années de pérégrinations dans le désert. Autant d'expériences, chaque fois revécues. *Le temps, à la fois comme don et comme épreuve.* Le temps nous est donné, à charge pour nous d'en faire bon usage et de le vivre à bon escient, car nous en sommes comptables.

Comme le disait Hillel l'ancien, le sage pharisien qui a vécu au siècle précédant l'ère commune : « Si je ne réponds pas de moi, qui le fera ? Et si je ne me préoccupe que de moi, *que suis-je ?* Et si non tout de suite, quand ? » (Traité des Pères, 1,14) – ce qui nous rappelle l'avertissement de ne pas remettre à plus tard ce qui doit être fait aussitôt. Emmanuel Levinas nous a enseigné que le souci d'autrui commande l'urgence, alors que l'édification d'un monde meilleur exige une longue patience. L'attente inlassable des temps messianiques, loin d'impliquer passivité, postule un effort continu pour plus de justice, de générosité et de plénitude. Il ne faut jamais différer une action bonne, non pas pour son salut personnel, mais pour celui de l'humanité.

Non seulement l'Histoire a un sens (Création, Révélation, le monde qui vient, pour reprendre le schéma de Franz Rosenzweig) ; elle devrait avoir pour but d'instaurer le règne de la justice et de la paix sur la Terre.

Dans la mesure où le futur, c'est l'inaccompli, le temps peut aussi être porteur d'utopie puisqu'il nous oblige à penser l'avenir aussi loin que possible. L'utopie n'est pas une impossibilité ou un rêve. Elle est incitation à l'engagement, comme l'a bien montré Gershom Scholem (*Le messianisme juif*, Calmann-Lévy, 1974 et *Fidélité et utopie*, Calmann-Lévy, 1978).

Deux grandes œuvres de la philosophie moderne. *Le Principe Espérance*, d'Ernst Bloch, et *Le Principe Responsabilité*, de Hans Jonas, s'inscrivent dans la perception juive du temps. De même, il est frappant de voir à quel point la perception juive du temps est sous-jacente dans la pensée de la durée chez Bergson, notamment dans *L'évolution créatrice* ⁷⁶.

Enfin, illustration à la fois ponctuelle et fondamentale : la dimension asymptotique que nous trouvons aussi bien dans l'attente messianique et dans la Déclaration universelle des droits de [115] l'homme. Ses trente articles, rédigés au présent, ne décrivent pas l'état présent du monde, mais énoncent, comme le précise avec sobriété et justesse le préambule, « un idéal à atteindre. »

Combien de temps faudra-t-il pour que tous les êtres humains puissent naître et vivre libres et égaux en droits partout dans le monde ? Le jour est encore lointain où chaque être humain pourra enfin manger à sa faim, disposer d'un logement, avoir droit à la liberté, à l'éducation, à la santé, au travail, aux loisirs, sans subir aucune discrimination pour raisons de sexe, de couleur de peau, de nationalité, de religion ou d'opinion.

S'il est vrai que cela prendra beaucoup de temps, raison de plus de n'en pas perdre pour y arriver... le plus tôt possible. D'où l'urgence, non seulement d'une prise de conscience, mais plus encore, d'une action réelle à tous les niveaux ⁷⁷.

C'est dans une large mesure par sa perception du temps que, pour reprendre la formule si juste de Claude Tresmontant, « la Thora est pédagogie de l'intelligence et de la liberté » ⁷⁸, à quoi j'ajouterai : et de la responsabilité.

⁷⁶ Cf. Claude Tresmontant, *Essai sur la pensée hébraïque*, op. cit., le chapitre sur « Le temps et l'éternité chez Bergson », pp. 38-56 et 157-164. Il faudrait citer intégralement les pages 11 et 12 de son Introduction: « Les analyses de Bergson nous ont été un instrument précieux pour percevoir et libérer les caractères originaux de la métaphysique hébraïque, et pour apprécier la valeur de ses thèmes propres, trop souvent méconnues et négligés ».

⁷⁷ Cf. Jean Halpérin, « Droits de l'homme et religion », in: *La vérité vous rendra libre. Hommage au Cardinal Georges Collier*. Ed. Parole et Silence, 2004, pp. 185-192.

⁷⁸ *Essai sur la pensée hébraïque*, op.cit. p. 132.

Références

- Amado Lévy-Valenski, E. (1968) *Le temps dans la vie morale*. Paris : J. Vrin.
- Atlan, H. (1999-2003) *Les étincelles de hasard*. Paris : Éd. du Seuil, 2 vol.
- Bergson, H. (1999) *L'énergie spirituelle*, 6^e éd. Paris : PUF. <http://dx.doi.org/doi:10.1522/cla.beh.ene>
- Bergson, H. (2001) *L'évolution créatrice*, 9^e éd. Paris : Presses universitaires de France. <http://dx.doi.org/doi:10.1522/cla.beh.evo>
- Bergson, H. (1982) *Matière et mémoire : essai sur la relation du corps à l'esprit*, 93^e éd. Paris : PUF. <http://dx.doi.org/doi:10.1522/cla.beh.mat>
- Bergson, H. (1999) *La pensée et le mouvant : essais et conférences*, 14^e éd. Paris : PUF. <http://dx.doi.org/doi:10.1522/cla.beh.pen>
- Ellul, J. (1987) *La raison d'être : méditation sur l'Ecclésiaste*. Paris : Éd. du Seuil.
- Hansel, G. (1998) *Explorations talmudiques*. Paris : O. Jacob.
- Heschel, A.J. (2003) *Les bâtisseurs du temps*. Paris : Éd. de Minuit.
- Goldberg, S.A. (2000-2003) *La clepsydre*. Paris : Albin Michel. 2 vol.
- Jankélévitch, V. (1989) *Henri Bergson*. Paris : PUF.
- Jankélévitch, V. (1984) *Sources : recueil*. Paris : Éd. du Seuil.
- Lévinas, E. (1995) *Difficile liberté*, 4^e éd. Paris : Albin Michel.
- Lévinas, E. (1993) *Entre nous : essais sur le penser-à-l'autre*. Paris : Librairie générale française.
- Lévinas, E. (2000) *Ethique et infini : dialogues avec Philippe Nemo*. Paris : Fayard.
- Lévinas, E. (1996) *Humanisme de l'autre homme*. Saint-Clément : Fata Morgana.

Lévinas, E. (1994) *Les imprévus de l'histoire*. Saint-Clément : Fata Morgana.

Lévinas, E. (1992) *Totalité et infini : essai sur l'extériorité*. Paris : Librairie générale française.

[116]

Martin-Achard, R. (1998) *Le temps de la mémoire : l'avenir se nourrit du passé*. Poliez-le-Grand : Éd. du Moulin.

Neher, A. (1972) *L'essence du prophétisme*. Paris : Calmann-Lévy.

Neher, A. (1968) « L'échec dans la perspective juive », J. Lacroix (éd.). *Les hommes devant l'échec*. Paris : PUF.

Neher, A. (1994) *Notes sur Qohélet (l'Ecclésiaste)*. Paris : Éditions de Minuit.

Neher, A. (1989) *Regards sur la tradition*. Paris : Bibliophane.

Safran, A. (1980) *Israël dans le temps et dans l'espace : thèmes fondamentaux de la spiritualité*. Paris : Payot.

Tresmontant, C. (1962) *Essai sur la pensée*, 3e éd. Paris : Éd. du Cerf.

Walzer, M. (1986) *De l'Exode à la liberté : essai sur la sortie d'Égypte*. Paris : Calmann-Lévy.

Colloque des intellectuels juifs de langue française :

- La conscience juive, (PUF). 1963.
- Face à l'histoire : le Pardon. (PUF). 1965.
- Jeunesse et révolution dans la conscience juive, (PUF). 1972.
- Le Shabbat dans la conscience juive, (PUF). 1973.
- Le Modèle de l'Occident, (PUF). 1977.
- La Bible au présent. (Gallimard. Coll. Idées). 1982.
- Politique et religion, (Gallimard. Idées). 1983.
- Mémoire et Histoire. (Denoël), 1986.
- Le Temps désorienté, (A. Michel). 1993.
- L'idée d'humanité, (A. Michel). 1995.
- Comment vivre ensemble ? (A. Michel). 2001.
- La responsabilité. Utopie et réalités, (A. Michel). 2003.
- L'éthique du jubilé. Vers la réparation du monde ? (A. Michel). 2005.

[117]

La perception du temps.**LISTE DES PARTICIPANTS**[Retour à la table des matières](#)

M. Jean-Christophe AESCHLIMANN	Rédacteur en chef de Coopération
Prof. Pierre ALLAN	Université de Genève, Sciences politiques (Doyen des sciences économiques et sociales)
Prof. Fabrizio CARLEVARO	Université de Genève, Économétrie
M. André DUVAL	Ancien membre de l'institut Battelle, Informatique
Prof. Marcel GOLAY	Université de Genève, Observatoire
Prof. Jean HALPÉRIN	Universités de Zurich, Fribourg, Grenoble, Philosophie et Études Bibliques
Prof. Ernst HEER	Université de Genève, Sciences
Prof. André HURST	Université de Genève, Lettres (Recteur)
Prof. Olivier DE LA GRAND VILLE	Université de Genève, Économie politique
Prof. Bernard LACHAL	Université de Genève, CUEPE
Mme Sophie LAMBOLEZ	Université de Neuchâtel, Institut de psychologie
Mme Cam Lai NGUYEN FRENTZEL-BEYME	Université de Genève, CUEPE
Prof. Anne PETITPIERRE	Université de Genève, Droit
Prof. Gilles PETITPIERRE	Université de Genève, Droit

Prof. Anne-Nelly PERRET-CLERMONT	Université de Neuchâtel, Institut de psychologie
Prof. Daniel PFENNIGER	Université de Genève, Observatoire
Dr Franco ROMERIO	Université de Genève, CUEPE
Mme Jacqueline ROYER	
Prof. Jacques ROYER	Université de Genève, CUEPE
Prof. Jean-Yves ROYER	CNRS & Université de Bretagne Occidentale,
Dr Annick SPIERER	Sciences de la terre Université de Genève, Biochimie
Prof. Pierre SPIERER	Université de Genève, Biologie (Doyen des sciences)
M. Pascal THOMANN	Université de Genève, CUEPE
Prof. François WALTER	Université de Genève, Histoire
Prof. Willi WEBER	Université de Genève. CUEPE (Directeur)

Fin du texte